



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
CENTRO UNIVERSITARIO UAEM TEMASCALTEPEC**



LICENCIATURA EN INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

**PRODUCTIVIDAD DE GERMINADO DE MAÍZ, AVENA Y LENTEJA
DE 7 Y 14 DÍAS DE EDAD.**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO
ZOOTECNISTA**

P R E S E N T A

SERGIO JESÚS SANTELLAN MONDRAGÓN

ASESOR

DR. C. ANASTACIO GARCÍA MARTÍNEZ

COASESOR

ING. AGR. FERNANDO GARCÍA NÚÑEZ

Temascaltepec, Estado de México; noviembre de 2023

INDICE

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIAS	ii
INDICE DE CUADROS	viii
INDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE GRAFICAS	xiii
RESUMEN	xiv
I. INTRODUCCION	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1. Forraje verde hidropónico	2
2.2.1. <i>Importancia del forraje verde hidropónico</i>	3
2.2.2. <i>Ventajas</i>	3
2.2.3. <i>Desventajas</i>	4
2.3. Procedimiento del cultivo de hidroponía	5
2.4. La imbibición en las semillas	6
2.5. Proceso de etiolación de la semilla	6
2.6. Temperatura y humedad	7
2.7. Hongos que afectan al forraje verde hidropónico	7
2.7.1. <i>Aspergillus</i>	7
2.7.2. <i>Fusarium</i>	8
2.7.3. <i>Penicillium</i>	9
2.8. Características del forraje verde hidropónico	9
2.9. Charolas	11
2.10. Riego	12
2.11. Forraje verde hidropónico de maíz	13
2.12. Forraje verde hidropónico de avena	15
2.13. Forraje verde hidropónico de lenteja	16
2.14. <i>Tiempo de remojo de semillas</i>	21
2.15. Dosis de semilla	22

2.16. Engorda de ovinos con forraje verde hidropónico	23
III. JUSTIFICACIÓN.....	24
IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN .	25
V. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	26
VI. HIPÓTESIS.....	27
VII. OBJETIVOS	28
7.1. General	28
7.2. Especifico.....	28
VIII. MATERIALES Y MÉTODOS	29
8.1. Sitio experimental.....	29
8.2. Instalación de infraestructura para la producción de forraje verde hidropónico	29
8.3. Anaquel de FVH.....	30
8.4. Charolas.....	31
8.5. Sistema de riego	31
8.6. Periodo de evaluación.....	34
8.7. Producción de forraje verde hidropónico (FVH)	35
8.7.1. <i>Pesaje de la semilla</i>	35
8.7.2. <i>Lavado de la semilla</i>	36
8.7.3. <i>Desinfección de la semilla</i>	37
8.7.4. <i>Etiolación de la semilla</i>	37
8.7.5. <i>Lavado y desinfección de las charolas</i>	38
8.7.6. <i>Riegos</i>	39
8.7.7. <i>Temperatura</i>	39
8.8. Variables evaluadas.....	40
8.8.1 <i>Raíz</i>	41
8.8.2. <i>Plántula</i>	42
8.8.3. <i>Productividad del FVH</i>	42
8.9. Diseño experimental para análisis de variables del forraje	43

8.9.1. Cuadrado latino.....	43
8.9.2. Modelo estadístico.....	44
IX. RESULTADOS	45
9.1. Peso húmedo.....	45
9.1.1. Semilla.....	45
9.1.2. Periodo.....	45
9.1.3. Interacción semilla/periodo.....	46
9.2. Peso al sembrar.....	47
9.2.1. Semilla.....	47
9.2.2. Periodo.....	47
9.2.3. Interacción semilla/periodo.....	48
9.3. Raíz.....	49
9.3.1. Tamaño a 7 días de la raíz.....	49
9.3.1.1. Semilla.....	49
9.3.1.2. Periodo.....	49
9.3.1.3. Interacción semilla/periodo.....	50
9.3.2. Tamaño a 14 días de la raíz.....	51
9.3.2.1. Semilla.....	51
9.3.2.2. Periodo.....	51
9.3.2.3. Interacción semilla/periodo.....	52
9.4. Plántula.....	52
9.4.1. Tamaño a 7 días de la plántula.....	52
9.4.1.1. Semilla.....	52
9.4.1.2. Periodo.....	53
9.4.1.3. Interacción semilla/periodo.....	53
9.4.2. Tamaño a 14 días de la plantula.....	54
9.4.2.1. Semilla.....	54
9.4.2.2. Periodo.....	55
9.4.2.3. Interacción semilla/periodo.....	55
9.5. Peso del FVH.....	56
9.5.1. Peso a 7 días.....	56

9.5.1.1. Semilla	56
9.5.1.2. Periodo	57
9.5.1.3. Interacción semilla/periodo	57
9.5.2. Peso a 14 días.....	58
9.5.2.1. Semilla	58
9.5.2.2. Periodo	59
9.5.2.3. Interacción semilla/periodo	59
9.6. Temperatura.....	60
9.6.1. 7:00 am.....	60
9.6.2. 2:00 pm.....	61
9.6.3. 8:00 pm.....	61
X. DISCUSIÓN	62
10.1. Avena.....	62
10.2. Lenteja	63
10.3. Maíz	63
XI. CONCLUSIONES	65
XII. RECOMENDACIONES.....	66
XIII. REFERENCIAS CONSULTADAS	67
XIV. ANEXOS	72

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Gasto de agua para producción de FVH de distintas especies en condiciones de campo.....	11
Cuadro 2. Contenido de materia seca, cenizas, y proteína bruta del forraje verde hidropónico de cebada	12
Cuadro 3. Composición química proximal del forraje verde hidropónico de maíz con solución nutritiva y sin solución nutritiva.....	14
Cuadro 4. Coeficientes de digestibilidad (% MS).	14
Cuadro 5. Promedios en peso de biomasa vegetal (kg).....	16
Cuadro 6. Promedios en longitud de raíz (cm)	18
Cuadro 7. Promedios en altura de planta (cm).....	18
Cuadro 8. Promedios en diámetro de tallo (mm).....	19
Cuadro 9. Porcentaje de germinación y tasa media de germinación para diferentes tiempos de remojo de semillas de avena	21
Cuadro 10. Composición química de FVH de avena y CC.....	22
Cuadro 11. Perfil nutricional de las dietas en base a porcentaje de materia seca ofrecidos a corderos tres meses post destete	23
Cuadro 12. Arreglo aleatorio de tratamientos en un diseño de Cuadro Latino 3x3 repetido.	43
Cuadro 13. Efecto del tratamiento sobre el peso húmedo por semilla	45
Cuadro 14. Efecto del tratamiento sobre el peso húmedo por periodo	45
Cuadro 15. Efecto del tratamiento sobre el peso húmedo en la interacción semilla/periodo	46
Cuadro 16. Efecto del tratamiento sobre el peso al sembrar por semilla	47
Cuadro 17. Efecto del tratamiento sobre el peso al sembrar por periodo	47

Cuadro 18. Efecto del tratamiento sobre el peso al sembrar en la interacción semilla/periodo	48
Cuadro 19. Efecto del tratamiento sobre el tamaño de raíz a 7 días por semilla ..	49
Cuadro 20. Efecto del tratamiento sobre el tamaño de raíz a 7 días por periodo..	49
Cuadro 21. Efecto del tratamiento sobre el tamaño de raíz a 7 días en la interacción semilla/periodo	50
Cuadro 22. Efecto del tratamiento sobre el tamaño de raíz a 14 días por semilla	51
Cuadro 23. Efecto del tratamiento sobre el tamaño de raíz a 14 días por periodo	51
Cuadro 24. Efecto del tratamiento sobre el tamaño de raíz a 14 días en la interacción semilla/periodo	52
Cuadro 25. Efecto del tratamiento sobre el tamaño de plántula a 7 días por semilla	53
Cuadro 26. Efecto del tratamiento sobre el tamaño de plántula a 7 días por periodo	53
Cuadro 27. Efecto del tratamiento sobre el tamaño de plántula a 7 días en la interacción semilla/periodo	54
Cuadro 28. Efecto del tratamiento sobre el tamaño de plántula a 14 días por semilla	55
Cuadro 29. Efecto del tratamiento sobre el tamaño de plántula a 14 días por periodo	55
Cuadro 30. Efecto del tratamiento sobre el tamaño de plántula a 14 días en la interacción semilla/periodo	56
Cuadro 31. Efecto del tratamiento sobre el peso de FVH a 7 días por semilla	57
Cuadro 32. Efecto del tratamiento sobre el peso de FVH a 7 días por periodo	57
Cuadro 33. Efecto del tratamiento sobre el peso de FVH a 7 días en la interacción semilla/periodo	58
Cuadro 34. Efecto del tratamiento sobre el peso de FVH a 14 días por semilla ...	59

Cuadro 35. Efecto del tratamiento sobre el peso de FVH a 14 días por periodo...	59
Cuadro 37. Efecto del tratamiento sobre la Temperatura 7:00 am.....	60
Cuadro 38. Efecto del tratamiento sobre la Temperatura 2:00 pm.....	61
Cuadro 39. Efecto del tratamiento sobre la Temperatura 8:00 pm.....	61

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Invernadero donde se realizó el experimento.

Figura 2: anaqueles para las charolas del FVH.

Figura 3: charolas para el FVH.

Figura 4: Tubería principal.

Figura 5: Tubería secundaria

Figura 6: Tinaco 1100 litros.

Figura 7: Bomba de agua para el riego.

Figura 8: Temporizador STEREN.

Figura 9: Termómetro STEREN.

Figura 10: Peso seco de Avena.

Figura 11: Peso seco de la Lenteja.

Figura 12: Peso seco de Maíz.

Figura 13: Lavado de la semilla.

Figura 14: Desinfección de las semillas.

Figura 15: Ecurrimiento de las semillas.

Figura 16: Área oscura.

Figura 17: Lavado y desinfección de las charolas.

Figura 18: Lavado y desinfección de las charolas.

Figura 19: Muestras de lenteja 14 días.

Figura 20: Muestras de maíz 14 días.

Figura 21: Muestras de avena 14 días.

Figura 22: Medición de la raíz.

Figura 23: Medición de la plántula.

Figura 24: Pesaje de la semilla.

Figura 25: Etiquetado de las charolas.

Figura 26: Poca germinación de la semillas .

Figura 27: Hongo en la raíz que se presentó en el FVH.

Figura 28: Raíz limpia del FVH.

Figura 29: FVH de lenteja.

Figura 30: FVH de maíz.

Figura 31: FVH de avena.

Figura 32: Estantes con FVH de avena.

Figura 33: Equino alimentado con FVH.

ÍNDICE DE GRAFICAS

Grafica 1: Comparación de peso final en biomasa vegetal.	17
Grafica 2: Rendimientos en kilogramos de FVH.....	21
Grafica 3: Peso seco de lenteja.....	72
Grafica 4: Peso seco de avena.	72
Grafica 5: Peso seco de maíz.	73

RESUMEN

El objetivo del presente estudio es evaluar la productividad del forraje verde hidropónico en las semillas de maíz, avena y lenteja en los meses de mayo-junio en Oztolotepec, Estado de México. Evaluando las variables de peso seco, peso húmedo, peso al sembrar, peso a 7 y 14 días, tamaño de la raíz a 7 y 14 días, tamaño de la plántula a 7 y 14 días y la temperatura. Recolectando datos de las tres semillas en tres periodos con una duración de 14 días cada periodo obteniendo un total de 2,520 muestras. Cada semilla paso por un proceso de pesado, lavado, desinfección, etiolación y sembrado en charolas de plástico colocadas en anaqueles de madera. Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza en Cuadro latino 3x3 repetido ($P < 0.05$). Obteniendo diferencias significativas en la mayoría de las interacciones de las semillas obteniendo los siguientes resultados. En peso húmedo obtuvo mayor peso el maíz con un promedio de 942.66 gr, al igual que en el peso al sembrar con un promedio 899 gr. Para el tamaño de la raíz a 7 días la que obtuvo mayor tamaño fue la avena con un promedio de 7.85 cm, a los 14 días la avena en el periodo 2 obtuvo mayor tamaño con un promedio de 19.64 cm. Para el tamaño de la plántula la avena en sus distintos periodos obtuvo la mayor altura con un promedio de 7.88 cm, al igual en los 14 días con un promedio de 15.69 cm. En el peso de FVH a 7 días el maíz obtuvo un rendimiento de 1.470 kg, a los 14 días el maíz obtuvo el mayor peso con un promedio de 2.174 kg. Destacando que la lenteja en todas sus variables estuvo intermedia entre estas semillas.

Palabras clave: productividad, forraje verde hidropónico, semillas, periodos.

I. INTRODUCCION

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. Con esta producción se obtiene en corto tiempo un alimento de alta sanidad y calidad nutricional para el ganado, en cualquier época del año y localización geográfica, siempre y cuando se establezcan las condiciones mínimas necesarias para ello (Juarez *et al.*, 2013).

El FVH se produce en ausencia del suelo y en condiciones protegidas. Usualmente se utilizan semillas de maíz, avena, cebada, trigo y sorgo. La producción del FVH es una de las derivaciones prácticas que tiene el uso de la técnica de los cultivos sin suelo o hidroponía. El proceso se realiza en contenedores de plástico rígido (charolas) por un periodo de entre 16 y 20 días y dependiendo del grano germinado alcanza una altura promedio de 25 centímetros (Vargas-Rodríguez 2008).

El FVH consiste en la germinación de granos (semillas de cereales o de leguminosas) y su posterior crecimiento bajo condiciones ambientales en ausencia del suelo (FAO, 2002), siendo una alternativa de producción de forraje para la alimentación de ovinos, caprinos, bovinos, equinos; conejos, pollos, gallinas, patos, cuyes y chinchillas entre otros animales domésticos y es especialmente útil durante períodos de escasez de forraje verde (Técnico 2002 b).

Es una técnica donde se puede reducir el uso de agua y al mismo tiempo mantener o mejorar la productividad del sector agropecuario. El FVH se puede utilizar para la producción de forraje en distintas semillas en un ambiente higiénico libre de productos químicos como insecticidas, herbicidas, fungicidas y promotores de crecimiento artificiales. Es una técnica bien conocida por su alto rendimiento de forraje, producción durante todo el año y mínimo gasto de agua. A diferencia del sistema de producción de campo que utiliza prácticas de riego y lleva un mayor gasto de agua. Se ha entendido que la producción de forraje hidropónico requiere

solo alrededor del 2-3 % del agua utilizada en condiciones de campo para producir la misma cantidad de forraje (Al-Karaki *et al.*, 2012).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Forraje verde hidropónico

Bajo condiciones de escasez de alimento obliga a buscar otras alternativas de producción, en la cual, haciendo uso de la técnica de la hidroponía, se puede obtener forraje verde hidropónico (FVH), que puede ser una opción para agricultores y ganaderos. El término hidroponía, tiene su origen en las palabras griegas “hydro”, que significa agua, y “ponos”, que significa trabajo. Tradicionalmente se ha entendido como el cultivo de plantas en soluciones nutritivas, que contiene todos los elementos minerales necesarios, para el desarrollo y producción de plantas (Jiménez *et al.*, 2016).

El forraje verde hidropónico o FVH por sus siglas en inglés (Green Fodder Hydroponics) es una tecnología de producción de biomasa vegetal obtenida a partir del crecimiento inicial de las plantas en los estados de germinación y crecimiento temprano de plántulas a partir de semillas viables. El FVH es un pienso o forraje vivo, de alta digestibilidad, calidad nutricional e idóneo para la alimentación animal. En la práctica, el FVH consiste en la germinación de granos (semillas de cereales o de leguminosas) y su posterior crecimiento bajo condiciones ambientales controladas (luz, temperatura y humedad) en ausencia del suelo (FAO, 2002).

La producción de FVH en invernaderos de bajo costo es una solución para la escasez de forraje y es una tecnología para la producción de la ganadera sostenible. La germinación de los granos, aumenta de proteína total y cambios en los aminoácidos, aumento de azúcares, fibra cruda, ciertas vitaminas y minerales, pero disminución de almidón y materia seca total (Naik *et al.*, 2015).

El forraje cultivado mediante la hidroponía, es la transformación de granos en una combinación de forraje y raíz de alta calidad, muy exuberante y libre de enfermedades como alimento para animales producido en una unidad hidropónica versátil e intensiva (Gebremedhin, 2015).

El forraje verde hidropónico se produce a partir de granos forrajeros, que tengan una alta tasa de germinación y crezca en durante un período corto. El forraje fresco se puede producir a partir de avena, cebada, trigo y otros granos mediante la hidroponía. Dependiendo del tipo de grano, el forraje alcanza una altura de 15 a 20 cm donde la tasa de producción es de 7 a 9 kg de forraje fresco equivalente a 0.9 a 1.1 kg de materia seca (Devendar *et al.*, 2020).

2.2.1. Importancia del forraje verde hidropónico

FVH contiene todas las vitaminas libres y solubles necesarias para la alimentación del ganado, lo que las hace más digeribles, además de que evita el gasto en suplementos alimenticios que se proporcionan al ganado de engorda (Juarez *et al.*, 2013).

El uso de FVH, ha mostrado excelentes resultados en animales mono gástricos y poligástricos, ya que estos animales consumen las primeras hojas verdes (parte aérea), los restos de las semillas y las zona radicular, lo cual constituye un alimento completo en carbohidratos y proteínas; además, cabe mencionar que su aspecto, sabor, color y textura (características organolépticas) le dan una gran palatabilidad al tiempo que aumenta la asimilación de otros alimentos, mejorando el metabolismo del animal. Asimismo, el FVH sirve de suero electrolítico, lo que evita la deshidratación del animal haciéndolo más productivo (Rodríguez, 2000).

2.2.2. Ventajas

No requiere de grandes superficies de tierras, ni períodos largos de producción, tampoco alguna forma de conservación y almacenamiento; está protegido de las lluvias, de las bajas temperaturas y de la exposición directa de los rayos del sol (Rodríguez *et al.*, 2003).

El costo de producción de FVH, por concepto de superficie es 10 veces menor que el de una superficie para la producción de cualquier forraje en espacios abiertos, lo que se ejemplifica con el dato de que 75 m² de producción de FVH tienen el equivalente de 3 a de terreno agrícola para la producción (FAO, 2001).

Se pueden emplear diversos tipos de semillas para la producción de FVH como es el caso de la cebada, trigo, avena, arroz o maíz, dependiendo de las necesidades del productor (Ceballos *et al.*, 1992).

La producción, capacitación e investigación de FVH, no genera ningún impacto ambiental negativo (Guillermo, 2019).

Ahorro de agua. Al utilizar el sistema de producción FVH la pérdida de agua por escurrimiento superficial, infiltración y evapotranspiración es mínima comparada con la producción convencional de forraje. La técnica del FVH emplea menos de dos litros de agua para producir un kg de forraje, lo que equivale a 8 litros para promover un kg de materia seca de FVH (considerando un 25 % de materia seca del FVH) Calidad del forraje. El FVH es un alimento succulento de aproximadamente 20 a 30 cm de altura (dependiendo del periodo de crecimiento) y de adecuada aptitud comestible para los animales. El FVH es rico en vitaminas, especialmente la A y E, contiene carotenoides que varían de 250 a 350 mg por kg de materia seca (MS), posee una elevada cantidad de hierro, calcio y fósforo, su digestibilidad es alta puesto que la presencia de lignina y celulosa es escasa. Inocuidad. (Juarez *et al.*, 2013).

2.2.3. Desventajas

En la producción de FVH se debe considerar la especie forrajera y sus variedades, su comportamiento productivo, plagas, enfermedades, requerimientos de agua, nutrientes, condiciones de luz, temperatura, humedad relativa, entre otros. Asimismo, la producción de FVH es una actividad continua y exigente en cuidados diariamente. Costos de instalación. Algunos autores mencionan como desventaja el costo de instalación, sin embargo, se ha demostrado que utilizando estructuras de

invernaderos de bajo costo. Bajo contenido de materia seca. En general, el FVH tiene bajo contenido de materia seca, lo que se resuelve agregando diversos rastrojos o alimento concentrado para complementar la ración en la alimentación del ganado (Juarez *et al.*, 2013).

2.3. Procedimiento del cultivo de hidroponía

De acuerdo con Vargas (2008), el proceso para cultivos de hidroponía son los siguientes:

Prelavado: En un recipiente con agua se colocan por separado el grupo de semillas con un ingrediente como cal o cloro para la desinfección de las semillas y se eliminan todas aquellas que flotaron en agua.

Lavado: Las semillas se lavan y desinfectan en una solución (10 ml de solución de cloro comercial en un litro de agua) dejándolas remojar en ésta por 30 minutos a una hora, luego enjuagar con agua.

Remojo: Se sumergieron las semillas en agua por un periodo de tiempo de 18-20 horas, se hace cambio manual del agua cada que se vea turbia.

Traslado: Se colocan las semillas en las bandejas de un tamaño de 720 cm² tratando de formar una capa uniforme de 1,5 cm de espesor.

Germinación: Para lograr una adecuada germinación, las bandejas son cubiertas con un plástico negro y se colocan en un invernadero donde se debe mantener una baja temperatura, buena ventilación, oscuridad y con la ayuda de nebulizadores de riego donde se suministra el agua para la hidratación de la semilla.

La germinación es la entrada de agua a la semilla (imbibición) y finaliza con el comienzo de la elongación de la radícula. En condiciones de laboratorio, la posterior rotura de las cubiertas seminales por la radícula es el hecho que se utiliza para considerar que la germinación ha tenido lugar (criterio fisiológico). Sin embargo, en condiciones de campo no se considera que la germinación ha finalizado hasta que

se produce la emergencia y desarrollo de una plántula normal (criterio agronómico) (Villamil, 1998).

Producción: Una vez pasado el tiempo de germinación, se retira el plástico negro que cubrió las bandejas, se inician los riegos espaciados cada tres horas por 30 segundos, se recomienda un sistema de suministro de agua por aspersión equipado con nebulizadores. Se les suministra a los cultivos luz, temperatura adecuada, buena ventilación y cuidados sanitarios.

Cosecha: Se realiza cuando los forrajes alcanzan los 25 cm de altura.

2.4. La imbibición en las semillas

El agua crea un flujo que entra en la semilla con una fuerza de 100 MPa. Este fenómeno de entrada de agua se denomina imbibición y es puramente físico. La cantidad de agua que entra depende de las distintas semillas, pero es por lo general muy alta. En los cereales es del 40 al 60 % del peso de la semilla seca y en algunas leguminosas, como la arveja, asciende al 180 %. La cantidad de agua absorbida por las diferentes especies depende del tipo de sustancias de reserva que contengan. El agua penetra a través de los tegumentos, la micrópila, la lente (estrofiolo), las paredes y las membranas celulares y se liga por uniones de hidrógeno a los coloides y otras sustancias eléctricamente cargadas. Al inicio el ingreso de agua es rápido. Las macromoléculas y estructuras se rehidratan y recuperan sus formas funcionales, durante este periodo, los solutos de bajo peso molecular pueden perderse desde las semillas (Courtis, 2013).

2.5. Proceso de etiolación de la semilla

La etiolación, se refiere al crecimiento de las plantas en la ausencia de luz. Sin embargo, también se refiere al crecimiento de las plantas en sombra intensa. Este término también se utiliza cuando la etiolación es usada en plantas madres, en forma localizada, como pre-tratamiento por estacas, en la cual brotes en activo crecimiento se desarrollan en ausencia de luz, generando internudos largos con tejido succulento y deficientes en clorofila la etiolación aumenta considerablemente

la sensibilidad del tallo a la auxina. Factores traslocados que han sido producidos lejos de un segmento etiolado, también aumentan el efecto de la etiolación. La etiolación induce cambios anatómicos en los tejidos del tallo que podrían incrementar la iniciación de primordios radicales, principalmente por las células parenquimáticas indiferenciadas y la falta de barreras mecánicas. La etiolación también ha sido asociada con cambios en las sustancias fenólicas, las que podrían actuar como cofactores auxínicos o inhibidores de la AIA oxidasa, pero de todos los trabajos realizados en etiolación éste es el menos sólido (Navas, 2003).

2.6. Temperatura y humedad

Para el desarrollo del forraje verde hidropónico el intervalo más adecuado de temperatura es entre 20 y 28 °C y una humedad relativa no inferior a 90 % (Vargas, 2008).

2.7. Hongos que afectan al forraje verde hidropónico

En el desarrollo de las plantas, forrajeras son susceptibles a diversos hongos, algunos de los cuales pueden producir micotoxinas. Estos hongos incluyen especies de *Aspergillus*, *Fusarium*, *penicillium*. Estos hongos pueden ser obtenidos en campo o en invernaderos y difieren según la plantación, el clima y la región geográfica (Lacey, 1989). Además, requieren una humedad relativa en el ambiente del 90 – 100 % y un contenido de agua en las semillas de 22 – 23 %, con un amplio rango de temperatura entre 0 y 30 °C, aunque algunos pueden crecer a 35 °C o más (Christensen, 1987).

2.7.1. Aspergillus

Los productos metabólicos de la invasión fúngica suelen ser muy tóxicos, tanto para el hombre como para los animales. También impide la germinación, cambios de color, calentamiento, amohosado, apelmazado y finalmente podredumbre de las semillas. La temperatura y actividad de agua para los aspergillus dependerá de la especie (Lacey, 1989).

La propagación por *Aspergillus* de los granos durante su almacenamiento, y otros hongos, se produce de forma explosiva cuando la humedad relativa ambiente intergranular se eleva por arriba del 70 %, sin que se desencadene aún el fenómeno de brotación. El rango de temperatura para el crecimiento va desde 0 -5 ° C para el *A. glaucus* hasta 50 - 55 °C para *A. fumigatus*, estando el óptimo entre 30-33 °C para la mayoría de las especies. Si unos granos con un contenido de humedad del 15 % no fueron afectados por *aspergillus* durante todo el año es porque la temperatura de almacenamiento estuvo por debajo de 5-10°C (Carillo, 2003).

2.7.2. Fusarium

Es un hongo que requiere una alta humedad relativa (90 %) y la temperatura del grano debe estar a 23 °C para su crecimiento por lo que muy raramente crece después de cosecha ya que las condiciones de almacén generalmente no son convenientes para su desarrollo. Incluso la rehumectación del grano seco tiene pocas probabilidades de crecimiento del hongo y de la producción de toxinas. (Ramírez, 2006).

La población de los distintos *Fusarium* que tiene un crecimiento moderado, tiene diversos colores (blanco, rosado pálido, rojo, anaranjado, púrpura, celeste, verde aceituna o pardo). El micelio es ralo o denso, ya sea algodonoso, como un fieltro o con una zona central de funículos, pero en algunos casos es limoso. Hay *Fusarium* con pionotos de color anaranjado. Los pigmentos que se difunden en el agar suelen variar de color o tono con el pH. Algunas especies presentan zonas concéntricas de distinta morfología macroscópica debido a la secuencia luz-oscuridad (Seifert 2001).

Los hongos micotóxicos de este género son hongos de campo, patógenos comunes de cereales, que causan enfermedades tales como destrozo principal del trigo, cebada y putrefacción en maíz. Existen varias especies de *fusarium* las cuales son un riesgo significativo por su producción de micotoxinas (Lawlor & Lynch, 2001).

2.7.3. Penicillium

Crece sobre los alimentos de origen vegetal o animal, si hallan la actividad del agua y los nutrientes necesarios, en los granos pueden contener *P. aurantiogriseum* aún antes de la cosecha (Coury 1987. Lacey 1989).

La contaminación más frecuente ocurre en los almacenes donde se mantienen las esporas desde una cosecha anterior, las especies de *Penicillium* producen varios metabolitos secundarios, entre ellos ácido ciclopiazónico, ácido penicilicos, cicloclorotina, citroviridina, citrinina, griseofulvina, ocratoxina A, patulina y penitrem A. todas estas sustancias son producidas por los hongos para afianzarse en su ambiente natural inhibiendo a otros organismos que compiten por el substrato. Las micotoxinas tienen estructura química diversa, su peso molecular es relativamente bajo y se difunden en el medio. Algunas existen en cantidades significativas en el ambiente natural como para influir en la salud del hombre y otros animales (Asero & Suquilanda, 2007).

2.8. Características del forraje verde hidropónico

El forraje verde hidropónico tiene una fuente rica de antioxidantes en forma de β -caroteno (precursor de la vitamina A), vitamina C, E y minerales relacionados, como el selenio y el Zn. Además, como los granos germinados son ricos en enzimas y los alimentos ricos en enzimas son generalmente de naturaleza alcalina, mejoran la productividad de los animales al neutralizar las condiciones ácidas y desarrollar un sistema inmunológico más fuerte, las enzimas de los granos germinados pueden eliminar los factores anti nutricionales como el ácido fítico (Shipard, 2005).

La producción de forraje por kg de semilla son 8 kg de forraje hidropónico a partir de 1 kg de semilla de cebada. La altura del FVH de los brotes fueron 11-17 cm en los días 8 y 9 después de la brotación de las plantas (Badran, 2017).

Al establecer una siembra de una sola especie, bajo condiciones controladas de luminosidad, temperatura, riego, entre otras, se impide que el forraje sea contaminado de fuentes externas, así como malezas o malas hierbas que dañen el

organismo de los animales, no hay excrementos de ningún tipo, no está pisoteado, y si se opta por un crecimiento sin fertilizantes químicos, el forraje se transforma en un producto netamente orgánico (Jiménez *et al.*, 2016).

Materia orgánica: Durante el crecimiento del forraje verde hidropónico, el contenido total de cenizas aumenta, a lo que resulta en un bajo contenido de MO en comparación con la semilla, ya que el almidón de la semilla se consume para respaldar el metabolismo y el requerimiento de energía de la planta en crecimiento (Naik, 2014).

Agua: Producir forraje verde bajo condiciones hidropónicas es un proceso altamente eficiente en términos de ahorro de agua, en comparación con producción a campo de forrajes verdes. El forraje verde hidropónico técnica de producción requiere sólo alrededor del 3-5 % del agua necesaria para producir la misma cantidad de forraje que se producía en el campo condición o 10-20 % del agua necesaria para producir la misma cantidad de cultivo en el cultivo del suelo (Al-Karaki *et al.*, 2012).

El FVH utiliza menos de 2 litros de agua para la producción de 1 kg de forraje verde hidropónico, 8 litros de agua se necesitan para producir 1 Kg de materia seca considerando un 25 % de FVH de materia seca. Esto es menos comparado con los 271 litros de agua / kg de materia seca en avena, maíz, etc., sembrados en campo abierto (Rodríguez *et al.*, 2003).

Cuadro 1. Gasto de agua para producción de FVH de distintas especies en condiciones de campo.

Especia	L de agua/kg materia seca
Avena	635
Cebada	521
Trigo	505
Maíz	372
Sorgo	271

Fuente: FAO, 2001.

Extracto de etéreo: Hay un aumento en el contenido de extracto de etéreo durante el crecimiento del forraje verde hidropónico lo que puede deberse al aumento de lípidos estructurales y producción de clorofila asociada al crecimiento de la planta (Peer *et al.*, 1985).

Proteína bruta: Durante la brotación, el contenido de proteína bruta (PC) aumenta, disminuye o no se altera, y los contenidos de nitrógeno no proteico y proteína soluble aumentan (Fazaeli *et al.*, 2012).

Vitaminas: La germinación de los granos de cereales generalmente mejora su valor vitamínico. Sin embargo, el aumento cuantitativo de cada vitamina puede ser pequeño y su importancia práctica para satisfacer los requisitos nutricionales de las dietas (Sneath *et al.*, 2003).

2.9. Charolas

Las charolas utilizadas en el FVH son de diversos materiales, el más destacado es el polietileno por su bajo costo y fácil limpieza, la colocación del número dependerá del tamaño de los estantes, dejando una pendiente del 2 %. La distancia de los

estan6es deberá ser de un metro para el paso y así facilitar la colocaci3n y extracci3n de las charolas (Valdez *et al.*, 2009).

2.10. Riego

El riego es primordial, es necesario que la semilla pregerminada cuente con suficiente agua de riego hasta su cosecha. El riego puede ser manual o automático, pero siempre deberá ser en la parte superior con el prop3sito que el abarque toda la charola para que la parte inferior quede húmeda, permitiendo la oxigenaci3n de las raíces (Valdez *et al.*, 2009).

Es importante que se controle la cantidad de agua y la repetici3n de los riegos, normalmente el intervalo es de 6 a 9 riegos con una duraci3n no mayor a 2 minutos, para mantener el grado de humedad y evitar el exceso de humedad que generen enfermedades (FAO, 2001).

Riego por nebulizaci3n En este sistema los aspersores que expulsan agua en forma de neblina sobre los cultivos que además de suministrar agua, contribuye a disminuir temperatura y elevar el nivel de humedad relativa. Además, proporciona un riego uniforme y el tamaño de la gota no ocasiona ningún daño a los cultivos y no compacta el sustrato. Este sistema de riego es excelente para el Forraje Verde Hidrop3nico, germinaci3n de semillas. Estos riegos estn diseñados para brindar una amplia gama de caudales y diámetros de mojados, brindando un riego eficiente en todas las fases de crecimiento de tus plantas y para ahorrar agua y fertilizantes.

Cuadro 2. Contenido de materia seca, cenizas, y proteína bruta del forraje verde hidrop3nico de cebada

	Materia seca (%)	Ceniza (g/kg MS)	Proteína bruta (%)
Semilla	100	21	10.1
4 días	96	22	10.8

6 días	91	31	13.7
8 días	84	53	14.9

Fuente: Morgan *et al.* (1992)

2.11. Forraje verde hidropónico de maíz

De acuerdo con Panduro (2008), el proceso para cultivo de maíz de hidroponía es el siguiente:

Se administra 1 kg de semilla en las charolas después de la siembra se coloca por encima de las semillas una capa de papel bond o papel blanco el cual se moja para promover una adecuada germinación. Posteriormente se tapa todo con un plástico negro para que las semillas estén en semi oscuridad en un tiempo que transcurre desde la siembra hasta su germinación.

Con esta técnica se le está proporcionando a las semillas condiciones de alta humedad y una óptima temperatura para favorecer la completa germinación y crecimiento inicial.

Una vez que se observa que la semilla haya germinado se le retira el plástico negro. El riego de las bandejas de crecimiento del Forraje Verde Hidropónico se realiza por aspersión. Por los primeros 4 días no se debe aplicar más de 0.5 litros de agua por m²/día hasta llegar a un promedio de 0.9 a 1.5 litros por metro cuadrado. La cantidad de agua de riego se dividirá en varias aplicaciones por día (6 veces) con una duración máxima de 2 minutos por riego.

Para determinar los coeficientes de digestibilidad del forraje en estudio se determinó su composición química proximal del forraje verde hidropónico de maíz con solución nutritiva y sin solución nutritiva como se muestra en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Composición química proximal del forraje verde hidropónico de maíz con solución nutritiva y sin solución nutritiva.

Nutrientes %	Forraje verde hidropónico	Forraje verde hidropónico
	De maíz (con solución)	De maíz (sin solución)
Humedad	42.13	46.46
Materia seca	57.87	53.54
Proteína	18.62	17.46
Fibra cruda	08.97	08.37
Extracto etéreo	04.42	04.26
Ceniza	13.51	06.37
Fosforo	00.51	00.48
Calcio	00.11	00.10

Fuente: Panduro (2008).

En el estudio de la digestibilidad del forraje verde hidropónico se determina los coeficientes de digestibilidad como los siguientes nutrientes: materia seca, proteína, extracto etéreo, fibra y coeficiente de variabilidad como se reportan en el siguiente Cuadro 4.

Cuadro 4. Coeficientes de digestibilidad (% MS)

Forraje verde hidropónico (con solución)	MS	MO	PT	EE	FC
Media	95.21 ^a	96.00 ^a	96.94 ^a	96.12 ^a	94.28 ^a

Desviación estándar	01.80	00.39	00.60	00.60	01.99
Coefficiente de variación %	01.89	00.41	00.63	00.63	02.11
Repeticiones	03	3	3	3	3
Forraje verde hidropónico (sin solución)	MS	MO	PT	EE	FC
Media	94.14 ^a	95.15 ^a	96.02 ^a	95.15 ^a	91.46 ^a
Desviación estándar	01.09	00.37	02.54	00.43	00.37
Coefficiente de variación	01.16	00.39	02.65	00.45	00.41
Repeticiones	3	3	3	3	3

MS = Materia seca; MO= Materia orgánica; PT= Proteína total; EE= Extracto etéreo; FC=Fibra cruda

Fuente: Panduro, 2008.

El porcentaje de la materia seca (MS) del forraje verde hidropónico con solución nutritiva y sin solución nutritiva se de 57,87 % y 53,54 % respectivamente como se observa en el Cuadro 3. Esta diferencia en el FVH de maíz con solución nutritiva incrementó su contenido de nutrientes tales como proteína, extracto etéreo, ceniza entre otros, lo cual se vio expresado en un ligero incremento de materia seca, este valor fue superior

2.12. Forraje verde hidropónico de avena

Los resultados de la calidad del FVH, de avena y trigo es un alimento apto y una alternativa para la dieta de los animales. Es importante considerar que estos

prefieren forrajes bajos en fibra y que por lo mismo el FVH podría implementarse no solo como un alimento complementario sino principal.

La avena ocupa los primeros lugares en importancia de cereales a nivel mundial, debido al uso para alimentación humana y animal principalmente. En este último se ha utilizado tanto en grano como en forraje ya sea en forma de heno o con animales en pastoreo. Dentro del grupo de los cereales, la avena es la principal especie cultivada en el mundo para la producción de forraje o grano, destinados a la alimentación de rumiantes. Su grano es de buena calidad, con un contenido de proteína de alto valor biológico, superior a otros cereales de grano pequeño (Rojas, 2009).

2.13. Forraje verde hidropónico de lenteja

De acuerdo con Rezabala (2022), se encontro informacion del FVH de lenteja por lo tanto se recopilaron los siguientes datos de un proyecto de investigacion:

Evaluación de tres variedades de semillas como; el maíz (*Zea mays*) la lenteja (*Lens culinaris L.*) y el haba (*Vicia faba*) cada una medición de 24-36-48 horas indicándonos que los tratamientos obtuvieron pesos similares, no obstante, no influencia en el peso un oreado superior a 24 horas como se muestra en el Cuadro 5.

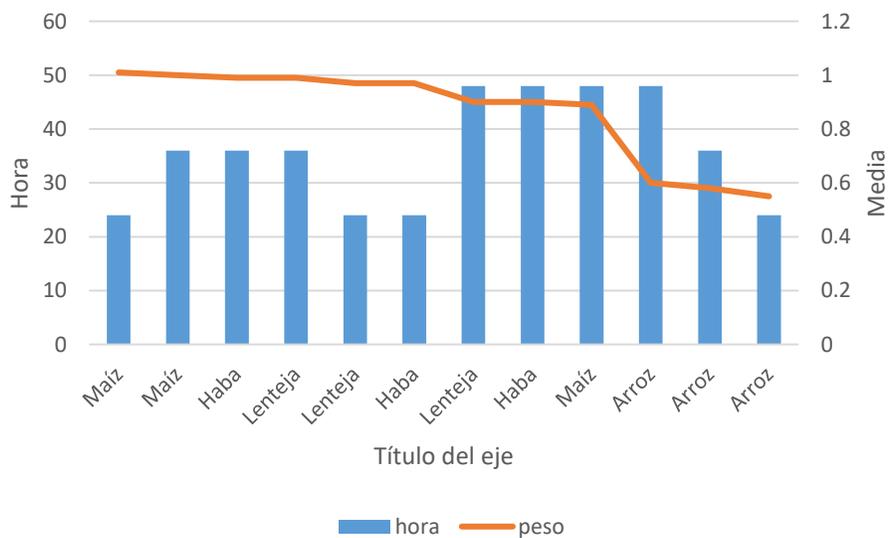
Cuadro 5. Promedios en peso de biomasa vegetal (kg)

Variedad	Hora	Media	
Maíz	24	1.01	A
Maíz	36	1.00	A
Haba	36	0.99	A
Lenteja	36	0.99	A
Lenteja	24	0.97	A

Haba	24	0.97	A
Lenteja	48	00.9	A
Haba	48	00.9	A
Maíz	48	0.89	A
Arroz	48	0.60	B
Arroz	36	0.58	B
Arroz	24	0.55	B
Error	0.0478	132	

Fuente: Rezabala (2022).

El peso en biomasa vegetal donde el trabajo expresó nivel de diferencia de peso en la última toma de datos en los cultivos de maíz (*Zea Mays*) lenteja (*Lens culinaris L*) y haba (*Vicia faba*) como se muestra en el Figura 1.



Grafica 1: Comparación de peso final en biomasa vegetal.

Fuente: Rezabala (2022).

La longitud de raíz hay una diferencia, la que tuvo mayor tamaño es la de maíz (*Zea Mays*) con diferentes tipos de cultivos como se muestra en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Promedios en longitud de raíz (cm)

variedad	Hora	Media	
Maíz	24	16.16	A
Maíz	36	15.00	A
Maíz	48	13.95	AB
Haba	24	11.54	ABC
Haba	48	11.16	ABC
Haba	36	10.91	ABC
Lenteja	24	8.280	BC
Lenteja	36	7.780	BC
Lenteja	48	7.660	BC
Arroz	48	6.630	C
Arroz	24	5.710	C
Arroz	36	5.600	C

Fuente: Rezabala (2022).

La altura de planta es mayo la del forraje de maíz (*Zea mays*) a diferencia de la lenteja (*Lens culinaris L*) y el haba (*Vicia faba*) quienes obtuvieron valores por debajo de la media obtenida, así como se muestra en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Promedios en altura de planta (cm)

Variedad	Hora	Media
----------	------	-------

Maíz	36	15.87	A
Maíz	24	14.84	AB
Maíz	48	14.81	AB
Haba	24	14.10	ABC
Lenteja	48	13.47	ABC
Lenteja	36	13.43	ABC
Haba	36	13.37	ABC
Lenteja	24	12.63	ABC
Haba	48	12.62	ABC
Arroz	48	6.030	BC
Arroz	36	5.810	BC
Arroz	24	4.880	C

Fuente: Rezabala (2022).

El forraje del haba (*Vicia faba*) en los tres tratamientos sometidos obtuvo un diámetro en tallo de 3.19 mm, Con respecto a los demás forrajes de maíz y lenteja que tuvo un diámetro menor de tallo como se muestra en el Cuadro 8.

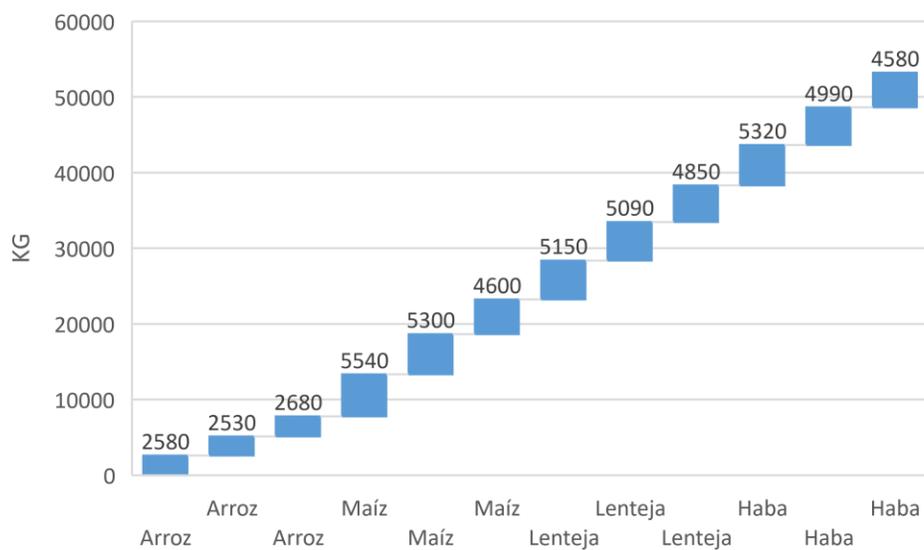
Cuadro 8. Promedios en diámetro de tallo (mm)

Variedad	Hora	Media	
Haba	36	3.19	A
Haba	24	3.18	A
Haba	48	3.09	A
Maíz	24	2.56	B

Maíz	48	2.54	B
Maíz	36	2.50	B
Lenteja	48	1.00	C
Lenteja	36	1.00	C
Lenteja	24	1.00	C
Arroz	48	0.73	CD
Arroz	36	0.73	CD
Arroz	24	0.30	D

Fuente: Rezabala (2022).

En la Figura 2 nos muestra que el cultivo del arroz que más peso obtuvo fue sometido a 48 horas con un peso en libras de 2.680 kg. En el maíz fue sometido a 24 horas antes de la siembra, obtuvo el mejor peso final de 5.540 kg, la lenteja en sometido a 24 horas logro un peso final de 5.150 kg. El Haba sometido a 24 horas obtuvo el mejor peso final de 5.320 kg como se muestra en el Figura 2.



Grafica 2: Rendimientos en kilogramos de FVH.

Fuente: Rezabala (2022).

2.14. Tiempo de remojo de semillas

El tiempo de remojo afecta el porcentaje de germinación de semillas de producción de FVH siendo favorable para la germinación el remojo durante 12 horas. Los tratamientos en condición de producción se notaron un bajo porcentaje de germinación, en relación al 92.7 % de germinación obtenido en condiciones controladas (Fuentes *et al.*, 2011).

Diversas evaluaciones de germinación de FVH han reportado bajos porcentajes de germinación asociados al manejo del agua de riego , señalando que el uso deficiente por exceso es determinante en los resultados de germinación (Bórquez, 1992).

Las restricciones de oxígeno en el proceso de germinación implican un atraso o paralización en el desarrollo de plantas, incluso anomalías como ausencia de raíces (Phaneendranath, 1980).

El tiempo de remojo en la semilla tiene diferentes resultados así como un tiempo de remojo de 48 y 0 horas tienen una germinación similar donde están con una mayor lentitud, así como un tiempo de remojo de 12 y 24 horas son similares y con una mayor rapidez de germinación por lo cual se recomienda un tiempo de remojo de 12 horas ahorrando tiempo para tener una producción más rápida así como se muestra en el Cuadro 9 (Fuentes *et al.*, 2011).

Cuadro 9. Porcentaje de germinación y tasa media de germinación para diferentes tiempos de remojo de semillas de avena

Tiempo (h)	Germinación (%)	TGM
0	15.8 b	4.90 b

12	36.2 a	20.7 a
24	35.3 a	19.3 a
48	19.8 b	11.4 b

h = Horas; TGM= Tasa de germinación media.

Fuente: Fuentes *et al.* (2011).

2.15. Dosis de semilla

La calidad del FVH de avena utilizada en el estudio fue calificada como buena. La composición química con base en materia seca, fue similar a la del CC en los parámetros de proteína bruta (PB) y fibra cruda (FC). Por su parte, el contenido de grasa en el FVH fue superior al del CC. No obstante, lo anterior, el contenido estimado de energía digestible (Vargas-Rodríguez) (MJ/kg MS), fue similar para ambos tipos de alimentos (12.8 MJ/kg MS). Además, tanto el concentrado comercial como el F,H presentaron una composición química dentro del rango de requerimientos nutricionales como se muestra en el Cuadro 10 (Fuentes *et al.*, 2011).

Cuadro 10. Composición química de FVH de avena y CC

Parámetro	FVH	CC
Materia seca %	36.9	89.0
Proteína bruta %	14.8	15.0
Fibra cruda %	18.8	19.0
Grasas%	6.60	3.00
Cenizas %	5.10	7.00

FVH= Forraje verde hidropónico; CC= Concentrado comercial.

Fuente: Fuentes *et al.* (2011).

2.16. Engorda de ovinos con forraje verde hidropónico

De acuerdo con Rodríguez *et al.*, (2017) donde realizo una engorda de ovinos con forraje verde donde se le administro en diferentes porcentajes de MS de FVH lo cual el T49 presento mayores ganancia de peso, en el resto de los tratamientos no tuvo diferencias significativas , pero fueron similares entre ellos como se muestra en el Cuadro 11.

El Cuadro 11, muestra los consumos de materia seca en kilogramos por cordero por día, siendo el de mayor consumo el tratamiento 49 debido a que al aumentar la cantidad de FVH aumenta el consumo de materia seca (Rodríguez *et al.*, 2017)

Cuadro 11. Perfil nutricional de las dietas en base a porcentaje de materia seca ofrecidos a corderos tres meses post destete

	T23%	T29%	T40%	T49%	T55%
Forraje	69.40	67.60	79.40	85.70	92.40
PC	12.30	13.20	13.00	13.30	12.80
NDT	63.00	65.20	64.00	65.00	63.00

PC= Proteína cruda; NDT= Nutrientes digestibles totales

Fuente: Rodríguez *et al.* (2017).

III. JUSTIFICACIÓN

El forraje verde hidropónico (FVH) es una tecnología que se basa en la germinación y crecimiento de semillas con una alta digestibilidad, calidad nutricional y apto para la alimentación de los ovinos. Para el manejo de esta estrategia, no se necesita grandes extensiones de tierra y se produce 10 veces más forraje que en un sistema de pastoreo, con un ahorro de agua y siempre hay producción en durante el periodo de secas.

La zona de estudio, caracterizada por su potencial productivo carne de ovino, es una opción para la implementación del germinado en la alimentación de ovinos, que puede disminuir los costos de producción y elevar la calidad de la carne, Además el sistema de producción cumple con las características de desarrollo sustentable, desde un enfoque económico, ambiental y social y el equilibrio entre estos. Está en el triángulo de Möbius, lo cual indica que se debe encontrar un equilibrio entre los tres.

Con el sistema de producción de FVH pude incrementar el valor nutricional por kg de materia seca, con el fin de alimentar los ovinos, a la vez que compara la producción de tres semillas y valorar su uso futuro. Por otra parte, en el ovino se espera mayor CA y acumulación de musculo de los ovinos sometidos a los tratamientos

Finalmente, el valor agregado de esta propuesta es el manejo sustentable que se hará en el sistema de producción y dará cuenta del cuidado del ambiente, de la economía familiar y de aspectos sociales para el arraigo de familias que migran a otros municipios, ciudades, estado o país. Pero sobre todo en la mejora de la alimentación de ovinos al destete, la ganancia de peso y en la economía de UP.

IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

El Estado de México es el más importante productor de ovinos, pues concentra el 30 por ciento del inventario nacional. Los corderos para abasto y el pie de cría, son los productos principales de las unidades de producción. En este contexto la región norte del estado de México, integrada por 14 municipios, contribuye con el 37.1 % de la producción estatal de carne de ovino y con el 44.9 % de la producción de lana. Esta actividad agropecuaria tiene una fuerte influencia social, sobre todo en UP de traspatio o familiar, misma que se combina o complementa con otras actividades económicas, principalmente el comercio y los servicios. Para este tipo de UP, la procedencia de la alimentación es fundamental, situación que influye significativamente en el costo de producción de un cordero y en general se considera que mientras para un sistema estabulado, el costo por concepto de alimentación supone el 100%, el de un sistema de pastoreo es de 60 % y para un sistema que combine agricultura con ovinos sería del 80%. Bajo este sentido, incorporar estrategias de alimentación novedosas y sustentables, puede disminuir los costos de producción y la obtención de carne o leche de mejor calidad. Asimismo, la apertura a nuevos mercados para satisfacer las necesidades de alimentos de una sociedad cambiante. El forraje verde hidropónico es una alternativa para UP con baja disponibilidad de terreno y que mantienen a los ovinos en estabulación. Además, se beneficia el ambiente en el que se desarrolló la ovina cultura y pueden incrementar la producción de leche y carne y la calidad de estos productos.

V. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Qué productividad de FVH de avena, maíz y lenteja es mayor en 7 y 14 días en distintos periodos?

VI. HIPÓTESIS

El forraje verde hidropónico de maíz, avena y lenteja producidos desde un enfoque sustentable, incrementa su productividad en 7 y 14 días

VII. OBJETIVOS

7.1. General

Evaluar la producción (peso por charola, tamaño de la raíz, planta, de 0, 7 y 14 días) de forraje verde hidropónico de maíz, avena y lenteja en invernadero.

7.2. Especifico

Medir la producción de forraje verde hidropónico de maíz, avena y lenteja

Analizar el comportamiento de las tres semillas en el momento de la siembra, la producción de FVH a 7 y 14 días de siembra.

Recomendar su utilización en unidades de producción en función de la productividad de FVH.

VIII. MATERIALES Y MÉTODOS

8.1. Sitio experimental

El experimento se realizó en Oztolotepec estado de México que se encuentra, entre las coordenadas 19°22'27" al 19°30'45" latitud norte y 90°24'30" al 90°38'05" longitud oeste, En a la comunidad de Santa Ana Jilotzingo en las coordenadas: Longitud -99.486111, Latitud 19.453889. La comunidad pertenece a una importante región hidrológica y presenta tres ríos: Ajolotes, Bernal y Valdés. Presenta una precipitación pluvial entre 600 a 700 mm. al año y el clima es semifrío subhúmedo. El verano es largo y la temperatura más elevada se registra antes del solsticio de verano (Rivas et al., 2013).

8.2. Instalación de infraestructura para la producción de forraje verde hidropónico

Se realizó una estructura de madera y metal cubierta de plástico de invernadero (Figura 1) de un calibre de 720 color blanco con un tamaño de 6m de largo y 2.5 de ancho con 30 % se sombra



Figura 1: Invernadero donde se realizó el experimento.

8.3. Anaquel de FVH

Los anaqueles fueron fabricados con madera dividido en 3 secciones (Figura 2) cada sección con una capacidad de 20 charolas.

Los anaqueles tuvieron una medida de 1.70 m de altura, 80 cm de ancho y una separación de 63 cm en el soporte de las charolas que permitió la entrada de luz y ventilación, esto también para evitar el contacto de los hongos causado por la madera. Cada sección de charolas tuvo una inclinación de 10 cm para el escurrimiento de agua e evitar la estancación de agua y la generación de hongos.



Figura 2: anaqueles para las charolas del FVH.

8.4. Charolas

Se utilizaron 42 charolas de plástico (Figura 3) de 60cm de largo 40 de ancho y 5 cm de alto para el sembrado de las semillas. Se manejo 1 charola de cada semilla diario para obtener las producciones de forraje de cada semilla.



Figura 3: charolas para el FVH.

8.5. Sistema de riego

Para el sistema de riego se instaló una tubería principal (Figura 4) de PVC hidráulico de 1 ½ pulgadas, de estas salía una instalación secundaria (Figura 5) que va en la parte superior de las charolas para su riego en esta se utilizó una manguera de polietileno “XBS 700 ½ “de un diámetro exterior 17.8 mm, interior 15.6 mm, se utilizó un Nebulizador (MICRO SPRAY JET DE 360° con un radio de mojado de 0.5 a 0.78 m, con un caudal: 91 a 127 litros por hora) para 2 charolas ya que es la mejor forma de riego para hidratar la semilla.



Figura 4: Tubería principal.



Figura 5: Tubería secundaria

Se colocó un tinaco de 1,100 litros (Figura 6) de agua para el almacenaje de agua



Figura 6: Tinaco 1100 litros.

Bomba de agua conectado al sistema de riego (Figura 7).



Figura 7: Bomba de agua para el riego.

Temporizador digital STEREN (Figura 8) para el riego automática de las charolas



Figura 8: Temporizador STEREN.

Termómetro ambiental digital STEREN (Figura 9)



Figura 9: Termómetro STEREN.

8.6. Periodo de evaluación

El periodo de evaluación los experimentos de FVH de maíz, lenteja y avena se realizó en los meses mayo-junio en donde se registró la productividad del FVH en 3 periodos con una durabilidad de 14 días cada periodo obteniendo 42 muestras de cada semilla.

8.7. Producción de forraje verde hidropónico (FVH)

8.7.1. Pesaje de la semilla

Para pesar las semillas de avena (Figura 10), lenteja (Figura 11) y maíz (figura 12) se utilizó una báscula TRUPER "MASTER 40" con capacidad de 1 a 5000 gr, la báscula tiene un recipiente plástico en donde sirvió de apoyó para el pesado de la semilla. La semilla se pesaba seca, húmeda y al momento de sembrar para ver la diferencia en los distintos estados de la semilla.



Figura 10: Peso seco de Avena.



Figura 11: Peso seco de la Lenteja.



Figura 12: Peso seco de Maíz.

8.7.2. Lavado de la semilla

Para el lavado de la semilla (Figura 13) se utilizaron 9 cubetas de 15 litros en donde después del pesaje de la semilla se ponía en su respectiva cubeta, pasaba por 2 o más lavados hasta que el agua saliera lo más limpia posible.



Figura 13: Lavado de la semilla.

8.7.3. Desinfección de la semilla

Para la desinfección de la semilla (Figura 14), en cubetas con la semilla se llenó con el agua necesaria y se le suministraba Calidra (una cucharada sopera por litro de agua) esto dejándose remojar por 12 horas.



Figura 14: Desinfección de las semillas.

8.7.4. Etiolación de la semilla

Después de haber transcurrido las 12 horas de remojo, la semilla se pasa a coladores (Figura 15) y se les da un lavado con pura agua para retirar el exceso de Calidra posteriormente se dejaba 4 horas escurriendo para que se retire el exceso de agua. En unas cubetas limpias se ponen las semillas y pasan al área oscura (Figura 16) donde permanecerán durante 72 horas para la etiolación.



Figura 15: Esgurrimiento de las semillas.



Figura 16: Área oscura.

8.7.5. Lavado y desinfección de las charolas

Las charolas se lavaron con una combinación de jabón roma y cloro (Figura 17) retirando todas las impurezas que presentaran estas, posteriormente para su desinfección se enjuagaron con una solución de agua y agua oxigenada (5ml por litro de agua), para terminar, se dejaban 2 horas en luz del sol



Figura 17: Lavado y desinfección de las charolas.

8.7.6. Riegos

Se riego de manera automática con Nebulizadores MICRO SPRAY JET DE 360° (Figura 18) 2 veces al día 8:00 am y 6:00 pm con una duración de 40 segundos esto siendo suficiente para el desarrollo del forraje verde hidropónico, al aumentar los riegos o el tiempo de riego se comenzaban a presentar hongos o pudrición.



Figura 18: Lavado y desinfección de las charolas.

8.7.7. Temperatura

Para el registro de la temperatura se utilizó un termómetro digital STEREN (Figura 9), en donde se registró a las 8:00 am, 2:00 pm y 8:pm

8.8. Variables evaluadas

Las muestras que se extrajeron de las charolas de 7 y 14 días fueron de forma de zigzagueo donde se tomaban 10 muestras por charolas de avena (Figura 19), lenteja (Figura 20), y maíz (Figura 21), obteniendo 60 muestras diarias, 840 muestras por periodo y un total de 2,520 muestras esto analizadas por los 3 periodos que se evaluó el experimento



Figura 19: Muestras de lenteja 14 días.



Figura 20: Muestras de maíz 14 días.



Figura 21: Muestras de avena 14 días.

8.8.1 Raíz

Para la evaluación de la raíz se realizó diario durante el tiempo del experimento, se seleccionaban las charolas 7 y 14 días, al extraer las 10 muestras de cada charola se midió la raíz en centímetros con un vernier de acero PRETUL (Figura 22), en la parte emergente hasta la punta de la raíz manipulando las muestras con cuidado para dañar lo menos posible. Los resultados de cada muestra se sumaron y se sacó la media (\bar{X}) de cada charola, este es el dato obtenido que se anotaba en los registros.



Figura 22: Medición de la raíz.

8.8.2. Plántula

Para la evaluación de la plántula se realizó diario durante el tiempo del experimento, se seleccionaban las charolas 7 días y 14 días, al extraer las 10 muestras de cada charola se midió la plántula en centímetros con un vernier de acero PRETUL (Figura 23), desde la base del tallo hasta la punta de la hoja, considerando que el coleóptilo este presente en la semilla más en el maíz ya que es el que tuvo un crecimiento lento, se manipulo las muestras con cuidado para dañar lo menos posible. Los resultados de cada muestra se sumaron y se sacó la media (\bar{X}) de cada charola, este es el dato obtenido que se anotaba en los registros



Figura 23: Medición de la plántula.

8.8.3. Productividad del FVH

Para el pesado del forraje verde hidropónico se utilizó una báscula TRUPER “MASTER 40” (Figura 24), en donde se pesaba a las 9:00 pm primero una charola vacía y después se pesaban las charolas de 7 y 14 días de cada semilla registrando el peso obtenido.



Figura 24: Pesaje de la semilla.

8.9. Diseño experimental para análisis de variables del forraje

Para el análisis de la información se utilizará un diseño de Cuadro latino 3x3 repetido. Este diseño es apropiado cuando es necesario controlar dos fuentes de variabilidad. En dichos diseños el número de niveles del factor principal tiene que coincidir con el número de niveles de las dos variables de bloque o factores secundarios y además hay que suponer que no existe interacción entre ninguna pareja de factores (Luis, 2016).

8.9.1. Cuadrado latino

En este diseño la restricción para controlar la variabilidad está en dos direcciones, hileras y columnas. Los tratamientos se arreglan en bloques de dos sentidos y cada tratamiento aparece una vez en cada hilera y columna. El análisis de los datos puede eliminar del error la variabilidad debido a hilera y columna (Panduro-Alegría 2008). Es igual al número de repeticiones. En el caso del presente trabajo, se analizarán tres tratamientos, tres periodos que tendrán una duración de 14 días cada uno, monitoreando las variables de 7 y 14 días de cada semilla para Tx como se muestra en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Arreglo aleatorio de tratamientos en un diseño de Cuadro Latino 3x3 repetido.

A	B	C
----------	----------	----------

B	C	A
C	A	B

8.9.2. Modelo estadístico

$$Y_{ij} = \mu + T_i + C_j + H_k + \varepsilon_{ijk}$$

Donde

Y_{ijk} = Son las observaciones obtenidas la j-ésima vez que se repite el experimento, con el tratamiento i-ésimo.

μ = Media general

T_i = Efecto del tratamiento i

C_j = Efecto de la columna j

H_k Efecto de la Hilera K

ε_{ijk} = Efecto del error experimental que se presenta al efectuar la j-ésima observación del i-ésimo tratamiento (Luis, 2016).

En función de lo anterior los tratamientos serán los siguientes:

Tx1 (A). Forraje hidropónico de maíz.

Tx2 (B). Forraje hidropónico de avena.

Tx3 (C). Forraje hidropónico de lenteja.

IX. RESULTADOS

9.1. Peso húmedo

9.1.1. Semilla

En relación al peso húmedo de las semillas, se observaron diferencias estadísticas significativas ($P<0.05$) entre tratamientos. La semilla de maíz fue la que mayor peso húmedo presentó, debido a la mayor cantidad de semilla y por el volumen de absorción de agua. Le siguió la avena, mientras que la lenteja fue la de menor peso húmedo, como se muestra en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Efecto del tratamiento sobre el peso húmedo por semilla

Semilla	Media	N	E.E
Avena	638.50 ^a	42	8.90
Lenteja	548.86 ^b	42	8.90
Maíz	943.07 ^c	42	8.90

Literales en una misma columna, son diferentes entre sí ($P<0.05$).

9.1.2. Periodo

En relación al peso húmedo con los periodos, se observaron diferencias estadísticas significativas ($P<0.05$). En el periodo 3 se obtuvo un peso húmedo mayor siendo estadísticamente igual que el periodo 2 y este, también fue estadísticamente igual con el periodo 1, siendo este el que obtuvo menor peso húmedo como lo muestra el Cuadro 14.

Cuadro 14. Efecto del tratamiento sobre el peso húmedo por periodo

Periodo	Media	N	E.E
1	638.50 ^a	42	8.90

2	655.86 ^{ab}	42	8.90
3	681.90 ^b	42	8.90

Literales en una misma columna, son diferentes entre sí ($P < 0.05$).

9.1.3. Interacción semilla/periodo

En relación al peso húmedo en la interacción semilla/periodo, se observaron diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$). El maíz en los periodos 1,2,3 obtuvieron el mayor peso húmedo, le siguió la lenteja en los periodos 1,2,3 y la avena obtuvo el menor peso húmedo como lo muestra el Cuadro 15.

Cuadro 15. Efecto del tratamiento sobre el peso húmedo en la interacción semilla/periodo

Semilla	Periodo	Media	N	E.E
Avena	1	449.71 ^a	14	15.41
Avena	2	485.21 ^{ab}	14	15.41
Avena	3	520.43 ^{bc}	14	15.41
Lenteja	1	528.79 ^{bc}	14	15.41
Lenteja	2	550.86 ^{bc}	14	15.41
Lenteja	3	564.57 ^c	14	15.41
Maíz	1	917.79 ^d	14	15.41
Maíz	2	937.00 ^d	14	15.41
Maíz	3	974.43 ^d	14	15.41

Literales en una misma columna, son diferentes entre sí ($P < 0.05$).

9.2. Peso al sembrar

9.2.1. Semilla

En relación al peso de las semillas en el momento de sembrar, se observaron diferencias estadísticas significativas ($P<0.05$). El maíz fue la que mayor peso húmedo presentó, siguió de la lenteja, mientras que la avena fue la de menor peso de siembra presentó, como se muestra en el Cuadro 16.

Cuadro 16. Efecto del tratamiento sobre el peso al sembrar por semilla

Semilla	Media	N	E.E
Avena	435.98 ^a	42	8.90
Lenteja	482.36 ^b	42	8.90
Maíz	899.05 ^c	42	8.90

Literales en una misma columna, son diferentes entre sí ($P<0.05$).

9.2.2. Periodo

En relación al peso húmedo con los periodos, se observaron diferencias estadísticas significativas ($P<0.05$). En el periodo 2 se obtuvo un mayor peso al sembrar. Le siguen los periodos 1 y 3 respectivamente que son estadísticamente iguales como lo muestra el Cuadro 17.

Cuadro 17. Efecto del tratamiento sobre el peso al sembrar por periodo

Periodo	Media	N	E.E
3	581.55 ^a	42	8.90
1	581.55 ^a	42	8.90
2	652.19 ^b	42	8.90

Literales en una misma columna, son diferentes entre sí ($P<0.05$).

9.2.3. Interacción semilla/periodo

En relación al peso húmedo en la interacción semilla/periodo, se observaron diferencias estadísticas significativas ($P<0.05$). El maíz en los periodos 1, 2 y 3 obtuvo el mayor peso al sembrar. Le sigue la avena en el periodo 2 y la lenteja en el periodo 2. En el resto de interacciones, se observó el menor peso al sembrar ($P>0.05$) como se muestra en Cuadro 18.

Cuadro 18. Efecto del tratamiento sobre el peso al sembrar en la interacción semilla/periodo

Semilla	Periodo	Media	N	E.E
Avena	3	395.71 ^a	14	15.41
Avena	1	406.21 ^{ab}	14	15.41
Lenteja	1	459.71 ^{abc}	14	15.41
Lenteja	3	464.86 ^{bc}	14	15.41
Avena	2	506.00 ^c	14	15.41
Lenteja	2	516.50 ^c	14	15.41
Maíz	1	879.00 ^d	14	15.41
Maíz	3	884.07 ^d	14	15.41
Maíz	2	934.07 ^d	14	15.41

Literales en una misma columna, son diferentes entre sí ($P<0.05$).

9.3. Raíz

9.3.1. Tamaño a 7 días de la raíz

9.3.1.1. Semilla

En relación al tamaño de raíz a 7 días de crecimiento, se observaron diferencias estadísticas significativas ($P<0.05$). La avena fue la que mayor tamaño de raíz presentó. Le siguió el maíz, mientras que la lenteja presentó raíces de menor tamaño, como se muestra en el Cuadro 19.

Cuadro 19. Efecto del tratamiento sobre el tamaño de raíz a 7 días por semilla

Semilla	Media	N	E.E
Lenteja	3.87 ^a	42	0.33
Maíz	5.07 ^b	42	0.33
Avena	7.62 ^c	42	0.33

Literales en una misma columna, son diferentes entre sí ($P<0.05$).

9.3.1.2. Periodo

En relación al tamaño de la raíz a 7 días de crecimiento en los periodos, se observaron diferencias estadísticas significativas ($P<0.05$). En el periodo 3 se presentó mayor crecimiento siendo estadísticamente igual que en el periodo 2, mismo que fue también estadísticamente igual con el periodo 1, en el que se obtuvo el menor tamaño de la raíz como muestra el Cuadro 20.

Cuadro 20. Efecto del tratamiento sobre el tamaño de raíz a 7 días por periodo

Periodo	Media	N	E. E
1	4.98 ^a	42	0.33
2	5.51 ^{ab}	42	0.33

3

6.09^b

42

0.33

Literales en una misma columna, son diferentes entre sí ($P < 0.05$).

9.3.1.3. Interacción semilla/periodo

En relación al tamaño de la raíz a 7 días de crecimiento en la interacción semilla/periodo, se observaron diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$). La avena, en los periodos 2, 3 y el maíz en el periodo 1 son los que obtuvieron un mayor crecimiento de raíz. Le sigue la Avena en el periodo 1; el maíz en el periodo 2 y 3. En el resto de las interacciones se observó un tamaño menor ($P > 0.05$) como se muestra en el Cuadro 21.

Cuadro 21. Efecto del tratamiento sobre el tamaño de raíz a 7 días en la interacción semilla/periodo

Semilla	Periodo	Media	N	E.E
Lenteja	1	3.54 ^a	14	0.57
Lenteja	2	3.83 ^{ab}	14	0.57
Maíz	1	4.19 ^{ab}	14	0.57
Lenteja	3	4.25 ^{ab}	14	0.57
Maíz	3	4.84 ^{abc}	14	0.57
Maíz	2	6.19 ^{bcd}	14	0.57
Avena	1	7.19 ^{cd}	14	0.57
Avena	3	7.43 ^d	14	0.57
Avena	2	8.24 ^d	14	0.57

Literales en una misma columna, son diferentes entre sí ($P < 0.05$).

9.3.2. Tamaño a 14 días de la raíz

9.3.2.1. Semilla

En relación al tamaño de raíz a 14 días en las semillas, no se observaron diferencias estadísticas significativas ($P<0.05$). Como se muestra en el Cuadro 22.

Cuadro 22. Efecto del tratamiento sobre el tamaño de raíz a 14 días por semilla

Semilla	Media	N	E. E
Lenteja	5.66 ^a	42	9.31
Maíz	11.70 ^a	42	9.31
Avena	26.27 ^a	42	9.31

Literales en una misma columna, son diferentes entre sí ($P<0.05$).

9.3.2.2. Periodo

En relación al tamaño de raíz a 14 días en las semillas, no se observaron diferencias estadísticas significativas ($P<0.05$). Como se muestra en el Cuadro 23.

Cuadro 23. Efecto del tratamiento sobre el tamaño de raíz a 14 días por periodo

Periodo	Media	N	E. E
1	7.51 ^a	9.31	42
3	9.21 ^a	9.31	42
2	26.91 ^a	9.31	42

Literales en una misma columna, son diferentes entre sí ($P<0.05$).

9.3.2.3. Interacción semilla/periodo

En relación al tamaño de raíz a 14 días en la semilla/periodos, no se observaron diferencias estadísticas significativas ($P<0.05$). Como se muestra en el Cuadro 24.

Cuadro 24. Efecto del tratamiento sobre el tamaño de raíz a 14 días en la interacción semilla/periodo

Semilla	Periodo	Media	N	E.E
Lenteja	1	4.59 ^a	14	16.33
Lenteja	3	5.62 ^a	14	16.33
Lenteja	2	6.76 ^a	14	16.33
Avena	1	8.40 ^a	14	16.33
Maíz	1	9.56 ^a	14	16.33
Avena	3	10.78 ^a	14	16.33
Maíz	3	11.22 ^a	14	16.33
Maíz	2	14.33 ^a	14	16.33
Avena	2	19.64 ^a	14	16.33

Literales en una misma columna, son diferentes entre sí ($P<0.05$).

9.4. Plántula

9.4.1. Tamaño a 7 días de la plántula

9.4.1.1. Semilla

En relación al tamaño de la plántula a 7 días de crecimiento, se observaron diferencias estadísticas significativas ($P<0.05$). La avena obtuvo un mayor tamaño. Le siguen la lenteja y maíz que son estadísticamente iguales como lo muestra el Cuadro 25.

Cuadro 25. Efecto del tratamiento sobre el tamaño de plántula a 7 días por semilla

Semilla	Media	N	E. E
Maíz	3.35 ^a	42	0.24
Lenteja	3.90 ^a	42	0.24
Avena	7.26 ^b	42	0.24

Literales en una misma columna, son diferentes entre sí ($P<0.05$).

9.4.1.2. Periodo

En relación al tamaño de la plántula a 7 días de crecimiento en los periodos, se observaron diferencias estadísticas significativas ($P<0.05$). En el periodo 3 obtuvo un mayor tamaño. Le siguen a los periodos 1 y 2 que son estadísticamente iguales como lo muestra el Cuadro 26.

Cuadro 26. Efecto del tratamiento sobre el tamaño de plántula a 7 días por periodo

Periodo	Media	N	E. E
1	4.45 ^a	42	0.24
2	4.58 ^a	42	0.24
3	5.48 ^b	42	0.24

Literales en una misma columna, son diferentes entre sí ($P<0.05$).

9.4.1.3. Interacción semilla/periodo

En relación al tamaño de la plántula a 7 días de crecimiento en la interacción semilla/periodo, se observaron diferencias estadísticas significativas ($P<0.05$). La

avena, en los periodos 1,2,3 las que obtuvieron mayor tamaño de la plántula de 7 días. Le sigue la lenteja y maíz en el resto de las interacciones obtuvieron un tamaño menor ($P>0.05$) siendo estadísticamente iguales como muestra el Cuadro 27.

Cuadro 27. Efecto del tratamiento sobre el tamaño de plántula a 7 días en la interacción semilla/periodo

Semilla	Periodo	Media	N	E.E
Maíz	1	2.74 ^a	14	0.42
Maíz	3	3.29 ^a	14	0.42
Lenteja	3	3.35 ^a	14	0.42
Lenteja	1	3.85 ^a	14	0.42
Maíz	2	4.02 ^a	14	0.42
Lenteja	2	4.49 ^a	14	0.42
Avena	1	6.77 ^b	14	0.42
Avena	3	7.09 ^b	14	0.42
Avena	2	7.93 ^b	14	0.42

Literales en una misma columna, son diferentes entre sí ($P<0.05$).

9.4.2. Tamaño a 14 días de la plantula

9.4.2.1. Semilla

En relación al tamaño de la plántula a 14 días de las semillas, se observaron diferencias estadísticas significativas ($P<0.05$). La avena fue la que mayor tamaño de plántula presentó. Le siguió el maíz, mientras que la lenteja fue la que presento menor tamaño de la plántula, como se muestra en el Cuadro 28.

Cuadro 28. Efecto del tratamiento sobre el tamaño de plántula a 14 días por semilla

Semilla	Media	N	E. E
Lenteja	6.99 ^a	42	0.32
Maíz	11.45 ^b	42	0.32
Avena	15.91 ^c	42	0.32

Literales en una misma columna, son diferentes entre sí ($P<0.05$).

9.4.2.2. Periodo

En relación al tamaño de la plántula a 14 días en los periodos, no se observaron diferencias estadísticas significativas ($P<0.05$). Como se muestra en el Cuadro 29.

Cuadro 29. Efecto del tratamiento sobre el tamaño de plántula a 14 días por periodo

Periodo	Media	N	E. E
1	11.21 ^a	42	0.32
3	11.44 ^a	42	0.32
2	11.70 ^a	42	0.32

Literales en una misma columna, son diferentes entre sí ($P<0.05$).

9.4.2.3. Interacción semilla/periodo

En relación al tamaño de la plántula a 14 días de crecimiento en la interacción semilla/periodo, se observaron diferencias estadísticas significativas ($P<0.05$). La avena, en los periodos 1,2,3 son las que mayor tamaño de la plántula a 14 días. Le sigue el maíz en los periodos 1,2,3 mientras que la lenteja en el periodo 1,2,3 es la

que obtuvo el menor ($P>0.05$) tamaño de la plántula como se muestra en el Cuadro 30.

Cuadro 30. Efecto del tratamiento sobre el tamaño de plántula a 14 días en la interacción semilla/periodo

Semilla	Periodo	Media	N	E.E
Lenteja	1	6.83 ^a	14	0.56
Lenteja	3	7.04 ^a	14	0.56
Lenteja	2	7.11 ^a	14	0.56
Maíz	1	10.39 ^b	14	0.56
Maíz	3	11.62 ^b	14	0.56
Maíz	2	12.34 ^b	14	0.56
Avena	3	15.65 ^c	14	0.56
Avena	2	15.65 ^c	14	0.56
Avena	1	16.42 ^c	14	0.56

Literales en una misma columna, son diferentes entre sí ($P<0.05$).

9.5. Peso del FVH

9.5.1. Peso a 7 días

9.5.1.1. Semilla

En relación al peso a 7 días en las semillas, se observaron diferencias estadísticas significativas ($P<0.05$). El maíz obtuvo un mayor peso a 7 días. Le siguen a la avena y lenteja que son estadísticamente iguales como lo muestra el Cuadro 31.

Cuadro 31. Efecto del tratamiento sobre el peso de FVH a 7 días por semilla

Semilla	Media	N	E. E
Avena	992.06 ^a	42	47.45
Lenteja	1126.82 ^a	42	47.45
Maíz	1470.89 ^b	42	47.45

Literales en una misma columna, son diferentes entre sí ($P<0.05$).

9.5.1.2. Periodo

En relación al peso del FVH a 7 días en los periodos, no se observaron diferencias estadísticas significativas ($P<0.05$). Como se muestra en el Cuadro 32.

Cuadro 32. Efecto del tratamiento sobre el peso de FVH a 7 días por periodo

Periodo	Media	N	E. E
1	1160.78 ^a	42	47.45
2	1192.55 ^a	42	47.45
3	1236.44 ^a	42	47.45

Literales en una misma columna, son diferentes entre sí ($P<0.05$).

9.5.1.3. Interacción semilla/periodo

En relación al peso de FVH a 7 días con la interacción semilla/periodo, se observaron diferencias estadísticas significativas ($P<0.05$). El maíz, en los periodos 1,2,3 es la que presento mayor tamaño de la plántula. Le sigue la lenteja en los periodos 1,2,3 y la avena en el periodo 3, mientras que la avena en el resto de las

interacciones son los que menor peso ($P>0.05$) presento como lo muestra el Cuadro 33.

Cuadro 33. Efecto del tratamiento sobre el peso de FVH a 7 días en la interacción semilla/periodo

Semilla	Periodo	Media	N	E.E
Avena	2	872.26 ^a	14	82.19
Avena	1	998.50 ^{ab}	14	82.19
Lenteja	1	1038.99 ^{abc}	14	82.19
Lenteja	3	1079.50 ^{abcd}	14	82.19
Avena	3	1105.43 ^{abcd}	14	82.19
Lenteja	2	1261.98 ^{bcde}	14	82.19
Maíz	3	1392.71 ^{cde}	14	82.19
Maíz	1	1444.86 ^{de}	14	82.19
Maíz	2	1575.09 ^e	14	82.19

Literales en una misma columna, son diferentes entre sí ($P<0.05$).

9.5.2. Peso a 14 días

9.5.2.1. Semilla

En relación al peso del FVH a 14 días, se observaron diferencias estadísticas significativas ($P<0.05$). El maíz obtuvo un mayor peso. Le siguen la avena y lenteja que son estadísticamente iguales como lo muestra el Cuadro 34.

Cuadro 34. Efecto del tratamiento sobre el peso de FVH a 14 días por semilla

Semilla	Media	N	E. E
Avena	1458.12 ^a	42	55.51
Lenteja	1584.83 ^a	42	55.51
Maíz	2175.40 ^b	42	55.51

Literales en una misma columna, son diferentes entre sí ($P<0.05$).

9.5.2.2. Periodo

En relación al peso del FVH a 14 días en los periodos, no se observaron diferencias estadísticas significativas ($P<0.05$). Como se muestra en el Cuadro 35.

Cuadro 35. Efecto del tratamiento sobre el peso de FVH a 14 días por periodo

Periodo	Media	N	E. E
3	1693.12 ^a	42	55.51
2	1758.64 ^a	42	55.51
1	1766.59 ^a	42	55.51

Literales en una misma columna, son diferentes entre sí ($P<0.05$).

9.5.2.3. Interacción semilla/periodo

En relación al peso de FVH a 14 días en la interacción semilla/periodo, se observaron diferencias estadísticas significativas ($P<0.05$). El maíz en los periodos 1,2,3 presento el mayor peso a 14 días. Le sigue la lenteja, en los periodos 1,2,3 y la avena en los periodos 1,3 mientras que la Avena en el resto de las interacciones obtuvo el menor peso ($P>0.05$) a 14 días como lo muestra en Cuadro 36.

Cuadro 36. Efecto del tratamiento sobre el peso de FVH a 14 días en la interacción semilla/periodo

Semilla	Periodo	Media	N	E.E
Avena	2	1376.14 ^a	14	96.15
Avena	3	1556.14 ^a	14	96.15
Lenteja	1	1512.12 ^a	14	96.15
Avena	1	1541.86 ^a	14	96.15
Lenteja	3	1588.14 ^a	14	96.15
Lenteja	2	1654.21 ^{ab}	14	96.15
Maíz	3	2034.86 ^{bc}	14	96.15
Maíz	2	2245.57 ^c	14	96.15
Maíz	1	2245.79 ^c	14	96.15

Literales en una misma columna, son diferentes entre sí ($P < 0.05$).

9.6. Temperatura

9.6.1. 7:00 am

En relación a la temperatura de las 7:00 am, se observaron diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$). El periodo 3 obtuvo la mayor temperatura. Le sigue el periodo 2, y el periodo 1 es la que presentó la menor temperatura en el invernadero como lo muestra en Cuadro 37.

Cuadro 37. Efecto del tratamiento sobre la Temperatura 7:00 am

Periodo	Media	n	E.E
1	10.09 ^a	14	0.44

2	11.48 ^{ab}	14	0.44
3	12.09 ^b	14	0.44

Literales en una misma columna, son diferentes entre sí ($P<0.05$).

9.6.2. 2:00 pm

En relación a la temperatura de las 2:00 pm, se observaron diferencias estadísticas significativas ($P<0.05$). El periodo 3 obtuvo la mayor temperatura. Le sigue el periodo 2 y el periodo 1 es la que presentó la menor temperatura en el invernadero como lo muestra en Cuadro 38.

Cuadro 38. Efecto del tratamiento sobre la Temperatura 2:00 pm

Periodo	Media	n	E.E
1	20.45 ^a	14	1.35
2	22.75 ^{ab}	14	1.35
3	27.30 ^b	14	1.35

Literales en una misma columna, son diferentes entre sí ($P<0.05$).

9.6.3. 8:00 pm

En relación a la temperatura de las 8:00 pm, se observaron diferencias estadísticas significativas ($P<0.05$). El periodo 3 obtuvo la mayor temperatura. Le sigue el periodo 2 y el periodo 1 es la que presentó la menor temperatura en el invernadero como lo muestra en Cuadro 39.

Cuadro 39. Efecto del tratamiento sobre la Temperatura 8:00 pm

Periodo	Media	n	E.E
1	12.79 ^a	14	0.33
2	15.30 ^b	14	0.33

3

15.43^b

14

0.33

Literales en una misma columna, son diferentes entre sí (P<0.05).

X. DISCUSIÓN

10.1. Avena

Los resultados relacionados con la avena, no fueron notorios en las variables analizadas. Sin embargo, Fuentes (2011) indicó que el FVH de avena que evaluó el tamaño de la plántula en distintos días de cosecha (7, 10, 13 y 16) empleado la misma técnica de no utilizar ninguna solución nutritiva más que agua, el obtuvo un promedio 10.4 cm a los 7 días y 19.3 cm a los 13 días, Palacios (2020) en dos periodos 2 grupos distritos utilizando distintas dosificaciones en un recipiente (3.5 y 3 kg) obtuvo medidas promedio de 14.63 y 13.37 cm, mientras que en este trabajo se obtuvo una altura promedio de 7.2 cm a 7 días, es decir, 30% menor en los reportes de Fuentes (2011), en los 14 días se obtuvo un 15% mayor que en los reportes de Palacios (2020) a pesar que utilizo varias fuentes de solución nutritiva, y utilizando una cantidad de riegos mínima para la densidad de siembra que empleaba. Para el tamaño de la raíz Acarapi, (2016), menciona obtuvo resultados utilizando métodos como Tarrillo que alcanzo un valor de 3.79 cm. Le sigue del método Molina con 3.48 cm, frente al método de la FAO con 3.31 cm a los 15 días, comparando con este trabajo que obtuvo un promedio de 12.94 cm a 14 días superando los resultados de Acarapi, (2016). En la productividad de FHV García (2011) en su E1 alcanzó un promedio de 2.958 kg a los 17 días con una densidad de siembra de 1 kg por bandeja, comparando con la Tx Avena que se obtuvo un promedio de 1.474 gr por bandeja a 14 días con una densidad de siembra de 300 gr superando el peso de FVH por kg de semilla tomando en cuenta que estaba en condiciones climatológicas adecuadas sin la utilización de un invernadero, lo que se destaca de este trabajo era el control de la temperatura, con la ayuda del

termómetro se decidía si el invernadero permanecía abierto o cerrado para la nivelación de esta.

10.2. Lenteja

Los resultados relacionados con la Lenteja, no fueron notorios en las variables analizadas. Sin embargo, Rezabala (2022) en el tamaño de la plántula en diferentes horas de oreo (24, 36, y 48 horas) obteniendo promedios de 12.63, 13.43 y 13.47 cm, comparando con este trabajo que se obtuvo un promedio de 6.99 cm a 14 días estando por debajo en un 75%. En la raíz Rezabala (2022) obtuvo promedios de 8.28, 7.78 y 7.66 cm, comparando con este trabajo que se obtuvo un promedio de 11.31 cm a 14 días superando en un 26% al resultado de estos reportes. Para la productividad de FVH Rezabala (2022) consiguió promedios de 0.97, 0.99 y 0.9 kg comparando con este trabajo que se obtuvo un promedio 1.548 kg a 14 días con una densidad de siembra de 300 gr superando a los resultados de Rezabala (2022), en este trabajo la lenteja se sometió a condiciones similares que el TX de Lenteja superando la productividad con una baja densidad de siembra bajo en condiciones de invernadero, control de temperatura, riegos.

10.3. Maíz

Los resultados relacionados con el Maíz, no fueron notorios en las variables analizadas. Sin embargo, Valverde *et al.*, (2017) el tamaño de la plántula con maíz amarillo utilizado fertilizantes orgánicos e inorgánicos con diferentes horas de oreo (48 y 72 horas) obtuvo promedios de 12.58 y 14 cm, Mayta (2016) utilizado diferentes soluciones nutritivas como la cascarilla de arroz, aserrín, paja de avena, obtuvieron promedios de 30.1 cm, 27.9 cm, 22.8 cm comparado con el Maíz que se obtuvo un promedio de 11.45 cm a 14 días estando por debajo de los reportes consultado. En la raíz Rodríguez *et al.*, (2012) obtuvo 13.33 cm a los 8 días, 14.06 cm a los 10 días y 14.16 cm a los 12 días, el utilizo una variedad de maíz Dekalb 2020, Carranco (2005) con la variedad Pioneer 31G98 obtuvo una media de 25.1 cm a los 20 días, Valverde (2017) obtuvo promedios de 10.20 y 9.07 cm, comparando comparado con este trabajo el maíz es la que menor productividad (7

días: 5.07cm, 14 días:11.17cm) en kg de FVH, por la calidad de la semilla, y poco desarrollo de la plántula en los 7 y 14 días solo superando a Valverde (2017). En la productividad del FVH Rodríguez *et al.*, (2012) obtuvo promedios de 4.18 kg a los 8 días, 4.43 kg a 10 días y 4.78 kg a 12 días, García (2021) los resultados del E1 fueron a los 17 días tuvo un promedio de 2.390 kg con una densidad de siembra de 1.250 kg, con este trabajo se obtuvo un promedio de 1.470 kg a 7 días estando por debajo de Rodríguez *et al.*, (2012), a los 14 días se obtuvo un promedio de 1.631 kg con una densidad de siembra de 750 gr por charola, teniendo un mayor peso que García (2021), estando en condiciones adecuadas si la necesidad de un invernadero, este trabajo bajo en condiciones de un control de riegos y temperatura se obtuvieron mejores resultados resaltando que la semilla no dio los resultados esperados.

XI. CONCLUSIONES

El maíz obtuvo un mayor peso húmedo, La avena obtuvo un mayor tamaño de raíz en a los 7 días de crecimiento, mientras que la raíz del maíz y la lenteja, fue mayor a los 14 días. Asimismo, fue la avena la de mayor tamaño de la plántula a los 7 y 14 días, pero el maíz fue el obtuvo el mayor peso de las plántulas a los 14 días. Esta productividad, se debió al control adecuado de la iluminación, humedad, y ventilaciones adecuadas al interior de la estructura en la que se establecieron los cultivos. La Temperatura no tuvo una gran influencia ya que los resultados salieron distintos en todas las variables evaluadas. En este tenor, es el que mayor producción de FVH presentó, por lo que es la semilla que puede recomendarse para pequeños productores.

XII. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar más investigaciones de FVH en la región de Jilotzingo, Oztolotepec, utilizando distintas semillas y en diferentes condiciones ambientales para poder determinar que semilla tiene una mejor productividad en una región con un clima templado.

Realizar un análisis bromatológico al FVH de cada una de las variedades utilizadas en el experimento para determinar su valor nutritivo para su uso como alternativa en la alimentación animal.

Utilizar infraestructura adecuada en un invernadero utilizando estantes de PVC, acero inoxidable u otro material que no produzca algún tipo de contaminación en el FVH

XIII. REFERENCIAS CONSULTADAS

Bórquez, F. F., M.; Parilo, J.; Tima, M. e Hidalgo, R. (1992). Producción de forraje en condiciones de hidroponía. I.

Tiempo de hidratación, dosis de semilla y fertilización de avena y triticale. *Revista Agrocencia*. 11-20.

Burris, M. J., & Baugus, C. A. (1955). Milk consumption and growth of suckling lambs. *Journal of Animal Science*, 14(1), 186-191.

Casaretto., D. A. (2010). El Destete. Secretariado Uruguayo de la Lana, Área de Economía y Difusión, Hoja Coleccionable N° 21.

Clanton, D. (1980). *Applied potassium nutrition in beef cattle*. Paper presented at the Proc. Third International Minerals Conf., January.

Dourojeanni, A. (2000). Procedimientos de gestión para el desarrollo sustentable: CEPAL.

Ensminger, M. E. (1973). *Producción ovina*. Retrieved from

FAO. (2005). Proyecciones a plazo medio sobre la carne hasta el año 2005.

Fuentes Carmona, F. F., Poblete Pérez, C. E., & Huerta Pizarro, M. A. J. A. A. (2011). Respuesta productiva de conejos alimentados con forraje verde hidropónico de avena, como reemplazo parcial de concentrado comercial. *60*(2), 183-189.

Fuentes, F., Poblete, C., Huerta, M., & Palape, I. J. I. (2011). Evaluación de la producción y calidad nutritiva de avena como forraje verde hidropónico en condiciones de desierto. *29*(3), 75-81.

Ganzábal, A. (2014). Guía práctica de producción ovina en pequeña escala en Iberoamérica. In: CYTED.

Goodrich, R., Kahlon, T., Pamp, D., & Cooper, D. J. N. F. I. A., West Des Moines, LA. (1978). Sulfur in ruminant nutrition.

Holz, R. C., Perry, T. W., & Beeson, W. M. (1961). Hemoglobin levels of lambs from birth to eight weeks of age and the effects of iron-dextran on suckling lambs. *Journal of animal science*, 20(3), 445-449.

Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal (ICAMEX). (2021) Ovinos

Jaume, A. N., Pereira, C. A., & Pereira, S. A. (2014). Producción de forraje verde hidropónico.

Juárez López, P., Morales Rodríguez, H. J., Sandoval Villa, M., Gómez Danés, A. A., cruz crespa, E., Juárez Rosete, C. R., Catón, O. J. C. (2013). Producción de forraje verde hidropónico.

Maldonado Torres, R., Álvarez Sánchez, M., Acevedo, D. C., & Ríos Sánchez, E. J. R. C. S. h. (2013). Nutrición mineral de forraje verde hidropónico. 19(2), 211-223.

Martínez, L. Á. L. (2005). " *Producción de forraje verde ifidroponico*. centro de investigación en química aplicada,

McDonald, I. (1968). *The nutrition of grazing ruminants*. Paper presented at the Nutrition abstracts and Reviews.

Miyasaka, A. S. (2015). *Nutrición animal*: Editorial Trillas.

National Research, C. (1985). *Nutrient requirements of sheep* (Vol. 5): National Academies Press.

Juan de Dios Arteaga Castelán , A. M. d. C. d. (2007). Ovinos, catalogo_razas.

Panduro Alegría, J. L. (2008). Contenido nutricional, coeficientes de digestibilidad y energía digestible del forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mayz* L.) en cobayos (*Cavia porcellus* L.).

Phaneendranath, B. R. (1980). Influence of amount of water in the paper towel on standard germination tests. *Journal of Seed Technology*, 82-87.

Pryor, W. J. (1972). nutricion de ovinos

Rezabala Zavala, H. J. (2022). Rendimiento productivo a diferentes tiempos de oreo, de gramíneas y leguminosas como forraje verde hidropónico, para alimentación animal. Jijipijapa. UNESUM,

Rodríguez, M. G., & Díaz, S. M. (2017). Evaluación técnica-económica del engorde de corderos alimentados con cuatro niveles de forraje verde hidropónico.

Rivas Soto, G., Sánchez Ovando, L., & Karam Calderón, M. Á. (2013). Condiciones sociales de los pacientes con Diabetes Mellitus Tipo II en el CSRD Santa Ana Jilotzingo, 2013.

Rodríguez, S. J. B. i. d. l. r. H. (2000). Hidroponía: una solución de producción en chihuahua, México. (9), 22-27.

Rojas, M. J. T. d. G. p. o. p. e. t. d. Z. U. d. l. S. B., Colombia. (2009). Evaluación de los parámetros de producción y calidad nutricional de forraje verde hidropónico de avena y trigo producidos de manera artesanal en el zoológico de Buin, Chile.

Técnico, M. J. O. d. l. N. U. p. l. A. y. l. A. O. R. d. l. F. p. A. l. y. e. C. S. C. (2002)a. Forraje Verde Hidropónico.

Técnico, M. (2002)b. 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.

Telle, P. P., Preston, R. L., Kintner, L. D., & Pfander, W. H. (1964). Definition of the ovine potassium requirement. *Journal of animal science*, 23(1), 59-66.

Underwood, E. J. S., UK. (1981). The mineral nutrition of livestock. Commonwealth Agricultural Bureaux. 80.

Vargas-Rodríguez, C. F. J. A. m. (2008). Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. *19(2)*, 233-240.

agricultura, O. d. (2021). beneficios nutricionales de las legumbres. *FAO*.

Carrasco, M. A. (2007). Estudio del Efecto del Espesor de Laminado en un Cereal de Avena con Almidón Retrogradado, sobre su Índice Glicémico . Obtenido de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/fas7181e/doc/fas7181e.pdf>

Guillermo, C. (2019). *forraje verde hidropónico*. Obtenido de Desarrollo de la producción de Forraje Verde Hidropónico (FVH). : <https://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp->

Iglesias, B. F., Oscar Azcona, J., & Charrière, M. (2017). Valor nutricional del maíz: Impacto de segregar por proteína. *agroindustria* .

Ronco, A. M. (2013). La nutritiva y saludable avena . *indualimentos* .

López-ridaura, s., astier, m., & masera, o. (mayo de 2022). *evaluando la sostenibilidad de los sistemas agrícolas integrados: el marco mesmis*. obtenido de leisa:<https://www.leisa-al.org/web/index.php/volumen-16-numero-4/2340-evaluando-la-sostenibilidad-de-los-sistemas-agricolas-integrados-el-marco-mesmis>

Jiménez, J. C., López, D. M., Reyes, P. A., Aguilera, C. A., Sanhueza, J. R., & Rubio, L. S. (2016). TÉCNICAS DE CAPTACIÓN Y ACUMULACIÓN DE AGUAS LLUVIAS, RECOMENDADAS PARA

LF.A.O, 2001. Manual Técnico. Forraje verde hidropónico. TCP/ ECU/066. "Mejoramiento de la disponibilidad de alimentos en los Centros de Desarrollo Infantil del ANNFA". Santiago, Chile. 69p.A AGRICULTURA FAMILIAR CAMPESINA. *BOLETÍN INIA-Nº 321*, 8.

Courtis, AC (2013). Cátedra de Fisiología Vegetal. *Fisiología Vegetal* , 1 , 1-22

VARGAS-RODRÍGUEZ, C. F. 2008. Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. *Agronomía Mesoamericana* 19(2): 233- 240. <http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/article/view/5005/4812>

Lacey J.1989. Pre—and post—harvest ecology of fungi causing spoilage of foods and other stored products. *Journal of Applied Bacteriology*, Symposium supplement. 11-25 pp

Christensen, C. M. 1987. En: *Food and Beverage Mycology*. Beuchat LR, ed. New York, Van Nostrand Reinhold, cap. 7. P.1 15-160

Acarapi, J. D. (2016). Producción de avena (*Avena sativa* L.) como forraje hidropónico con tres métodos de producción en el distrito 8 de la ciudad del alto. (Primera, Vol. 1). Universidad Mayor de San Andrés.

PALACIOS, C. F. D., & AGUSTÍN, S. I. R. 2020 PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HDROPONICO EN CONDICIONES AGROCLIMÁTICAS DE LA REGIÓN OCCIDENTAL DE GUATEMALA.

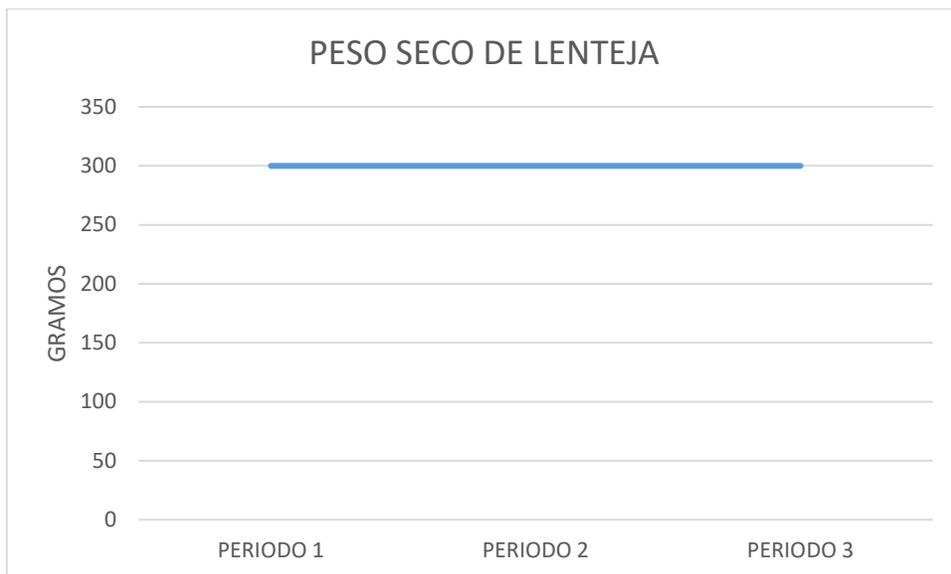
GARCÍA, J. I. (2021). PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE MAÍZ (*Zea mays* L.), CEBADA (*Hordeum vulgare* L.) Y AVENA (*Avena sativa* L.) EN TEMASCALTEPEC, MÉXICO EN ÉPOCA DE VERANO E INVIERNO.

Valverde, Y. A., Mera, A., Castro, C., & Gabriel-Ortega, J. (2017). Producción de forraje hidropónico de maíz (*Zea mays* L.) utilizando fertilizantes químicos y orgánicos. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 5(2), 144-151.

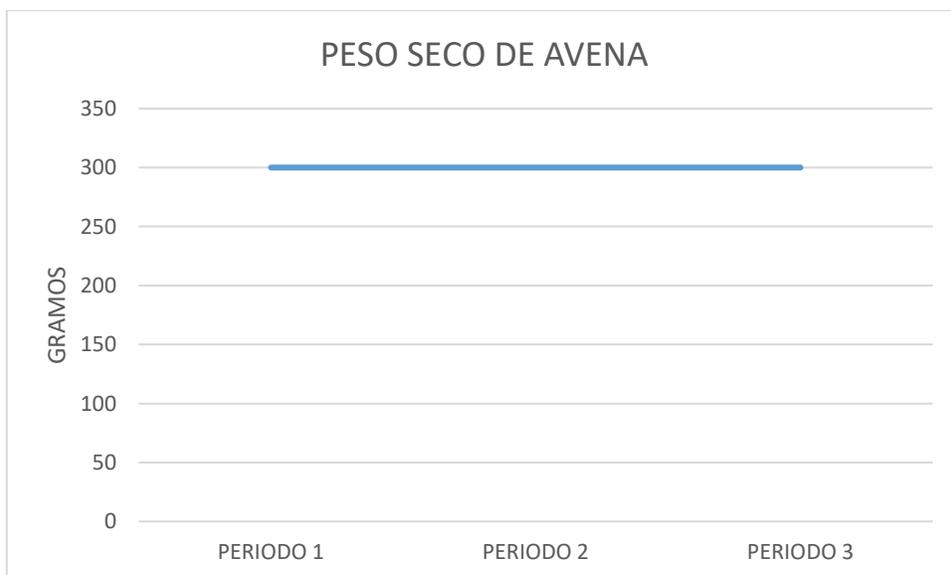
Vargas-Rodríguez, C. F. (2008). Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. *Agronomía mesoamericana*, 19(2), 233-240.

Mayta Espejo, C. R. (2016). Estudio del efecto de tres sustratos en el rendimiento y calidad de producción de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* L.) en carpas solar (Doctoral dissertation).

XIV. ANEXOS



Grafica 3: Peso seco de lenteja.



Grafica 4: Peso seco de avena.



Grafica 5: Peso seco de maíz.



Figura 25: Etiquetado de las charolas.



Figura 26: Poca germinación de la semillas .



Figura 27: Hongo en la raíz que se presentó en el FVH.



Figura 28: Raíz limpia del FVH.



Figura 29: FVH de lenteja.



Figura 30: FVH de maíz.



Figura 31: FVH de avena.



Figura 32: Estantes con FVH de avena.



Figura 33: Equino alimentado con FVH.