



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
CENTRO UNIVERSITARIO UAEM TEMASCALTEPEC
LICENCIATURA EN INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

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.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

P R E S E N T A

JOSÉ IGNACIO GARCÍA RODRÍGUEZ

ASESOR

DR. En C.A.R.N. HÉCTOR HUGO VELÁZQUEZ VILLALVA

COASESOR

ING. FERNANDO GARCÍA NÚÑEZ

TEMASCALTEPEC, MÉXICO; NOVIEMBRE 2021

CONTENIDO

CONTENIDO	ii
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE GRAFICAS	viii
RESUMEN	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. JUSTIFICACIÓN	3
III. OBJETIVOS	6
3.1 <i>Objetivo general</i>	6
3.2 <i>Objetivos específicos</i>	6
IV. HIPÓTESIS	7
V. ANTECEDENTES	8
VI. REVISIÓN DE LITERATURA	18
6.1 <i>Historia de la hidroponía</i>	18
6.2 <i>Forraje</i>	18
6.2.1 <i>Forraje Verde Hidropónico (FVH)</i>	19
6.2.2 <i>Generalidades del FVH</i>	19
6.2.3 <i>Ventajas del FVH</i>	19
6.2.4 <i>Desventajas del FVH</i>	20
6.3 <i>Fertilización</i>	20
6.3.1 <i>Fertilización foliar</i>	21
6.4 <i>Elementos químicos fundamentales</i>	21
6.4.1 <i>Los aminoácidos</i>	22
6.4.2 <i>Semilla</i>	22
6.4.3 <i>Principales semillas utilizadas para la producción de FVH</i>	22
6.4.4 <i>Gramíneas</i>	23
6.4.5 <i>Leguminosas</i>	27
6.4.6 <i>Cuadro comparativo de PC semilla y FVH</i>	28
6.5 <i>Producción del FVH</i>	28
6.5.1 <i>Calidad de la semilla para la producción de FVH</i>	28
6.5.2 <i>Lavado de la semilla</i>	29
6.5.3 <i>La imbibición en las semillas</i>	29
6.5.4 <i>Proceso de etiolación de la semilla</i>	30

6.5.5 Germinación	30
6.5.6 Charolas de poliuretano para la producción de FVH	31
6.5.7 Tipos de riego para el FVH	31
6.5.8 Requerimientos para la producción del FVH	32
6.6 Factores que afectan la producción del FVH	33
6.6.1 Ambiente controlado	34
6.7 Principales hongos que afectan la producción del FVH.....	34
6.7.1 Aspergillus	35
6.7.2 Fusarium.....	36
6.7.3 Penicillium	36
6.7.4 Calviceps Purpurea	37
6.7.5 Rhizopus.....	37
VII. MATERIALES Y METODOS.....	38
7.1. Descripción del área de estudio	38
7.2 Periodo de evaluación	39
7.3 Infraestructura del experimento	39
7.4 Sistema de riego.....	40
7.5 Sistema de ventilación.....	41
7.6 Sistema de iluminación.....	42
7.7 Producción de FVH.....	42
7.7.1 Pesaje de la semilla	42
7.7.2 Lavado de la semilla	44
7.7.3 Desinfección de la semilla	44
7.7.4 Escarificación de la semilla	45
7.7.5 Etiolación de la semilla	46
7.7.6 Lavado y desinfección de las charolas.....	47
7.7.7 Colocación de la semilla en las charolas hidropónicas	48
7.7.8 Riegos	49
7.8 Especificaciones realizadas durante el experimento:	49
7.9. Variables de evaluación	50
7.9.1 Evaluación de la raíz	50
7.9.2 Evaluación del tallo	52
7.9.3 Medición del grosor del tapete.....	53
7.9.4 Rendimiento del FVH.....	55

	7.10 Diseño estadístico	56
VIII.	RESULTADOS.....	58
	8.1 Forraje verde hidropónico de cebada (<i>Hordeum vulgare L.</i>).....	58
	8.1.1 Tamaño de raíz.....	58
	8.1.2 Tamaño del tallo.....	59
	8.1.3 Grosor del tapete	60
	8.1.4 Rendimiento en kg del FVH.....	61
	8.2 Forraje verde hidropónico de maíz (<i>Zea mays L.</i>).....	62
	8.2.1 Tamaño de raíz.....	62
	8.2.2 Tamaño de tallo.....	63
	8.2.3 Grosor del tapete	64
	8.2.4 Rendimiento en kg del FVH.....	65
	8.3 Forraje verde hidropónico de avena (<i>Avena sativa L.</i>)	66
	8.3.1 Tamaño de raíz.....	66
	8.3.2 Tamaño del tallo.....	67
	8.3.4 Grosor del tapete	68
	8.3.5 Rendimiento en kg del FVH.....	69
IX.	DISCUSIÓN.....	70
	9.1 Cebada.....	70
	9.2 Maíz	70
	9.3 Avena	72
X.	CONCLUSIONES.....	73
XI.	RECOMENDACIONES	74
XII.	REFERENCIAS	75
XIII.	ANEXOS.....	84

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Comparación de proteína cruda de diferentes variedades de gramíneas como semilla y su valor como forraje verde hidropónico.....	27
Cuadro 2: Cuadro de muestras.....	56
Cuadro 3: ANOVA del FVH de cebada	57
Cuadro 4: ANOVA del FVH de maíz.....	61
Cuadro 5: ANOVA del FVH de avena.....	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1: La aparición de la radícula es el hecho que, en condiciones de laboratorio, indica que la germinación de la semilla ha tenido lugar.	30
Ilustración 2: Instalaciones donde se desarrolló el experimento (autor propio).....	37
Ilustración 3: Rack del FVH (autor propio).....	39
Ilustración 4: Sistema de riego por microaspersión (autor propio).....	40
Ilustración 5: Sistema de ventilación (autor propio).....	41
Ilustración 6: Báscula granataría digital Kokorox® SF 400 (autor propio).....	42
Ilustración 7: Pesaje de la semilla (autor propio).....	42
Ilustración 8: Lavado de la semilla (autor propio).....	43
Ilustración 9: Desinfección de la semilla con Hipoclorito de Sodio (autor propio)...	44
Ilustración 10: Escarificación de la semilla con Oxido de Calcio (autor propio).....	45
Ilustración 11: Semilla en proceso de etiolación.....	46
Ilustración 12: Desinfección de las charolas hidropónicas con una solución de Hipoclorito de Sodio al 5 % (autor propio).....	47
Ilustración 13: Charolas colocadas en el rack después de la etiolación (autor propio).....	48
Ilustración 14: Tabla de muestreo.....	49
Ilustración 15: Muestras para evaluación (autor propio).....	50
Ilustración 16: Colocación de identificadores de muestras (autor propio).....	50
Ilustración 17: Medición de la raíz (autor propio).....	51
Ilustración 18: Medición del tallo (autor propio).....	52
Ilustración 19: Medición del grosor del tapete (autor propio).....	53
Ilustración 20: Pesaje de las charolas con el FVH.....	54
Ilustración 21: Elaboración del rack o anaquel para la producción de FVH (autor propio).....	83
Ilustración 22: Desinfección del área experimental con Oxido de Calcio (autor propio).....	83
Ilustración 23: Aplicación de Biothrine como repelente orgánico (autor propio).....	84

Ilustración 24: Colocación de material vegetal para disminuir el incremento de temperatura (autor propio).....	84
Ilustración 25: Semilla de cebada (<i>Hordeum vulgare</i> L.) en su tercer día de etiolación (autor propio).	85
Ilustración 26: Presentación del FVH de maíz (<i>Zea mays</i> L.) y cebada (<i>Hordeum vulgare</i> L.) en su primera semana de producción (autor propio).	85
Ilustración 27: FVH de cebada (<i>Hordeum vulgare</i> L.) en su 15vo día después de siembra (autor propio).....	86
Ilustración 28: FVH de maíz (<i>Zea mays</i> L.) en su 15vo día después de siembra (autor propio).....	86
Ilustración 29: FVH de avena (<i>Avena sativa</i> L.) en su 15vo día después de siembra (autor propio).	87
Ilustración 30: Clorosis del FVH de avena (<i>Avena sativa</i> L.) en su 16vo día después de siembra (autor propio).	87
Ilustración 31: Sistema radicular sano del FVH de maíz (<i>Zea mays</i> L.) en su 10mo día después de siembra (autor propio).....	88
Ilustración 32: Sistema radicular del FVH de maíz (<i>Zea mays</i> L.) infestado por hongos en su 15vo día después de siembra (autor propio).....	88

ÍNDICE DE GRAFICAS

Gráfica 1. Crecimiento de la raíz por día (cebada).....	57
Gráfica 2. Crecimiento del tallo por día (cebada)	58
Gráfica 3. Crecimiento del tapete radicular por día (cebada).....	59
Gráfica 4. Rendimiento en kg de FVH por día (cebada).....	60
Gráfica 5. Crecimiento de la raíz por día (maíz).....	61
Gráfica 6. Crecimiento del tallo por día (maíz)	62
Gráfica 7. Crecimiento del tapete radicular por día (maíz).....	63
Gráfica 8. Rendimiento en kg de FVH por día (maíz).....	64
Gráfica 9. Crecimiento de la raíz por día (avena)	65
Gráfica 10. Crecimiento del tallo por día (avena).....	66
Gráfica 11. Crecimiento del tapete radicular por día (avena).....	67
Gráfica 12. Rendimiento en kg de FVH por día (avena).....	68

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue evaluar la producción de forraje verde hidropónico de tres especies de gramíneas, maíz (*Zea mays* L.), cebada (*Hordeum vulgare* L.) y avena (*Avena sativa* L.) en la época de verano e invierno en Temascaltepec, México. Se utilizaron semillas criollas y se desarrollaron tres experimentos con cinco repeticiones. La duración de cada experimento fue de 17 días y las variables evaluadas fueron: tamaño de la raíz, tamaño del tallo, grosor del tapete radicular, rendimiento en kg del FVH. Se inició cada experimento pesando la cantidad total de semilla seca a utilizar por charola; para maíz 1.250 kg, cebada 1.130 kg y avena 1.000 kg. Esta semilla se sometió a lavado, enjuague y desinfección con hipoclorito de sodio al 5 %, paso 72 horas en etiolación, después de este proceso se colocó en charolas hidropónicas de .30 m x .60 m x .05 m y se situaron en el rack. Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza con el software estadístico SAS ($p < 0.05$) con un diseño completamente al azar, los resultados fueron: El E1 tuvo diferencias significativas para las tres especies de gramíneas ($p < 0.05$) comparado con E2 Y E3. Para maíz los valores del E1 fueron: tamaño de la raíz con 7.07 cm, tamaño del tallo 6.57 cm y rendimiento 2.930 kg. Para cebada los valores de las variables del E1 son: tamaño de la raíz 3.58 cm, tamaño del tallo 6.57 cm, grosor del tapete radicular 3.82 cm y rendimiento 3.673 kg y para avena los valores del E1 son: tamaño de la raíz con 3.50 cm, tamaño del tallo 7.68 cm, grosor del tapete radicular 5.22 cm, rendimiento en kg del FVH 2.958kg. Se concluyó que en la época de verano es donde se consiguieron los mejores resultados, ya que el efecto que tiene el ambiente (temperatura y humedad) en el otoño e invierno afectan la producción del FVH.

Palabras clave: Producción, Forraje Verde Hidropónico, Gramíneas, Verano-Invierno.

I. INTRODUCCIÓN

La capacidad de producción de animales de interés zootécnico se determina por el potencial genético, las condiciones medioambientales donde éstos se encuentren y la alimentación (INATEC, 2016), esta última es de gran importancia porque representa más del 60% de los costos de producción.

Hoy en día los productores se enfrentan a una serie de problemas para alimentar a sus animales como lo son: cambio climático, inundaciones, altos costos de los insumos y capital insuficiente, debido a esto muchos optan por utilizar estrategias de alimentación inadecuadas que no suplen con los requerimientos de los animales y acompañadas de un mal manejo como sobrepastoreo que genera erosiones, producción de monocultivos y malos hábitos de conservación del forraje. Por ello la producción de Forraje Verde Hidropónico (FVH) se convierte en una alternativa de alimentación, el cual se produce en ausencia del suelo y en condiciones protegidas donde se controlan algunas variables ambientales (luz, temperatura y humedad), Usualmente se utilizan semillas de maíz, avena, cebada, trigo y sorgo (López *et al.*, 2013) del (FVH) los animales consumen raíces, tallos, hojas y restos de semillas, obteniendo proteína, energía, vitaminas y minerales (Herrera Torres *et al.*, 2010).

La producción de (FVH) posee un alto valor nutritivo que oscila entre los 15 y 22% de proteína cruda (PC) dependiendo la especie de cultivo que se utilice, es un forraje de producción o corte temprano altamente digestivo, su elaboración no es compleja. El proceso se realiza en recipientes plano, por un periodo de tiempo que no exceda los 12 o 15 días, realizándose riegos de agua por aspersión, micro aspersión y nebulización, requiere un riego uniforme hasta que los brotes alcancen un largo de 3 a 4 cm. A partir de ese momento se riega con una solución nutritiva que aporte los elementos químicos necesarios (N P K) para el óptimo crecimiento, así como brindarle otras características para mejorar su composición nutritiva(López *et al.*, 2013).

Consecuentemente, la búsqueda de metodologías alternativas de producción de forraje en las cuales se considere el ahorro de agua, altos rendimientos por m² ocupado, calidad nutricional, flexibilidad en la transferencia y mínimos impactos negativos sobre el medio ambiente es de particular importancia. Considerando los puntos anteriores, se puede decir que el FVH puede constituirse en una opción alternativa a los métodos convencionales de producción de forraje que contribuya a una actividad agropecuaria sostenible en las zonas áridas y semiáridas (Aguilar *et al.*, 2008).

No obstante, las bondades que presenta el FVH en comparación con otras alternativas de alimentación para el ganado, persisten aun dudas y falta de conocimientos sobre la elaboración apropiada y la calidad que posee el FVH. En el presente estudio se evaluará la producción del FVH de maíz (*Zea mays* L.), cebada (*Hordeum vulgare* L.) y avena (*Avena Sativa* L.) con el fin de conocer en qué época del año entre verano e invierno es la más factible para su desarrollo en Temascaltepec, estado de México.

II. JUSTIFICACIÓN

En los últimos tiempos se ha demostrado que uno de los problemas principales a los que se enfrenta la población mexicana, es la de poder autoabastecerse de su alimentación, razón por la cual se tiene que importar algunos alimentos ya que por políticas inadecuadas al campo este se ha olvidado y no se puede producir a gran escala para abastecer las necesidades de la población (Varón, 2015). En el campo vive el 38% de la población (FAO, 2018) y no producen los alimentos que México necesita.

Aunado a esto la degradación de los suelos, la escasez de agua, el cambio climático y los cambios en los regímenes de lluvias aumentan las probabilidades de fracaso de las cosechas a corto plazo y de reducción de la producción a largo plazo. El aumento de las temperaturas termina por reducir la producción de los cultivos deseados, a la vez que provoca la proliferación de malas hierbas y pestes (Nelson, 2009). En México, ha empujado a muchos productores a dejar el campo, debido a estos factores desfavorables que influyen en la producción de los cultivos.

De tal manera que en los últimos años se han buscado e implementado nuevas alternativas para la producción de alimentos, y la falta de conocimientos sobre las nuevas innovaciones para la alimentación del ganado es un problema que ocasiona desconfianza a los productores, puesto que la mayoría de los ganaderos no cuentan con la asistencia técnica quien les brinde este tipo de información.

La ganadería en el Estado de México y en especial en los municipios de la parte sur de la entidad (Tejupilco, Amatepec, Tlatlaya, Luvianos) es una actividad económica de gran importancia, al concentrar un inventario de bovinos de 461, 259 en condiciones de trópico seco y manejo extensivo, limitado por las condiciones de topografía accidentada de su territorio (Portillo *et al.*, 2018), constituye una actividad fundamental en el sector primario de la producción de carne, esto en virtud al número de cabezas de ganado (Morales *et al.*, 2017).

Estos sistemas (Extensivos e intensivos) enfrentan desafíos asociados al deterioro ambiental, dependencia de insumos externos (forrajes, alimentos comerciales), limitada difusión de tecnología, incidencia de enfermedades, sistemas organizativos y de comercialización deficiente, baja rentabilidad, migración, inseguridad y políticas públicas ineficientes. Este escenario demanda la reorientación de estos sistemas hacia formas de producción sustentables; que mejoren y optimicen los procesos de producción, promuevan la conservación de los recursos, la viabilidad y solvencia económica, mercados justos, entre otros (*Mejia et al.*, 2018).

Una de las alternativas para la alimentación es la producción de forraje verde hidropónico (FVH) que ha venido revolucionando en los últimos años sin necesidad de grandes extensiones de terreno para su producción.

El FVH representa una alternativa de producción para la alimentación de corderos, cabras, terneros, vacas en ordeña, ovinos; y especialmente útil durante períodos de escasez de forraje verde (Cortazzo, 2001).

Existe una gran variedad de semillas tanto de gramíneas (maíz, cebada, avena, trigo, sorgo) y de leguminosas (alfalfa) que se utilizan para la producción de FVH, cada una de ellas contiene un valor nutritivo y una velocidad de crecimiento distinto, en donde influye mucho el lugar y el tipo de ambiente en donde se desarrolle.

Fabian (2008) menciona que el forraje hidropónico es el resultado del proceso de germinación de granos que se realiza durante un periodo de 9 a 15 días. Pretendiendo que el grano germinado alcance una altura promedio de 25 centímetros. No obstante Henríquez, citado por Müller *et al.* (2005) menciona que una edad de cosecha adecuada del cultivo puede estar entre 16 y 20 días de acuerdo a las necesidades del productor, sin pasar ese periodo de tiempo.

Planteamiento que nos traslada a la siguiente pregunta de investigación, ¿El FVH tendrá una mejor respuesta productiva (tamaño de raíz, tapete, tallo, rendimiento de FVH) en la época de verano en comparación del otoño e invierno en un ciclo de producción de 17 días por experimento?.

III. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Evaluar los parámetros productivos de (tamaño de raíz, tapete, tallo, rendimiento de FVH) del forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* L.), cebada (*Hordeum vulgare* L.) y avena (*Avena sativa* L.) en un ciclo de producción de 17 días durante la época de verano-invierno, en Temascaltepec, México.

3.2 Objetivos específicos

De acuerdo con el experimento se medirán las siguientes variables.

- Evaluar el tamaño de la raíz (cm) del FVH de tres especies de semillas criollas en un ciclo de producción de 17 días.
- Medir el tamaño del tallo (cm) del FVH de tres especies de gramíneas en un ciclo de producción de 17 días.
- Determinar el grosor de tapete radicular (cm) del FVH de tres especies de semillas criollas en un ciclo de producción de 17 días.
- Rendimiento en kg de forraje hidropónico (kg) del FVH de tres especies de gramíneas en un ciclo de producción de 17 días.

IV. HIPÓTESIS

- El FVH tendrá una mejor respuesta productiva (tamaño de raíz, tapete, tallo y rendimiento de FVH) en la época de verano en comparación del otoño e invierno en un ciclo de producción de 17 días, en Temascaltepec, México.

V. ANTECEDENTES

Existen diversos estudios acerca de la evaluación de producción de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* L.), cebada (*Hordeum vulgare* L.) y avena (*Avena sativa* L.).

Forraje verde hidropónico de maíz amarillo (*Zea mays* L.) con diferente concentración de solución nutritiva. El objetivo de la presente investigación fue caracterizar el forraje verde hidropónico de maíz, con diferentes niveles de solución nutritiva. Se sembró en charolas de plástico un kg de maíz amarillo, con diferentes niveles de nutrientes en el riego 0, 25, 50, 75 y 100% en tres tiempos de cosecha 8, 10 y 12 días. Se midieron tres variables: peso de la biomasa de un kg de maíz, altura de la planta y longitud de la raíz. Por lo que se concluyó que los parámetros productivos del forraje verde hidropónico de maíz de la marca Dekalb variedad 20-20 son mejores cuando se cultiva a un 75% de la solución nutritiva con una edad de cosecha de 12 días, obteniendo una longitud de raíz de 23.03 cm y con un peso de 5.27 kg de biomasa por kg de semilla de maíz, para el caso del tratamiento testigo con adición al 0% de solución nutritiva la altura de la planta fue de 13.33 cm a los 8 dds (días después de siembra), 16.60 cm a los 10 dds y 18.66 cm a los 12 dds, para el crecimiento radicular fue de 13.33 cm a los 8 dds, 14.06 a los 10 dds y 14.16 a los 12 dds; y por última instancia el peso de la biomasa fue de 4.18 kg a los 8 dds, 4.43 kg a los 10 dds y 4.78 a los 12 dds. (Rodríguez *et al.*, 2012).

Evaluación de la producción y calidad nutritiva de avena como forraje verde hidropónico en condiciones de desierto (Fuentes, 2011). Los parámetros productivos y nutritivos de avena (*Avena sativa* L.) como forraje verde hidropónico (FVH) se evaluarán a través de tres ensayos en donde el tercer ensayo fue el de mayor interés puesto que se relaciona con los experimentos elaborados del presente trabajo de tesis, se evaluarán cuatro tiempos de cosecha (7, 10, 13 y 16 dds), Las variables medidas fueron altura de plantas (cm), conversión (peso seco de forraje, peso seco de semillas). La cosecha 13 dds se caracterizó por un aumento decreciente en altura cercano a los 20 cm, al mismo tiempo experimentó una

disminución en el rendimiento de MS, hojas cloróticas y tendedura de plantas. A los 16 dds las plantas de avena presentaron síntomas de clorosis general y necrosis apical, además de la presencia de hongos entre las semillas no germinadas. El día 10 fue el mejor tiempo de cosecha, caracterizado por presentar 36.86% materia seca, 14.79% proteína bruta, 18.77% fibra cruda y una mejor condición sanitaria de forraje. A partir de los resultados obtenidos se pudieron establecer los parámetros productivos y nutritivos básicos para el cultivo de avena como FVH en condiciones de desierto.

Evaluación de variedades de maíz y densidad de siembra en la producción de forraje verde hidropónico. En este trabajo Se realizaron dos experimentos con la finalidad de evaluar la producción de FVH de dos variedades de maíz en dos periodos con diferentes condiciones climáticas, además de observar el comportamiento de la planta al utilizar o no utilizar solución nutritiva para la producción de FVH donde las variables de evaluación fueron altura de planta (cm) (20 plantas por unidad experimental), ancho de hoja (cm) (20 plantas por unidad experimental), longitud de raíz (cm) (20 plantas por unidad experimental), producción de FVH (kg/m²) (6,050 cm²/unidad experimental), producción de materia seca (kg/m²) (6,050 cm²/unidad experimental), contenido de cenizas en base seca (%), contenido de proteína cruda en base seca (%), contenido de fibra neutro detergente libre de cenizas en base seca (%), en donde solamente las primeras cuatro variables fueron de interés para la comparación del experimento de este proyecto. El análisis de varianza realizado para la altura de la planta, mostró diferencias debido a variedades (P<0.01) obteniendo una mayor altura de planta en la variedad Pioneer® 31G98 con una media de 31.5 cm, mientras que la variedad con menor tamaño fue la Pioneer® 3025 con una media de 23.9 cm. En cuanto a el ancho de hoja de los maíces utilizados, el análisis de varianza mostró diferencia (P<0.01) debido a variedades, obteniendo un ancho de hoja mayor para la variedad Pioneer® 31G98 con 1.4 cm, mientras que la variedad Pioneer® 3025 alcanzó 1.3 cm. El análisis de varianza para la longitud de raíz mostró diferencias (P<0.01) debido a las variedades, obteniendo una longitud de raíz mayor para la variedad Pioneer® 31G98 con una media de 25.1 cm mientras que la variedad Pioneer®

3025 obtuvo una media de 18.5 cm. También se encontró diferencia significativa ($P < 0.05$) en los cortes los cuales tuvieron medias de 16.7, 20.7, 23.7 y 24.1 cm para los cortes 1, 2, 3 y 4, respectivamente (Carranco, 2005).

Evaluación de soluciones nutritivas y tiempos de cosecha, en cebada forrajera cv, nacional (*Hordeum vulgare* L.), producida como forraje verde hidropónico, en la región Arequipa (Ríos, 2018). Los objetivos de este trabajo fueron determinar el crecimiento, rendimiento y valor nutritivo de este cultivo como FVH, se realizaron diferentes evaluaciones como crecimiento de raíz, longitud de parte aérea, conversión de semilla a biomasa y valor nutritivo a través de análisis bromatológico. En la variable del grosor del tapete, Ríos (2018) menciona que estos resultados difieren con los de la investigación ya que no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos; a los 12 dds se obtuvo un resultado de 3.70 cm, y a los 18 dds se obtuvo 4.07 cm. Para el caso de la parte aérea la altura obtenida en la investigación es menor, ya que en esta investigación se obtuvo una altura promedio, a los 16 dds se obtuvo una altura de 14 cm mientras que a los 18 dds se obtuvo una altura promedio de 15 cm. En los resultados de la conversión semilla-biomasa se observó que los datos son estadísticamente iguales en los tratamientos a los cuales se les aplicó soluciones nutritivas obteniendo un promedio de 4 kg a los 12 dds y 5 kg a los 18 dds; mientras que los tratamientos a los cuales se les aplicó agua son estadísticamente diferentes al resto, además de presentar un menor peso de conversión semilla a biomasa, teniendo un peso promedio de 3.65 kg. Los resultados obtenidos demostraron el efecto positivo de la aplicación de soluciones nutritivas sobre longitud de parte aérea, conversión de semilla a biomasa y análisis bromatológico; además de mostrar que el tiempo de cosecha a los 18 dds favorece al longitud de parte aérea y conversión de semilla a biomasa; mientras que el tiempo de cosecha 12 dds favoreció al valor nutricional de la cebada cultivada como FVH.

Evaluación de la producción de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* L.), con cuatro tipos de abonos orgánicos bajo temperatura ambiente en la provincia murillo del departamento de la paz (Aliaga & Mamani, 2017). El presente trabajo de investigación se realizó con el objetivo de evaluar la producción de forraje verde

hidropónico de maíz (*Zea mays* L.), con cuatro tipos de abonos orgánicos bajo temperatura ambiente, los abonos orgánicos utilizados fueron: Bokashi, Biol, Humus líquido y Jiracha. Las variables a medir fueron; Porcentaje de germinación (%), altura de planta (cm), longitud de raíz (cm), área foliar (cm²), rendimiento de FVH de maíz (kg/m²), rendimiento de materia seca (kg/m²) y porcentaje de materia seca(%). Su siembra fue en bandejas de 0.12 m² con una densidad de 3.4 kg/m². Se llegó a determinar que los abonos orgánicos de: Biol, Humus líquido, Jiracha y Bokashi que tienen los promedios de altura de planta más altos (con promedios de 25.74, 25.63, 25.1 y 24.29 cm respectivamente). La longitud de la raíz, fue medida en centímetros, desde la parte vegetativa del cuello de la planta hasta la finalización de la raíz en 20 días. A un (P < 0.05), se llegó a determinar que la Jiracha, Humus líquido y Biol, que tienen los promedios de longitud de raíz más altos (con promedios de 27.28, 26.81 y 25.46 cm respectivamente); el Bokashi alcanzó 24.39 cm y el testigo 16.76 cm. El área foliar a un (P < 0.05), se llegó a determinar que el Humus líquido, Biol, Bokashi y Jiracha que tienen los promedios de área foliar más altos (con promedios de 16.50, 16.50, 16.01 y 15.76 cm² respectivamente). El testigo obtuvo 14.77 cm². El rendimiento en kg del FVH con un (P < 0.05), alcanzaron los abonos Biol, Bokashi, Jiracha y Humus líquido promedios de 26.12, 25.73, 25.39 y 25.35 kg/m² respectivamente, el testigo sólo 21.68 kg/m².

Evaluación de dos fertilizantes orgánicos en la producción de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* L.) en el Centro de Practicas San Isidro de la UNA Camoapa (Méndez, 2018). Se desarrolló a través de investigación experimental y consistió en la distribución de tres grupos en 18 bandejas de 35 cm x 55 cm. En cada bandeja se suministró 3.6 kg/m² de semilla criolla de maíz. Las variables evaluadas fueron características fenotípicas (altura de planta, largo de hoja, ancho de la hoja, largo de las raíces y grosor del tallo), rendimiento de materia verde y contenido nutritivo (materia seca, proteína cruda y fibra detergente). Para la altura de la planta a los 12 dds el tratamiento 2 tuvo mayores resultados con 30.51 cm, seguido el tratamiento 1 con 28.08 cm y tratamiento 3 con 26.20 cm. Para las mediciones utilizaron una regla de 30 cm, para el largo de la hoja los promedios obtenidos en el experimento indicaron un largo de la hoja de 20.45 cm para el

tratamiento 1, seguido del tratamiento 2 con 20.07 cm y tratamiento 3 con 15.96 cm. Para el largo de la raíz los resultados obtenidos a los 12 dds indican, con respecto al largo de raíces, que el tratamiento 3 superó los promedios con 10.57 cm, seguido del tratamiento 2 con 8.28 cm y del tratamiento 1 con 8.01 cm. La medición del rendimiento de FVH de materia verde se realizó a los 12 días de establecido que es el tiempo más oportuno para cosechar el forraje, los resultados obtenidos fueron 11.46 kg para el T1, 9.85 kg para el T2 y 9.77 kg para el T3, teniendo en cuenta que la densidad de siembra fue de 3.6 kg/m².

Evaluación nutricional y económica de la producción de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* L.) empleando grano comercial (Alvarado, 2018). Se evaluó la implementación de FVH de maíz con grano comercial, para lo cual se evaluó la calidad nutricional del forraje producido con este sistema y su factibilidad económica. El módulo experimental del forraje verde hidropónico se instaló en un invernadero en la estación experimental Fabio Baudrit de la Universidad de Costa Rica. Se evaluarán cuatro tratamientos: T1; testigo con semilla certificada de maíz variedad Diamantes (SDC), T2; maíz Criollo Amarillo (MCA), T3; maíz Pico de Gallo (MCP) y T4; maíz Criollo Blanco (MCB). El FVH se cosechó a los 12 días de la siembra, cuando se evaluó altura de las plantas, producción de biomasa verde y materia seca (MS), la composición bromatológica y el costo por kg MS/m² producido. La altura promedio de las plantas de MCA, MCP y MCB, fueron respectivamente 24.0, 24.90 y 24.40 cm las cuales se diferenciaron ($P < 0.01$) de las plantas de semilla certificada SDC con 18.70 cm. La producción de biomasa (Kg MS/m²) fue de 1.07, 1.32; 1.54 y 1.25 kg para los tratamientos SDC, MCA, MCP y MCB, respectivamente, sin diferencias significativas. El costo por kg de MS alcanzó un valor entre \$11.17 y \$12.13 entre los diferentes tratamientos, donde el menor costo productivo fue con grano comercial. Se concluye que la tecnología FVH se puede realizar con maíces criollos, con resultados productivos y calidad bromatológica aceptables a un menor costo por kg de MS que usar semilla certificada de maíz.

Producción de avena (*Avena sativa* L.) como forraje verde hidropónico con tres métodos de producción, en el distrito 8 de la ciudad del alto (Acarapi, 2016). En esta investigación tuvo por objetivo determinar el rendimiento del cultivo de la avena bajo el efecto de tres métodos de producción hidropónica, las cuales son el método de: Tarrillo, de la FAO y el de la Molina, donde se evaluaron distintas variables de respuesta, como la altura de planta, así también se determinó el rendimiento de los tres métodos en un ambiente semi protegido como son las carpas solares y por último evaluando los costos de producción de forraje hidropónico en los diferentes métodos de producción. En el rendimiento de materia verde se determinó el rendimiento total de forraje hidropónico en materia verde por factor en kg/m^2 donde los resultados obtenidos fueron los siguientes; el Método de la FAO alcanzó un valor mayor con $9.60 \text{ kg}/0.24\text{m}^2$, seguido por el Método de Tarrillo $8.17 \text{ kg}/0.24\text{m}^2$; y el Método la Molina con $7.90 \text{ kg}/0.24\text{m}^2$. Para la altura de desarrollo del forraje, la altura de planta, la obtuvieron midiendo en longitud de la parte vegetativa del cuello al ápice, expresada en cm, esta característica se evaluó hasta llegar a su mayor crecimiento bajo el sistema de producción hidropónico en esta variable los resultados que registraron fueron que el método de la FAO alcanzó un valor mayor con 27.4 cm, seguido por el método de La Molina con 26.3 cm y finalmente el método Tarrillo con 24.5 cm. Para el desarrollo de la masa radicular midieron la longitud de las raicillas hasta la parte vegetativa del cuello de la planta, esta medición se realizó en cuatro zonas de cada bandeja y se midió en centímetros donde se obtuvo que el método Tarrillo alcanzó un valor mayor con 3.79 cm seguidodel método Molina con 3.48 cm, frente al método de la FAO con 3.31 cm. En el análisis de varianza para la variable longitud de raíz se pudo observar que hay diferencias significativas entre la aplicación de los diferentes métodos de producción. Para los costos de producción estaban basados en costos fijos y costosvariables, para determinar el costo actual de producción de un kilogramo de forrajeverde, buscando minimizar la inversión, de acuerdo a la relación beneficio/costo, entre factores se observa una relación $B/C > 1$; en el método de la FAO (testigo) con 2.38 Bolívares (Bs), seguido del método Tarrillo de 2.38 Bs, frente al método La molina 2.30 Bs.

Efecto del abono orgánico líquido aeróbico en la producción de forraje verde biohidropónico en dos variedades de avena (*Avena sativa* L.) en el Centro Experimental de Cota Cota (Villca & Chilón Camacho, 2019). Se evaluaron dos variedades de avena; gaviota y criolla, con cuatro dosis 0 (solo agua), 10, 20 y 30% de AOLA. Se utilizó el diseño completamente al azar (DCA) con arreglo bifactorial. Para la siembra se utilizó una densidad de 2.33 kg/m². En cada bandeja se sembró la semilla hidratada de avena variedad gaviota (0.941 kg) y variedad criolla (0.933 kg), cada uno equivale a 0.58 kg en semilla seca. En el día 15 se realizó la cosecha del FVH, cuando el cultivo alcanzó una altura promedio de 18 a 20 cm, donde también se determinó el rendimiento en materia verde de cada tratamiento. La variable altura de planta en el estudio fue medida en cm desde la parte vegetativa del cuello al ápice donde los resultados se comportaron de la siguiente manera, V1D0 13.90, V1D1 15.13, V1D2 15.49, V1D3 17.03, esto fue para la variedad 1 (Gaviota) y para la variedad 2 (Criolla) los datos fueron los siguientes V2D0 14.71, V2D1 15.16, V2D2 16.09, V2D3 16.77 cm, para el largo de la raíz los resultados fueron los siguientes V1D0 12.82, V1D1 15.99, V1D2 15.27, V1D3 16.49 y V2D0 14.37, V2D1 15.39, V2D2 15.06, V2D3 17.19 cm y para el rendimiento en materia verde los resultados obtenidos con la aplicación del AOLA son altamente significativos, vale la pena decir que existe un efecto en el rendimiento de materia verde al aplicar las diferentes dosis de AOLA. La que sobresale con un mejor resultado es el tratamiento V1D3 (variedad gaviota con el 30% de AOLA) con una media de 14.12 kg, mientras que el menor rendimiento en materia verde es el V2D0 (variedad criolla, con 0% de AOLA) con un promedio de 6.28 kg/m² de rendimiento en materia verde.

Producción de forrajes de avena y trigo bajo sistemas hidropónico y convencional (Morales *et al.*, 2020). En este artículo se comparó la producción de avena (*Avena sativa* L.) y trigo (*Triticum vulgare* L.) obtenida a partir de un sistema de FVH, frente al sistema de producción convencional o a campo abierto (CA). Se evaluó la altura de la planta (AP) de cada cultivo para cada sistema productivo,

mientras que para cada sistema y cultivo se determinó la producción de biomasa, la proteína cruda (PC) ($P < 0.05$) y el cociente de la relación beneficio-costo (B/C). La dosis de semilla húmeda utilizada en avena fue de 6.4 kg/m^2 y en trigo, de 4.8 kg/m^2 . En el sistema a CA se midió la altura de las plantas cada 15 días hasta su cosecha o corte, analizando el último dato (al momento de la cosecha). En el sistema de FVH la AP de trigo fue de 17.67 cm con una diferencia de 2.08 cm al del cultivo de avena. Para la producción en biomasa se registró el peso fresco o materia verde (MV) de los dos cultivos y sistemas productivos al momento de la cosecha, y se calculó el equivalente de la producción de forraje de trigo y de avena por cada metro cuadrado de superficie la producción de biomasa por metro cuadrado de trigo FVH fue mayor 23.57 kg/m^2 de MV y 3.10 kg/m^2 de MS ($P < 0.05$) frente a avena FVH 13.23 kg/m^2 MV 1.39 kg/m de MS, y a los dos tratamientos a CA 5.77 kg/m^2 de MV y 1.42 kg/m^2 . Se analizaron los indicadores de tipo financiero por m^2 y por año, considerando las inversiones iniciales de instalación de los sistemas y los gastos totales en materiales e insumos de todas las producciones (24 de FVH y 6 a CA), como arriendo de terreno, mano de obra, semillas, soluciones nutritivas, bandejas, sistema de riego, entre otras; se realizó la depreciación de los componentes del sistema de riego (bombas, mangueras, etc.) y estructuras metálicas. El beneficio se calculó de acuerdo con la proyección de ingresos proporcionales al rendimiento (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo; para el área de un metro por año de producción de cada sistema, se tomó el dato de valor de venta del forraje en el mercado local en el 2018 1.09 por kg de forraje. El costo de cada sistema se determinó por m^2 y para un año de producción; en los sistemas hidropónicos, para la primera producción se invirtió un total de US $\$146.40$ por metro cuadrado y US $\$150.43$ por m^2 para trigo y avena, respectivamente. Los datos evidencian que el tratamiento que tiene mayor relación B/C es el trigo FVH, con 1.46 , lo que significa que por cada dólar invertido se obtendrá US $\$0.46$ de benéfico, mientras que en la avena CA se obtiene un equilibrio sin ganancias ni pérdida.

Evaluación de tres períodos de cosecha en dos variedades de cebada (*Hordeum vulgare* L.) para la producción de forraje verde hidropónico en la localidad de

Chuquiaguillo (Yanarico, 2015). Se evaluarón tres periodos de cosecha en dos variedades de cebada para la producción de FVH donde se tuvo dos factores: el primer factor constituido por dos variedades, se trabajó con la variedad Criolla y la variedad IBTA-80, de las cuales la primera provenía de semilla no certificada y la otra de semilla certificada, las semillas pre-germinadas se distribuyeron en cada bandeja a una densidad de siembra de $1.5 \text{ kg}/0.5\text{m}^2$, las cuales formaron una capa de 1.5 cm de espesor. Este factor se estudió con el fin de determinar la importancia productiva y económica que se tiene al utilizar estas semillas en la producción de FVH, el segundo factor periodos de cosecha, donde se realizó a los 15, 20 y 25 días, este factor se estudió con el fin de determinar el período de mayor productividad. La investigación se dividió en dos fases, en la fase 1 se realizó el análisis de la calidad de la semilla de las dos variedades, las semillas de la variedad IBTA-80, resultó tener mayor calidad con respecto a las semillas de la variedad Criolla, sin embargo los valores de calidad de las semillas de la variedad Criolla se encontraron dentro de los valores aceptables para la producción de FVH. En la fase 2 se evaluó la productividad del FVH en función de las variedades y los períodos de cosecha en estas, la variedad IBTA-80 presentó mayores valores productivos en algunos parámetros como precocidad en la germinación y emergencia, rendimiento de FVH y relación de conversión de semilla a forraje, sin embargo la variedad Criolla presentó mayores valores productivos en altura de la planta, que es de 13.4 cm la altura de planta a los 20 y 25 días son similares con 13.23 cm y 14.6 cm; sin embargo existe diferencia significativa con relación al periodo de cosecha de 15 días donde se tuvo menor altura de 9.27 cm, poniendo de esta manera en segundo lugar la variedad IBTA-80 con una altura de planta de 11.38 cm, por último, de manera general podemos decir que la altura que alcance la planta al final de la etapa de producción varía de acuerdo al tiempo de producción y a las condiciones ambientales y porcentaje de materia seca, mientras que en los períodos de cosecha, de acuerdo a los parámetros productivos obtenidos en la investigación el mejor período de cosecha fue a los 20 días, tomándose en cuenta la infraestructura y la localidad en donde se realizó esta investigación. Los rendimientos de las variedades, teniéndose un mayor valor en la variedad IBTA-80 de $16.7 \text{ kg}/\text{m}^2$,

seguido de la variedad Criolla que fue de 13 kg/m² presentándose una desviación estándar de 2.1 en ambas variedades. En el análisis de costos de producción se observó que para producir FVH con semilla certificada, el costo de producción por cada m² es dos veces más que para producir FVH con semilla no certificada, asimismo de acuerdo a los rendimientos obtenidos el costo para producir 1 kg de FVH de cebada de la variedad Criolla a los 20 días es de 1.5 Bs; mientras que para producir 1 kg de FVH de cebada de la variedad IBTA-80 en los mismos 20 días es de 2.5 Bs.

VI. REVISIÓN DE LITERATURA

6.1 Historia de la hidroponía

Hidroponía, es un conjunto de técnicas que produce el cultivo de plantas en un medio libre de suelo. La hidroponía permite en estructuras simples o complejas producir plantas principalmente de tipo herbáceo aprovechando sitios o áreas como azoteas, suelos infértiles, terrenos escabrosos, invernaderos climatizados, etc. La palabra hidroponía deriva del griego Hidro (agua) y Ponos (labor o trabajo) lo cual significa literalmente trabajo en agua. Con la técnica de cultivo sin suelo es posible obtener hortalizas de excelente calidad y sanidad, permitiendo un uso más eficiente del agua y los nutrientes. No es una metodología moderna para el cultivo de plantas, sino una técnica ancestral; en la antigüedad hubo culturas y civilizaciones que utilizaron esta metodología como medio de subsistencia, sin embargo, los orígenes de la hidroponía fueron muy simples en su implementación. El desarrollo actual de la técnica de los cultivos hidropónicos, está basada en la utilización de mínimo espacio, mínimo consumo de agua y máxima producción y calidad (Beltrano *et al.*, 2015).

6.2 Forraje

Se entiende por forrajes a todos aquellos elementos de origen vegetal, que sirven para la alimentación de los animales. Planta forrajera es la planta o parte de ella, comestible, no dañina, que tiene un valor nutritivo y que está disponible para ser consumida por los animales. Pasturas: comunidad de plantas resultantes de la

interacción de estas plantas entre sí y las mismas con el ambiente, donde los árboles están ausentes, o solo presentes en forma esporádica y donde predominan las especies herbáceas, especialmente las gramíneas o pastos y las fabáceas (Jewsbury, 2016).

6.2.1 Forraje Verde Hidropónico (FVH)

Se trata de una tecnología de producción de biomasa obtenida a partir del crecimiento inicial de las plantas en los estados de germinación y crecimiento temprano de plántulas a partir de semillas viables, generando un producto altamente nutritivo, rico en enzimas y vitaminas que se pueden desarrollar a escalas industriales que aumentarían el rendimiento por área (Rodríguez, 2008).

6.2.2 Generalidades del FVH

La producción del FVH es una de las derivaciones prácticas que tiene el uso de la técnica de los cultivos sin suelo o hidroponía. 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 localidad geográfica, siempre y cuando se establezcan las condiciones mínimas necesarias para ello. El FVH es una alternativa para la alimentación de animales como bovinos, caprinos, ovinos, equinos, porcinos, aves, entre otros; y es especialmente útil en periodos de escasez de forraje verde (López *et al.*, 2013).

6.2.3 Ventajas del FVH

Vázquez (2014) citado por Alvarado, (2018) menciona que existen una serie de ventajas en la producción de FVH al compararlas con un sistema de producción de forraje en condiciones de campo, entre las que se pueden mencionar:

- Se produce en reducido espacio.

- Se requiere poca agua. En un sistema de producción de FVH el agua utilizada es recirculada, realizando riegos de sólo 3 minutos diarios.
- Aumento en la producción, contenido de grasa y sólidos totales de la leche de vacas en pastoreo.
- Mejora la condición corporal del animal, reducción de los días vacíos, menor incidencia de mastitis y menor retención de placenta.

6.2.4 Desventajas del FVH

Proyectos de FVH son vendidos a productores sin conocer exactamente las exigencias del sistema, la especie forrajera, sus variedades, su comportamiento productivo, plagas, enfermedades, requerimientos de nutrientes y de agua, así como también las óptimas condiciones de luz, humedad y temperatura. Esto ha ocasionado el fracaso de algunos proyectos por no haber accedido a una capacitación previa que permita un excelente manejo del sistema. Así mismo el FVH es una actividad continua y exigente en cuidados lo que implica un compromiso concreto con el productor (Ramírez, 2013).

El descuido en el mantenimiento de los niveles de humedad y temperatura pueden provocar problemas con hongos (Ramírez, 2013).

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.

6.3 Fertilización

El uso de fertilización en la producción de FVH resulta positiva como para recomendar su uso, se debe recordar siempre que todas las sales minerales utilizadas para la preparación de la solución nutritiva deben ser de alta solubilidad. El no usar sales minerales de alta solubilidad, nos lleva a la formación de precipitados. Este fenómeno es un factor negativo para nuestro cultivo de FVH dado

Que a consecuencia de ello, se producen carencias nutricionales de algunos elementos (Cortazzo, 2001).

6.3.1 Fertilización foliar

Trinidad (1999) menciona que la fertilización foliar es la nutrición a través de las hojas, se utiliza como un complemento a la fertilización al suelo, bajo este sistema de nutrición la hoja juega un papel importante en el aprovechamiento de los nutrimentos, algunos componentes de ésta participan en la absorción de los iones. Los factores que influyen en la fertilización foliar pueden clasificarse en tres grupos; aquellos que corresponden a la planta, el ambiente y la formulación foliar.

- La planta: se analiza la función de la cutícula, los estomas y ectodesmos en la absorción foliar.
- El ambiente: la temperatura, luz, humedad relativa y hora de aplicación.
- Formulación Foliar: En la formulación foliar se analiza el pH de la solución, surfactantes y adherentes, presencia de sustancias activadoras, concentración de la solución, nutrimentos y el ion acompañante en la aspersión.

6.4 Elementos químicos fundamentales

Los elementos esenciales para las plantas son 17 incluyendo O, H y C provenientes de H₂O, CO₂ y aire, los demás corresponden a los nutrientes minerales, los cuales, según la cantidad absorbida por la planta, se clasifican en macronutrientes y micronutrientes. Los macronutrientes son nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, los cuales se encuentran en el tejido de las plantas en concentraciones superiores a 0.1%, con base en la masa seca. Los micronutrientes son requeridos en los tejidos de las plantas en concentraciones menores a 100 µg/g de masa seca. Con estos elementos y la luz del sol, las plantas son capaces de sintetizar todos los compuestos que necesitan (Palomino *et al.*, 2004).

6.4.1 Los aminoácidos

La acción de los aminoácidos sobre el organismo vegetal siempre se ha centrado en su acción para ayudarlos a superar situaciones de estrés y situaciones de gran actividad metabólica como las que se producen en las fases de brotación, floración, fructificación, etc. El estrés se sitúa en el cambio de cualquier factor ambiental, que actúe sobre el vegetal afectando a la respuesta bioquímica y fisiológica de los mismos, pudiendo provocar daños y lesiones, ocasionalmente irreversibles. En general, las situaciones de estrés originan en el vegetal una serie de cambios fisiológicos compensatorios que van encaminados a mantener las condiciones vitales del organismo (Cerezo, 2020).

6.4.2 Semilla

Las semillas son la unidad de reproducción sexual de las plantas y tienen la función de multiplicar y perpetuar la especie a la que pertenecen, siendo uno de los elementos más eficaces para que esta se disperse en tiempo y espacio. Constituyen el mecanismo de perennización por el que las plantas perduran generación tras generación. Son también la unidad móvil de la planta. Las semillas son el medio a través del cual, aún de manera pasiva, las plantas encuentran nuevos sitios y microambientes. En todo cultivo es imprescindible tener en cuenta la calidad de la semilla para su éxito. Las semillas son el punto de partida para la producción y es indispensable que tenga una buena respuesta en las condiciones de siembra y que produzca plántulas vigorosas, para alcanzar el máximo rendimiento (Doria, 2010).

6.4.3 Principales semillas utilizadas para la producción de FVH

El sistema de FVH puede proporcionar un suministro constante de alimento para el ganado durante épocas críticas de abastecimiento de forrajes en donde las especies o granos (semillas de cereales o de leguminosas) comúnmente utilizadas en esta modalidad son avena, maíz, cebada, trigo, alfalfa y arroz (Fuentes, 2011).

6.4.4. Gramíneas

6.4.4.1 Avena

El valor nutricional del grano de avena es superior al de otros cereales, es una fuente rica de aminoácidos, contiene 18 aminoácidos siendo los de mayor contenido el ácido Glutámico, Arginina, Lisina, Treonina, Valina, Alanina, ácido Aspártico y Prolina. El contenido en proteínas digestibles del grano de avena es mayor que en maíz, cebada y trigo. En el endospermo se encuentra el almidón, un polímero con unidades de glucosa α 1:4 y α 1:6 y se encuentra en dos formas una es de amilosa de cadena lineal que constituye el 23% y otra amilopectina con un 77% de cadena ramificada. Una cadena de amilosa contiene entre 20-30 unidades de glucosa en su estructura y una cadena de amilopectina contiene 18-36 unidades de glucosa en su estructura, la cáscara de la avena (25% del peso del grano), contiene el 85% de la fibra total, 40% de cenizas, 4% de proteínas, y 4% de grasa que en el tratamiento de descascarado se pierde (Carrasco, 2007).

6.4.4.2 Cebada

El grano de la cebada suele destinarse a la alimentación del ganado, así como la paja de esta. La cebada se utiliza también para la producción de cerveza. Las variedades cerveceras suelen ser de dos carreras. La cebada cervecera debe poseer una capacidad germinativa del 95%, lo que implica que el grano debe recolectarse cuando esté bien maduro y seco, y además debe estar bien conservado. El sistema radicular de la cebada es fasciculado, fibroso, y alcanza poca profundidad en comparación con otros cereales. Los tallos son cilíndricos, huecos y gruesos, formado por ocho entrenudos los cuales son ligeramente más anchos en la parte central que en los extremos junto a los nudos; estos son gruesos. El grano de cebada está compuesto por la cascarilla, la raquilla y el fruto. El fruto está formado por el pericarpio y la semilla: El pericarpio es la envoltura de la semilla, la cual está formada por una capa de aleurona (integrada por enzimas y proteínas), el endospermo (el cual es una masa del almidón) y el embrión (una planta en potencia que se desarrolla al germinar). La cascarilla adherida al pericarpio, es lisa

y de tamaño variable. La polea cubre el lado ventral del grano y tiene un pliegue que abre en forma de V en diversa proporción a partir de su base. La raquilla es una pequeña estructura, parecida a un tallo con pelos, que está adherida a la base en el exterior del grano por el lado ventral. El grano debe estar seco, limpio y sin olores extraños con el que se produce cuando se calienta o se fermenta. No debe tener semillas de hierbas y tierra, ni algunas otras impurezas.

La composición química es variable ya que depende principalmente de la variedad y del contenido de humedad del grano. En promedio, los granos de cebada con un 14% de agua, contienen: Proteínas 10.5%, Grasas 2.1%, Celulosa 4.5%, Cenizas 2.5%, Carbohidratos 66.4% (Ledesma, 1999).

6.4.4.3 Maíz

El maíz está compuesto de 70-75% de almidón, 8-10% de proteína, 4-5% de lípidos, 1-3% de azúcares y 1-4% de cenizas (Earle *et al.*, 1946; Hallauer, 2001; Arendt y Emanuele, 2013). Los granos inmaduros contienen niveles relativamente altos de azúcares y menores cantidades de almidón, proteína y lípidos, ya que éstos se acumulan durante la maduración (Boyer y Shannon, 1982). El maíz posee el grano de mayor tamaño en relación al resto de los cereales, cuyo peso de cien semillas rondan en promedio los 30 gr. Los componentes químicos del grano de maíz, se encuentran distribuidos en sus distintas estructuras anatómicas (pericarpio, endosperma y embrión) (Mansilla, 2018).

6.4.4.4 Sorgo

El sorgo (*Sorghum vulgare* L.) es un cereal perteneciente al género *Sorghum*, el cual posee características nutricias y organolépticas muy similares al maíz (*Zea mays* L.). El sorgo tiene más proteínas y menos grasa que el maíz, pero la composición de sus aminoácidos es muy similar. El aminoácido limitante para los animales monogástricos que ingieren cereales es la lisina, lo cual es común en todos los granos y esta limitación es seguida por la deficiencia en treonina, triptófano

y metionina. Generalmente, una alta productividad agronómica del grano varía en proporción inversa al contenido de estos aminoácidos. Por otro lado, el sorgo se compara al maíz en su contenido de vitaminas y minerales aunque presenta mayor contenido de ceras (0.1 a 0.3%), siendo 50 veces más rico que el maíz. Los gránulos de almidón del sorgo son ligeramente más largos y presentan una temperatura de gelatinización ligeramente mayor que la del maíz (67-77°C contra 62-72°C del maíz). Algunas variedades de sorgo contienen 20-30% de amilosa y 70-80% de amilopectina. El contenido de taninos y almidón en el grano de sorgo está relacionado íntimamente, ya que las variedades de sorgo con alta concentración de taninos y polifenoles (Vázquez *et al.*, 2012).

6.4.4.5 Trigo

Planta gramínea anual con espigas de cuyos granos molidos se saca la harina. Los granos de trigo común pueden ser blandos o duros. La altura de la planta varía entre 30 y 150 cm; el tallo es recto y cilíndrico; la hoja es lanceolada, cada planta tiene de 4 a 6 hojas. Los granos son cariósides que presentan forma ovalada con sus extremos redondeados. El germen sobresale en uno de ellos y en el otro hay un mechón de pelos finos. El resto del grano, denominado endospermo, es un depósito de alimentos para el embrión. A lo largo de la cara ventral del grano hay una depresión (surco): una invaginación de la aleurona y todas las cubiertas. En el fondo del surco hay una zona vascular fuertemente pigmentada. El pericarpio y la testa, juntamente con la capa aleurona, conforman el salvado de trigo. El grano de trigo contiene una parte de la proteína que se llama gluten. Posee una raíz fasciculada o raíz en cabellera, es decir, con numerosas ramificaciones, las cuales alcanzan en su mayoría una profundidad de 25 cm, llegando algunas de ellas hasta un metro de profundidad. Las hojas se contabilizaron un promedio de 4 hojas envainadoras, paralelinervas, que nacen de los nudos, acintadas, sin pecíolo, que poseen la vaina, parte que sobresale del tallo. Tienen una longitud de 23 cm y ancho de 1 cm (González, 2014).

El trigo constituye la base de las industrias panadera y formadora de piensos; es un alimento energético y aporta vitaminas a los organismos humano y animal. También puede ser utilizado como modelo experimental para el estudio de la relación planta-ambiente. En los últimos años, el contenido de nutrientes del grano de trigo y sus componentes ha sido objeto de estudio, por lo que se ha conocido su valor como fuente proteica y su superioridad con respecto a la inmensa mayoría de los cereales (Moreno, 2001).

6.4.4.6 Arroz

El grano de arroz, comúnmente llamado semilla, recién cosechado está formado por el fruto cariopse y por la cáscara, está última compuesta por las glumelas (palea y lema). Industrialmente se considera al arroz cáscara aquel comprendido por el conjunto de cariopse y glumelas. Si bien su contenido de proteína es bajo (7-9% promedio en peso) se conocen variedades de arroz salvaje en China y Estados Unidos con 12.0 y 15.2% de proteína en grano integral. El componente proteico mayoritario del grano de arroz lo constituyen las glutelinas en proporción de 75-90% con respecto a la proteína total. Son las únicas proteínas de cereales ricas en glutelinas y pobres en prolaminas (Pincioli, 2010).

El grano de arroz es un fruto de la planta del arroz (*Oryza sativa* L.), herbácea anual de la familia de las gramíneas. Es uno de los cereales más extendidos por el mundo. Se cultiva ampliamente en los cinco continentes, en regiones pantanosas de clima templado o cálido y húmedo. Tiene una forma ovoide, aplanada, su color varía de amarillo a café translucido. En relación a los minerales, el mayor contenido lo constituye el fósforo del cual la mayor parte queda retenida en el salvado, quedando una pequeña parte en el arroz elaborado. Con respecto al calcio, la mayor cantidad se queda en la cáscara del arroz y el arroz elaborado es el que menor cantidad posee (Almarza, 2007).

6.4.5 Leguminosas

6.4.5.1 Alfalfa

La alfalfa (*Medicago sativa* L.) es un cultivo perenne, lo que significa que crecerá durante varios años después de la siembra, que se realiza en la primavera o el otoño. Se siembra en el norte y centro de México, con la excepción de una pequeña área en los valles centrales de Oaxaca en el sur de México. La producción de semilla de alfalfa es inadecuada para satisfacer la demanda por lo tanto, la mayoría de la semilla es importada de Estados Unidos de América. Debido a los inviernos benignos y a la importancia de la producción forrajera invernal, los cultivares usados no tienen dormancia o tienen semidormancia. Las plantas de alfalfa mantienen un rango del 17 al 26% de PC en base a su contenido de MS, por lo que ese considera una fuente importante de PC para el ganado; sin embargo, la cantidad de PC digerida en el rumen de la alfalfa es demasiado alta, y puede ser un problema debido a la excreción urinaria de nitrógeno ureico, hecho que es una preocupación ambiental. El contenido de grasa de las plantas de alfalfa es principalmente en la porción de la membrana celular de la célula y es normalmente bajo, con un promedio de 1.5% de la MS como extracto etéreo (EE) en el heno de alfalfa. El contenido mineral de la alfalfa se determina por una medida de cenizas y puede ser alta, que van desde 6 a 15% de la MS del tejido de la planta (Buenrostro, 2011).

6.4.6 Cuadro comparativo de PC semilla y FVH

Cuadro 1: Comparación de proteína cruda de diferentes variedades de gramíneas como semilla y su valor como forraje verde hidropónico.

Variedad	Semilla PC%	FVH PC%
<i>Avena</i>	11.5	14.79
<i>Cebada</i>	12.5	22.37
<i>Maíz</i>	9.9	18.3
<i>Arroz</i>	7.7	7.92
<i>Sorgo</i>	9.77	19.08
<i>Trigo</i>	12.5	21.5

Fuente:(Vera, 2007), (Fuentes, 2011), (Madrigal, 2006), (Contreras et al., 2015), (López, 2012), (Rivera et al., 2010), (Almarza, 2007), (Rodríguez, 2008), (Oña & Novillo, 2017), (Díaz, 2015), (Moreno, 2001), (Maldonado et al., 2013).

6.5 Producción del FVH

El forraje verde hidropónico (FVH) es una metodología de producción de alimento para el ganado que resulta propicia para evadir las principales dificultades encontradas en zonas áridas y semiáridas para la producción convencional de forraje. Consecuentemente, la búsqueda de metodologías alternativas de producción de forraje en las cuales se considere el ahorro de agua, altos rendimientos por m² ocupado, calidad nutricional, flexibilidad en la transferencia y mínimos impactos negativos sobre el medio ambiente es de particular importancia. Considerando los puntos anteriores, se puede decir que el FVH puede constituirse en una opción alternativa a los métodos convencionales de producción de forraje que contribuya a una actividad agropecuaria sostenible en las zonas áridas y semiáridas (Aguilar et al., 2008).

6.5.1 Calidad de la semilla para la producción de FVH

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. En términos ideales, se debería usar semilla de buena calidad, de origen conocido, adaptadas a las condiciones locales, disponibles y de probada germinación y rendimiento. Es muy conveniente también que las semillas

elegidas para nuestra producción de forraje, se encuentren libres de piedras, paja, tierra, semillas partidas las que son luego fuente de contaminación, semillas de otras plantas y fundamentalmente saber que no hayan sido tratadas con cura semillas, agentes pre emergentes o algún otro pesticida tóxico (Cortazzo, 2001).

6.5.2 Lavado de la semilla

El lavado tiene por objeto eliminar hongos y bacterias contaminantes, liberarlas de residuos y dejarlas bien limpias. El desinfectado con el hipoclorito elimina prácticamente los ataques de microorganismos patógenos al cultivo de FVH. El tiempo que dejamos las semillas en la solución de hipoclorito o “lejía”, no debe ser menor a 30 segundos ni exceder de los tres minutos. El dejar las semillas mucho más tiempo puede perjudicar la viabilidad de las mismas causando importantes pérdidas de tiempo y dinero. Finalizado el lavado procedemos a un enjuague riguroso de las semillas con agua limpia (Cortazzo, 2001).

6.5.3 La imbibición en las semillas

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 la semillas. El ingreso de agua en una semilla tiene tres fases o etapas: una fase I rápida inicial, una fase II meseta (H_2O entre -1 y -1.5 MPa) y una fase III rápida, que se corresponde con el periodo de elongación del embrión o de la radícula. La duración de cada fase va a depender de las características de la semilla (tamaño, contenido de sustratos hidratables, permeabilidad de la cubierta seminal, toma de oxígeno, etc.). Paralelamente a la imbibición y como consecuencia de esta se reactiva la actividad respiratoria en la semilla La tasa de imbibición se ve afectada por varios factores que pueden determinar la respuesta a la germinación de las semillas (Courtis, 2013).

6.5.4 Proceso de etiolación de la semilla

La etiolación, simplemente se refiere al crecimiento de las plantas en la ausencia de luz. 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. La formación de raíces en estaquillas está influenciada por las condiciones de luz durante el crecimiento de las plantas (Navas, 2003).

6.5.5 Germinación

Villamil (1998) menciona que: La Germinación se inicia con la entrada de agua en 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) (Ilustración 1). 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).

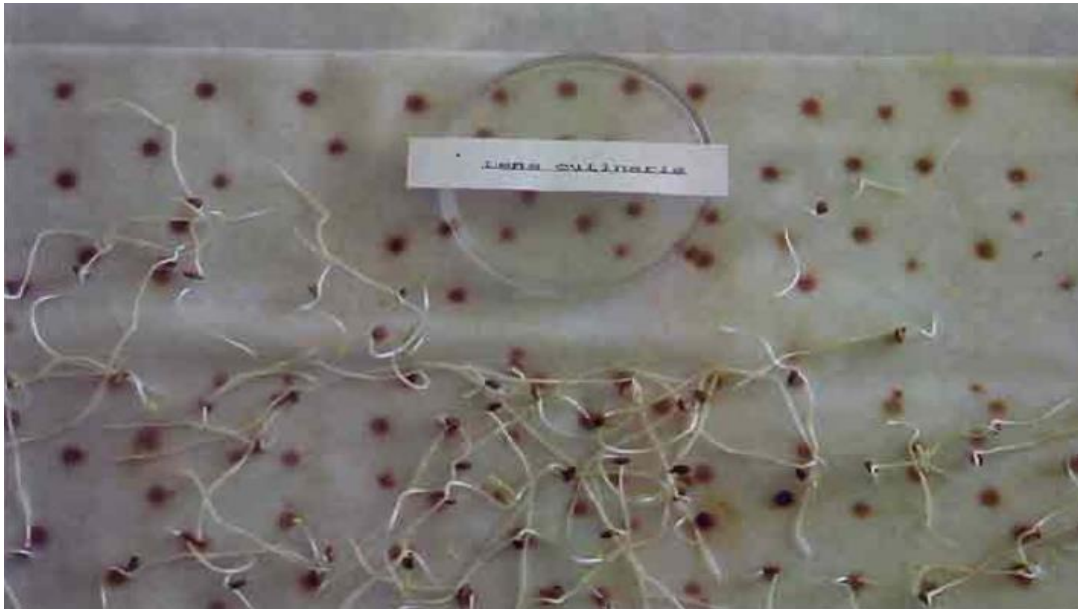


Ilustración 1: La aparición de la radícula es el hecho que, en condiciones de laboratorio, indica que la germinación de la semilla ha tenido lugar. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1998_2090.pdf

6.5.6 Charolas de poliuretano para la producción de FVH

Las charolas utilizadas pueden ser de diversos materiales, destacando las de polietileno, por su costo, facilidad de limpieza y peso. La colocación y número dependerá del tamaño de la bancada, pero siempre se debe dejar una pendiente del orden del 2%. La distancia entre las bancadas, ya sea sencilla o doble, deberá dejarse un pasillo de un metro, para el tránsito de colocación y recolecta de charolas sembradas o con cosecha (Valdez *et al.*, 2009).

6.5.7 Tipos de riego para el FVH

El agua es un insumo indispensable para la producción de FVH, debido a que las plantas cultivadas la requieren para su crecimiento y desarrollo con niveles apropiados de calidad, cantidad y aplicación oportuna (Serna, 2017).

6.5.7.1 Riego por aspersión

El riego por aspersión es un método mediante el cual el agua se aplica sobre la totalidad de la superficie de la charola en forma de lluvia, utilizando para ello una red de riego que permite conducir el agua con la presión adecuada hasta los

elementos encargados de aplicarla, los aspersores. La red de distribución del agua está formada por conducciones cerradas que llevan el agua a presión hasta los aspersores, una vez que el agua ha salido por el aspersor queda fuera de control y a merced de las condiciones climáticas (Gómez *et al.*, 2010).

6.5.7.2 Riego por nebulización

En este sistema los emisores expulsan agua en forma de neblina sobre los cultivos que además de suministrar agua o fertilizante, 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 ideal para: forraje verde hidropónico, germinación de semillas, producción de estacas o esquejes y producción de hongos. Están 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 (Valencia, 2019).

6.5.7.3 Riego por goteo

Los sistemas de riego por goteo permiten conducir el agua mediante una red de tuberías y aplicarla a los cultivos a través de emisores que entregan pequeños volúmenes de agua en forma periódica. El agua se aplica en forma de gota por medio de goteros así como también es un sistema donde el agua se conduce y distribuye por conductos cerrados que requieren presión (Demin, 2014).

6.5.8 Requerimientos para la producción del FVH

La luz solar no debe ser excesiva, ya que causa quemazón en las plantas, principalmente en las bandejas superiores. Si no existiera luz dentro de los recintos para FVH, la función fotosintética no podría ser cumplida por las células verdes de las hojas y por lo tanto no existiría producción de biomasa. Para el cálculo de la iluminación debe considerarse que el FVH sólo requiere una intensidad lumínica de 1.000 a 1.500 microwatts/cm² en un período de aproximadamente 12 a 14 horas

diarias de luz. El rango óptimo para producción de FVH se sitúa siempre entre los 18-26°C. La variabilidad de las temperaturas óptimas para la germinación y posterior crecimiento de los granos en FVH es diverso. Es así que los granos de avena, cebada, y trigo, entre otros, requieren de temperaturas bajas para germinar. La semilla debe presentar como mínimo un porcentaje de germinación no inferior al 75% para evitar pérdidas en los rendimientos de FVH. La condición básica que debe presentar agua para ser usada en sistemas hidropónicos es su característica de potabilidad y una ligera alcalinidad. Como el cultivo del forraje hidropónico es un cultivo a raíz desnuda, es decir, sin sustrato, se deberá realizar en un ambiente con una alta humedad relativa con rangos que oscilen entre el 60 y 80% (Martínez, 2005).

6.6 Factores que afectan la producción del FVH

El FVH se produce en ausencia del suelo y en condiciones protegidas donde se controlan algunas variables ambientales (luz, temperatura y humedad). 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 localidad geográfica, siempre y cuando se establezcan las condiciones mínimas necesarias para ello (Lopez *et al.*, 2013).

Existen unidades hidropónicas forrajeras que tienen diversos grados de sofisticación en su infraestructura, ya que cuentan con dispositivos de control ambiental necesarios, especialmente en países que presentan temperaturas extremas (Valdivia, 1997). Para el crecimiento del forraje verde hidropónico el intervalo más apropiado de temperatura es entre 20 y 28°C, humedad relativa no inferior a 90%. Se deben evitar los encharcamientos dentro de los contenedores y se requiere circulación de aire dentro del cuarto de producción (Maldonado *et al.*, 2013).

6.6.1 Ambiente controlado

La agricultura en ambiente controlado es una técnica de producción agrícola que garantiza la productividad de un cultivo, es la única solución para enfrentar los efectos del cambio climático en América Latina, Este nuevo modelo de negocio en la producción de alimentos, que nació en Japón hace un par de décadas, utiliza ambientes cerrados y alta tecnología, y permite a los productores planificar los cultivos y alterar a su gusto elementos como la luz, humedad, concentración de dióxido de carbono o flujo del aire. Este método de producción permite también minimizar el impacto ambiental, ya que no se usan fertilizantes químicos ni pesticidas, y garantizar la seguridad alimentaria (Proenza, 2017).

6.7 Principales hongos que afectan la producción del FVH

Dentro de los factores que encontramos para la formación de hongos se encuentran: la calidad de la semilla, calidad de agua de riego, iluminación, temperatura, humedad, ventilación y una gran cantidad de microorganismos que se encuentran superficialmente en los polvos que van en los granos, los cuales son algunos de los mayores problemas que se encuentran los productores de forraje verde hidropónico, ya que se desarrollan durante el periodo de germinación del grano, y producen zonas ácidas y putrefacciones incipientes que serán causantes de una pobre calidad en el forraje, reducción del rendimiento e intoxicación en el ganado, por eso es muy importante la buena selección del grano y es imprescindible un buen tratamiento previo a la germinación. Desafortunadamente en un ambiente controlado y húmedo se tiene problemas de importancia que afectan la producción; entre los principales problemas se encuentra la contaminación por hongos y bacterias. El tipo común de hongo, que afecta la producción, es un hongo conocido como *Rhizopus* y ataca el grano, el *Rhizopus* es un hongo del pan, que está presente en todos los granos del cereal y en el suelo, a tal grado que se disemina por todo el mundo. Un control climático estricto en el forraje limita a menudo la cantidad de esporas del hongo que puede germinar. Sin embargo si este hongo progresa rápidamente en etapa temprana, se convierte en una fuente mayor de

alimento para patógenos más peligrosos tales como bacterias y *Aspergillus* que causan problemas e incluso muerte en el ganado. El hongo del *Aspergillus* ha sido encontrado como la principal causa de casos de envenenamiento en Sudáfrica, Israel, Francia, Inglaterra y China (Ovando, 2009).

6.7.1 *Aspergillus*

Los 2 principales factores que influyen en la población de este hongo en el suelo, son la temperatura y la humedad. Bajo condiciones de alta temperatura y baja actividad del agua *Aspergillus* se vuelve muy competitivo y puede convertirse en una de las especies dominantes de hongos en el suelo. No se conoce la fase sexual de este hongo, pero se asume que la conidia es el inoculo primario. En cuanto a los *Aspergillus* de la Sección Nigri, el hongo sobrevive en el suelo y se disemina a temperaturas de 25 a 30°C y con corrientes de aire. Los *Aspergillus* negros fueron nombrados como sección Nigri debido al color negro de sus esporas, que son altamente resistentes a los rayos solares y a la sequía, aunque la exposición prolongada a estos factores disminuye la viabilidad de las esporas. La germinación de las esporas es muy rápida, en menos de 24 horas a temperaturas por encima de los 25°C y actividad del agua de entre 0.90 y 0.99. Las temperaturas óptimas para su desarrollo varían en un rango de 10 a 37°C; una actividad del agua de entre 0.90 y 0.995 es óptima para su desarrollo. En el caso de las OTA en vinos, las uvas son generalmente secadas por un periodo de tiempo de 7 a 14 días para disminuir su nivel de humedad. Durante este proceso los azúcares se concentran y esto a pesar de no ser considerados como importantes hongos fitopatógenos, las especies de *Aspergillus* son responsables de varios desordenes en plantas y alimentos procesados. Estos hongos se comportan muchas veces como saprófitos en un amplio rango de sustratos, incluyendo alimentos, semillas, frutas, y vegetales. Contribuyen a los procesos de descomposición de la materia orgánica y algunas especies son patógenas de insectos. Las especies de *Aspergillus* producen una serie de metabolitos tóxicos, siendo los más importantes los del grupo de las Aflatoxinas producidas por hongos de las secciones Flavi, Nidulantes y

Ochraceorosei y las Ocratoxinas, producidas por hongos de las secciones Nigri y Circundati (Coli & Nora, 2015).

6.7.2 Fusarium

El género *Fusarium* es un grupo de hongos filamentosos ampliamente distribuidos en el suelo y plantas. Debido a su capacidad de crecer a 37°C, son considerados oportunistas. Al microscopio, la fiálide es generalmente fina, con forma de botella; simple o ramificada; cortas o largas; monofialídica (que emergen esporas de un poro de la fiálide) o polifialídica (de varios poros). Los macroconidios presentan forma de medialuna, hialinos y septados. Para su correcta clasificación es importante el largo, ancho, curvatura, septos, agrupaciones mucoides (esporodoquios) y detalles de las células de los extremos (célula apical y pie). Los microconidios, ausentes en algunas especies, poseen variadas formas (fusiformes, ovals, clavadas, entre otras), agrupaciones (estructuras mucoides llamadas “falsas cabezas”), en cadenas largas o cortas; todas observables a la lupa (40x). Otro tipo de conidios son los mesoconidios, que son similares pero de menor tamaño que los macroconidios y nunca forman estructuras mucoides. Por último, pueden observarse las clamidosporas características con doble pared gruesa, lisa o rugosa; de manera aislada, en pareja o en grupo (Tapia & Amaro, 2014).

6.7.3 Penicillium

Los Penicilios son mohos comunes que desarrollan sobre los más diversos substratos: granos, paja, cueros, frutas, etc. La importancia de estos mohos en la alimentación humana y animal se debe a que, además causar deterioro, producen toxinas. El género *Penicillium* está subdividido en grupos o subgéneros de acuerdo a la morfología de los pinceles aunque también se tiene en cuenta la velocidad de crecimiento. La serie *Monoverticillata* (Bridge *et al.* 1992) o subgénero *Aspergilloides* (Pitt & Hocking 1997), comprenden a todos los Penicilios monoverticilados. En ellos el estípote suele tener mayor diámetro en la zona donde se implantan las fiálides, sin llegar a ser una vesícula como en el género *Aspergillus*.

Las colonias de *Penicillium* son circulares si no hay impedimento alguno para su crecimiento, con un borde neto muchas veces sin fructificación y mostrando el color del micelio. Éste es generalmente blanco, pero en algunas especies es amarillo, anaranjado, púrpura o pardo claro. La superficie de la colonia madura, o sea con sus conidios formados, puede ser: aterciopelada, ligeramente algodonosa o con pequeños haces (fascículos) de conidióforos. En unos pocos casos los haces miden varios milímetros (coremios) con el extremo constituido por las cadenas de esporas (Carrillo, 2003).

6.7.4 *Calviceps Purpurea*

El comezuelo del centeno (*Calviceps purpurea*) es un hongo ascomiceto parásito de un gran número de cereales. Destaca sobre las espigas como una excrecencia, el esclerocio en forma de cuerno de ahí su nombre que se desarrolla en los granos del cereal. Tiene una longitud comprendida entre uno y cuatro centímetros y unos cuantos milímetros de ancho y su color que varía entre el púrpura y el negro. En relación con los seres humanos, su mayor importancia radica en que su consumo ha sido responsable del ergotismo, enfermedad causada por los alcaloides con actividad farmacológica que contiene (Díaz, 2011).

6.7.5 *Rhizopus*

Es un hongo fitopatógeno versátil que puede crecer y desarrollarse en una amplia gama de temperaturas y humedades relativas. Su rápida velocidad de crecimiento le permite colonizar la superficie de los productos agrícolas y causar la enfermedad conocida como pudrición blanda que ocasiona importantes pérdidas económicas. Este proceso se desarrolla mediante la excreción de enzimas pécticas del hongo que degradan y disuelven las pectinas de la lámina media de las células vegetales (Valle *et al.*, 2008).

VII. MATERIALES Y METODOS

7.1. Descripción del área de estudio

Los experimentos se realizaron en el Centro Universitario UAEM Temascaltepec, Carretera Toluca-Tejupilco Km. 67.5, Barrio de Santiago, se encuentra a 1,807 metros sobre el nivel del mar (msnm). El clima es templado y cálido en Temascaltepec de González. De acuerdo con Köppen y Geiger clima se clasifica como Cwb (Clima subtropical de montaña). La temperatura aquí es en promedio 15.7°C. La precipitación es de 2,446 mm al año (Balbuena, 2018).

Área asignada: instalaciones de la posta zotécnica del Centro Universitario UAEM Temascaltepec adecuada para el desarrollo del experimento (Ilustración 2).



Ilustración 2: Instalaciones donde se desarrolló el experimento (autor propio).

7.2 Periodo de evaluación

El periodo de evaluación de los experimentos se realizó durante la época de verano y unas fechas antes de comenzar el invierno, en donde cada uno de los experimentos tuvo una duración 17 días.

7.3 Infraestructura del experimento

Rack o anaquel para el FVH

El anaquel (Ilustración 3) se elaboró de madera y bambú para reducir costos. Se construyeron tres secciones con una capacidad para 50 charolas por sección, teniendo un total de espacio para producción de 150 charolas.

Medidas del rack:

- 1.20 m de ancho x 6 m de largo x 2 m de alto

Así como también se utilizó una malla antiafidos cristal 26.38% de sombra de 500 micras como cerco perimetral que evito la entrada de insectos chupadores que afectaban el proceso del experimento.

Medidas de las charolas:

- .40 m x .60 m x .05 m (Ilustración 4).



Ilustración 3: Rack del FVH (autor propio).

7.4 Sistema de riego

Para el sistema de riego (Ilustración 4) se hizo uso de una manguera de poliuretano de 7/8 con conexiones “T” de 7/8, llaves de paso de las mismas medidas, microasperores Jet Antelco HE 4 mm 36 litros por hora (LPH) con patrón de aspersión de 360° y un alcance máximo de 1.5 m y se colocaron a la mitad del rack para que el riego fuera uniforme en ambas partes. Así como también se utilizaron nebulizadores con microboquilla de salida única, tamaño de gota de 30 a 40 micras y un gasto de 6 litros por hora, manguera tubin de 4 mm con el propósito de disminuir la temperatura y regular la humedad dentro de la estructura del rack.



Ilustración 4: Sistema de riego por microaspersión (autor propio).

7.5 Sistema de ventilación

Para el sistema de ventilación (Ilustración 5) se necesitaron dos ventiladores de piso de la marca Man® de 20" y se colocaron en la parte superior del rack a una altura de 2 m en un Angulo de 20° con el fin de controlar la temperatura y la humedad.



Ilustración 5: Sistema de ventilación (autor propio)

7.6 Sistema de iluminación

La iluminación cumple un papel importante en la producción del FVH es por eso que se colocó un foco de luz blanca en espiral de 23W mediante la conexión directa con la luz eléctrica por medio de una extensión de la marca Truper® de 15 m de largo que se ubicó a la mitad de la estructura además que su uso fue necesario para la anotación de los registros.

7.7 Producción de FVH

7.7.1 Pesaje de la semilla

Se realizó por medio de una báscula granataria digital Kokorox® SF 400 (Ilustración 6) con capacidad de 1 a 7000 g en donde también se utilizó una bandeja de plástico con capacidad de 7 L como el medio para el pesado de la semilla (Ilustración 7), se pesó 1.5 kg de semilla húmeda para cada una de las repeticiones de cada experimento.



Ilustración 6: Báscula granataría digital Kokorox® SF 400 (autor propio)



Ilustración 7: Pesaje de la semilla (autor propio).

7.7.2 Lavado de la semilla

Se hizo uso de tres botes de plástico con capacidad de almacenamiento de 19 L en donde se colocó la semilla ya pesada para su proceso de lavado así como también se necesitó de un par de coladores para el escurrimiento de la semilla ya lavada. Una vez vertida la semilla en los botes se suministró agua tratando de cubrir la mayor parte posible, se introdujo la mano dentro del bote para realizar el lavado tratando de hacer movimientos circulares con el fin de obtener un lavado más homogéneo. Cuando los residuos de la semilla salieron a flote se utilizó un colador metálico. Una vez realizado todo este proceso de lavado, la semilla se colocó en los coladores plásticos para su posterior ciclo de enjuague. Todos los procesos se realizaron de dos a tres veces hasta que las semillas quedaran limpias y libres de residuos (Ilustración 8).



Ilustración 8: Lavado de la semilla (autor propio).

7.7.3 Desinfección de la semilla

Para llevar a cabo la desinfección de la semilla se utilizó Hipoclorito de Sodio al 5% de la marca Clorox® como reactivo desinfectante. Este proceso comenzó con la colocación de la semilla ya lavada en un bote de plástico de 19 L donde se midieron los L que se necesitaron para cubrir toda la semilla, para esto se usó una jarra graduada (Ilustración 9) con capacidad de un litro y después de esto se hizo la relación litros de agua - Hipoclorito de Sodio quedando de la siguiente manera:

- 1000 ml de agua por 50 ml de Hipoclorito de Sodio

Una vez obtenidas las medidas correspondientes se añadió el Hipoclorito de Sodio al agua con la semilla y se dejó reposando por 30 minutos. Después del tiempo transcurrido con la solución, la semilla pasó a los coladores para su posterior enjuague parcial con abundante agua.



Ilustración 9: Desinfección de la semilla con Hipoclorito de Sodio (autor propio).

7.7.4 Escarificación de la semilla

Para el proceso de escarificación se utilizó Oxido de Calcio (Cal Viva) a razón de 2 g por L de agua como escarificante. Después del proceso de desinfección, la semilla pasó nuevamente a los botes plásticos de 19 L (Ilustración 10) en donde se obtuvo de nuevo la cantidad de litros necesarios con la jarra graduada para cubrir

el total de la semilla, donde posteriormente se vertió el Óxido de Calcio, con un batidor de madera se mezcló perfectamente todo el contenido y la mezcla final se dejó reposando durante 16 horas.



Ilustración 10: Escarificación de la semilla con Oxido de Calcio (autor propio).

7.7.5 Etiolación de la semilla

Una vez transcurridas las 16 horas de escarificación, la semilla se volvió a verter en los coladores para un proceso de enjuague a manera de retirar el exceso de Oxido de Calcio que se había incorporado a la semilla. Después de eso la semilla pasó a unos contenedores plásticos de rejilla color negro donde se trató de acomodar la semilla de manera uniforme en todo el contenedor. Cada uno de estos contenedores se rotuló con el tipo de semilla y fecha de siembra así como también se colocó una bolsa negra por contenedor a manera de disminuir la iluminación, posteriormente se trasladaron al área de etiolación en donde permanecieron por 72 horas (Ilustración 11).



Ilustración 11: Semilla en proceso de etiolación.

7.7.6 Lavado y desinfección de las charolas

Las charolas se lavaron y desinfectaron con Hipoclorito de Sodio al 5% de la marca Cloralex® donde se obtuvo una mejor inocuidad y sanidad al momento de hacer el sembrado en las charolas (Ilustración 12).



Ilustración 12: Desinfección de las charolas hidropónicas con una solución de Hipoclorito de sodio al 5% (autor propio).

7.7.7 Colocación de la semilla en las charolas hidropónicas

Después de haber transcurrido las 72 horas en el proceso de etiolación, con las charolas ya lavadas y desinfectadas, la semilla procedió a colocarse en las charolas hidropónicas de poliuretano de .40 m x .60 m x .05 m, donde se pesó un total de 1.5 kg de semilla húmeda por charola, tratando de esparcir de manera uniforme sobre toda la base sin dejar espacios libres. Posteriormente se colocó cada una de ellas en el rack ubicadas por experimento y se enumeraron las repeticiones del 1 al 5 (Ilustración 13).



Ilustración 13: Charolas colocadas en el rack después de la etiolación (autor propio).

7.7.8 Riegos

Los riegos se realizaron por un sistema de microaspersión utilizando microaspersores Jet Antelco HE 4mm 36 Litros por hora (LPH) con un gasto por minuto de 600 ml de agua y con patrón de aspersion de 360°, se necesitó un total de 1.275 L de agua durante la duración de cada experimento, se realizaron tres riegos diarios en diferentes horarios 9:00 am, 2:00 pm, 7:00 pm teniendo una duración de 10 segundos por riego observando que en algunos días la temperatura era elevada se añadió un riego más, quedando de la siguiente manera: 9: am, 12: pm, 3:00 pm y 6:00 pm en este caso los riegos fueron de 7.5 segundos por charola.

7.8 Especificaciones realizadas durante el experimento:

Antes de comenzar con el proyecto del FVH se tomó en cuenta que la inocuidad y la sanidad es también de suma importancia para los cultivos, es por eso que se llevó a cabo la desinfección del área de trabajo con Cal Viva (Oxido de Calcio) tratando de tener un revestimiento de manera uniforme en toda la estructura

y de igual manera la se utilizó Hipoclorito de Sodio al 10% para una desinfección más profunda.

Día 1: Preparación, lavado, desinfección y escarificación de las semillas a experimentar.

Día 2: Colocación de la semilla en cajas para el proceso de etiolación.

Del día 3 al día 4: Revisión de la semilla en los pregerminadores.

Día 5: Colocación de la semilla en las charolas hidropónicas, rotulación y acomodo en el rack y comienzo de los riegos por microaspersión a las 9:00 am, 2:00 pm y 7:00 pm o 9:00 am, 12:00 pm, 3:00 pm y 6:00 pm según la temperatura y humedad identificadas en el lugar del experimento.

Del día 6 al día 20: Riegos por microaspersión a las 9:00 am, 2:00 pm y 7:00 pm o de 9:00 am. 12:00 pm, 3:00 pm y 6:00 pm según la temperatura y humedad identificadas en el lugar del experimento y evaluación del forraje a las 5:30 pm.

7.9. Variables de evaluación

7.9.1 Evaluación de la raíz

El muestreo se realizó de manera aleatoria (Ilustración 16) durante los 17 días de cada experimento, descartando 5 cm de los extremos de la charola para evitar el efecto orilla y se tomó un total de 10 muestras por cada repetición donde se tuvo un total de 50 muestras por experimento (Ilustración 15) para su posterior medición. El patrón de muestreo quedó de la siguiente manera (Ilustración 14):

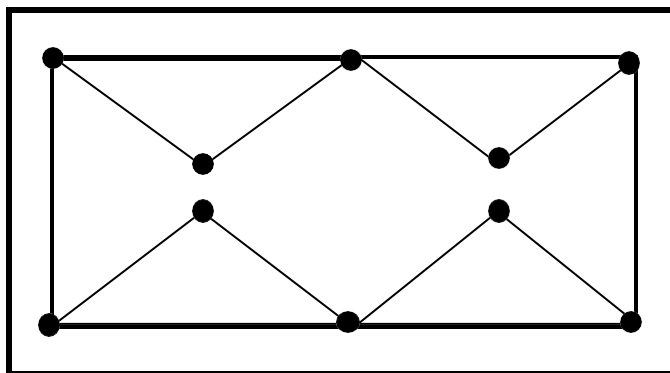


Ilustración 14: Tabla de muestreo

Se colocó un identificador (palillo de madera) por punto determinado para la muestra.



Ilustración 15: Muestras para evaluación (autor propio).



Ilustración 16: Colocación de identificadores de muestras (autor propio).

La evaluación de la raíz se realizó durante los 17 días del experimento en punto de las 5:30 pm, se comenzó a partir de que la semilla se colocó en las charolas hidropónicas ya ubicadas en el rack, se utilizó un vernier digital de la marca Steren® (Ilustración 17) tomando la medición en centímetros desde la parte emergente hasta la punta de la raíz. La toma de muestras se hizo de manera cuidadosa para no afectar la estructura del FVH.

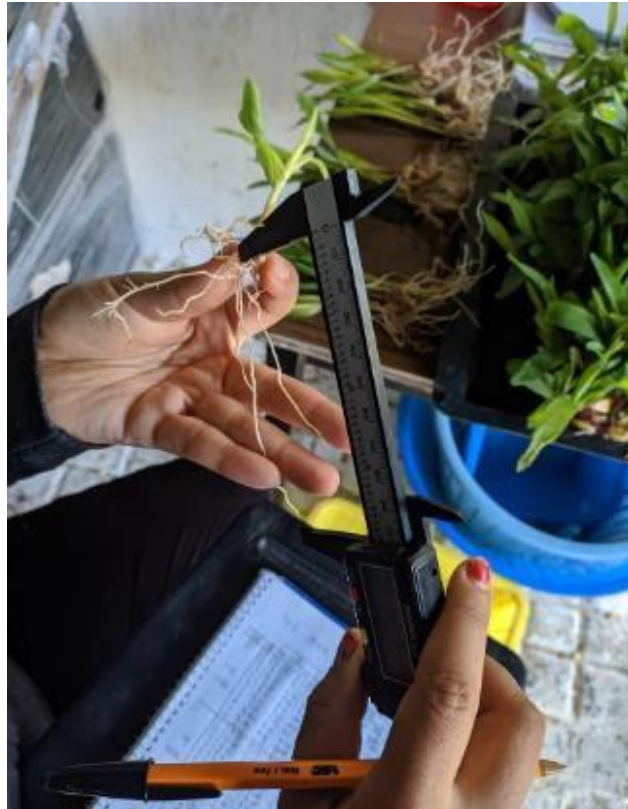


Ilustración 17: Medición de la raíz (autor propio).

7.9.2 Evaluación del tallo

La medición del tallo se realizó durante los 17 días del experimento a las 5:30 pm, después de los 3 días de etiolación y se utilizó un vernier digital Steren® a partir de que el coleoptilo se hizo presente en la semilla, tomando en cuenta en cm desde su base hasta la punta del tallo (Ilustración 18).



Ilustración 18: Medición del tallo (autor propio).

7.9.3 Medición del grosor del tapete

Para la toma de datos de esta variable se identificarán las charolas por medio de puntos (1, 2, 3, 4), en donde los datos se tomarán del punto señalado.



Para el grosor del tapete se comenzó a evaluar cuando la raíz estuvo completamente entrelazada entre si y para evitar errores de medición, la charola estuvo identificada con cuatro puntos (1, 2, 3, 4) en donde se tomara la medida de cada uno de ellos utilizando un vernier digital Steren® en centímetros, se trató de levantar ligeramente el tapete evitando el menor daño posible al FVH colocando el vernier Steren® en la parte base ventral del tapete y tomando la medida correspondiente (Ilustración 19).



Ilustración 19: Medición del grosor del tapete (autor propio).

7.9.4 Rendimiento del FVH

El pesado se realizó durante los 17 días del experimento en punto de las 5:30 pm, se tomó cada una de las repeticiones y por medio de una báscula granataría Kokorox® SF 400 se registró el peso correspondiente (Ilustración 20).



Ilustración 20: Pesaje de las charolas con el FVH

7.10 Diseño estadístico

Se utilizaron tres tipos de semilla de distintas especies de gramíneas, maíz (*Zea mays* L.), cebada (*Hordeum vulgare* L.) y avena (*Avena sativa* L.), distribuidas al azar con tres experimentos establecidos en diferentes estaciones del año que van de verano a otoño (experimento 1, experimento 2 y experimento 3) y cinco repeticiones por semilla en donde la duración de cada uno de los experimentos fue de 17 días, en el periodo de verano-otoño (Agosto-Diciembre). Se realizó una comparación de producción de los experimentos por cada una de las semillas.

Las variables del experimento tamaño de la raíz, tamaño del tallo, grosor de tapete, rendimiento en kg del FVH se evaluaron estadísticamente, utilizando un diseño estadístico completamente al azar (Hunter G. 2008). A la información recabada en campo se le aplicó un análisis de varianza y donde se detectó una diferencia significativa al 5% y se le aplicó la prueba de Tukey.

$$Y_{ij} = M + T_i + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Valor de respuesta del i-ésimo tratamiento en la j-ésima repetición

M = Medida general de los tratamientos

T_i = Efecto del i-ésimo tratamiento

E_{ji} = Error experimental en el i-ésimo tratamiento en la j-ésima repetición

Quedando distribuidos las repeticiones y los tratamientos en el siguiente cuadro.

E= Experimento R=repetición

Cuadro 2 : Cuadro de muestras

Agosto (15 al 31)	Octubre (4 al 20)	Nov-Dic (23 al 9)
Cebada E1	Cebada E2	Cebada E3
R1	R1	R1
R2	R2	R2
R3	R3	R3
R4	R4	R4
R5	R5	R5
Maíz E1	Maíz E2	Maíz E3
R1	R1	R1
R2	R2	R2
R3	R3	R3
R4	R4	R4
R5	R5	R5
Avena E1	Avena E2	Avena E3
R1	R1	R1
R2	R2	R2
R3	R3	R3
R4	R4	R4
R5	R5	R5

VIII. RESULTADOS

8.1 Forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare* L.)

En el siguiente cuadro (ANOVA) se observan los promedios obtenidos de cada una de las variables de los tres experimentos que se desarrollaron.

Cuadro 3: ANOVA del FVH de cebada

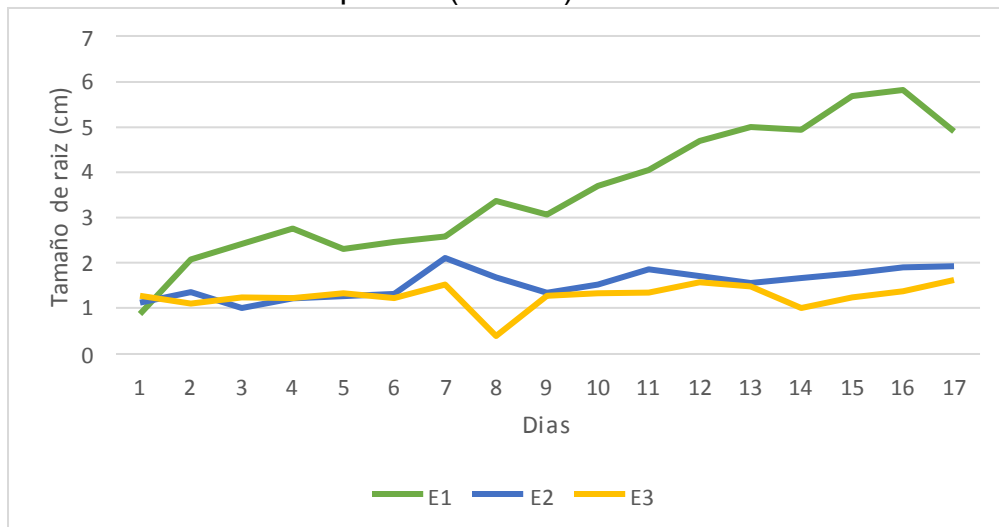
Variables	E1	E2	E3	MSE	Significancia
Raíz	3.581 4a	1.543 2b	1.2838 b	0.858 8	0.0001
Tallo	6.575 3a	3.444 8b	2.4302 b	2.521 7	0.0001
Grosor	3.823	2.129	.8139	1.157	0.0001
Tapete	6a	1b	c	9	
Rend kg	3.674 0a	2.239 2b	1.6167 c	0.520 6	0.0001

Experimentos: Experimento 1 (E1) del 15 de agosto al 31 de agosto, Experimento 2 (E2) del 4 de octubre al 20 de octubre, Experimento 3 (E3) del 23 de noviembre al 9 de diciembre.

8.1.1 Tamaño de raíz

Para esta variable, el análisis de varianza (ANOVA) muestra diferencias significativas ($P < 0.0001$) entre los experimentos. Lo que significa que el E1 fue superior en el crecimiento de raíz teniendo un promedio de 3.58 cm, seguido del E2 con 1.54 cm y el E3 con 1.28 cm. Entre el E2 y E3 no hubo diferencias significativas. En la gráfica 1 se observa como fue el crecimiento de la raíz de cada experimento a lo largo de la evaluación.

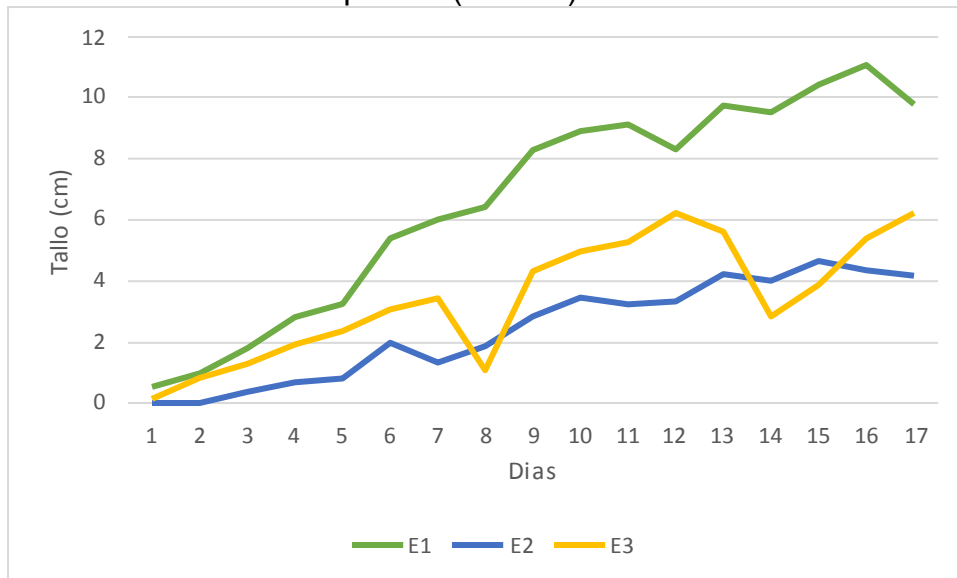
Gráfica 1. Crecimiento de la raíz por día (cebada)



8.1.2 Tamaño del tallo

Para el tamaño del tallo los resultados fueron, E1 6.57 cm, seguido del E3 con 3.44 cm y el E2 con 2.43 cm. En el análisis de varianza (ANOVA) se muestra diferencias significativas ($P < 0.0001$) del E1 frente al E2 y E3, entre los dos últimos experimentos no hubo diferencias significativas. En la gráfica 2 se observa como fue el crecimiento del tallo de cada experimento durante la evaluación.

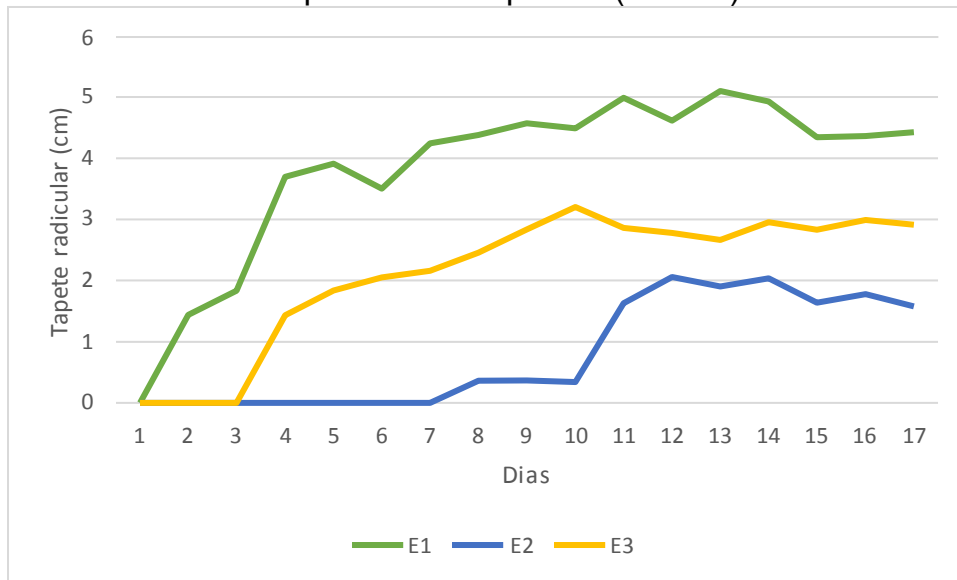
Gráfica 2. Crecimiento del tallo por día (cebada)



8.1.3 Grosor del tapete

Para esta variable si se muestran diferencias significativas ($P < 0.0001$) para los tres experimentos según el análisis de varianza, obteniéndose los siguientes resultados, para el E1 presento un promedio de 3.82 cm de grosor de tapete radicular, seguido del E3 con un promedio de 2.12 cm y por último el E2 con 0.81 cm, siendo el E1 con el mayor tamaño en comparación del E2 y el E3. En la gráfica 3 se observa como fue el crecimiento del tapete radicular de cada experimento a lo largo de la evaluación.

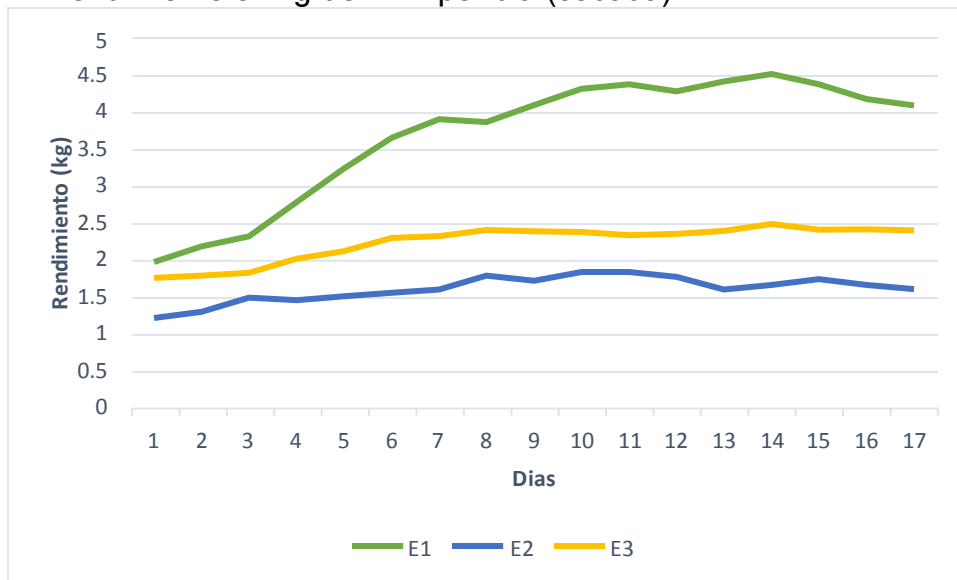
Gráfica 3. Crecimiento del tapete radicular por día (cebada)



8.1.4 Rendimiento en kg del FVH

Para el rendimiento en kg del FVH en el análisis de varianza (ANOVA) se muestra diferencias significativas ($P < 0.0001$) entre los tres experimentos. Lo que nos indica que el E1 fue superior en rendimiento teniendo como resultado un total de 3.673 kg, seguido del E3 con un promedio de 2.239 kg y el E2 con un total de 1.616 kg. En la gráfica 4 se observa como fue el rendimiento en kg del FVH de cada experimento durante la evaluación.

Gráfica 4. Rendimiento en kg de FVH por día (cebada)



8.2 Forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* L.)

En el siguiente cuadro se observan los promedios obtenidos de cada una de las variables de los tres experimentos que se desarrollaron.

Cuadro 4: ANOVA del FVH de maíz

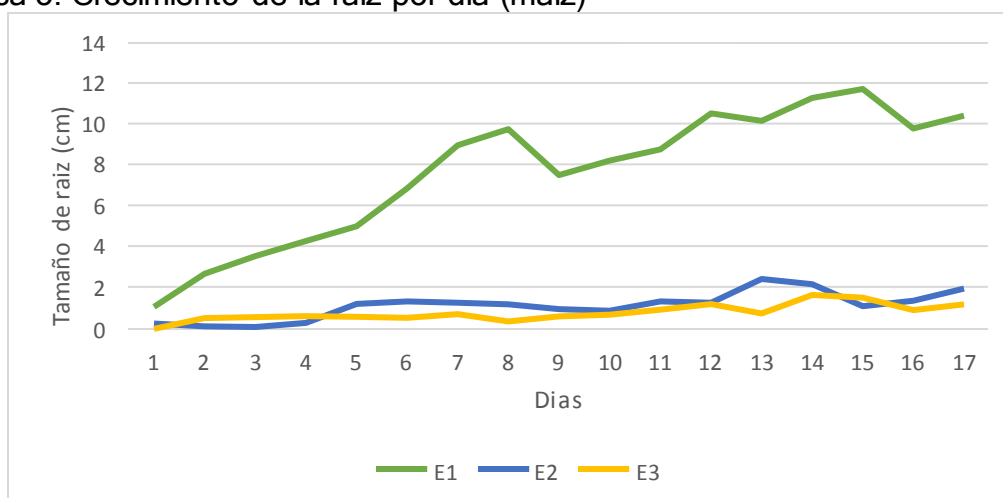
Variables	E1	E2	E3	MSE	Significancia
Raíz	7.7062 ^a	1.1255 ^b	0.7527 ^b	1.923	0.0001
Tallo	8.111 ^a	2.067 ^b	1.527 ^b	3.6368	0.0001
Grosor	3.183	0.000	0.000		
Tapeote	0				
Rend kg	2.9308 ^a	2.1463 ^b	1.3648 ^c	0.3954	0.0001

Experimentos: Experimento 1 (E1) del 15 de agosto al 31 de agosto, Experimento 2 (E2) del 4 de octubre al 20 de octubre, Experimento 3 (E3) del 23 de noviembre al 9 de diciembre.

8.2.1 Tamaño de raíz

En el análisis de varianza (ANOVA) se muestra diferencias significativas ($P < 0.0001$) entre el E1 en comparación del E2 y el E3 donde los resultados obtenidos fueron los siguientes, para el E1 7.07 cm siendo este experimento quien logro el mejor resultado para el tamaño de raíz, seguido del E2 con 1.12 cm y el E3 con 0.75 cm, entre los dos últimos experimentos no hubo diferencias significativas y ambos se comportan estadísticamente igual. En la gráfica 5 se observa como fue el crecimiento de la raíz de cada experimento a lo largo de la evaluación.

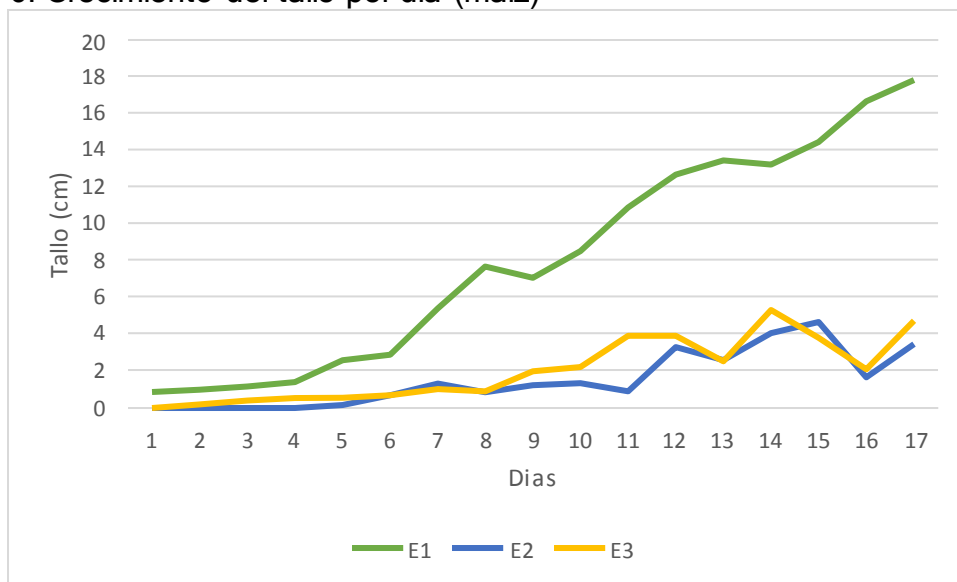
Gráfica 5. Crecimiento de la raíz por día (maíz)



8.2.2 Tamaño de tallo

Para esta variable según el análisis de varianza (ANOVA) se muestran diferencias significativas ($P < 0.0001$) del E1 con respecto al E2 y el E3, entre estos dos últimos experimentos no se mostró ninguna diferencia estadística significativa, teniendo un promedio total para el E1 de 6.57 cm, seguido del E3 con 3.44 cm y por último el E2 2.43 cm. En la gráfica 6 se observa como fue el crecimiento del tallo de cada experimento durante la evaluación.

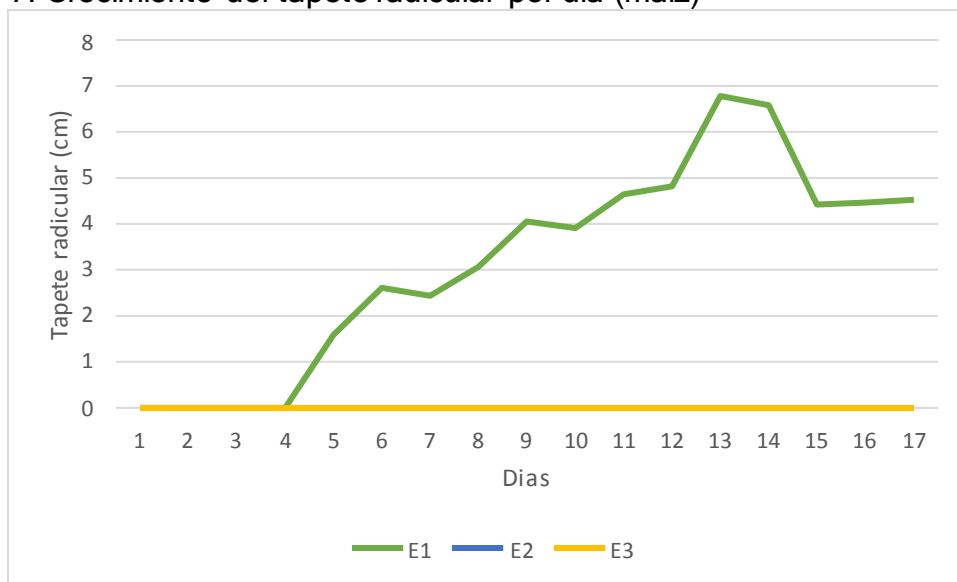
Gráfica 6. Crecimiento del tallo por día (maíz)



8.2.3 Grosor del tapete

Para esta variable solamente se obtuvo resultados del E1 con un promedio final de 3.18 cm de grosor y por cuestiones ambientales de la temporada en la que se desarrolló el E2 y el E3 no se logró obtener ningún registro referente al grosor del tapete, ya que el clima y humedad influyo directamente con el desarrollo radicular lo cual no permitió la medición de esta variable. En la gráfica 7 se observacomo fue el crecimiento del tapete radicular de cada experimento a lo largo de la evaluación.

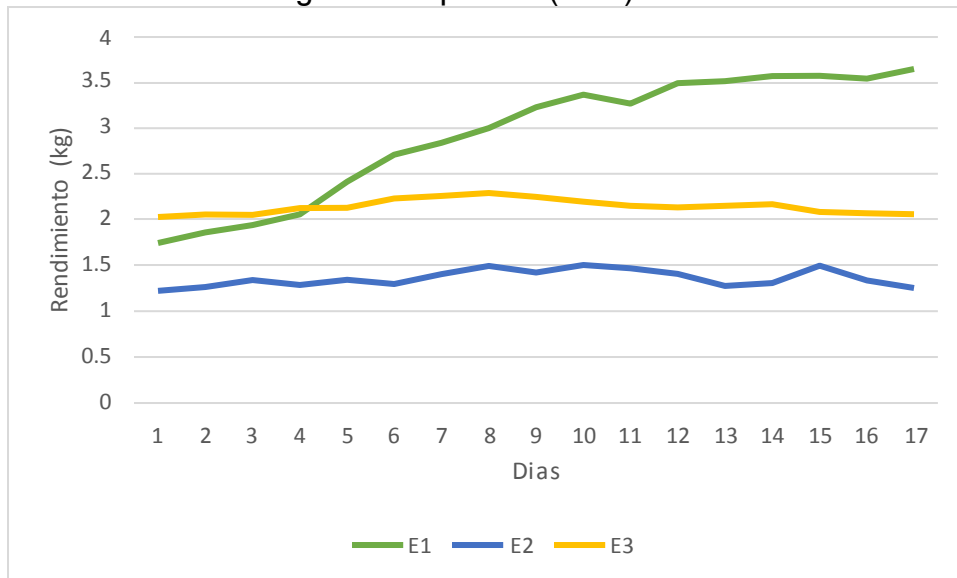
Gráfica 7. Crecimiento del tapete radicular por día (maíz)



8.2.4 Rendimiento en kg del FVH

Los resultados de esta variable según el análisis de varianza (ANOVA) se muestran diferencias significativas ($P < 0.0001$) de los tres experimentos. Siendo así que el promedio del E1 fue de 2.930 kg, seguido del E3 con 2.146 kg y por último el E2 con un promedio de peso de 1.364 kg. En la gráfica 8 se observa como fue el rendimiento en kg del FVH de cada experimento durante la evaluación.

Gráfica 8. Rendimiento en kg de FVH por día (maíz)



8.3 Forraje verde hidropónico de avena (*Avena sativa* L.)

En el siguiente cuadro se observan los promedios obtenidos de cada una de las variables de los tres experimentos que se desarrollaron.

Cuadro 5: ANOVA del FVH de avena

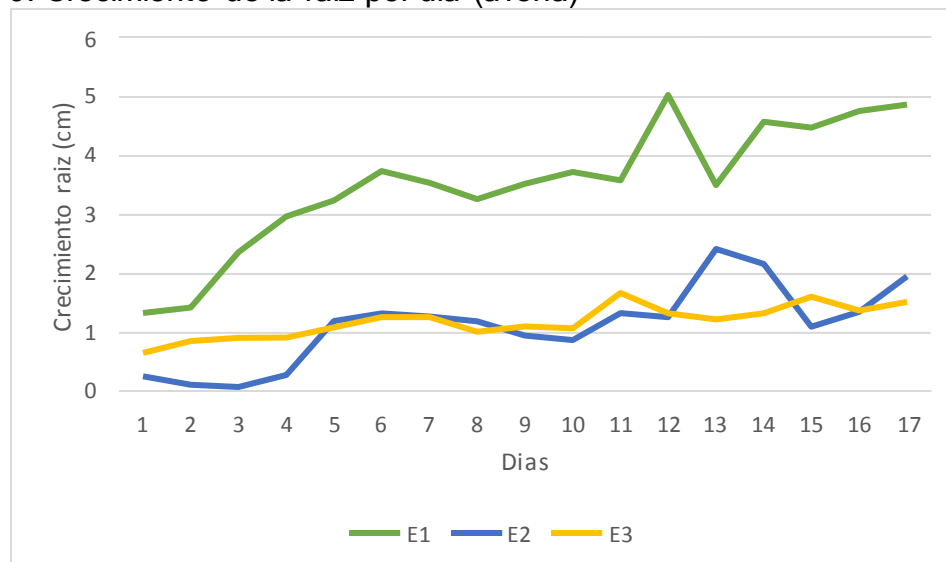
	E1	E2	E3	MSE	Significancia
Raíz	3.508 a	1.177 b	1.125b	0.7567	0.0001
Tallo	7.684 a	3.411 b	2.348b	3.3476	0.0001
Grosor Tapete	5.228 a	1.817 b	.664c	1.0509	0.0001
Peso	2.958 a	1.938 b	1.458c	0.3823	0.0001

Experimentos: Experimento 1 (E1) del 15 de agosto al 31 de agosto, Experimento 2 (E2) del 4 de octubre al 20 de octubre, Experimento 3 (E3) del 23 de noviembre al 9 de diciembre.

8.3.1 Tamaño de raíz

Los resultados para esta variable según el análisis de varianza (ANOVA) se muestran diferencias significativas ($P < 0.0001$) del E1 en comparación del E2 y el E3, obteniendo los siguientes resultados, para el E1 se tuvo un promedio de 3.50 cm, seguido del E3 con 1.17 cm y el E2 con 1.12 cm, entre los dos últimos experimentos no hubo diferencias significativas y ambos se comportan estadísticamente igual. En la gráfica 9 se observa como fue el crecimiento de la raíz de cada experimento a lo largo de la evaluación.

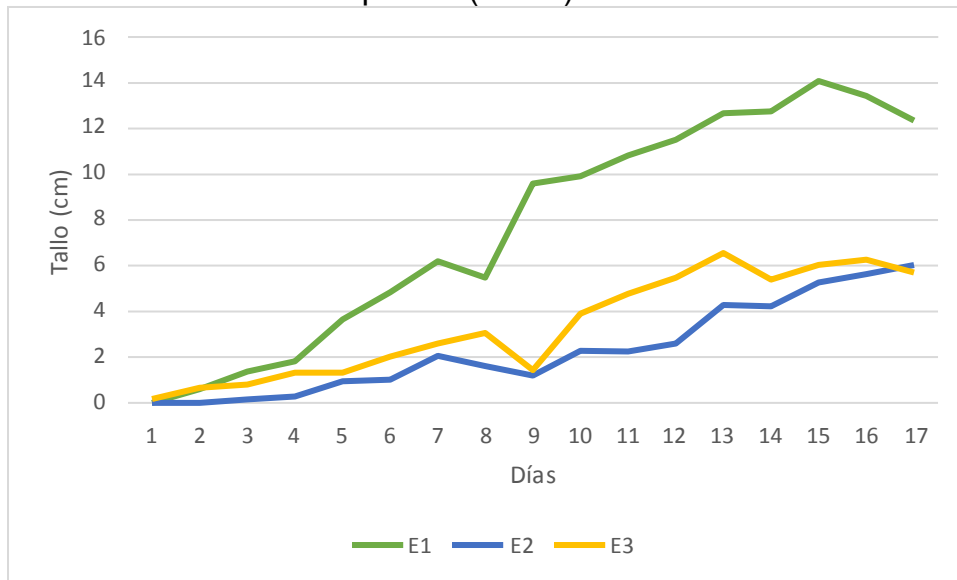
Gráfica 9. Crecimiento de la raíz por día (avena)



8.3.2 Tamaño del tallo

Para esta variable se obtuvieron los siguientes resultados para el E1 7.68 cm siendo este experimento el que tuvo los mejores resultados en comparación de los otros dos, en segunda instancia tenemos al E3 con promedio de 3.41 cm y por último el E2 con 2.34 cm. Según el análisis de varianza (ANOVA) se muestran diferencias significativas ($P < 0.0001$) del E2 y el E3 en comparación del E1. En la gráfica 10 se observa como fue el crecimiento del tallo de cada experimento durante la evaluación.

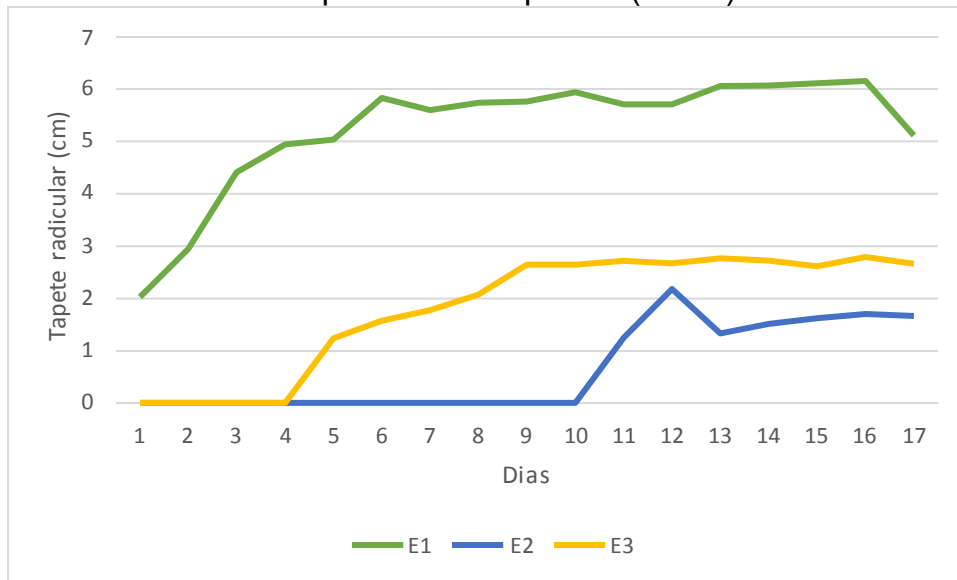
Gráfica 10. Crecimiento del tallo por día (avena)



8.3.4 Grosor del tapete

Para esta variable según el análisis de varianza (ANOVA) se muestran diferencias significativas ($P < 0.0001$) entre los tres experimentos (E1, E2 y E3). Donde el E1 obtuvo un promedio de grosor de 5.22 cm con un buen desarrollo radicular, pero para el E2 se tuvo un promedio de 0.66 cm y el E3 con 1.81 cm. Siendo el E1 quien consiguió el mejor resultado en comparación de los otros dos experimentos. En la gráfica 10 se observa como fue el crecimiento del tapete radicular de cada experimento a lo largo de la evaluación.

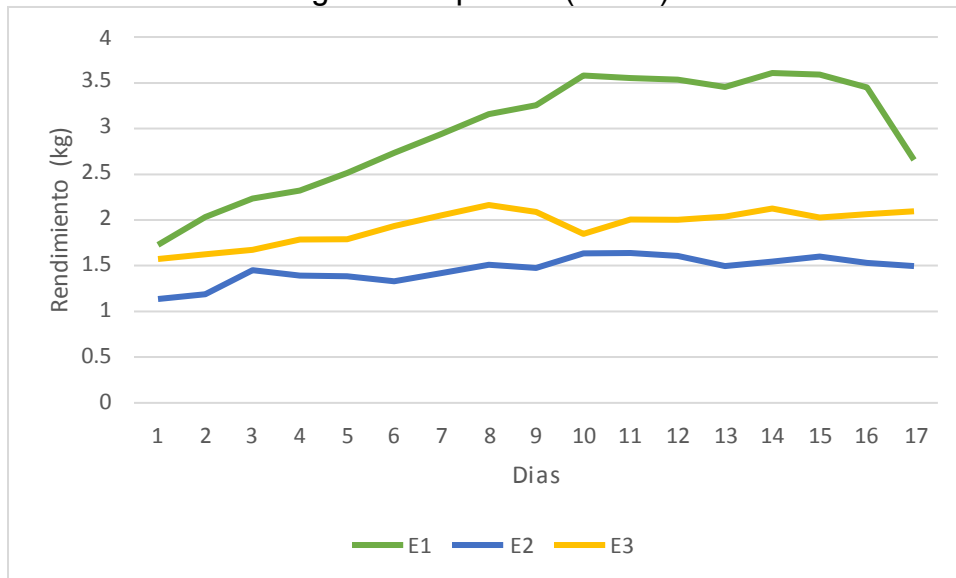
Gráfica 11. Crecimiento del tapete radicular por día (avena)



8.3.5 Rendimiento en kg del FVH

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) para esta variable muestran diferencias significativas ($P < 0.0001$) entre los tres experimentos donde los resultados fueron: Para el E1 se obtuvo un promedio en peso de 2.958 kg, seguido del E3 con 1.937 kg y por último el E2 con un promedio en peso de 1.458 kg de tal modo que el E1 mostro mejores resultados en comparación del E2 y el E3. En la gráfica 8 se observa como fue el rendimiento en kg del FVH de cada experimento durante la evaluación.

Gráfica 12. Rendimiento en kg de FVH por día (avena)



IX. DISCUSIÓN

Para el FVH de cebada, maíz y avena, se mostró una diferencia significativa ($P < 0.0001$) en todas sus variables que fueron crecimiento de raíz, crecimiento del tallo, grosor del tapete radicular y el rendimiento en kg de FVH, la mayoría de los resultados que se obtuvieron con el E1 (Experimento 1) fueron mejores en comparación del E2 (Experimento 2) y el E3 (Experimento 3).

9.1 Cebada

Para el caso del FVH de cebada con la variable de crecimiento de raíz Ríos (2018) menciona que obtuvo un crecimiento a los 12 días después de siembra (dds) de 3.70 cm y a los 18 dds 4.07 cm teniendo mejores resultados que los del E1 el cual tuvo un promedio de 3.58 cm a los 17 dds. Para el crecimiento del tallo (Yanarico, 2015) en su experimento realizado a diferentes días de cosecha obtuvo para el día 15 una altura de 9.27 cm, el día 20, 13.23 cm y para el día 25, 14.6 cm. Ríos (2018) a los 16 dds tuvo un total de 14 cm y a los 18 dds 15 cm. Comparando los resultados de ambos autores se puede decir que el E1 tuvo un menor crecimiento ya que a los 17 dds alcanza un promedio de 6.57. Para el rendimiento en kg Ríos, (2018) obtuvo un promedio al día 12 ds con 3.65 kg con una densidad de 1.0 kg. En cambio, Yanarico, (2015) tuvo un resultado de 3.120 kg al día 15 ds con la variedad criolla y de 4.08 kg con la variedad IBTA-80, ambos autores alcanzaron un mejor resultado y en menor tiempo comparado con el E1 quien obtuvo 3.673 kg a los 17 dds.

9.2 Maíz

Para el FVH de maíz con la variable crecimiento del tallo Rodríguez *et al.*, (2012), obtuvo mejores resultados al utilizar maíz amarillo en la realización de su experimento puesto que a los 12 dds observo un crecimiento de 18.66 quien a su vez fue mayor que el E1 al contar un promedio de 6.57 cm a los 17 dds, así como también Carranco (2005), tuvo mejores resultados en su experimentación al utilizar semilla certificada de las variedades Pioneer 31G98 y Pioneer 3025 con un

promedio en tamaño del tallo de 31.5 cm y 23.9 cm a los 20 dds, siendo el caso también de Aliaga & Mamani (2017) quienes utilizaron abonos orgánicos (Bokashi, Biol, Humus líquido y Jiracha) para un mejor desarrollo foliar, obteniendo promedios de 25.74 cm para el bokashi; 25.63 cm para el biol; 25.1 cm Humus líquido y 24.29 cm para la jiracha, todos estos resultados fueron a los 20 dds. Méndez (2018) desarrollo su experimento con semilla criolla anexando la adición de dos fertilizantes orgánicos y obteniendo resultados exuberantes siendo que la semilla criolla no certificada a los 12 dds sus registros fueron de 28.08 cm para el T1, 30.51 cm para el T2 y 26.20 cm para el T3, por ultimo Alvarado (2018) quien comparo distintas variedades de maíz como el criollo blanco, sus resultados fueron bastantes favorables con 24.0 cm, 24.90 cm, 24.40 cm y 18.70 cm.

La variable crecimiento de la raíz Rodríguez *et al.*, (2012) obtuvo 13.33 cm a los 8 dds, 14.06 cm a los 10 dds y 14.16 cm a los 12 dds, el utilizo una variedad de maíz Dekalb 2020 y con 0% de adición de solución nutritiva, Carranco (2005) consiguió para la variedad Pioneer 31G98 una media de 25.1 cm a los 20 dds mientras que la variedad Pioneer 3025 alcanzó un promedio de 18.5 cm a los 20 dds. Aliaga & Mamani (2017) manejaron diferentes tipos de biofertilizantes para la producción de FVH con promedios de crecimiento de raíz de 27.28 (Jiracha) cm; 26.81 (Humus liquido) cm y 25.46 cm (Biol), el Bokashi alcanzó 24.39 cm y el testigo 16.76 cm respectivamente, estos autores alcanzaron un mayor resultado comparado con el E1 que a sus 17 dds tuvo un promedio de 7.07 cm.

Para el rendimiento del FVH Rodríguez *et al.*, (2012) tuvo promedios de 4.18 kg a los 8 dds, 4.43 kg a los 10 dds y 4.78 kg a los 12 dds. Méndez, (2018) utilizo las mismas bandejas para la producción de FVH que este proyecto, pero con una densidad de siembra de 3.6 kg por bandeja, en donde sus resultados a los 12 dds fueron 11.46 kg para el T1, 9.85 kg para el T2 y 9.77 kg para el T3, los resultados del E1 fueron menores, puesto que a los 17 dds tuvo un promedio de 2.390 kg con una densidad de siembra de 1.250 kg.

9.3 Avena

El FVH de avena para la variable crecimiento del tallo Fuentes (2011) evaluó cuatro tiempos de cosecha (7, 10, 13 y 16 dds) en donde utilizo semilla de avena criolla de la región sin alguna adición de solución nutritiva más que riegos con agua, menciona que para el día 7 obtuvo un promedio de 10.4 cm, para el día 10 un promedio de 16.8 cm, para el día 13, 19.3 cm y para el 16 dds un promedio de 19.5 cm, cabe resaltar que este autor tuvo los mismos síntomas físicos pues menciona que a partir del día 13 las hojas presentan clorosis, tendedura de plantas, necrosis apical, presencia de hongos entre las semillas no germinadas y en efecto sucedió lo mismo con los experimentos realizados. Acarapi (2016) hizo la comparación de producción de FVH con los métodos de tres autores distintos los cuales fueron el de Tarrillo, el de la FAO y el de Molina, en donde los resultados fueron para Tarrillo 24.5 cm, FAO 27.4 cm y para Molina 26.3 cm a los 20 dds. Villca & Chilón Camacho, (2019) desarrollaron una comprobación de FVH al que adicionaron un abono orgánico liquido aeróbico. Para su tratamiento testigo con 0% de adición evaluaron dos tipos de semilla la variedad Gaviota y la criolla, obteniendo los siguientes resultados 13.90 cm a los 15 dds para la variedad Gaviota y 12.82 cm para la variedad criolla, los resultados que tuvo el E1 fueron menores ya que a los 17dds consiguió un promedio de 7.68 cm. Para el crecimiento de la raíz Acarapi, (2016), obtuvo los siguientes resultados para el método Tarrillo alcanzo un valor mayor con 3.79 cm seguido del método Molina con 3.48 cm, frente al método de la FAO con 3.31 cm a los 15 dds, el E1 supero al método de molina y el de la FAO con 3.50 cm a los 17 dds. Villca & Chilón Camacho (2019) tuvieron un promedio de 12.82 cm de al día 15 ds. Para el peso de la biomasa Villca & Chilón Camacho (2019) utilizaron una densidad de semilla húmeda de 2.33 kg/m² donde su peso promedio en el día 15 ds fue de 6.28kg/m². Morales *et al.*, (2020) utilizó una densidad de 6.4 kg/m² teniendo un peso promedio de 13.23 kg/m² a los 15 dds, ambos autores obtuvieron resultados superiores al E1 ya que este alcanzó un promedio de 2.958 kg a los 17 dds con una densidad de siembra de 1 kg por bandeja.

X. CONCLUSIONES

El forraje verde hidropónico de las 3 gramíneas (Cebada, Maíz y Avena) que se produjo en el experimento 1 durante la época de verano registro una mejor respuesta productiva para las variables tamaño de raíz, grosor de tapete radicular, tallo, rendimiento en kg del FVH en comparación con el experimento 2 y 3 desarrollados en la época de otoño-invierno con un ciclo de producción de 17 días en Temascaltepec, México.

Ya que las condiciones climatológicas favorecieron su desarrollo, obteniendo una germinación precoz, mayor velocidad de crecimiento, generando una buena retención de humedad.

XI. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar más estudios acerca de la producción de FVH en la región de Temascaltepec, ya que cuenta con un clima diverso y cambiante y estos pueden modificar por completo la producción.

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 como lo es un invernadero o un área especial que permita tener un mejor control sobre el ambiente.

XII. REFERENCIAS

- 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. <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/10520/T-2347.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Aguilar, R. L., Bernardo Maurillo Amador, & Guadalupe Rodríguez Quesada. (2008). El forraje verde hidropónico (fvh): Una alternativa de producción de alimento para el ganado en zonas áridas. 34(2), 121-126.
- Aliaga, J. T., & Mamani, A. T. (2017). Evaluación de la producción de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* L.), con cuatro tipos de abonos orgánicos bajo ambiente atemperado en la provincia Murillo del Departamento de La Paz. Revista Apthapi, 3(2). http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-03042017000200007&lng=es&nrm=iso
- Almarza, M. B. R. (2007). Determinación de la composición química y propiedades físicas y químicas del pulido de Arroz (*Oryza sativa* L.). Universidad Austral de Chile. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/far696d/sources/far696d.pdf>
- Alvarado, I. M. (2018). EVALUACIÓN NUTRICIONAL Y ECONÓMICA DE LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE MAÍZ (*Zea mays*) EMPLEANDO GRANO COMERCIAL. UNIVERSIDAD NACIONAL FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR 3.

- Beltrano, J., Giménez, D. O., & ProQuest. (2015). Cultivo en hidroponía. D - Editorial de la Universidad Nacional de La Plata.
- Buenrostro, E. M. (2011). Variación en el contenido de nutrientes en Alfalfa (*Medicago sativa*) cosechada a diferente edad de rebrote y época del año. Universidad Autónoma de Baja California. <http://ica.mx.l.uabc.mx/mspa/tesis/Montoya%20Buenrostro%20Estela.pdf>
- Carranco, Z. M. (2005). Evaluación de variedades de maíz y densidad de siembra en la producción de forraje verde hidropónico. Universidad Autónoma de Nuevo León. file:///C:/Users/GarRo/Downloads/18393.pdf
- Carrasco, M. A. S. (2007). Estudio del efecto del espesor de laminado en un cereal de avena con almidón retrogradado, sobre su índice glicémico. Universidad Austral de Chile. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/fas7181e/doc/fas7181e.pdf>
- Carrillo, L. (2003). Los hongos de los alimentos y los forrajes. Universidad Nacional de Salta.
- Coli, H. A. S., & Nora, C. C. (2015). Micotoxicosis y micotoxinas: Generalidades y aspectos básicos. 29(1), 143-151.
- Contreras, J. L., Q., M. T., & F., A. G. C. (2015). Rendimiento Hidropónico de la Arveja con Cebada y Trigo en la Producción de Germinados. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú, 26(1), 9. <https://doi.org/10.15381/rivep.v26i1.10910>
- Cortazzo, A. S. (2001). Forraje verde hidropónico (Primera). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <http://www.fao.org/3/ah472s/ah472s00.pdf>

- Courtis, A. (2013). Germinación de semillas, catedra de Fisiología Vegetal. (1a ed.).
Universidad Nacional de Noreste.
<http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/GuiadeestudioGerminacion.pdf>
- Demin, P. E. (2014). Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego. (1a ed.). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_aportes_para_el_mejoramiento_del_manejo_de_los_sistemas_de_riego.pdf
- Diaz, A. Q. (2011). El cornezuelo del centeno a lo largo de la historia: Mitos y realidades. 14(1), 16-25.
- Díaz, J. E. G. (2015). Evaluación de tres tipos de fertilizantes en la producción de forraje verde hidropónico de sorgo (*Sorghum bicolor* L.) en invernadero no convencional, La Trinidad, Estelí (1a ed.). Universidad Nacional Agraria.
<https://repositorio.una.edu.ni/3166/1/tnf04g643p.pdf>
- Doria, J. (2010). Generalidades sobre las semillas: Su producción, conservación y almacenamiento. Revista Cultivos Tropicales, 31(1).
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362010000100011
- Fuentes, F. (2011). Evaluación de la producción y calidad nutritiva de avena como forraje verde hidropónico en condiciones de desierto. 29(3), 75-81.
- Gómez, R. F., Andalucía, Pesquera, I. de I. y F. A. y, Andalucía, & Pesca, C. de A. y. (2010). Riego por aspersión. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, Consejería de Agricultura y Pesca.

- González, L. D. I. (2014). Caracterización del comportamiento agronómico y económico del cultivo de Trigo (*Triticum aestivum*) “Jupateco”, La Concordia, Jinotega. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/6416/1/226188.pdf>
- Herrera Torres, E., Cerrillo Soto, M. A., & Juárez Reyes, A. S. (2010). EFECTO DEL TIEMPO DE COSECHA SOBRE EL VALOR PROTEICO Y ENERGÉTICO DEL FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE TRIGO. 35(4), 284-289. <https://www.redalyc.org/pdf/339/33913156008.pdf>
- INATEC. (2016). Manual del protagonista nutrición animal. Instituto Nacional Tecnológico. <https://www.biopasos.com/documentos/087.pdf>
- Jewsbury, G. (2016). Plantas forrajeras. Facultad de Ciencias Agropecuarias. <http://www.agro.unc.edu.ar/~wpweb/botaxo/wp-content/uploads/sites/14/2016/08/Forrajeras.-2016.pdf>
- Ledesma, J. C. R. (1999). El cultivo de la cebada (*Hordeum vulgare* L) y sus principales plagas y enfermedades. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Lopez, L. F. (2012). Comparación de cualidades nutricionales de once variedades de maíz (1a ed.). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Lopez, P. J., Rodriguez, H. M., Villa, M. S., Danes, A. G., Crespo, E. C., Rosete, C. J., Ortega, J. A., & Santiago, G. A. (2013). Producción de forraje verde hidropónico. Revista Nueva Época, 13, 16-26.
- Madrigal, T. S. H. (2006). Estudio de la composición química de cebada cultivada en Zapotlán, Villa de Tenzotepec y Tultengo, Hidalgo (1a ed.). Universidad

Autónoma del Estado de Hidalgo.

<https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/11205/Estudio%20de%20la%20composici%3%b3n%20qu%3%admica%20de%20cebada%20cultivada%20en%20Zapotlan%2c%20Villa%20de%20Tezontepec%20y%20Tultengo%2c%20Hidalgo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Maldonado-Torres, R., Chapingo, U. A., Cristóbal-Acevedo, D., Chapingo, U. A., Ríos-Sánchez, E., & Chapingo, U. A. (2013). MINERAL NUTRITION OF HYDROPONIC GREEN FORAGE. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, XIX (2), 211-223. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2011.10.053>

Mansilla, P. S. (2018). Evaluación del valor nutricional de maíces especiales (*Zea mays* L): Selección para la calidad agroalimentaria. Universidad Nacional de Córdoba.

Martínez, L. A. L. (2005). Producción de forraje verde hidropónico (primera, Vol. 1). Centro de Investigación en Química Aplicada.

Mejía, S. R., Sánchez, D. F., Merino, A. L., Hernández, L. M. P., & Ávila, J. A. (2018). Diagnóstico de sistemas de producción de bovinos para carne en Tejupilco, Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(2). <https://doi.org/10.29312>

Méndez, A. Y. (2018). Evaluación de dos fertilizantes orgánicos en la producción de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays*) en el Centro de Prácticas San Isidro de la UNA Camoapa, durante el período de enero-marzo, 2018 (1a ed.). Universidad Nacional Agraria.

Morales Sinchire, D. B., Jiménez Álvarez, L. S., Burneo Valdivieso, J. I., & Capa Mora, E. D. (2020). Producción de forrajes de avena y trigo bajo sistemas

- hidropónico y convencional. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 21(3), 1-16. https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num3_art:1386
- Morales-Hernández, J. L., González-Razo, F. D. J., & Martínez, J. H. (2017). Función de Producción de la ganadería de carne en la zona Sur del Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 9(1), 01. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v9i1.4345>
- Moreno, I. (2001). El cultivo de trigo, algunos resultados de su producción en Cuba. *Cultivos Tropicales*, 22(4), 55-67.
- Navas, A. C. R. (2003). Implementación de las técnicas de etiolación y acodo y microclonación en platos (Primera). Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
- Nelson, G. C. (2009). Cambio climático: El impacto en la agricultura y los costos de adaptación. International Food Policy Research Institute (IFPRI).
- Oña, N., & Novillo, F. (2017). Determinación de Taninos Condensados en Sorgo y su Desactivación Utilizando Urea. *Química Central*, 1(1), 9-18. <https://doi.org/10.29166/quimica.v1i1.1188>
- Ovando, C. E. G. (2009). Metodología para el control de hongos y bacterias en sistemas de producción de forraje verde hidropónico (1ra ed.). Centro de Investigación en Química Aplicada.
- Palomino, J. M. G., López-Gálvez, J., & Agroplasticultura, R. I. de. (2004). Ferti-riego: Tecnologías y programación en agroplasticultura: resultado de curso de formación sobre plasticultura y tecnología de riego, Bogotá, Colombia 2002, taller de fertirrigación, Colegio de Posgraduados Universidad Chapingo, México, 2004. Programa CYTED.

- Pincioli, M. (2010). Proteínas de arroz: Propiedades estructurales y funcionales. Universidad Nacional de la Plata. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/1828/Documento_completo____.pdf?sequence=3
- Portillo, B. A., Martínez, A. G., & Rebollar Rebollar, S. (Eds.). (2018). La ganadería en condiciones de trópico seco: El caso del sur del Estado de México, condiciones actuales y perspectivas de desarrollo (1a edición). Universidad Autónoma del Estado de México.
- Ramirez, S. A. M. (2013). Producción de forraje verde hidropónico como alternativa de suplemento para ganado caprino durante la época seca en la Región Lagunera. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/7000>
- Rios, C. (2018). Evaluación de Soluciones Nutritivas y Tiempos de Cosecha, en Cebada Forrajera CV. Nacional (*Hordeum Vulgare L.*), Producida como Forraje Verde Hidropónico, en la Región Arequipa. Universidad Católica de Santa María.
- Rivera, A., Moronta, M., Estopiñan, M. G., & González, D. (2010). Producción de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays L.*) en condiciones de iluminación deficiente. Revista Zootecnia Tropical, 28(1). http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692010000100005
- Rodriguez, C. F. V. (2008). Comparación productiva de forraje verde de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. 19(2), 233-240.

- Rodriguez, H. M., Danés, A. G., & López, P. J. (2012). Forraje verde hidropónico de maíz amarillo (*Zea mays* L) con diferente concentración de solución nutritiva. *Revista Abanico Veterinario*, 2(3), 20-28.
- Serna, R. G. (2017). Importancia del agua de riego para la producción sostenible de frijol en Durango (primera). Inifap.
- Tapia, C., & Amaro, J. (2014). Género *Fusarium*. *Revista Chilena de Infectología*, 31(1), 85-86. <https://doi.org/10.4067/S0716-10182014000100012>
- Trinidad, A. S. (1999). Fertilización foliar, un respaldo importante en el rendimiento de los cultivos. *Terra Latinoamericana*, 17(3), 247-255.
- Valdez, M. E. R., Duarte, G. C., & Gallardo, E. O. Hernández. (2009). Producción de forraje verde hidropónico y su aceptación en ganado lechero. 19(2), 11- 19.
- Valencia, A. S. (2019). Componentes hidráulicos de un sistema de riego. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Valle, M. G. V. del, Baños, S. B., & Lauzardo, A. N. H. (2008). Estrategias de Control de *Rhizopus stolonifer* Ehrenb. (Ex Fr.) Lind, Agente Causal de Pudriciones Postcosecha en Productos Agrícolas. 26(1). http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33092008000100008
- Varón, L. E. S. (2015). Importancia de la economía campesina en los contextos contemporáneos: Una mirada al caso colombiano. *ENTRAMADO*, 11(2), 38-50. <https://doi.org/10.18041/entramado.2015v11n2.22210>
- Vazquez, A. C., Silva, J. M. R., Villalobos, Z. N., & Gómez, R. S. G. (2012). Tecnologías más limpias aplicadas al aprovechamiento integral de los

cultivos agrícolas: Aumento al valor agregado de semillas de sorgo (*Sorghum bicolor*) usando una tecnología prehispánica. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*, 3(6), 1-25.

Vera, A. C. (2007). Estudio de la composición química de espigas, hojas y tallos de avenas, cultivadas en Hidalgo y Tlaxcala en los ciclos de Cultivo 2003 y 2004 (1a ed.). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Villamil, J. M. P. (1998). Germinación de semillas. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación.

https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1998_2090.pdf

Villca, S. S., & Chilón Camacho, E. (2019). Efecto del abono orgánico líquido aeróbico en la producción de forraje verde bio-hidropónico en dos variedades de avena (*Avena sativa* L.) en el Centro Experimental de Cota Cota. *Revista de la Carrera de Ingeniería Agronómica*, 5(1), 1496-1506.

Yanarico, C. C. (2015). Evaluación de tres periodos de cosecha en dos variedades de cebada (*Hordeum vulgare* L.) para la producción de forraje hidropónico, en la localidad de Chuquiaguillo (Primera). Universidad Mayor de San Andrés.

XIII. ANEXOS



Ilustración 21: Elaboración del rack o anaquel para la producción de FVH (autor propio).



Ilustración 22: Desinfección del área experimental con Oxido de Calcio (autor propio).



Ilustración 23: Aplicación de Biothrine como repelente orgánico (autor propio).



Ilustración 24: Colocación de material vegetal para disminuir el incremento de temperatura (autor propio).



*Ilustración 25: Semilla de cebada (*Hordeum vulgare* L) en su tercer día de etiolación (autor propio).*



*Ilustración 26: Presentación del FVH de maíz (*Zea mays* L) y cebada (*Hordeum vulgare* L) en su primera semana de producción (autor propio).*



*Ilustración 27: FVH de cebada (*Hordeum vulgare* L) en su 15vo día después de siembra (autor propio).*



*Ilustración 28: FVH de maíz (*Zea mays* L) en su 15vo día después de siembra (autor propio).*



Ilustración 29: FVH de avena (Avena sativa L) en su 15vo día después de siembra (autor propio).



Ilustración 30: Clorosis del FVH de avena (Avena sativa L) en su 16vo día después de siembra (autor propio).



Ilustración 31: Sistema radicular sano del FVH de maíz (Zea mays L) en su 10mo día después de siembra (autor propio).



Ilustración 32: Sistema radicular del FVH de maíz (Zea mays L) infestado por hongos en su 15vo día después de siembra (autor propio).