

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”



Evaluación de forraje verde hidropónico en tres especies forrajeras (Cebada, Trigo y Triticale) bajo condiciones de invernadero.

Por :

JUAN CARLOS GARCÍA ALVARADO

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para

Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA.

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Abril del 2004.

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”
DIVISION DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL**

**Evaluación de forraje verde hidropónico en tres especies
forrajeras (Cebada, Trigo y Triticale) bajo condiciones de
invernadero.**

**por:
JUAN CARLOS GARCÍA ALVARADO**

**TESIS
Que Somete a Consideración Del H. Jurado Examinador
Como Requisito Parcial Para Obtener El Titulo De:**

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Aprobada :

**M. C. Manuel Torres Hernández
Presidente del Jurado**

**ING. José Ángel de la Cruz Bretón
Vocal**

**M.C. Emilio Padrón Corral
Vocal**

**Q. F. B. Carmen Pérez Martínez
suplente**

**Dr. Ramón García Castillo
Coordinador De la División de Ciencia Animal**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México
Abril del 2004.**

DEDICATORIAS

A mis Padres:

Sra. Agustina Alvarado Carmona

Sr. Tomas García Tobón

- A quienes agradezco con todo mi corazón todo lo que me han apoyado en la vida, así como todo el cariño que me han dado, gracias por todo su apoyo incondicional, reciban este trabajo como muestra de mi agradecimiento y amor hacia ustedes. Que Dios los Proteja y los Bendiga.

A mis Hermanos:

- Dedico con todo cariño y aprecio a mis hermanos que han sido un apoyo muy grande para salir adelante con mucho orgullo.

Ma. Del Roció García Alvarado

D. Blanca García Alvarado

Ma. Isabel García Alvarado

H. Tomas García Alvarado

José P. García Alvarado

A mi Esposa:

- Tengo la oportunidad de brindar y dedicar este trabajo a mi esposa Ma. De la Luz por haberme brindado su amor y todo su apoyo desde que nos conocimos. Sobre todo lo dedico a mi Hija Maria José que ha llenado de alegría nuestras vidas y a nuestro Hijo(a) que viene en camino, ya que son el motivo de mi superación.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios Por haberme permitido terminar mis estudios y darme la dicha tan grande de lograr esta meta tan importante en mi vida.

Al C. Presidente del Jurado Examinador M. C. Manuel Torres Hernández por la colaboración y entusiasmo mostrados en la realización de este trabajo de tesis.

Al Ing. José Ángel de la Cruz B. Por haberme dado la oportunidad de realizar mi tesis y por sus valiosas sugerencias y orientación. Así mismo por la confianza y amistad que me brindo.

Al M. C. Emilio Padrón Corral por su valiosa participación en la revisión de esta investigación y por su apoyo en la parte estadística.

A la Q. F. B. Carmen Pérez por su participación como asesor suplente, y por la amistad que me brindo en clases.

Al Dr. Javier Lozano por haber aportado la semilla de Triticale con la que se realizo parte del trabajo.

Al Ing. Modesto Colín R. Por haber aportado la semilla de cebada con la que se realizo parte del trabajo.

A los trabajadores del invernadero por su amistad, apoyo e interés que dedicaron en el trabajo de campo realizado. Enrique García Muñiz , Leonardo Acosta Méndez y Jesús Ma. De León Prado.

A mis amigos Javier Ochoa, Alejandro Arroyo, Rafael Trejo, Rodolfo Díaz ,Rosalía García, Nicolás Ayala, Sonia Elena Gómez por su amistad que me brindaron a lo largo de la carrera.

A mis maestros y a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro quienes me formaron y brindaron la oportunidad de realizarme como un profesionalista para poder enfrentar las situaciones que se presenten en mi vida.

INDICE

PAGINA

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTOS	II
INDICE DE CUADROS	IV
INDICE DE FIGURAS y GRAFICAS	V
I.- INTRODUCCIÓN	1
➤ Justificación	3
➤ Objetivos	3
➤ Hipótesis	3
II.- REVISIÓN DE LITERATURA	4
➤ Importancia de la hidroponía	7
➤ Ventajas y desventajas de la hidroponía	8
➤ Clasificación de los métodos de cultivo en hidroponía	9
➤ Forraje verde hidropónico	11
➤ Ventajas y desventajas del forraje verde hidropónico	13
➤ Proceso de producción del forraje verde hidropónico	15
➤ Requerimientos del forraje verde hidropónico	18
➤ Instalaciones	19
➤ Características nutricionales del forraje verde hidropónico	21
➤ Descripción de los materiales utilizados en el presente trabajo	23
III.- MATERIALES Y MÉTODOS	27
➤ Descripción del Área de Estudio	27
➤ Material genético	27
➤ Metodología	27
➤ Densidades de siembra	28

➤ Diseño experimental	31
➤ Variables evaluadas	31
➤ Peso fresco del forraje verde hidropónico	31
➤ Altura del forraje verde hidropónico	31
IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
V.- CONCLUSIONES	38
VI.- LITERATURA CITADA	39
VII.- APÉNDICE	41

INDICE DE CUADROS

CUADRO N°		PAGINAS
1	Gasto de agua para producción de forraje en condiciones de campo.-----	13
2	Valor Comparativo del Forraje Verde Hidropónico. -----	24
3	Por ciento de germinación de las especies utilizadas. -----	28
4	Comparación entre medias de especies en densidad 1.00 Kg. ----	32
5	Comparación entre medias de especie en densidad 1.25 Kg. -----	33
6	Comparación entre medias de especie en densidad 1.5 Kg. -----	34
7	Comparación de medias de alturas de especies en densidad 1.00 Kg. -----	35
8	Comparación de medias de alturas de especies en densidad 1.25 Kg. -----	36
9	Comparación de medias de alturas de especies en densidad 1.50 Kg. -----	37

INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°		PAGINAS
1	Forraje verde hidropónico. -----	12
2	Vista exterior de un equipo de FVH de Agrotech Belium SC. -----	21
3	Pruebas de germinación. -----	28
4	Charolas para FVH. -----	29
5	Riego con micro aspersores por conductos de PVC. -----	30
6	Comparación entre medias de especies en densidad 1.00 Kg. -----	32
7	Comparación entre medias de especie en densidad 1.25 Kg. -----	33
8	Comparación entre medias de especie en densidad 1.5 Kg. -----	34
9	Comparación entre medias de densidades en cebada. -----	35
10	Comparación entre medias de densidades en trigo. -----	36
11	Comparación entre medias de densidades en Triticale. -----	37
12	Comparación de medias de alturas de especies en densidad 1.00 Kg. -----	38
13	Comparación de medias de alturas de especies en densidad 1.25 Kg. -----	39
14	Comparación de medias de alturas de especies en densidad 1.50 Kg. -----	40
15	Comparación de medias de alturas de densidades en cebada. -----	41
16	Comparación de medias de alturas de densidades en Triticale -----	42

INTRODUCCIÓN

La hidroponía es una técnica de producción agrícola en la que las raíces de las plantas se riegan con una mezcla de elementos nutritivos esenciales, disueltos en agua y en lugar de suelo se puede utilizar como sustrato un material inerte, o simplemente la misma solución. Esta técnica se puede definir como la ciencia del incremento de la planta sin utilizar suelos propiamente, sino un medio inerte que se le denomina a menudo cultivo sin suelo. Mientras que el cultivo solamente en agua sería el verdadero cultivo hidropónico (Sánchez y Escalante, 1983).

El cultivo hidropónico en un principio era solamente en agua, a la cual se le agregaban los elementos nutritivos. Varios de los métodos hidropónicos actuales emplean algún tipo de medio de cultivo, tales como grava, arenas, piedra pómez, perlita, a los cuales se les añade una solución nutritiva que contiene todos los elementos esenciales necesarios para el normal crecimiento y desarrollo de las plantas.

Hoy en día, la técnica de hidroponía juega un papel muy importante en el desarrollo global de la agricultura. La presión por el incremento de la población, los cambios en el clima, la erosión del suelo, la falta y contaminación de las aguas, son algunos de los factores que han influenciado la búsqueda de métodos alternos de producción de alimentos.

La concepción común de hidroponía es que las plantas son cultivadas eficientemente sin suelo y para ello los elementos esenciales para su crecimiento son proporcionados periódicamente a las raíces a través de una solución nutritiva (Resh, 1997).

El FVH (forraje verde hidropónico) figura 1 es un alimento (forraje vivo en pleno crecimiento) de alta palatabilidad para cualquier animal y con un excelente valor nutritivo.

Un gran número de experimentos y experiencias prácticas comerciales han demostrado que es posible sustituir parcialmente la materia seca que aporta el forraje obtenido mediante métodos convencionales, así como también aquel proveniente de granos secos o alimentos concentrados por su equivalente en FVH.



(Figura 1) Forraje verde hidropónico.

Justificación

- ❖ Debido a que al año son pocos los meses que hay forraje disponible y aunado a esto que cada vez son mas diversos los cambios climáticos y el deterioro de la tierra cada vez mayor, se tiene que es una buena alternativa la producción de forraje verde hidropónico bajo condiciones de invernadero ya que se puede producir durante todo el año.

Objetivos

- ❖ Determinar la producción de forraje verde hidropónico en invernadero a 15 días en tres cereales (Cebada, Trigo y Triticale) utilizando tres densidades de siembra (1.00 kg., 1.25 kg. y 1.50 kg).
- ❖ Determinar la densidad óptima de cada especie, para la mayor producción de forraje verde hidropónico en invernadero.
- ❖ Proporcionar una alternativa de producción de forraje verde de alta palatabilidad para consumo animal en meses en los cuales en el campo no hay forraje verde disponible.

Hipótesis

- ❖ Se asume que existe diferencia entre especies (cebada, trigo, triticale) y densidades de siembra para producir mayor cantidad de forraje verde hidropónico bajo condiciones de invernadero.

REVISIÓN DE LITERATURA

La posibilidad de cultivar plantas sin tierra, fue admitida en el pasado por hombres de ciencia dedicados a la botánica pura.

Jan Baptista Van Helmont (1557-1644), médico nacido en Bruselas, inició el estudio científico que inspiró el descubrimiento de los nutrientes que conforman las plantas, concluyó que las plantas obtienen sustancias del agua, para su crecimiento; sin embargo, ignoró el aporte de la tierra y del aire, en el crecimiento de las plantas (Sánchez y Escalante, 1983).

La producción del FVH es tan solo una de las derivaciones prácticas que tiene el uso de la técnica de los cultivos sin suelo o hidroponía y se remonta al siglo XVII cuando el científico irlandés Robert Boyle (1627-1691) realizó los primeros experimentos de cultivos en agua. Pocos años después, sobre el final de dicha centuria, John Woodward produjo germinaciones de granos utilizando aguas de diferentes orígenes y comparó diferentes concentraciones de nutrientes para el riego de los granos así como la composición del forraje resultante (Huterwal, 1983).

Jean Serebier (1742-1809), clérigo y científico Suizo, encontró que la cantidad de oxígeno desprendida por las hojas sumergidas era proporcional a la cantidad de anhídrido carbónico disuelto en el agua. Fue el primer científico que tuvo una visión clara sobre la fotosíntesis. Años más tarde, en 1851, Jean Baptiste Boussingault (1802-1887), un científico francés dedicado al estudio de la química agrícola y conocido como el fundador de la agricultura como ciencia, confirmó las apreciaciones de De Saussure, a través de sus experimentos con medios inertes. Boussingault ideó varias soluciones nutritivas a base de agua y diferentes combinaciones de

elementos puros obtenidos de la tierra, arena, cuarzo y carbón de leña, a los que agregó soluciones de composición química conocida; concluyó que el agua era esencial para crecimiento de las plantas al suministrar hidrógeno y que la materia seca de la planta está constituida por carbono, hidrógeno y oxígeno, provenientes del aire. Boussingault, comprobó que las plantas contienen nitrógeno y otros elementos minerales que extraen de la tierra; de igual forma, identificó los elementos minerales y las proporciones que de cada elemento necesitan las plantas para su crecimiento(www.drcalderonlabs.com).

Simultáneamente, Justus Von Liebig (1803-1873), investigador alemán, desarrolló su teoría mineral de los fertilizantes y afirmó que el suelo aportaba solamente compuestos solubles e inorgánicos, en contraposición a la teoría del humus, que era la más aceptada en ese momento, que consideraba que la materia orgánica del suelo era la única fuente del carbón que absorbían las plantas. Salm-Horsmar, en 1856 desarrolló nuevas técnicas para el uso de arena y otros sustratos inertes en el cultivo de las plantas. Todos estos avances y conocimientos fueron profundizados por Julius Von Sachs (1832-1897), profesor de Botánica en la Universidad de Wurzburg y W. Knop, químico agrícola, conocido como "El Padre de la Cultura del Agua". En 1860, Sachs publicó la primera fórmula estándar para una solución de nutrientes que podría disolverse en agua y en la que podrían crecer plantas con éxito(www.drcalderonlabs.com).

Hacia 1861, Knop desarrolló la técnica de cultivo en solución nutritiva, metodología usada a partir de entonces en los laboratorios de fisiología para investigar sobre la nutrición vegetal (Sánchez y Escalante, 1983).

Uno de los investigadores que más influyó en este campo, fue William Frederick Gericke, profesor de la Universidad de California en Berkeley, quien durante la década de 1930, aparte de haber dado el nombre a esta ciencia al unir las raíces griegas *hydro* (agua) y *ponos* (trabajo), lo que significa literalmente "trabajo en agua", también desarrolló experimentos comerciales a gran escala. La consagración práctica de la hidroponía ha correspondido a las fuerzas armadas que del lado de las naciones democráticas intervinieron en la última guerra mundial. La importancia que habrían de adquirir los cultivos hidropónicos, fue la llevada a cabo por el ejército de los EEUU durante la segunda guerra mundial en la Isla Ascensión, donde se construyeron inmensos piletones de cemento que sirvieron para cultivar diversas variedades de plantas hortícolas, que le permitieron a los soldados comer miles de toneladas de alimentos frescos durante ese período(WWW.gcaconsultora.com.ar).

A partir de 1950 el incremento de las plantaciones hidropónicas se extendió por todo el mundo y en especial ha servido para ampliar y habilitar áreas en donde la agricultura tradicional era imposible de practicar (zonas desérticas, contaminadas, con poca disponibilidad de agua, etc.). El desarrollo del plástico, influyó en forma positiva no solo en la agricultura en general, sino también en la hidroponía, ya que solucionó muchos de los problemas relacionados con la contaminación de la solución nutritiva por la corrosión de elementos metálicos y de concreto empleados en algunos de los componentes del sistema. Simultáneamente, se ha llegado a conocer con mayor exactitud la demanda de cada uno de los elementos nutricionales por parte de la gran mayoría de las plantas cultivadas, en cada una de sus fases de desarrollo. Aunque aún hay muchas cosas por mejorar, la nutrición vegetal es cada vez más sencilla y equilibrada. De igual forma, el avance tecnológico en el diseño de calentadores eléctricos, de aceite, gas o gasolina, ha permitido la instalación de

invernaderos y plantaciones hidropónicas en los lugares más fríos y remotos del planeta. La hidroponía se vislumbra como una solución a la creciente disminución de las zonas agrícolas producto de la contaminación, la desertificación, el cambio climático y el crecimiento desproporcionado de las ciudades y áreas urbanas; y el continuo aumento poblacional que afecta al planeta. Hoy la hidroponía es vista como una de las más fascinantes ramas de la ciencia agronómica y es responsable de la alimentación y de la generación de ingresos para millones de personas alrededor del mundo(www.drcalderonlabs.com).

Importancia de la hidroponía

En un mundo superpoblado, con suelos erosionados e índices cada vez mayores de contaminación; con climas cambiantes y mayores requerimientos ecológicos de la población, la hidroponía, por sus especiales características, brinda nuevas posibilidades donde los cultivos tradicionales están agotados. La hidroponía resulta muy conveniente, pues no se tiene que depender ni de las temporadas de siembra, como en la agricultura tradicional, ni de las variaciones del clima. Es una excelente solución al problema de la producción en zonas áridas o muy frías, en las que la agricultura resulta muy difícil aplicarse si no se emplean métodos muy costosos y complicados (www.gcaconsultora.com.ar).

Los productos que se obtienen por hidroponía son mucho más abundantes y sanos que los del cultivo tradicional. Lo más importante, quizás, de la técnica hidropónica es el alto rendimiento de los cultivos, en comparación con la siembra tradicional en tierra. Hasta ahora, los establecimientos dedicados a los cultivos hidropónicos, han estado orientados fundamentalmente a la producción de alimentos

para el hombre, aunque sus posibilidades son mucho más amplias, como ser también, la nutrición animal a través del cultivo de forraje verde hidropónico.

El forraje verde hidropónico es el resultado del proceso de germinación de granos de leguminosas o gramíneas (alfalfa, trigo, cebada, sorgo, maíz, etc.), que se realiza captando la energía del sol y absorbiendo los nutrientes disueltos en la solución hidropónica, en ausencia total de suelo. El ciclo de producción es de 10 a 15 días. Con el forraje verde hidropónico se puede alimentar sin inconvenientes ganado vacuno, porcino, caprino y equino, conejos y una gran cantidad de animales domésticos con excelentes resultados(Samperio, 1997).

Ventajas de la hidroponía

- Requiere una superficie mucho menor para obtener igual cantidad de producción. Realizando instalaciones superpuestas, puede multiplicarse aún más el espacio.
- Se acorta el período de cultivo. El desarrollo de la planta es más rápido.
- Las plantas desarrollan poco sus raíces pues están directamente en contacto con los nutrientes y logran un crecimiento extraordinario de tallos, hojas y frutos.
- Requiere mucho menor mano de obra, ya que no es necesaria la remoción del suelo, efectuar trasplantes, limpiar los cultivos de malezas, aplicar fertilizantes, etc. reduciéndose además las tareas de recolección de los frutos, entre otras ventajas.
- La presentación de los productos obtenidos es superior a la de los cultivados en tierra.
- Mantiene los cultivos en un medio fitosanitario bueno. Facilita el control de las plagas en los cultivos.

- Disminuye los gastos para las operaciones de cultivo.
- El sistema de cultivo hidropónico, permite la incorporación de personal, que por sus características (avanzada edad, discapacitados, etc.) no podrían realizar tareas en los cultivos tradicionales
- Resuelve el problema del cansancio del suelo. (www.gcaconsultora.com.ar)

Desventajas

- Requiere para su manejo a escala comercial de conocimiento técnico combinado con la comprensión de los principios de la fisiología vegetal y de la química inorgánica.
- A escala comercial el gasto inicial es relativamente alto, ya que se necesitan invernaderos e infraestructura a utilizar.
- Pueden presentarse fracasos a nivel comercial, por mal manejo de soluciones nutritivas, o causar toxicidad a las plantas.
- Es necesario tener conocimiento de la especie que se cultive en el sistema. (Sánchez y Escalante, 1983)

Clasificación de los métodos de cultivo en hidroponía

Si bien el principio de suministro de nutrientes en la hidroponía es siempre el mismo - consiste en humedecer las raíces de las plantas con una solución de sales balanceadas disueltas en agua - lo que puede variar, es el sistema empleado para poner las raíces en contacto con el líquido.

Existen tres formas básicas de suministrarle los nutrientes a las plantas: humedeciendo el sustrato en el que están ubicadas; colocando las raíces directamente

en el líquido de la solución o aplicándole ésta en forma de spray, mediante un pulverizador, directamente sobre las raíces.

De acuerdo al sistema empleado para nutrir a las plantas, la hidroponía se puede clasificar de la siguiente manera: raíces en sustrato sólido, en medio líquido o en medio gaseoso (www.gcaconsultora.com).

Raíz en sustrato sólido

En esta modalidad de cultivo las raíces se ubican en un medio sólido o sustrato como arenas, gravilla, escoria de carbón, ladrillo molido, piedra pómez, cascarilla de arroz, aserrín, viruta de madera, arcilla expandida, vermiculita, lana de roca, etc. Este sistema de cultivo es el más empleado en Latinoamérica, es así como en algunos lugares volcánicos del Ecuador se emplea la piedra pómez, en regiones industriales la escoria de carbón, en zonas agrícolas la cascarilla de arroz, las diferentes clases de arenas son empleadas en zonas urbanas, los retales de ladrillos libres de materiales de construcción son empleadas en zonas marginadas de las ciudades(www.drcalderonlabs.com).

Raíz en Medio Líquido

La raíz desnuda, aparece sumergida en un medio líquido que contiene los nutrientes necesarios por la planta; dentro de esta modalidad se cuenta con varios sistemas entre ellos: N.F.T. Técnica de cultivo en flujo laminar donde las raíces extendidas sobre canales reciben láminas delgadas provee una bandeja gigante, para un amplio desarrollo de raíces. La solución nutritiva suministrada está en continuo movimiento y la cantidad de elementos nutrientes estrictamente controlados uno a uno(www.drcalderonlabs.com).

Raíz en medio Aeropónico

Las raíces de las plantas se encuentran suspendidas y son alimentadas por la solución nutritiva en forma de neblina. Sea cual fuere la modalidad a emplear esta debe ser analizada teniendo en cuenta: Disponibilidad de medios o sustratos, cantidades de agua, costos de montaje, especies a cultivar, disponibilidad de mano de obra, objetivo propuesto etc. En América latina, las modalidades más utilizadas ha sido la de la Hidroponía en sustratos, especialmente cascarilla de arroz, tanto cruda como quemada. Por su lado las hortalizas han sido cultivadas en medios líquidos, este ultimo empleando el sistema NFT. Los estanques y los potes se han utilizado a nivel experimental, el sistema aeropónico ha sido utilizado a nivel didáctico y recreativo(www.drcalderonlabs.com).

Forraje verde hidropónico : Derivación de la hidroponía

La producción del FVH es tan solo una de las derivaciones prácticas que tiene el uso de la técnica de los cultivos sin suelo o hidroponía. El forraje verde hidropónico (FVH) es una tecnología de producción de biomasa vegetal obtenida a partir del crecimiento inicial de las plantas en los estados de germinación y crecimiento temprano de plántulas a partir de semillas viables. El FVH o "*green fodder hydroponics*" en un pienso o forraje vivo, de alta palatabilidad, así como alta digestibilidad, calidad nutricional y muy apto para la alimentación animal. En la práctica, el FVH consiste en la germinación de granos (semillas de cereales o de leguminosas) y su posterior crecimiento bajo condiciones ambientales controladas (luz, temperatura humedad ambiente) en ausencia del suelo. Usualmente se utilizan semillas de avena, cebada, maíz, trigo y sorgo(Sánchez, 2001).

El FVH es un sistema de producción de biomasa vegetal de alta sanidad y calidad nutricional producido muy rápidamente (9 a 15 días), en cualquier época del año y en cualquier localidad geográfica, siempre y cuando se establezcan las condiciones mínimas necesarias para ello. La tecnología FVH es complementaria y no competitiva a la producción convencional de forraje a partir de especies aptas (avena, mezclas de trébol y gramíneas, alfalfa , etc.) para cultivo forrajero convencional. Dentro del contexto anterior, el FVH representa una alternativa de producción de forraje para la alimentación de corderos, cabras, terneros, vacas en ordeña, caballos , conejos, pollos, gallinas ponedoras, patos, cuyos y chinchillas entre otros animales domésticos y es especialmente útil durante períodos de escasez de forraje verde. Estos fenómenos naturales adversos, cada vez más comunes producto de la alta variabilidad climática, ocurren sin que se cuenten muchas veces con suficientes reservas de pasturas, henos o ensilados. Ello redundaría en la necesidad de contar con alternativas de producción de forraje que permitan prevenir pérdidas productivas (abortos, pérdida de peso, escaso volumen de leche, demoras y/o problemas de fertilidad, etc.) especialmente a nivel de los pequeños y medianos productores ganaderos o de animales menores. Frente a estas circunstancias de déficit alimentario, surge como una alternativa válida, la implementación de un sistema de producción de FVH. El forraje verde hidropónico es el resultado de la germinación de los granos de cebada, maíz, sorgo, avena, trigo, en condiciones óptimas de temperatura, iluminación y riego. En el proceso de germinación de una semilla se producen una serie de transformaciones cualitativas y cuantitativas muy importantes(Sánchez, 2001).

En este estado, la planta, tanto en su parte aérea como en la zona radicular, se encuentra en un crecimiento acelerado, con muy poca fibra y alto contenido de proteína en su composición, ésta última, se encuentra en estado de formación, por lo que gran

parte de los aminoácidos están en forma libre y son más aprovechables por los animales que la consumen. El forraje verde hidropónico es por tanto, un producto de especiales características alimenticias (Sánchez, 2001).

Ventajas del forraje verde hidropónico

Ahorro de agua

En el sistema de producción de FVH las pérdidas de agua por evapotranspiración, escurrimiento superficial e infiltración son mínimas al comparar con las condiciones de producción convencional en especies forrajeras, cuyas eficiencias varían entre 270 a 635 litros de agua por kg de materia seca. Alternativamente, la producción de 1 kilo de FVH requiere de 2 a 3 litros de agua con un porcentaje de materia seca que oscila, dependiendo de la especie forrajera, entre un 12% a 18%. Esto se traduce en un consumo total de 15 a 20 litros de agua por kilogramo de materia seca obtenida en 14 días, en comparación con los cultivos en campo (Lomeri, 2000) como se muestra en el cuadro 1.

Cuadro 1: Gasto de agua para producción de forraje en condiciones de campo

Especie	Litros de agua / Kg materia seca
Avena	635
Cebada	521
Trigo	505
Maíz	372
Sorgo	271

(Fuente: Carambula, y Terra, 2000)

Esta alta eficiencia del FVH en el ahorro de agua explica por qué los principales desarrollos de la hidroponía se hallan observado y se observen generalmente en países con ecozonas desérticas, a la vez que vuelve atractiva la alternativa de producción de FVH por parte de pequeños productores que son afectados por pronunciadas

sequías, las cuales llegan a afectar la disponibilidad inclusive, de agua potable para el consumo(Lomeri, 2000).

Eficiencia en el uso del espacio

El sistema de producción de FVH puede ser instalado en forma modular en la dimensión vertical lo que optimiza el uso del espacio útil.

Eficiencia en el tiempo de producción

La producción de FVH apto para alimentación animal tiene un ciclo de 10 a 12 días. En ciertos casos, por estrategia de manejo interno de los establecimientos, la cosecha se realiza a los 14 o 15 días, a pesar que el óptimo definido por varios estudios científicos no puede extenderse más allá del día 12. Aproximadamente a partir de ese día se inicia un marcado descenso en el valor nutricional del FVH(Sánchez,2001).

Calidad de forraje para los animales

El FVH es un succulento forraje verde de aproximadamente 20 a 30 cm de altura (dependiendo del período de crecimiento) y de plena aptitud comestible para nuestros animales .Su alto valor nutritivo lo obtiene debido a la germinación de los granos. En general el grano contiene una energía digestible algo superior (3.300 kcal/kg) que el FVH (3.200 kcal/kg). Sin embargo los valores reportados de energía digestible en FVH son ampliamente variables. En el caso particular de la cebada el FVH se aproxima a los valores encontrados para el Concentrado especialmente por su alto valor energético y apropiado nivel de digestibilidad (Sánchez, 2001).

Desventajas del forraje verde hidropónico

Las principales desventajas identificadas en un sistema de producción de FVH son:

Desinformación y Sobre valoración de la Tecnología

Proyectos de FVH preconcebidos como “llave en mano” son vendidos a productores sin conocer exactamente las exigencias del sistema, la especie forrajera y sus variedades, su comportamiento productivo, plagas, enfermedades, requerimientos de nutrientes estos proyectos han sufrido significativos fracasos por no haberse accedido a una capacitación previa que permita un correcto manejo del sistema (Sánchez,2001).

Costos de Instalación

Una desventaja que presenta este sistema sería el elevado costo de implementación. Sin embargo, se ha demostrado que utilizando estructuras de invernaderos hortícolas comunes, se logran excelentes resultados (Sánchez, 2001).

Proceso de Producción del forraje verde hidropónico

No se deben utilizar semillas tratadas con funguicidas. La humedad de la semilla debe ser del 12% y debe tener un reposo para que cumplan los requisitos de madurez fisiológica (Valdivia, 1996).

Lavado

Se inunda en un tanque o recipiente con el fin de retirar todo el material que flote como lanas, basuras, granos partidos y cualquier otro tipo de impurezas(Valdivia, 1996).

Pregerminación

Consiste en activar la semilla, es decir, romper el estado de latencia en que se encuentran. El factor que determina la pregerminación es la temperatura. Para realizar la pregerminación, la semilla se humedece durante 24 horas con agua; una vez cumplido este tiempo se drena el agua para que la semilla pueda respirar y se deje reposar durante 48 horas(Valdivia, 1996).

Recipientes

La siembra se hace sobre las bandejas que pueden ser de lámina galvanizada ó fibra de vidrio ó lo que se disponga. La siembra se realiza de forma cuidadosa para evitar daños a la semilla(Valdivia, 1996).

Densidad de Siembra

La mejor densidad de siembra para Trigo y Cebada se reporta de 5.2 kg en 1 m² y 3.9 kg por 1 m² respectivamente (Rojas, 1996).

Germinación

La germinación comprende el conjunto de cambios y de transformaciones que experimenta la semilla en determinadas condiciones de humedad y temperatura.

La germinación se puede llevar a cabo mediante la hidratación de la semilla en tanques o recipientes inundados de agua durante 24 horas. Las semillas poseen sustancias que inhiben la germinación y que durante el remojo quedan disueltas en el agua pudiendo ser extraídas; entonces conviene cambiar el agua repetidas veces, varían entre 24 y 48 horas que es cuando los granos han alcanzado estructuras radicales notorias, formando de tres a cuatro raicillas; el proceso de germinación ha terminado cuando los cotiledones han salido del tegumento de la semilla(Rojas, 1996).

Riego

A partir del momento de la siembra se debe regar con la finalidad de que la charola no pierda humedad, los riegos son variables dependiendo de la etapa de crecimiento del forraje, se debe evitar el encharcamiento de lo contrario se producirá pudrición en las raíces.

Crecimiento

En el proceso de crecimiento intervienen varios factores: Absorción de solución nutritiva, movilización de nutrientes, luminosidad, humedad, temperatura, en esta etapa actúan los factores citados, los cuales deben mantener las condiciones óptimas. La aplicación de la solución nutritiva se hace con una frecuencia de 5 a 8 riegos diarios. Las bandejas se exponen directo a la luz; el invernadero aporta una buena luminosidad, facilitando el proceso de fotosíntesis y la síntesis de algunas vitaminas como el caroteno; con buena luminosidad se favorecen las cualidades nutritivas del forraje y se mejoran las condiciones de sabor. En este estado la planta tanto en su parte aérea como en su zona radicular, está en un crecimiento acelerado; posee poco contenido de fibra y un alto contenido de proteína, por lo que grandes cantidades de aminoácidos están libres(Samperio, 1997).

Cosecha

Esta se hace cuando la planta ha alcanzado una altura promedio de 20 centímetros. Este desarrollo demora entre 9 y 15 días, dependiendo de la temperatura, las condiciones ambientales, del invernadero y la frecuencia del riego(Samperio, 1997).

Requerimientos del forraje verde hidropónico

Los requerimientos mínimos que necesita la planta para lograr una producción aceptable, son los siguientes: agua, luz, temperatura y humedad (Samperio, 1997).

Agua

La calidad del agua es de gran importancia para el éxito de la producción, la condición básica que debe presentar el agua para ser usada en sistemas hidropónicos

es su característica de potabilidad. Su origen puede ser de pozo o de lluvia(Sánchez, 2001).

Luz

La luz es un factor indispensable para el buen desarrollo de las plantas, pues es la energía que necesita para realizar la fotosíntesis, por medio de la cual logra llevar a cabo sus diferentes etapas de desarrollo, desde su crecimiento hasta su producción(Samperio, 1997).

Temperatura

Es otro de los factores de gran importancia para tener una óptima producción de forraje verde hidropónico, la temperatura debe oscilar entre los 22° C a 25° C. Las plantas resisten los cambios de temperatura sólo si son mínimos, si estos son bruscos, pueden dañarse seriamente. Se consideran alteraciones bruscas de temperatura cuando se presenta de 8° C a 10° C de diferencia con respecto a su temperatura habitual(Samperio, 1997).

Humedad

Es un factor muy importante en la producción de forraje verde hidropónico, se debe mantener una humedad de 65 a 70 %. Un control óptimo de la humedad evita la aparición de muchas enfermedades (Lomerí, 2000).

Instalaciones

La localización de una construcción para producción de FVH no presenta grandes requisitos. Como parte de una buena estrategia, la decisión de iniciar la construcción de instalaciones para FVH debe considerar previamente que la unidad de producción de FVH debe estar ubicada en una zona de producción animal o muy próxima a esta; y que existan períodos de déficit nutricional a consecuencia de la ocurrencia de condiciones agro meteorológicas desfavorables para la producción

normal de forraje (sequías recurrentes, inundaciones) o simplemente suelos malos o empobrecidos. Para iniciar la construcción se debe nivelar bien el suelo; buscar un sitio que esté protegido de los vientos fuertes; que cuente con disponibilidad de agua de riego de calidad aceptable para abastecer las necesidades del cultivo; y con fácil acceso a energía eléctrica. Existe un amplio rango de posibilidades para las instalaciones que va desde aquellas más simples construidas artesanalmente con palos y plástico, hasta sofisticados modelos digitalizados en los cuales casi no se utiliza mano de obra para la posterior producción de FVH. En los últimos años se han desarrollado métodos operativos con modernos instrumentos de medición y de control (relojes, medidores del pH, de conductividad eléctrica y controladores de la tensión de CO₂). Las instalaciones pueden ser clasificadas según sea su grado de complejidad en:

Populares

La producción obtenida en este tipo de instalaciones es utilizada en la mayoría de los casos para alimentar los animales existentes dentro del mismo predio. La altura de las estanterías, debido a la calidad de los materiales de construcción, no sobrepasa los 3 pisos. En casos muy particulares se alcanzan cuatro niveles de bandejas.

El material con que están fabricadas las bandejas puede ser de cualquier tipo y origen. Lo más común es que sean recipientes de plástico de descarte, a los cuales se les corta al medio, se les perforan pequeños drenajes de agua sobre uno de los lados y se usan tal como quedan. También se utilizan estantes de muebles en desuso a los que se le forran con nylon. En este tipo de instalaciones podemos encontrar todo tipo de formas y tamaños de bandejas (Sánchez. 2001).

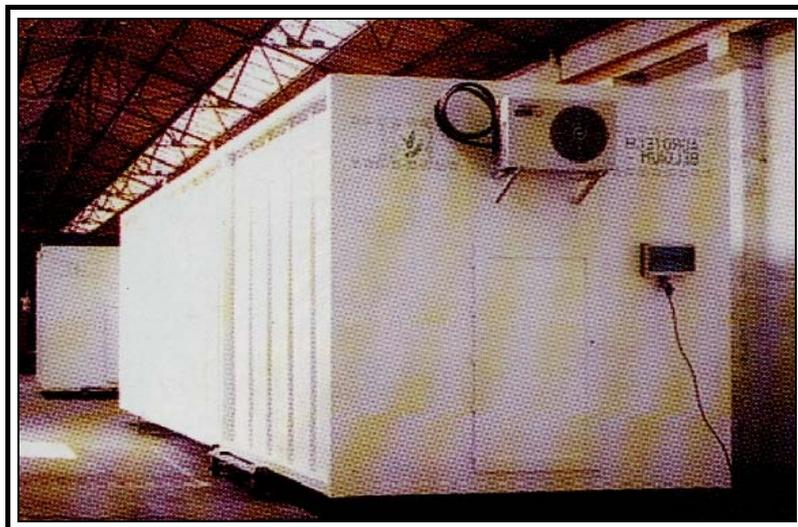
Estructuras o Recintos en Desuso

Hemos denominado así a este segundo tipo de instalaciones de producción de FVH. Comprende instalaciones industriales en desuso, antiguos criaderos de pollos,

galpones vacíos, viejas fábricas, casas abandonadas, etc. ahorro que se obtiene con este tipo de instalaciones surge de la disponibilidad de paredes y techos lo que permite invertir en los otros insumos necesarios para la producción de FVH. Los rendimientos en este tipo de instalaciones suelen ser superiores a las instalaciones populares por el mejor control ambiental logrado y el mayor número (hasta 7) de pisos de producción. El material utilizado en la construcción de las bandejas puede ser de distintos orígenes tales como fibra de vidrio, madera pintada , madera forrada con plástico y bandejas de plástico . Lo anterior sumado a un tamaño uniforme de las bandejas y a equipos de riego compuestos por micro aspersores o nebulizadores supone una producción mucho más regular y planificada conociéndose exactamente cuantos kilos de FVH estarán disponibles para alimentar a los animales en un período determinado (Sánchez, 2001).

Modernas o de alta tecnología

Las instalaciones de este tipo(figura 2) pueden ser prefabricadas o importadas directamente como unidades de producción o “fábricas de forraje”.



(figura 2).Vista exterior de un equipo de FVH de Agrotech Belium SC
Fuente: Empresa Agrotech Belium SC.

La instalación cuenta con riego automatizado, estantería por dentro y controlados todos los factores necesarios para una efectiva germinación del FVH. Presenta también

ventiladores, extractores de aire, un ozonizador que incorpora ozono al agua de riego para eliminar contaminaciones de bacterias, e iluminación. Entre ellas, un modelo "Hydro Harvest" de California, EEUU, basado en túneles de producción automáticos en donde las bandejas se desplazan sobre rieles hasta el final del túnel donde el FVH es cosechado y entregado a la alimentación de los animales. Equipos similares son también fabricados y comercializados en España (sin tierra). Otras empresas dedicadas a la fabricación y exportación de estos paquetes tecnológicos son, entre otras: Magic Meadows (Arizona); Harvest Hydroponics (Ohio); Landsaver (Inglaterra) (Sánchez. 2001).

Características nutricionales

Los forrajes tiernos en condiciones normales de siembra en suelos, poseen entre 23% y 25% de contenido proteico referido a sustancia seca. Dicho valor es notablemente más elevado que el nivel de proteínas de las mismas plantas en épocas de mayor desarrollo (floración y maduración), donde baja su contenido proteico. La proteína contenida en forrajes tiernos, es de mayor digestibilidad que en plantas maduras. Los forrajes tiernos contienen poca fibra bruta, respecto a una planta adulta; y está representada por celulosa pura, sustancia altamente digerible. En los forrajes maduros, junto con el progresivo aumento del contenido de la celulosa se verifica el proceso de lignificación de su estructura orgánica, por esta razón su coeficiente de digestibilidad disminuye notablemente. La planta tierna tiene un elevado contenido de calcio, fósforo y fierro, minerales que sufren importantes variaciones a medida que crece la planta y por influencia del medio ambiente y suelo; tal fenómeno es muy acentuado en zonas áridas y desérticas. Los forrajes tiernos son muy ricos en vitaminas, principalmente carotenos (250-350) mg/Kg de materia seca. y vitaminas

liposolubles (A y E), por lo que los alimentos basados en forrajes tiernos o recién germinados proporcionan a los animales todos los minerales y vitaminas necesarias para su subsistencia. En el forraje verde hidropónico todas las vitaminas se presentan libres y solubles y por lo tanto, asimilables directamente. La vitamina E se encuentra en estado completamente asimilable y en libre circulación por toda la planta joven. Este producto tiene una cantidad de enzimas que lo hacen doblemente aprovechable, ya que evita un trabajo en el tracto digestivo del animal, teniendo en cuenta que está predigerido, además estimula el sistema endocrino del animal y aumenta la actividad metabólica. El pH, del FVH está entre 6 y 6.5. Es ligeramente ácido, lo que hace que este sea muy conveniente como alimento. Las raciones hidropónicas son inmediatamente asimilables, su digestibilidad es de 85% a 90%. La palatabilidad es excelente. Su aspecto, color, sabor, textura le confieren gran palatabilidad a la vez que aumentan la asimilación de otros alimentos por parte del animal (Valdivia.1996).

Descripción de los materiales Utilizados en el presente trabajo

Cebada (*Hordeum vulgare* L.)

En México, el cultivo de cebada tiene una gran importancia económica y social, debido a su gran demanda en las industrias malteras y forrajeras. La industria forrajera consume actualmente alrededor de 167 mil toneladas de cebada en grano y en verde, las cuales dan margen a que otros cereales que eran utilizados para la alimentación del ganado, se aprovechen para abastecer la creciente demanda de alimentos.

La cebada es el cereal cultivado más antiguo en el mundo. Vavilov estableció dos reglones de origen: una en el Centro de Etiopía y África del Norte, de donde proceden muchas variedades cubiertas con barbas largas, mientras que del otro centro; China, Japón y el Tibet, proceden las variedades desnudas, con barbas cortas o sin barbas. La

cebada se encuentra ahora distribuida por todo el mundo, y es un excelente grano como cereal, con tolerancia a la salinidad y cambios moderados del clima (Robles, 1990).

Suberbie (1967) citado por Cervantes (1978) menciona que el cultivo de esta gramínea se inició en México después de la conquista, y la primera región donde se sembró fue en los Valles Altos. Existen variedades de primavera e invierno. En México se cultivan a nivel comercial variedades de primavera, con un ciclo vegetativo que fluctúa entre los 90 y 130 días. La cebada tiene un hábito de crecimiento anual, con tendencia a convertirse en perenne bajo condiciones muy especiales, desarrolla un denso sistema de raíces adventicias al tiempo de amacollar, el tallo es de 60 cm a un metro de altura, la inflorescencia es una espiga cilíndrica, es una planta sexual, monoica, hermafrodita y perfecta. Se ha observado que este cultivo se adapta a muy diversos tipos de clima, ya que se cultiva desde una altura de 0 a 3500 msnm. La temperatura mínima es de 3 a 4°C y la óptima de 20°C y la máxima de 28 a 30°C.

El género *Hordeum* comprende cerca de 25 especies (Cervantes, 1978). A continuación el análisis bromatológico del FVH en cebada en comparación con otros alimentos (cuadro: 2).

Cuadro:2 Valor Comparativo del Forraje Verde Hidropónico.

	F.V.H	Concentrado	Heno	Paja
Energía (Kcal/Kg) MS	3.216	3	1.68	1.39
Proteína en cebada (%)	25	30	9.2	3.7
Digestibilidad (%)	81.6	80	47	39
Kcal digestible en kg	488	2.16	400	466
Kg de proteína digestible Ton	46.5	216	35.75	12.8

Fuente: AgroCultura. Forraje Verde Hidropónico, marzo-abril 2000.

Mcal= 1000 · Kcal

MS= Materia Seca

F.V.H= Forraje Verde Hidropónico

Trigo (*Triticum aestivum* L.)

Es la especie que ocupa el primer lugar en la producción y superficie entre los cuatro cereales a nivel mundial (trigo, arroz, maíz y cebada) en la alimentación humana y animal, debido a que está ampliamente distribuido en muchas partes del mundo, quizá por ser una especie que tiene un amplio rango de adaptación y por su gran consumo en muchos países, por otro lado es una especie tolerante a bajas temperaturas en sus primeras fases de desarrollo, su mayor producción tiende a concentrarse en ciertas áreas, principalmente en aquellos países de clima templado y frío. En la actualidad el trigo ocupa aproximadamente el 20% de la tierra cultivada a nivel mundial. La mayor parte se siembra en el Hemisferio Norte con el 80% del área en Norte América, Europa y la Ex-Unión Soviética(Hanson,1985).

Los españoles introdujeron a México el cultivo de trigo en el año de 1520, poco después de su llegada. La importancia que tiene el trigo en México de acuerdo con el área de producción, ocupa el cuarto lugar, se siembra en casi todos los estados de la República Mexicana y se adapta a tierras pobres en nutrientes, como tierras ricas, zonas húmedas, semi-húmedas y secas; bajo estas conclusiones se pueden considerar seis zonas importantes en la producción de trigo; Zona Noreste del país, abarca Sonora, Sinaloa y Baja California; la Zona del Bajío, que incluye Querétaro, Guanajuato, Jalisco, Michoacán y parte de San Luis Potosí; la región de la Laguna, que incluye parte de Coahuila y Durango, Zona Norte, que comprende Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, y Tamaulipas; Zona Centro, Aguascalientes, Zacatecas, Durango y el Valle de Toluca. El trigo es una planta anual, de raíz fibrosa, es una caña herbácea cilíndrica, hueca o con médula que termina con una espiga; las hojas nacen al nivel de los nudos del tallo, son envainantes y con limbo, plano por lo general; en la base del limbo se desarrollan una lígula y dos aurículas; el fruto es un grano ó cariósipide cuyo pericarpio está soldado

a la almendra, formado por el albumen y el embrión ó germen. El trigo se cultiva desde el nivel del mar hasta altitudes por arriba de los 3000 m., sin embargo, se adapta mejor a las zonas templadas con ambientes áridos o semiáridos. El origen genético del trigo es de gran interés, es un ejemplo clásico de cómo pueden combinarse en la naturaleza una serie de especies poliploides íntimamente relacionadas entre sí. Las especies de *Triticum* y sus parientes más cercanos se pueden dividir en grupos diploides, tetraploides y hexaploides, con números cromosómicos de $2n = 14, 28$ y 42 , respectivamente (Robles, 1990).

Triticale (X *Triticosecale* WITTMACK)

El triticale, es un cultivo relativamente reciente, es el producto de una cruce entre los géneros *Triticum* (al cual pertenece el trigo) y *Sécale* (a cual pertenece el centeno), Su nombre se formó con la mitad de cada uno de los géneros progenitores. Creado por fitogenetistas, más que por el proceso natural de evolución, el triticale lleva la distinción de ser el primer cereal hecho por el hombre. El potencial del triticale como un forraje suplementario de invierno, muestra ser alto, así como el contenido de proteínas. Por tener un rápido crecimiento y alto rendimiento (Reséndiz. 1987).

A la vez que se despliegan grandes esfuerzos en los campos experimentales del CIMMYT y de otras entidades para incrementar al rendimiento y ampliar la adaptación del triticale, en el laboratorio se presta igual atención al valor nutritivo del nuevo grano en su condición de alimento para el hombre y los animales. En 1968, se obtuvieron rendimientos de 2500 Kg. por ha, conforme se aumentaba el tamaño y el llenado del grano, mediante la mejora genética y la selección, han obtenido producciones de 8,000 Kg. por ha. En el triticale, como en otros cereales, el primer aminoácido limitante —o sea, el que más falta— es la lisina, de ahí que el porcentaje de lisina en la proteína del

triticale constituya el indicador de su calidad proteínica. En términos de contenido de lisina, el triticale es significativamente superior a los trigos, en los cuales el contenido promedio de lisina es del 3% de la proteína total. En los triticales el promedio de lisina es del 3% de la proteína total. en los triticales el promedio anda por el 3.7% de lisina. el triticale es un cultivo el cual se puede sembrar en los dos ciclos: primavera-verano y otoño-invierno, pero debido a que las temperaturas bajas favorecen al cultivo del triticale, se recomienda sembrar en el ciclo de otoño-invierno. (www.gro.itesm.mx/agronomia)

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del Área de Estudio

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el mes de diciembre de 2002 en el área de invernaderos de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro,” en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Ubicada en los 25° 22” de latitud Norte y 110° 00” de longitud Oeste con una altitud de 1742 msnm.

Material Genético

Para el presente trabajo se utilizaron tres especies de cereales forrajeros: Cebada, línea CANF-25-95; Trigo, línea AN 67-68 y Triticale, línea AN-53 las cuales fueron proporcionadas por el Programa de Cereales de la UAAAN.

Metodología

Inicialmente se realizaron pruebas de germinación a cada una de las especies utilizadas. Estas pruebas se realizaron en el laboratorio de Fisiología Vegetal de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”.

Para las pruebas de germinación se utilizaron 100 semillas para cada especie de las cuales se hicieron cuatro repeticiones de veinticinco semillas para cada una, se humedeció el papel sustrato en agua, colocando dos toallas para germinación una encima de otra, se pusieron las semillas en hilera de 25 y posteriormente se enrolló en forma de taco y se identificaron (figura, 3).



Figura 3. Pruebas de germinación.

Las repeticiones se prepararon del mismo modo y se pasaron a una cámara germinadora a temperatura constante de 25° C, se realizaron los conteos al día 7 de haber puesto a germinar. El porcentaje de germinación de los materiales utilizados se muestra en el cuadro 3.

Cuadro 3. Por ciento de germinación de las especies utilizadas.

Variedad	Germinación %
Cebada CANF-25-95	94.00
Trigo AN-67-68	98.00
Triticale AN-53	93.00

Densidades de Siembra

Se utilizaron tres densidades de siembra; 1.00 Kg., 1.25 Kg. y 1.50 Kg., para cada una de las especies utilizadas, en charolas de 0.90 m de largo por 0.30 m de ancho, con un área de 0.27 m². (figura 4).



Figura 4. Charolas para FVH.

El día que se inicio el trabajo se empezó por pesar cada uno de los materiales de acuerdo a las densidades de siembra. Cada muestra se puso en bolsas plásticas limpias con la finalidad de poner a remojar la semilla, se vertió agua a razón del doble del peso de la semilla. Se dejaron remojando las semillas de cada bolsa durante 1 hora con una solución de hipoclorito de sodio al 0.01 %, se tiro esa solución, después se lavaron las semillas para que una vez que se hubo drenado se le vertiera agua y durante 3 horas siguiera el proceso de imbibición.

La solución que se vierte equivale al doble del peso inicial de la semilla. después se drena esa solución, se lavan la semillas y se procede a colocarlas en cada charola ya identificada , previamente lavada y desinfectada. Una vez puestas las semillas en cada charola se le colocaron toallas delgadas de cocina para que estas ayudaran a conservar la humedad después de cada riego, estas se retiraron al tercer día.

Las charolas que se utilizaron se colocaron sobre una estantería de fierro, hecha de ángulo de $\frac{3}{4}$ “.

El material de riego que se utilizó fueron conductos de PVC y micro aspersores (figura 5). El riego se daba dependiendo de la humedad de la charola y temperatura dentro del invernadero por lo que los riegos variaban en tiempo, cabe mencionar que las temperaturas dentro del invernadero fueron muy bajas los primeros 5 días debido a las condiciones climáticas del exterior, a partir de este día se colocó iluminación para optimizar el proceso de fotosíntesis en el forraje, los siguientes 10 días mejoró la temperatura por lo que se observó la ganancia de peso en las charolas y se observó el rápido crecimiento del forraje.



Figura 5. Riego con micro aspersores por conductos de PVC.

Diseño experimental

Se utilizo un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3 x 3 en 6 repeticiones tomando como factores a especies y densidades. Dicho modelo matemático empleado fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + E_i + D_j + (E * D)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Con $i = 1,2,3$ especies $j = 1,2,3$ densidades $k = 1,2,3,4,5,6$ repeticiones

Donde: Y_{ijk} = Variable aleatoria observable correspondiente a la i-ésima especie y la j-ésima dosis y la k-ésima repetición.

μ = Componente que representa a la población promedio

E_i = Efecto de la i-ésima especie

D_j = Efecto de la j-ésima densidad

$(E*D)_{ij}$ = Efecto conjunto correspondiente a la i-ésima especie y la j-ésima densidad

ε_{ijk} = Componente aleatoria de errores

Variables Evaluadas

Peso Fresco: En esta variable se consideró el peso final que se obtuvo de cada charola en kilogramos.

Altura del forraje verde hidropónico: La altura se tomo del día 10 al 15, estas se tomaron de la base de la plántula al ápice. Se utilizó una regla graduada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento de forraje verde

Como se observa en el cuadro 4, el análisis estadístico mostró diferencia significativa entre las medias de especies ($P < 0.05$) con valores de 5.44, 4.53 y 4.19 Kg. para trigo, triticale y cebada respectivamente a una densidad de 1.00Kg./0.33m², se puede ver que en esta densidad la mejor especie fue trigo y el mas bajo rendimiento fue para cebada. Este comportamiento se observa con mejor objetividad en la figura 6.

Cuadro 4. Comparación de medias de especies en densidad 1.00 Kg.

Especies en 1 Kg. MEDIA	
Trigo	5.4375 ^a
Triticale	4.5250 ^b
Cebada	4.1917 ^b

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05
DMS = 0.7780

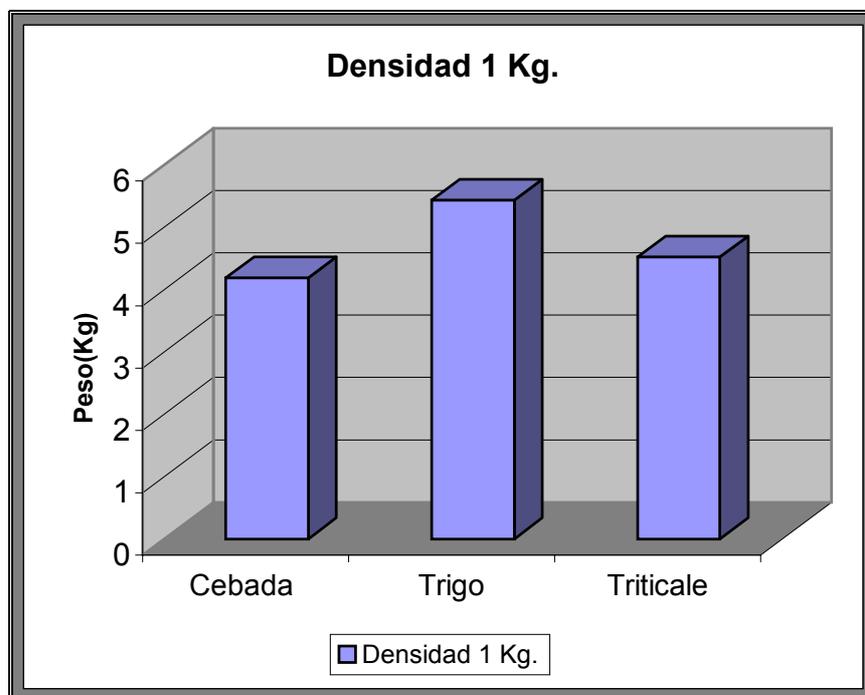


Figura 6. Comparación de medias de especies en densidad 1.00 Kg.

Como se observa en el Cuadro 5, el análisis estadístico mostró diferencia significativa entre las medias de especies ($p < 0.05$) con valores de 7.25, 5.68 y 5.37 Kg. para trigo, triticale y cebada respectivamente a una densidad de siembra en 1.25 Kg./0.33m² se puede ver que trigo supera en rendimiento a cebada y Triticale. Este comportamiento se observa con mejor objetividad en la figura 7.

Cuadro 5. Comparación de medias de especie en densidad 1.25 Kg.

ESPECIES EN 1.25 KG. MEDIA	
Trigo	7.2542 ^a
Triticale	5.6792 ^b
Cebada	5.3708 ^b
NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05	
DMS = 0.7780	

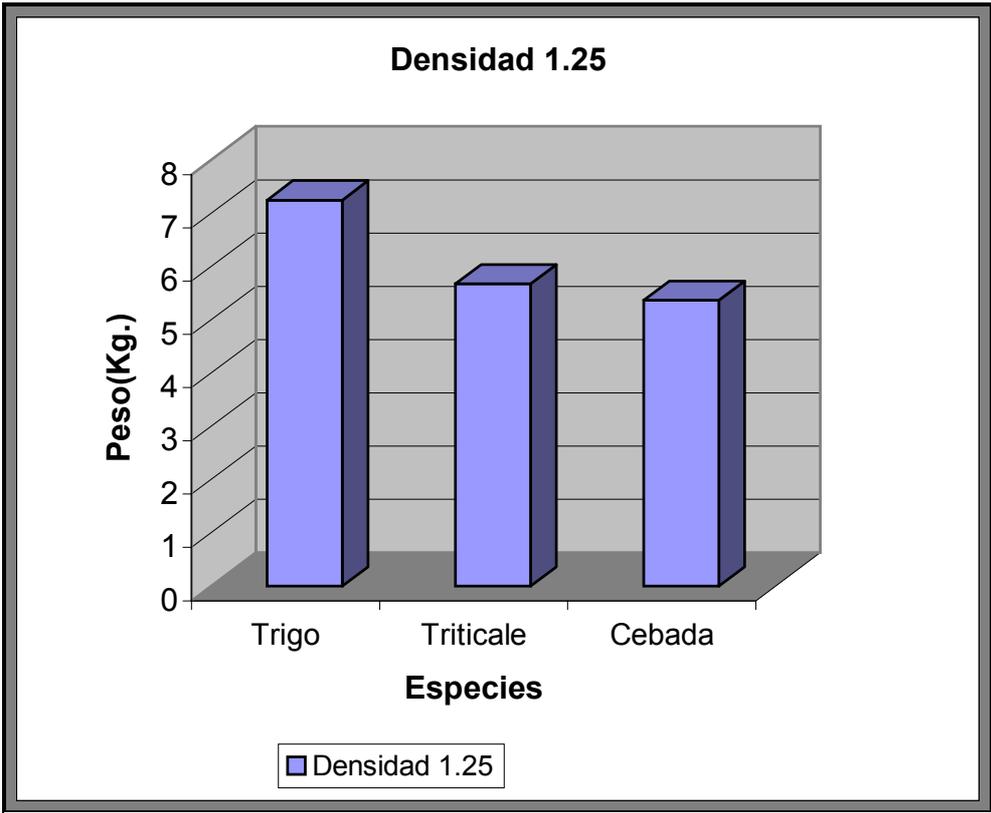


Figura 7. Comparación de medias de especies en densidad 1.25 Kg.

En el Cuadro 6, se observa que el análisis estadístico mostró diferencia significativa entre las medias de especies ($p < 0.05$) con valores de 7.90, 7.70 y 6.40 Kg. para triticale, trigo y cebada respectivamente, a una densidad de siembra en 1.50 Kg./0.33m² se puede ver que en esta densidad el triticale y trigo supera en rendimiento a cebada. Este comportamiento se observa con mayor objetividad en la figura 8.

Cuadro 6 . Comparación de medias de especie en densidad 1.5 Kg.

ESPECIES EN 1.5 KG. MEDIA	
Triticale	7.9042 ^a
Trigo	7.7083 ^a
Cebada	6.4042 ^b
NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05	
DMS = 0.7780	

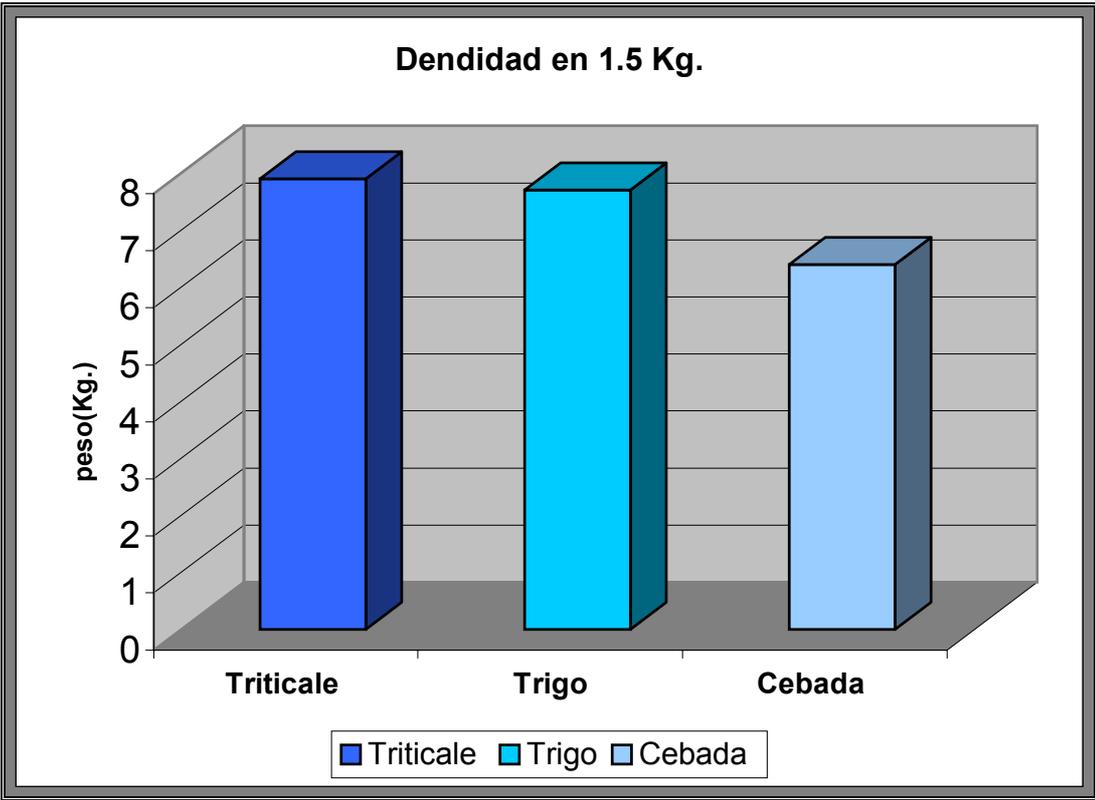


Figura 8. Comparación de medias de especies en densidad 1.50 Kg.

Altura del Forraje Verde Hidropónico

El análisis estadístico (cuadro 10) muestra diferencia significativa entre las especies ($p < 0.05$) para la variable altura, con valores de 15.28, 12.92 y 12.83 cm, para cebada, Triticale y trigo respectivamente, en la densidad 1.00 Kg./ 0.33m^2 como se puede ver en esta densidad la mayor altura se dio en cebada y la menor en trigo. Este comportamiento se observa con mayor objetividad en la figura 12.

Cuadro 10. Comparación de medias de alturas de especies en densidad 1.00 Kg.

ESPECIES	MEDIA
Cebada	15.2833 ^a
Triticale	12.9167 ^b
Trigo	12.8333 ^b

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05
DMS = 1.4933

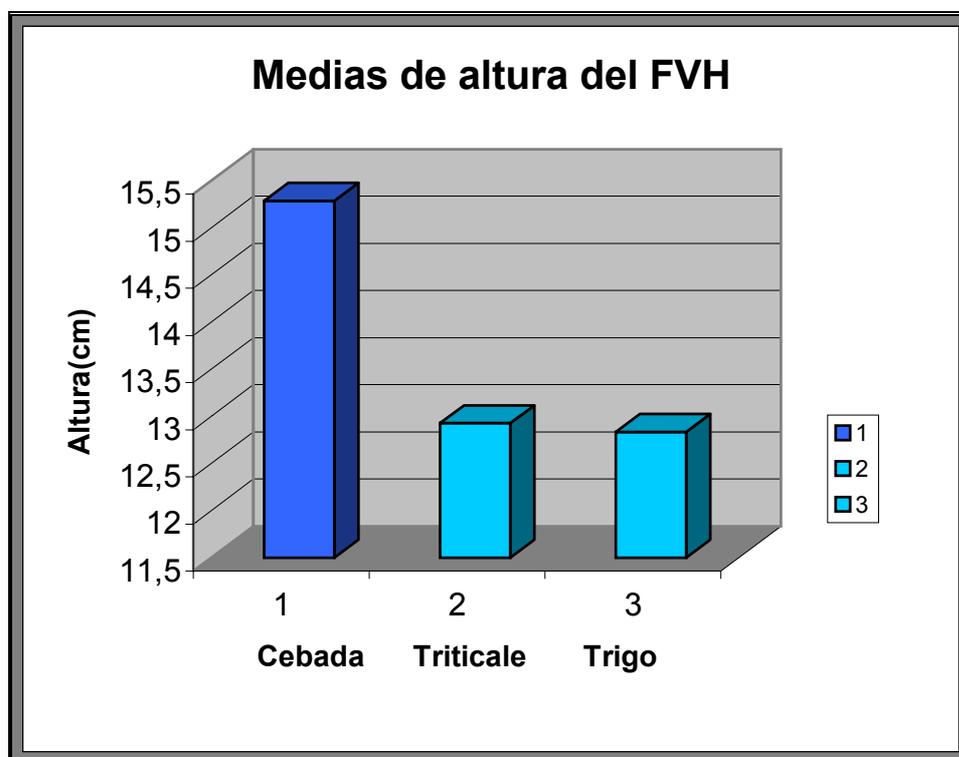


Figura 12 . Comparación de medias de alturas de especies en densidad 1.00 Kg.

El análisis estadístico (cuadro 11) muestra diferencia significativa entre las especies ($p < 0.05$) para la variable altura, con valores de 16.4, 14.07 y 13.83 cm, para cebada, trigo y Triticale respectivamente, en la densidad 1.25 Kg./0.33m² como se puede ver en esta densidad la mayor altura se dio en cebada y la menor en Triticale. Este comportamiento se observa con mayor objetividad en la figura 13.

Cuadro 11. Comparación de medias de alturas de especies en densidad 1.25 Kg.

ESPECIES	MEDIA
Cebada	16.4000 ^a
Trigo	14.0667 ^b
Triticale	13.8333 ^b

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05
DMS = 1.4933

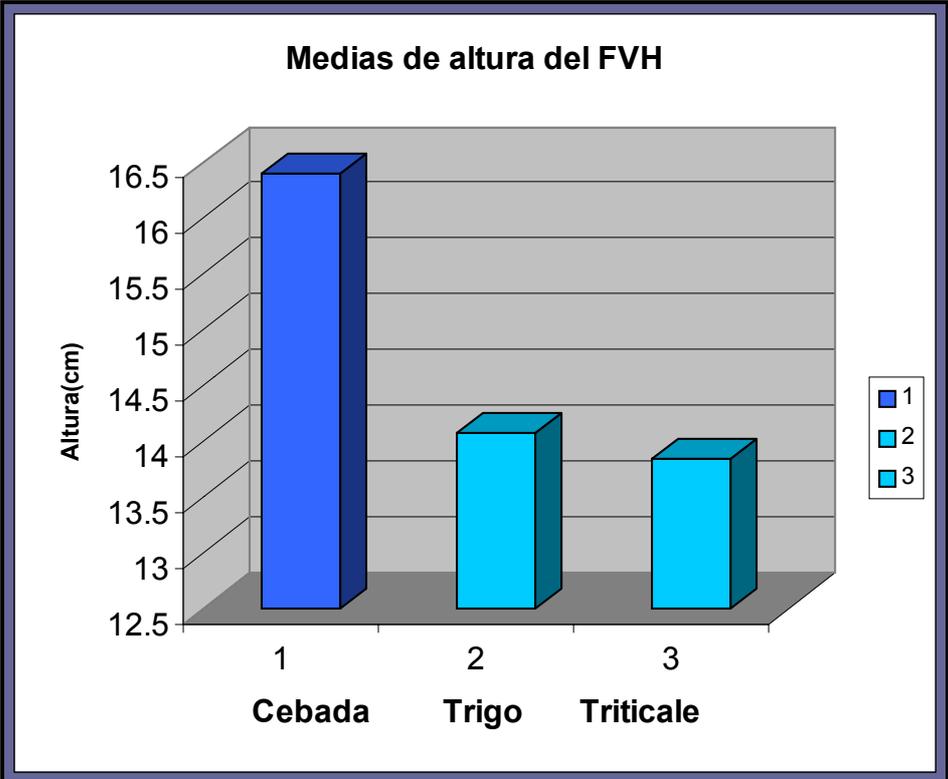


Figura 13 . Comparación de medias de alturas de especies en densidad 1.25 Kg.

El análisis estadístico (cuadro 12) muestra diferencia significativa entre las especies ($p < 0.05$) para la variable altura, con valores de 16.48, 14.8 y 13.25 cm, para Triticale cebada y trigo respectivamente, en la densidad 1.50 Kg./0.33m² como se puede ver en esta densidad la mayor altura se dio en Triticale y la menor en trigo. Este comportamiento se observa con mayor objetividad en la figura 14.

Cuadro 12. Comparación de medias de alturas de especies en densidad 1.50 Kg.

ESPECIES	MEDIA
Triticale	16.4833 ^a
Cebada	14.8000 ^b
Trigo	13.2500 ^c

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05
DMS = 1.4933

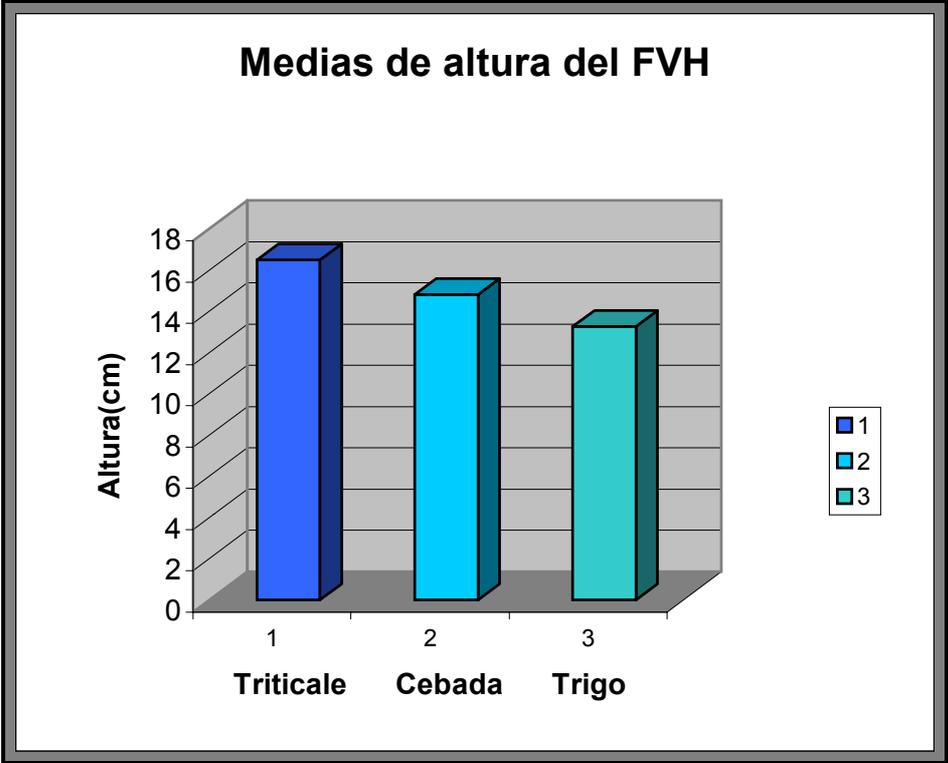


Figura 14. Comparación de medias de alturas de especies en densidad 1.50 Kg.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en este experimento se concluye que los objetivos e hipótesis planteados se cumplen, al observarse diferencias entre especies y densidades para la producción de forraje verde hidropónico.

- La mejor densidad de siembra fue 1.5Kg. / $.33\text{m}^2$ para la variable peso de forraje en todas las especies evaluadas.
- El Triticale en la densidad 1.5Kg. / $.33\text{m}^2$ alcanzó mayor peso y mayor altura en el forraje verde hidropónico.
- La mejor densidad de siembra fue 1.5Kg. / $.33\text{m}^2$ para la variable altura de forraje en Triticale.

LITERATURA CITADA

Anónimo , 2000. Forraje Verde Hidropónico. AgroCultura. Marzo-Abril. Edición No. 63. p 18

Cervantes, S. T. 1978. Sociedad Mexicana de Fitogenética, A. C. Análisis de los Recursos Genéticos Disponibles a México. Chapingo, México . p.54.

Hanson , H. Borlavg, N. E. y Anderson, R. G. 1985. Trigo en el tercer mundo; CIMMYT. México 166 p.

Huterwal, O. G. 1983. Hidroponía. Cultivos de Plantas Sin Tierra. Editorial Albatros, Buenos Aires, Argentina. p:23.

Lomeri, Z. H. 2000. Forraje Verde Hidropónico. AgroCultura. Edición No. 63 p.15.

Olivares, S. E. 1994. Paquete de Diseños Experimentales FAUANL.

Versión 2.5. Facultad de Agronomía UANL. Marín, N. L. México.

Rojas, E. S. I. 1996. Aportaciones a la Generación de un Paquete Tecnológico para la Producción de Forraje en Hidroponía. Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. México D. F. p:52

Reséndiz, G. J. L. 1987. Comportamiento de Triticales

(X Triticosecale Wittmack) Completos y Substituidos en Dos Ambientes del Norte de México. Instituto de Ciencia y Cultura, A. C. Incorporado a la U.A.A.A.N. Saltillo.

Coahuila, México. pp 12-16.

Resh, M. H. 1997. Cultivos Hidropónicos: Nuevas Técnicas de Producción. 4a Edición. Ediciones Mundi-Prensa. p:18.

Samperio, R. G. 1997. Hidroponía Básica. Editorial Diana. S. A de C. México D. F. pp:32-36.

Sánchez del C, F. y Escalante, R. E. 1988. Un Sistema de Producción de Plantas. Hidroponía: Principios y Métodos de Cultivo. Universidad Autónoma Chapingo. 3^a Edición.

Sánchez, C. A. 2001. Manual Técnico “ Producción de Forraje Verde Hidropónico “, Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile(<http://www.rlc.fao.org/prior/segalim/forraje.htm>).

Valdivia, B. E. 1996. “ Producción de Forraje Verde Hidropónico”. Curso Taller Internacional de Hidroponía. 25-29 Marzo. Lima Perú. pp:1-12.

(www.drcalderonlabs.com/Publicaciones/Indice.htm)

(www.gcaconsultora.com.ar/Introduccion_Hidroponia.htm)

(www.qro.itesm.mx/agronomia2/extensivos/CTriticaleFenologia.html#Fenologia)

APÉNDICE

Al obtener el análisis de varianza para la variable de respuesta peso del forraje verde hidropónico se encontró significancia ($P < 0.01$) en los factores especie, densidad y se encontró significancia ($P < 0.05$) en la interacción especie, densidad como se observa en el Cuadro 4.

Cuadro 1 A Análisis de varianza para la variable de respuesta peso de Forraje Verde Hidropónico.

FV	GL	SC	CM	F	P>F
-----	-----	-----	-----	-----	-----
Especie	2	19.662598	9.831299	22.0236	0.000 **
Densidad	2	61.883423	30.941711	69.3142	0.000 **
Int. Esp. * Den.	4	5.552734	1.388184	3.1097	0.024 *
Error	45	20.087891	0.446398		
Total	53	107.18664			
C.V. = 11.04%					

* = Significativo al 5 %

** = Significativo al 1 %

Cuadro 2 A : Datos de pesos de FVH de cada repetición de los materiales utilizados

		REPETICIONES					
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Especies	Densidades	1	2	3	4	5	6
Cebada	1.00 Kg.	3.9250	4.3500	4.1750	4.4250	4.0750	4.2000
Cebada	1.25 Kg.	4.8500	4.8750	5.3250	5.6500	5.5000	6.0250
Cebada	1.50 Kg.	6.0250	6.3000	6.1500	6.2000	6.5500	7.2000
Trigo	1.00 Kg.	6.6500	6.6000	5.8000	5.1500	4.3250	4.1000
Trigo	1.25 Kg.	6.8500	7.3750	7.0250	7.2500	7.3250	7.7000
Trigo	1.50 Kg.	8.2000	8.3500	8.3000	6.9500	6.9500	7.5000
Triticale	1.00Kg.	4.6000	4.3500	3.9500	4.6000	4.7750	4.8750
Triticale	1.25 Kg.	5.1250	4.6000	4.4250	6.7500	6.8000	6.3750
Triticale	1.50 Kg.	7.8000	7.0000	7.9000	7.6500	9.2750	7.8000

Al obtener el análisis de varianza para la variable de respuesta altura del forraje verde hidropónico se encontró significancia ($P < 0.01$) en el factor especie e interacción y en el factor densidad se encontró significancia ($P < 0.05$) como se observa en el Cuadro 11.

Cuadro 3 A Análisis de varianza para la variable altura de FVH

FV	GL	SC	CM	F	P>F
ESPECIES	2	40.121094	20.060547	12.1959	0.000 **
DENSIDADES	2	15.316406	7.658203	4.6558	0.014 *
INT. ESP. * DENS	4	38.656250	9.664063	5.8753	0.001 **
ERROR	45	74.018555	1.644857		
TOTAL	53	168.112305			
C.V. = 8.89					

* = Significativo al 5 %

** = Significativo al 1 %

Cuadro 4 A Datos de alturas promedio por charola de los materiales utilizados.

VARIABLE: Datos de altura promedio de forraje verde hidropónico.							
Esp.	Dens. Kg.	REPETICIONES					
		1	2	3	4	5	6
Cebada	1.00	14.50	16.00	12.20	18.50	16.50	14.00
Cebada	1.25	15.00	17.90	16.00	18.00	16.50	15.00
Cebada	1.50	14.20	13.20	15.10	15.50	14.60	16.20
Trigo	1.00	15.50	12.50	12.60	13.00	12.20	11.20
Trigo	1.25	15.00	13.50	13.60	13.70	15.00	13.60
Trigo	1.50	12.50	13.00	13.50	14.00	12.50	14.00
Triticale	1.00	14.60	13.20	12.10	12.50	13.60	11.50
Triticale	1.25	12.60	12.70	12.20	14.00	15.50	16.00
Triticale	1.50	16.20	16.50	16.00	16.20	17.00	17.00