

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



Evaluación de densidades de siembra en forraje verde hidropónico de
avena y maíz bajo dos niveles de sombreado

Por:

Efren Angeles Baltazar

Tesis:

Presentada Como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

Ingeniero Agrónomo en Producción

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Marzo de 2008

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

Evaluación de densidades de siembra en forraje verde hidropónico de
avena y maíz bajo dos condiciones de sombreado

TÉSIS

Por:

Efren Angeles Baltazar

Que somete a consideración del H. Jurado Examinador,
como requisito parcial para obtener el título de:

Ingeniero Agrónomo en Producción

Aprobada por:

Ing. José Ángel de la Cruz Bretón
Presidente del Jurado

M.C. Ma. del Rosario Quezada Martín
Asesor Externo

Ing. René Arturo de la Cruz Rodríguez
Sinodal

M.C. Leopoldo Arce González
Sinodal

Dr. Mario Ernesto Vázquez Badillo

Coordinador de la División de Agronomía

Buenvista, Saltillo, Coahuila, México
Marzo de 2008

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por haber estado junto a mí en los momentos más felices que tuve en la universidad, y ser el hombro en el cual recosté mi cabeza en los momentos más tristes y difíciles que encontré en mi camino y por permitir terminar mi carrera profesional, y darme la oportunidad de iniciar una vida laboral.

A mi “ALMA MATER” por haberme adoptado por cuatro años y medio y darme el privilegio de ser uno más de sus hijos; le doy gracias a don Antonio Narro, cuya visión nos ha cambiado la vida a muchos, y seguirá haciendo su noble labor por muchos años más.

A la M.C Ma. Rosario Quezada Martín, Por la confianza, dedicación, enseñanza, paciencia y apoyo en la realización de este trabajo. Muchas gracias.

A la M.C Juanita Flores Velásquez por su disponibilidad, y apoyo en la elaboración y revisión de este trabajo

Al M.C Boanerges Cedeño Rubalcava, por el apoyo brindado en la realización de este trabajo, sobre todo en la parte de irrigación del trabajo.

Al Ing. Felipe Hernández Castillo, por la ayuda y apoyo durante el desarrollo de este trabajo.

Al Ing. José Ángel de la Cruz Bretón, por la ayuda en la revisión de este trabajo, además de haber sido el contacto con CIQA para la realización de éste trabajo.

Al Ing. José Ángel Daniel González, por la amistad, consejos que me brindó en los últimos años de mi carrera.

A la Q.F.B Noemí Cantú González, por depositar en mi su confianza y amistad, y por ser un gran apoyo en la parte práctica de este trabajo.

A los Srs. Gregorio, Arturo y Jacobo trabajadores de CIQA, por su amabilidad, y apoyo en la parte práctica de este trabajo.

Al Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), por darme la oportunidad de realizar este trabajo de investigación dentro de sus instalaciones.

Al Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología (COECYT) y por la beca de tesis que se me otorgó durante el periodo de realización de éste trabajo dentro del programa “Desarrollo de Tecnología para Producción de forraje verde hidropónico en invernaderos climatizados a base de energía alternativa para diferentes regiones de Coahuila”.

DEDICATORIAS

A mis padres:

Sr. J. Pablo Angeles Laja

Sra. Anita Baltazar Hernández

No encuentro las palabras suficientes para agradecerles, les dedico este trabajo que es la culminación de mi carrera y el inicio de un mundo de ilusiones que cumpliré junto a ustedes y porque son la principal razón de mi existir, porque en ustedes veo el ejemplo de vida; un padre y una madre ejemplar y en cada regaño, cada consejo, cada caricia que me dieron me otorgaron las herramientas necesarias para llegar al momento en que me encuentro hoy, por todo eso solamente les puedo dar las gracias y prometerles que no defraudaré la confianza que depositaron en mi.

A mis hermanos

Herminia

Jorge

Adrian

Elvira

Jaime

David

Lucia

Por todo el cariño que tuve durante mi niñez, por los juegos, regaños, y experiencias brindadas por ustedes, y porque, al ser el menor de la familia aprendí muchas cosas de ustedes y como a mis padres hoy les dedico de éste trabajo que no es solo mío, pues representa el esfuerzo que todos ustedes hicieron para que yo pueda estarlo presentando y porque a lo largo de mi vida me aconsejaron seguir adelante, esforzarme, tener paciencia, y echarle ganas, hoy les presento mi tesis ¡ gracias hermanos !

A mis tíos:

Sr. Juan Guerrero García

Sra. Leonor Baltazar Hernández

A mis primos:

Raúl

Verónica

Cecilia

Porque somos como una sola familia, éste logro es también para ustedes, pues dentro de la familia, como se enfrentan los problemas, se comparten las alegrías.

A la Familia Angeles Trejo:

Sr: David Angeles Baltazar

Sra: Ernestina Trejo Garrido

A mis Sobrinos:

Jesús

Montserrat

Emilio

Por el gran cariño que siento por ustedes, le dedico este trabajo a mi hermano David y a su esposa Ernestina, de la misma manera a sus hijos porque con su risa, llanto, y juegos alegran la casa en la que un día pasé mi niñez, y donde mis padres reviven ese sentimiento paterno.

A mis abuelos

Sr. Félix Baltazar Moreno (+)

Sra. María de Jesús Hernández Roque (+)

Sr. Antonio Ángeles Sánchez

Sra. Paulina Laja Ramírez

A quienes son la base de la familia Angeles Baltazar, y que merecen todo mi reconocimiento y gratitud.

A mis amigos:

Adrian, Alonso, Armando, Chuma, David, Eliazin, Elmer, Eloísa. Gabriel, Israel, Juan Carlos, Julio, Leonardo, Lucio, Nacho, Oscar Nahúm, Oved, Simón, Ubaldo,

Con quienes he compartido los momentos más felices y también los más difíciles dentro de la Narro, y a quienes les agradezco los consejos y ayuda que me brindaron desde que los conocí, hasta el día de hoy y solo puedo pagarles con mi amistad incondicional.

INDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	III
DEDICATORIAS.....	V
INDICE DE CONTENIDO.....	VIII
INDICE DE CUADROS.....	XII
INDICE DE FIGURAS.....	XIII
INTRODUCCION.....	1
Justificación.....	2
Objetivos.....	3
Hipótesis.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Antecedentes.....	4
Hidroponía.....	7
Comparación de los Cultivos con y Sin Suelo.....	8
Importancia de la Hidroponía.....	10
Métodos de Cultivo en Hidroponía.....	10
Componentes del Sistema Hidropónico.....	10
Cultivo en Solución Nutritiva.....	11
Cultivo en Agregado.....	13
Cultivo en Grava.....	14
El Factor Luz en las Plantas.....	16
El Efecto de las Densidades de Siembra.....	19
Investigaciones Realizadas.....	21
Producción de Forrajes en México.....	23
Especies Forrajeras Utilizadas en México.....	24
La Conservación de Forraje.....	24
Métodos de Conservación.....	24
Ensilaje.....	25
Henificación.....	25
Henilaje.....	25

Deshidratación Artificial	26
Reserva en pie.....	26
Forraje Verde Hidropónico	26
Características del FVH.....	27
Ventajas y Desventajas del FVH	28
Factores que Influyen en la Contaminación por Hongos en el FVH.....	35
Calidad de la Semilla.....	36
Calidad del Agua de Riego.....	36
Iluminación	36
Temperatura.....	37
Humedad	37
Ventilación	38
Principales Hongos que Afectan el FVH	38
La Semilla	41
Partes Fundamentales de la Semilla	41
Proceso de Germinación	42
Descripción de las Especies Utilizadas	43
Avena (<i>Avena sativa</i>).....	43
Clasificación Taxonómica.....	43
Origen Geográfico.....	44
Usos de la Avena	44
Cultivo de Avena a Campo Abierto	45
Principales Plagas y Enfermedades a Campo Abierto	45
Maíz (<i>Zea mays</i>).....	46
Clasificación Taxonómica.....	46
Origen Geográfico.....	47
Usos del Maíz	47
Cultivo de Maíz a Campo Abierto.....	48
Principales Plagas y Enfermedades a Campo Abierto	48

MATERIALES Y MÉTODOS.....	49
Localización Geográfica del Área de Estudio	49
Características del Sitio Experimental.....	49
Material Vegetal	51
Material de Campo Utilizado	51
Descripción del Trabajo.....	52
Experimento 1	52
Parcela Experimental de la Primera y Segunda	
Evaluación del Experimento 1	54
Diseño Experimental.....	54
Tratamientos.....	54
Variables Evaluadas	55
Parcela Experimental de la Tercera Evaluación	
del Experimento 1	56
Diseño Experimental.....	56
Tratamientos.....	57
Variables Evaluadas	57
Experimento 2 maíz	58
Parcela Experimental de la Primera Evaluación	
del Experimento 2	58
Diseño Experimental.....	58
Tratamientos.....	59
Variables Evaluadas	59
Parcela Experimental de la Segunda y Tercera	
Evaluación del Experimento 2.....	60
Diseño Experimental.....	60
Tratamientos.....	61
Variables Evaluadas	61

RESULTADOS Y DISCUSIÓN	63
Resultados del Experimento 1 Avena	
Peso de Forraje Avena.....	63
Altura de Forraje Avena	66
Eficiencia de Conversión Grano – Forraje de Avena.....	68
Contenido de Proteína	71
Resultados del Experimento 2 Maíz	
Peso de Forraje Maíz	72
Eficiencia de Conversión Grano – Forraje de Maíz.....	75
Altura de Forraje Maíz.....	77
Contenido de Proteína	80
Hongos y Bacterias Presentes en los Forrajes.....	82
CONCLUSIONES	84
BIBLIOGRAFIA.....	85

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Ventajas del cultivo sin suelo frente al tradicional con suelo arable	9
Cuadro 2. Ejemplos de plantas con diversas exigencias de intensidad luminosa	17
Cuadro 3. Niveles óptimos de iluminación en algunos cultivos hortícolas y florícolas	18
Cuadro 4. Cantidad de semilla usada en siembra de forrajes	19
Cuadro 5. Gasto de agua para producción de forraje en condiciones de campo	29
Cuadro 6. Análisis comparativo del valor nutricional del grano de avena y el FVH obtenido de la semilla de Avena a los 10 cm de altura y 13 días de crecimiento.....	31
Cuadro 7. Comparación entre las características del FVH de cebada y otras fuentes alimenticias.....	31
Cuadro 8. Especies de <i>Fusarium</i> y las principales micotoxinas que producen	40
Cuadro 9. Principales micotoxinas.....	41
Cuadro 10. Comparación de medias de peso de forraje hidropónico de avena con diferentes densidades de siembra y porcentajes de sombreo.....	65
Cuadro 11. Comparación de medias de altura de forraje hidropónico de avena con diferentes densidades de siembra y porcentajes de sombreo.....	67
Cuadro 12. Comparación de medias de eficiencia de forraje hidropónico de avena con diferentes densidades de siembra y porcentajes de sombreo	70
Cuadro 13. Contenido de proteína del forraje verde hidropónico obtenido de la semilla de avena a los 15 días de crecimiento.....	71

Cuadro 14 Contenido de proteína del forraje verde hidropónico (hojas y tallo) obtenido de la semilla de avena a los 8 y15 días de crecimiento	71
Cuadro 15.- Comparación de medias de peso de forraje hidropónico de maíz con diferentes densidades de siembra y porcentajes de sombreo.....	74
Cuadro 16. Comparación de medias de eficiencia de forraje hidropónico de maíz con diferentes densidades de siembra y porcentajes de sombreo.....	76
Cuadro 17. Comparación de medias de altura de forraje hidropónico de maíz con diferentes densidades de siembra y porcentajes de sombreo.....	79
Cuadro 18. Contenido de proteína del forraje verde hidropónico obtenido de la semilla de maíz a los 8 y 15 días de crecimiento.....	80
Cuadro 19. Comparación de medias del factor A dentro del nivel 1 del factor B.....	81
Cuadro 20. Comparación de medias del factor A dentro del nivel 2 del factor B.....	81
Cuadro 21. Comparación de medias del factor B dentro del nivel 1 del factor A.....	81
Cuadro 22: Comparación de medias del factor B dentro del nivel 2 del factor A.....	82
Cuadro 23: Comparación de medias del factor B dentro del nivel 3 del factor A.....	82
Cuadro 24: hongos presentes en el forraje hidropónico de maíz y avena	83

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1: invernadero con malla 50 % de sombra.....	50
Fig. 2: invernadero con malla 80 % de sombra.....	50

INTRODUCCION

El estado de Coahuila de Zaragoza está localizado en la parte central del norte de México. Su extensión territorial es de 151,571 kilómetros cuadrados y representa el 7.7% del área total del país. Limita al norte con los Estados Unidos de América, a través del Río Bravo; al sur con Zacatecas; en un vértice del sureste con San Luis Potosí; al suroeste con Durango; al este con Nuevo León; y al oeste con Chihuahua. Su población total: Según el conteo 2005 del INEGI, Coahuila tiene 2'495,200 habitantes. Densidad demográfica: 14.6 habitantes por kilómetro cuadrado.

(www.coahuila.gob.mx/conozca/hub.php/generalidades/desc-edo/index.htm)

La producción agrícola en el norte del país, específicamente en el estado de Coahuila, está ligada al constante esfuerzo por aprovechar los limitados recursos naturales con los que cuenta la región; concretamente la disponibilidad de agua para el riego de los cultivos; esta situación ha llevado a muchas personas a la búsqueda de nuevas técnicas de producción agrícola que cubra las necesidades agropecuarias de la región, y que al mismo tiempo proporcione una disminución en los costos, que en los últimos años se han elevado, haciendo cada vez más difícil la producción de alimento tanto para consumo humano como el destinado para el consumo animal.

Las condiciones de los terrenos son adversas para la agricultura de temporal y, ésta sólo se lleva a cabo con muchas restricciones ya que los rendimientos son muy bajos y no todos los años se producen cosechas. Los cultivos que se cosechan son: maíz, frijol, trigo y calabaza que se destinan al autoconsumo. Se localiza básicamente en el Llano, El Guaje y al este de la sierra de Almagre. En la Región Laguna: cultivos de riego, algodón, cártamo, alfalfa, alpeste, avena,

chile, frijol jitomate, maíz, melón, sandía, sorgo, vid y nogal. En Coahuila es muy importante la cría de ganado bovino para carnes finas de engorda, ganado caprino y ovino sobre vegetación natural.

(www.coahuila.gob.mx/conozca/hub.php/generalidades/actividades-economicas/index.htm)

La producción de forraje con la utilización de la hidroponía a brindado una nueva estrategia para la producción de leche y carne, ya que puede proporcionar alimento los 365 días del año con un alto contenido de proteína, por ejemplo al usar el cultivo tradicional, en las plantaciones de alfalfa se producen alrededor de dos toneladas por hectárea en un lapso de 15 días; con la producción de forraje verde hidropónico la producción asciende a una tonelada en 300 m². Además que se optimiza el espacio, ya que se ocupa de manera vertical y no horizontal, con lo que la producción se quintuplica y los costos de manejo se reducen significativamente. (Rodríguez, 2003)

Justificación

La producción pecuaria en la zona norte de nuestro país se enfrenta a condiciones climatológicas, que no siempre son las más adecuadas para la explotación animal; principalmente por el hecho de las bajas precipitaciones pluviales que se registran en la zona, por lo que el abastecimiento de forraje es uno de los principales problemas que enfrentan los ganaderos del norte de México.

En el estado de Coahuila, no es la excepción de dicho problema, pero a pesar de ello se ha podido colocar como uno de los principales productores de leche en México, destacando la región lagunera por ello, donde se utilizan grandes extensiones y cantidades de agua para la producción de forrajes para el alimento del ganado.

Es por esto que la producción de forraje verde hidropónico, se presenta como una opción viable en temporadas donde la obtención de forraje a campo abierto no sea posible, o como un complemento en temporadas de alta producción de forrajes, ya que por su alto contenido proteico, eleva la productividad del animal.

El presente trabajo tiene la intención de proponer alternativas en la producción de forraje verde hidropónico, el cual puede ser utilizado en la alimentación de bovinos, caprinos, equinos, aves de corral, etc...., mejorando la nutrición de estos.

Objetivos

- Determinar la densidad de siembra más adecuada para la producción de forraje verde hidropónico de maíz y avena bajo dos niveles de sombreo.
- Evaluar el efecto de los diferentes niveles de sombreo 50% y 80% en la producción de forraje verde hidropónico.

Hipótesis

1. Se asume que las densidades mas grandes producirán mayor cantidad de forraje
2. La producción de forraje verde hidropónico, será afectada por el sombreo proporcionado por la malla sombra utilizada de 50% y 80% respectivamente.

REVISION DE LITERATURA

Antecedentes

El cultivo de las plantas sin suelo se remonta a siglos atrás, ejemplo de esto son los jardines colgantes de Babilonia; los jardines flotantes de los aztecas, en México, y los de la China Imperial, además de la existencia de jeroglíficos egipcios fechados cientos de años antes de Cristo que describen el cultivo de plantas en agua. (Resh, 2001)

La primera noticia científica, en cuanto al crecimiento y nutrición de las plantas data de 1600, cuando el belga Jan Van Helmont mostró que las plantas obtienen sustancias a partir del agua; esto lo hizo al plantar un tallo de sauce de 5 libras en un tubo con 200 libras de suelo seco, al que cubrió para evitar el polvo, después de regarlo durante cinco años había aumentado 160 libras su peso, mientras que el suelo había perdido apenas dos onzas. Su conclusión de que las plantas obtienen del agua la sustancia para su crecimiento era correcta; no obstante, le faltó comprobar que también necesitan dióxido de carbono y oxígeno del aire. En 1699 un inglés, John Woodward, cultivó plantas en agua conteniendo diversos tipos de suelo, y encontró que el mayor desarrollo correspondía a aquellas que contenían la mayor cantidad de suelo; así concluyó que el crecimiento de las plantas era el resultado de ciertas sustancias en el agua, obtenidas del suelo, y no solo del agua misma. (Resh. 2001)

Uno de los avances más importantes en el desarrollo de la hidroponía fue logrado por dos científicos alemanes, Sachs (1860) y Knop (1861), lo cual fue el origen de la “*nutriculture*”; esto no había tenido gran utilidad dentro de la hidroponía, hasta que la industria de los invernaderos se interesó debido a la necesidad de cambiar la tierra con frecuencia para evitar los problemas de fertilidad y enfermedades; entre 1925 y 1935 tuvo lugar un desarrollo extensivo, modificando las técnicas para el cultivo en nutrientes hacia una producción a gran escala. (Resh, 2001)

A principios de los años treinta, W.F Gericke, de la Universidad de California, puso los ensayos de laboratorio de nutrición vegetal a escala comercial, denominando a este sistema de cultivo en nutrientes *hydroponics*, palabra derivada de las griegas *hydro* (agua) y *ponos* (trabajo); literalmente trabajo en agua. (Resh, 2001)

Estos adelantos tuvieron una gran utilidad en el ejército estadounidense, al proveer de alimento a las tropas estacionadas en las islas incultivables del Pacífico, a comienzos de 1940; Después de la segunda guerra mundial, los militares continuaron utilizando los cultivos hidropónicos. (Resh, 2001)

Con el desarrollo de los plásticos, los cultivos hidropónicos dieron otro gran paso adelante, los plásticos libraron a los agricultores de las costosas construcciones, unidas a las bancadas de hormigón y tanques utilizados anteriormente. (Resh, 2001)

Los cultivos hidropónicos han llegado a ser una realidad para los productores en invernadero, virtualmente en todas las áreas climáticas, existiendo grandes instalaciones hidropónicas a través de todo el mundo, tanto para el cultivo de flores como el de hortalizas. (Resh, 2001)

La hidroponía como técnica de producción agrícola sirve para intensificar la producción de los cultivos; es una técnica que presenta una diversidad de modalidades, pero que en esencia se caracteriza por alimentar el sistema radicular con agua y minerales, de forma controlada, teniendo como medio de

cultivo un sustrato diferente al de la tierra, que puede ser agua, grava, lana de roca o cualquier otro material inerte (Rodríguez, 2003)

Una de las ventajas más importantes de la técnica hidropónica, es que se puede utilizar prácticamente en cualquier lugar: pues para cultivar sin tierra, se requiere mucho menor espacio, y como no se depende de la disponibilidad de un terreno de cultivo, se puede realizar a pequeña escala dentro de una casa ubicada en una ciudad por ejemplo, además que no se depende de las condiciones climáticas ni de la época de siembra. (Samperio, 2004)

La hidroponía se utiliza para la producción de ornamentales, hortalizas, y se han incluido los forrajes como una opción más para ser utilizada principalmente en zonas áridas del país.

En la actualidad, uno de los problemas más preocupantes en el mundo es la insuficiencia de alimentos, tanto de origen animal como vegetal; la producción animal, está limitada por la disponibilidad de alimento para el ganado, la falta de tecnología, la baja productividad de las tierras y las cada vez más cambiantes condiciones climáticas, lo cual ha llevado a desarrollar nuevos métodos de producción de alimentos para el ganado. (Rodríguez, 2003)

Uno de estos métodos es, la técnica de forraje verde hidropónico (FVH), que ofrece muchas ventajas desde el punto de vista económico, sobre todo en cuanto al espacio de cultivo, la mano de obra, los gastos de cultivo, la calidad del forraje, la obtención del mismo en tiempo de seca y una visible disminución en la relación producción-costos. (Rodríguez, 2003)

La falta de control sobre las condiciones climáticas puede causar consecuencias desastrosas y fatales para el ganado. El FVH es una alternativa muy prometedora para resolver el problema de la alimentación ganadera, por las grandes ventajas que ofrece. (Rodríguez, 2003)

Esta técnica ha pasado de un nivel experimental a uno comercial, ya que cada vez es mayor el número de personas que la utilizan. Su uso se traduce en una alta rentabilidad, poca inversión inicial, y un cambio drástico que reporta cambios en su operación. (Rodríguez, 2003)

No sabemos exactamente en qué país se desarrolló esta técnica de cultivo que permite obtener una mayor cantidad de alimento a un menor costo, en un tiempo determinado y con una producción programada. En Gran Bretaña existen unidades de producción altamente tecnificadas o cámaras germinadoras con todas las condiciones necesarias y debidamente controladas, que llegan a tener una producción de 40 kg de forraje por metro cuadrado diario; es decir en 1000 metros cuadrados de instalación se obtendrán 40 toneladas diarias. (Rodríguez, 2003)

En la producción de FVH, las semillas más utilizadas son: maíz forrajero, trigo, avena, cebada, triticale y casi todas las gramíneas. Se recomienda el uso de éstas debido a que su costo es mucho menor que el de las semillas de las leguminosas, además de ser más atractivo para el animal, ya que tienen mejores cualidades organolépticas, son más comunes, y no provocan timpanismo (Rodríguez, 2003)

Hidroponía

La hidroponía es una ciencia joven, habiendo sido utilizada bajo una base comercial desde hace solo cuarenta años; no obstante, aun en ese corto periodo de tiempo , ha podido adaptarse a diversas situaciones, desde los cultivos al aire libre y en invernadero a los altamente especializados en submarinos atómicos. (Resh, 2001)

Comparación de los Cultivos con y sin Suelo

La mayor desventaja en la producción de cultivos hidropónicos, son los elevados costos de instalación, la aparición de algunas enfermedades como *Fusarium* y *Verticillium*, las cuales pueden extenderse rápidamente a través de este sistema, y la aparición de problemas nutricionales complejos. La mayoría de estas desventajas se pueden resolver, los costos de instalación y la complejidad de trabajo de este sistema pueden ser reducidos utilizando nuevos métodos hidropónicos más simples, tales como la técnica de nutrición laminar (*nutrient film technique*) o NFT, así como el uso de variedades resistentes a estas enfermedades. (Resh, 2001)

Principalmente, entre las ventajas del cultivo hidropónico frente al tradicional se encuentran una mayor eficiencia en la regularización de la nutrición, (Cuadro 1), además de una utilización más eficiente del agua y fertilizantes, más fácil y de bajo costo de desinfección del medio, así como una mayor densidad de plantación que nos conduce a un incremento de cosecha por unidad de área, además de la posibilidad de ser empleada en diferentes regiones del mundo que carecen de tierras cultivables. (Resh, 2001)

Cuadro 1. Ventajas del cultivo sin suelo frente al tradicional con suelo arable

Prácticas de cultivo	Cultivo en suelo	Cultivo sin suelo
Esterilización del medio de cultivo	Vapor, fumigantes químicos; trabajo intensivo, el proceso es largo, al menos dos o tres semanas	Vapor, fumigantes químicos con algunos de los sistemas; con otros solo se usa HCL o hipoclorito cálcico, el proceso es corto.
Nutrición vegetal	Variable, aparición de deficiencias localizadas, problemas de asimilación por pH o mala estructura de terreno, inestable, dificultad para el muestreo y ajuste	Control completo, estable, homogénea, disponible al 100%, control de pH, fácil toma de muestras y ajuste.
Número de plantas	Limitado por la fertilidad del suelo y por la disponibilidad de luz	Limitado solo por la disponibilidad de luz
Control de malezas y labores	Siempre existen hay que emplear laboreo	No existen, no hay laboreo
Enfermedad y parásitos del suelo	Gran presencia en el suelo, necesidad de rotar cultivos	No existen, no hay necesidad de rotar cultivos
Agua	Las plantas están sujetas a estrés, debido una pobre relación agua-suelo, debido a una baja capacidad de retención, incapacidad de utilizar aguas salinas.	No hay estrés hídrico, se puede automatizar el riego, se puede usar agua con un alto contenido de sales, hay un alto grado de eficiencia en el uso del agua.
Fertilizantes	Se aplican al voleo o sobre el suelo, se utilizan grandes cantidades, no hay uniformidad,, existen perdidas por lavado que van del 50 a 80 %	Se utilizan pequeñas cantidades, hay uniformidad, casi no hay perdidas por lavado.

(Resh, 2001)

De la Cruz, (2000), describe algunas de las características más importantes de la hidroponía comercial

Importancia de la Hidroponía

- Producir alimentos en zonas áridas, tropicales y bajo condiciones templadas y frías.
- Producción agrícola en zonas donde el agua tiene un alto contenido de sales
- Producir hortalizas donde son caras y escasas
- Producir semilla certificada
- Dar trabajo a personas discapacitadas
- Como fuente de trabajo para mano de obra no calificada

Métodos de Cultivo en Hidroponía

Componentes del Sistema Hidropónico

Cualquier método de cultivo en hidroponía consta de los siguientes componentes: Plantas, solución nutritiva, contenedores, sustratos, sistema de riego y drenaje. (Samperio, 1997)

Clasificación de los métodos de cultivo en hidroponía

Existe una gran cantidad de métodos diferentes para realizar un cultivo en hidroponía, varios autores coinciden en agruparlos convencionalmente en cuatro categorías:

- Cultivo en solución nutritiva

También conocida como cultivo en agua y acuicultura. Consiste en el crecimiento de los cultivos con sus raíces sumergidas parcial o totalmente en solución que contengan todos los elementos nutritivos necesarios. (Resh, 2001)

- Cultivos en agregado

Agrupar a todos aquellos métodos que utilizan como sustrato a la arena o agregados que poseen propiedades semejantes (perlita, vermiculita, aserrín, etc.). (Samperio, 2004)

- Cultivo en grava

Esta categoría comprende, además de los tipos de grava comunes a otros sustratos semejantes como por ejemplo: ladrillo quebrado, carbón, tezontle y otros tipos de piedra volcánica. (Sánchez, 1988)

- Técnicas misceláneas

Comprende a un grupo de métodos de cultivo un poco diferente a los comprendidos en las categorías anteriores: se puede mencionar por ejemplo, el riego automático en macetas, el de cultivo de forraje en hidroponía y NFT, etc. (De la Cruz, 2000)

Cultivo en Solución Nutritiva

Descripción

El cultivo en solución nutritiva recibe también los nombres de cultivo en agua, acuacultura, quimiocultura, o nutricultura.

El principio básico de este sistema, es el de que las raíces de las plantas se desarrollen parcial o totalmente en un medio líquido que contenga todos los elementos nutritivos necesarios.

El recipiente donde se encuentra la solución nutritiva tiene un soporte para mantener erectas las plantas mientras que las raíces se encuentran sumergidas en el tanque de solución nutritiva. (Resh, 2001)

Problemas técnicos

Características nutritivas.

Aun en este sistema de cultivo se puede usar con éxito un gran número de soluciones nutritivas, se debe resaltar que es carente de amortiguamiento, por lo que se requiere de un control muy exacto, sobre todo en los niveles de pH, fósforo y hierro de la solución nutritiva.

Características físicas

Para favorecer el crecimiento de las plantas bajo cultivo en solución se requiere manejar adecuadamente ciertas condiciones físicas tales como:

- Oscuridad para la solución nutritiva

Es necesario para evitar el crecimiento de algas verdes y otras plantas acuáticas diminutas que pueden competir por oxígeno y nutrientes.

- Aireación

El éxito para este sistema es en gran parte del suministro adecuado de oxígeno para las raíces de las plantas a través de la solución nutritiva.

- Circulación de la solución nutritiva

Es recomendada, ya que favorece la separación de iones nutritivos y una mejor aireación

- Calentamiento

El objetivo de esto es el aceleramiento y desarrollo de las plantas.

(Resh, 2001)

Cultivo en Agregado

Descripción

Este sistema comprende todos aquellos métodos en los que las plantas crecen en un sustrato con propiedades de retención de humedad (arena, perlita, vermiculita, aserrín, etc.) (Samperio, 2004)

El cultivo en agregado es el sistema más simple de cultivos hidropónicos. Las raíces se desarrollan y crecen en un medio inerte, generalmente con partículas de tamaño pequeño y capacidad de retención de humedad. (Samperio, 2004)

El sustrato en el que las raíces crecen debe ser lo suficiente fino para mantener un adecuado nivel de humedad; pero a la vez no tan fino que interfiera con una eficiente aireación. La circulación del aire tiene lugar a través de las partículas del agregado en forma semejante al suelo. (Samperio, 2004)

Problemas Técnicos

En éste tipo de sistema los problemas son más fáciles de resolver que en los cultivos en solución o en grava.

Características Nutritivas

- La formación de sales
Esto puede ser frecuente en la arena durante el periodo de cultivo; esto puede corregirse lavando el medio periódicamente con agua pura. (Samperio, 2004)

- Acidez de la solución

Se ha observado un crecimiento adecuado de las plantas en agregados irrigado con soluciones que oscilan desde muy ácidos hasta ligeramente alcalinas. Si el agregado no es exageradamente ácido o alcalino y si la solución está bien balanceada la acidez permanecerá dentro de los límites correctos.

- Nivel de fósforo

El fósforo en la arena, se precipita en forma de compuestos insolubles.

Características físicas

- Tipo de agregado

Los sustratos que más se utilizan en el cultivo de agregado son: arena, perlita, vermiculita, y aserrín. También se pueden utilizar mezclas de sustratos como (vermiculita+arena, vermiculita+perlita, etc.), buscando siempre las mejores condiciones de aireación y humedad para las raíces.

- Drenaje

El drenaje está estrechamente relacionado con aireación. Si el drenaje no es adecuado la aireación de las raíces es pobre. Se debe proporcionar a las tinas unos orificios o salidas de tamaño adecuado. (Samperio, 2004)

Cultivo en Grava

Descripción

Se define como aquel sistema hidropónico que comprende a los métodos en que las plantas crecen en un sustrato. De entre los muchos sistemas que se consideran como grava y que se utilizan con frecuencia en la hidroponía, se encuentran los siguientes: basalto, granito, tezontle, piedra pómez, pedazos de ladrillo, carbón, etc. (Robles 1979)

La solución nutritiva se suministra, casi exclusivamente, mediante subirrigación, es decir, la solución se aplica al fondo de la tina o recipiente y va mojando la grava de abajo hacia arriba. (Robles 1979)

Problemas técnicos

Nutrición

- Acidez de la solución

Para obtener buenos resultados debe mantener la acidez dentro de los rangos normales

- Nivel de fósforo

El nivel de fósforo en la solución nutritiva debe regularse adecuadamente.

- Nivel de hierro

Uno de los principales problemas del cultivo en grava es el mantener un nivel adecuado de hierro en la solución nutritiva. (Robles 1979)

Características físicas

- Tipo y características de la grava

No contener materiales tóxicos, el medio debe proporcionar un excelente drenaje, la grava debe proveer una buena retención de humedad, una aireación adecuada, consistencia para ser durable y no tener aristas cortantes. (Robles 1979)

- Aireación de las raíces

Este factor está estrechamente relacionado con las características de la grava que se utilice, así como el intervalo de riego

- Frecuencia de la irrigación

Depende de varios factores, tales como el tamaño y tipo de planta y las características de la grava. Las plantas pequeñas generalmente requieren de un riego al día; las plantas con mucho follaje requieren más riegos en contraste con plantas de poco follaje (Robles 1979)

El Factor Luz en las Plantas

La energía necesaria para mantener la vida en la tierra proviene de la luz solar, ya sea actuando directamente por medio de las plantas verdes, o indirectamente a través de otros organismos, los cuales, excepto las bacterias quimiosintéticas, dependen en última instancia, de los compuestos orgánicos sintetizados por las plantas verdes. (Daubenmire, 1990)

Algunos de los efectos fotomorfogénicos de la luz, pueden apreciarse con facilidad al comparar plántulas cultivadas bajo la luz con plántulas cultivadas en la oscuridad. Las semillas grandes con abundantes reservas alimenticias, eliminan la necesidad de fotosintetizar por varios días. Las plantas que crecen en la oscuridad, están etioladas (del francés *etioler*, "que crece pálido o débil") algunas de las diferencias debidas a la luz son:

1. La luz promueve la producción de clorofila
2. La luz promueve la expansión de la hoja, aunque en menor medida en monocotiledóneas (maíz) que en dicotiledóneas (frijol)
3. El alargamiento del tallo se inhibe por la luz en estas dos especies
4. En ambas especies la luz promueve el desarrollo de la raíz

(Salisbury, 1994)

La importancia de la luz, no sólo se limita a la captación y transformación de energía por el proceso de la fotosíntesis, sino que además la luz tiene otros efectos sobre la fisiología de las plantas.

Algunas de las principales respuestas fisiológicas en las plantas inducidas por la luz son las siguientes:

- a) Efecto de la intensidad de luz
 - a. Longitud de tallos y etiolación
 - b. Grosor de la lámina foliar
- b) Efecto de la duración del periodo luminoso o fotoperiodo
 - a. Regulación de la floración

- b. Formación de tubérculos y bulbos
 - c. Formación de raíces adventicias en estaquillas
 - d. Dormancia de yemas
 - e. Longitud de entrenudos
- c) Efecto de la composición espectral de la luz
- a. Germinación de la semilla
 - b. Longitud de los entrenudos

(Pérez y Martínez 1994)

Según Blackman y Black, (citados por Serrano, 1979), son plantas de sombra aquellas que su energía luminosa de saturación es menor de 11,000 lux; plantas de sol y sombra las que su intensidad de saturación está comprendida entre 11,000 y 22,000 lux, y plantas de sol las que su intensidad de saturación está comprendida entre 22,000 y 33,000 lux. (Serrano, 1979)

La variación óptima o favorable de intensidad de la luz no es la misma para todas las plantas. Por ejemplo, (Cuadro 2) los helechos, muchas plantas que se cultivan por su follaje y la violeta africana, requieren de una intensidad luminosa relativamente baja; el clavel, crisantemo y el rosal requieren de cantidades más elevadas de luz. (Edmond, *et. al.*, 1967)

Cuadro 2 Ejemplos de plantas con diversas exigencias de intensidad luminosa

Sombra 100-1000 Bujías-pie	Sombra-Sol parcial 1000-5000 Bujías-pie	Sol 5000-8000 Bujías-pie	Sombra o Sol 1000-8000 Bujías-pie
Plantas de follaje	Azalea china	Tepozán	Abelia
Helechos	Acebo	Deutzia	Agracejo
Violeta africana	Madreselva	Crespón	Boj
Azalea	Mahonia	Almendro de flor	Cornejo
Hortensia	Naranja de imitación	Adelfa	Forsitia
Vinca	Zarza de juego	Nogal pecanero	Gardenia
Nogal rugoso	Viburno	Rosal	Ginko

(Edmond, *et. al.* 1967)

Las siguientes características muestran los diversos efectos que se producen sobre las hojas por causa de la disminución de los niveles de iluminación; las hojas más delgadas tienen menor peso por unidad de área y menores grados de respiración oscura. Es obvio que las denominadas hojas de sombra se adaptan a su medio, pero son mucho menos productivas que aquellas que tienen mucho más exposición a la luz disponible. (Salisbury, 1994)

Cuadro 3 Niveles óptimos de iluminación en algunos cultivos hortícolas y florícolas.

Especie	luz	
	Intensidad (lux)	Duración (horas)
Tomate	10,000-40,000	D.I
Lechuga	12,000-30,000	D.L
Melón	15,000-40,000	D.L
Pimiento	15,000-40,000	D.L
Berenjena	15,000-40,000	D.L
Fresa	12,000-30,000	D.C
Pepino	15,000-40,000	--
Clavel	15,000-45,000	D.I
Gerbera	Pleno sol	D.I
Rosa	Pleno sol	D.I
Crisantemo	--	D.C.
Poinsettia	Pleno sol	D.C

(Serrano 1979 citado por Martínez 2000)

El Efecto de las Densidades de Siembra

La necesidad de obtener una cobertura rápida del suelo es una consideración importante para decidir las densidades de siembra, pues no se debe olvidar que el rendimiento de forrajes, está determinado en forma más directa por la densidad que por la altura. Cuanto antes se alcance el área foliar apropiada, tanto más propicias serán las condiciones de la pastura a fin de explotar al máximo la energía disponible, logrando así niveles más altos de materia seca. (Poehlman, 1986)

La densidad de plantas está en función de la variedad y de las condiciones ecológicas. Pero que a medida que aumenta esta densidad, el peso de los tallos aumenta más rápidamente que el peso de las mazorcas, lo que genera una disminución de la calidad del forraje obtenido. Generalmente se aconseja una densidad de plantas de un 20 % superior a la empleada para la producción de grano. (Duthil, 1976).

Cuadro 4. Cantidad de semilla usada en siembra de forrajes

	CULTIVO	Kg de semilla/ha
cereales	Maíz forrajero	50-100
	Sorgo forrajero	15-20
	Avena	100
	Centeno	150
	Mijo	30
Leguminosas	Trébol rojo	15
	Alfalfa	40-50
	Guisante	200
Raíces forrajeras	Remolacha forrajera	15
	Zanahoria forrajera	3
	Nabos	3

(SEP, 1999; Guerrero, 1999)

Los métodos de siembra de los forrajes han sido, en general, deficientes y las grandes cantidades de siembra pueden haber influido hasta cierto punto, en la deficiencia de esos métodos de siembra. (Hughes, *et. al.*, 1981)

Cualquier persona que hace una recomendación, desea sugerir una cantidad de semilla suficiente para lograr una vegetación tan buena como sea posible, y por esto, muchas de las densidades recomendadas, son mucho más altas de lo razonable. Además, las densidades de siembra excesivas no reducen el rendimiento como los rendimientos de las cosechas de grano. (Hughes, *et. al.*, 1981)

Por ejemplo en estudios realizados en Ohio, la alfalfa sembrada a razón de 55 kg/ha produjo el mismo rendimiento de que la dosis más recomendable de 8.5 kg/ha. Esto se debe a que en el caso de las plantas forrajeras se cosecha la parte vegetativa de la planta. Esta parte se puede producir en el grado que el suelo y el tiempo lo permitan, con muchas plantas de poco desarrollo, o con pocas de gran desarrollo. (Hughes, *et. al.*, 1981)

El establecimiento de los cultivos en el campo, es directamente influenciado por las condiciones ambientales, edáficas, y de la propia semilla, donde resulta esencial para el éxito de la siembra conocer el poder germinativo de la semilla, que es el número de semillas que germinan y se expresa en %, lo que nos lleva a reconsiderar el recomendar la dosis de siembra en base a kg de semilla no en base a número de plantas por hectárea

Una cantidad excesiva de semilla puede reducir el rendimiento (Evans 1969, citado por Hughes, *et. al.*, 1981), obtuvo 5,552 kg de heno de fleo (*Pheleum pratense* L) por hectárea con una densidad de 5.5 kg/ha de semilla y cuando sembró 45 kg de semilla por hectárea, obtuvo solamente 3400 kg de heno. La competencia entre el gran número de plantas por espacio, luz y nutrientes fue tan grande que debilitó a todas. (Hughes, *et. al.*, 1981)

Investigaciones Realizadas

En los últimos años el sector agropecuario de México ha recibido un importante impulso en cuanto a la información requerida por los productores, además de apoyos directos orientados a las asociaciones agropecuarias establecidas; lo que ha brindado nuevas herramientas a los agricultores y ganaderos para enfrentarse a un mercado cada vez más competitivo; una de estas líneas de investigación se orienta hacia la producción de alimento destinado a consumo animal; como es el caso de la producción de forraje verde hidropónico.

En la región sureste del estado de Coahuila, principal zona de influencia de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, se han desarrollado algunos proyectos de investigación orientados hacia este tema, como es el caso de algunas tesis de licenciatura que establecen las siguientes recomendaciones.

Haciendo una comparación entre la aplicación de Biozyme PP, (que es un estimulante de origen natural para el tratamiento de la semilla, el cual promueve una rápida y uniforme germinación, así como un mejor desarrollo del sistema radicular), y agua; encontró que presentaban resultados similares, por lo que recomienda solo el uso de agua, para el inicio de la germinación así como para el riego del forraje; al mismo tiempo recomienda el uso de una densidad de siembra de 1.5 kg de cebada o triticale en la producción de forraje verde hidropónico. (Andrade, 2003)

García (2004) en su trabajo de tesis determinó la densidad óptima de siembra en tres cereales (cebada, trigo y triticale), encontrando que los mejores resultados en cuanto a peso y altura se obtuvieron con una densidad de 1.5 kg de semilla en 0.33 m²

De la Torre, (2005) intentando determinar la fertilización, tiempo de aplicación y manejo óptimo para la producción de FVH, en invernaderos con malla sombra al 50% e invernaderos sin sombreado; encontró que el sombreado al 50% mostró mejores resultados con respecto a la ausencia de sombra; ya que el FVH bajo

sombreo presentó mayor contenido proteico, producción de biomasa, de igual manera el forraje bajo sombra mostro mayor altura.

En cuanto a la fertilización, no encontró diferencias entre hacer las aplicaciones y no hacerlas, por lo cual recomienda no fertilizar el FVH, para abaratar los costos de producción.

De León, (2005) determinó la influencia de la radiación solar en la producción de FVH de maíz y evaluando el efecto de la fertilización en el crecimiento y desarrollo, concluyó que el sombreado favorece la producción y contenido de proteína en el forraje, además de afectar favorablemente la altura del forraje; y al mismo tiempo demostró que la fertilización afecta positivamente sobre el crecimiento y desarrollo del forraje.

Guzmán, (2006) define a la producción de FVH como una tecnología de bajo costo y como una buena alternativa para la obtención de forraje en cualquier época del año y haciendo un uso racional del agua; encontró que a una densidad de 500 g de Avena o Triticale con un nivel de sombreado del 50% hubo mejores resultados con respecto a los demás tratamientos utilizados.

En cuanto a fertilización, no encontró diferencia; lo que favorece al productor al minimizar los costos para la producción de FVH.

Producción de Forrajes en México

Los forrajes son el material vegetativo con el cual se alimenta el ganado. Este material incluye pasturas, heno, ensilaje y especies de raíces forrajeras, que no pueden ser utilizadas en esta forma para la alimentación humana (SEP, 1999)

Los animales como bovinos, cabras y ovinos son capaces de sintetizar compuestos de alta calidad alimenticia a partir de compuestos simples de los forrajes. De esta manera, el animal se convierte en un intermediario insustituible entre el hombre y los vegetales. (SEP, 1999)

Entre los grandes problemas nacionales, se distinguen bajos niveles de producción agrícola y pecuaria, como resultado de un gran número de factores técnicos y socioeconómicos que inciden sobre la producción (Jiménez, 2001)

Uno de los factores más notables dentro de la problemática pecuaria, es el relacionado con la alimentación del ganado. El problema más grande de la ganadería nacional es que el ganado no está comiendo en forma suficiente y adecuada durante todo el año (Jiménez, 2001)

En México la producción pecuaria con rumiantes tiene como base de la alimentación, la utilización de pastizales bajo pastoreo en la zona templada, tropical, árida y semiárida. La zona templada, con sistemas de producción más intensiva como la producción lechera, tiende a consumir mayores niveles de alimentos balanceados, aún cuando la base de la alimentación es la alfalfa de corte y el maíz forrajero ensilado (Jiménez, 2001)

La importancia de los recursos forrajeros adquiere mayor relevancia en virtud del aumento de precio que han experimentado los alimentos balanceados. (Jiménez, 2001)

El problema de la alimentación, tiene relación estrecha con la disponibilidad de forraje. En México, se puede encontrar una variedad amplia de condiciones ambientales y casi todas las formas climáticas tipificadas en el mundo. (Jiménez, 2001)

Razón por la cual el coeficiente de agostadero en el norte y sur de la república es muy contrastante; según el análisis realizado en el Centro de Cálculo y Estadística del Colegio de Posgraduados, el que se subdivide en 21 rangos que van de 0.8 ha/U.A., en el sureste y zonas de trópico húmedo, a 80 ha/U.A en los desiertos de Baja California, Sonora y Coahuila (Jaramillo, 1992)

Especies Forrajeras Utilizadas en México

Las especies vegetales de interés forrajero se encuentran principalmente comprendidas en la familia de las gramíneas y de las leguminosas. Además se incluyen algunas especies de raíces. (SEP, 1999)

Las gramíneas forrajeras incluyen pastos y cereales forrajeros; casi todos los pastos forrajeros son especies perennes, y los cereales forrajeros son anuales. (SEP, 1999)

Las leguminosas forrajeras se dividen en alfalfas, tréboles de olor, tréboles verdaderos y guisantes forrajeros; pueden ser perennes o anuales. (SEP, 1999)

Las especies de raíces forrajeras incluyen principalmente la remolacha forrajera, papa, los nabos forrajeros y la zanahoria forrajera; estas son especies anuales. (SEP, 1999)

La Conservación de Forraje

La solución más práctica al problema de la variación estacional de la producción forrajera es, el almacenamiento del alimento excedente durante las épocas de crecimiento rápido para utilizarse en las épocas de crecimiento lento o época crítica (Jiménez, 2001)

Métodos de Conservación

- Ensilaje
- Henificación
- Henilaje
- Deshidratación artificial
- Reserva en pie

Ensilaje

Es el método más utilizado consiste en cortar y picar en pequeños trozos la planta, transportarlos al silo, y apisonarlo para excluir la mayor cantidad de aire posible y que inicie la fermentación. (SEP, 1999)

Los cultivos más importantes que se ensilan en México son:

- Maíz
- King grass
- Remolacha
- Sorgo forrajero
- Pasto taiwan
- Yuca
- Caña de azúcar
- Girasol forrajero
- Alfalfa
- Mijo perla
- Papa
- Triticale
- Pasto elefante
- Camote

(Jiménez, 2001)

Henificación

Es el método más utilizado para la conservación de forraje de leguminosas, y básicamente consiste en cortar la planta y dejarla secar en campo hasta niveles de 15 y 20 % de humedad. (Jiménez, 2001), de las especies que se henifican resaltan:

- Alfalfa
- Avena
- Pasto bermuda
- Trébol blanco
- Ballico anual
- Pasto buffel
- Trébol rojo
- Ballico perenne
- Pasto guinea
- Cacahuate
- Pasto estrella
- Triticale

(Jiménez, 2001)

Henilaje

Es un método mixto que involucra deshidratación parcial y almacenamiento en silo, sin que ocurran grandes niveles de fermentación, conservando al máximo los nutrientes. (Jiménez, 2001)

Las especies para henilar, son todas aquellas plantas y cultivos que por presentar altos niveles de humedad, tienen dificultades para ensilarse en forma directa. (Jiménez, 2001)

Deshidratación Artificial

Es el proceso de secado de forraje de alta calidad con estufas de aire forzado a temperaturas elevadas en tiempo muy corto. (Jiménez, 2001)

Reserva en Pie

Es el forraje que se queda en el campo sin pastorear para ser utilizado en época crítica (Jiménez, 2001)

Forraje Verde Hidropónico

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”* es un pienso o forraje vivo, de alta digestibilidad, calidad nutricional y muy apto para la alimentación animal. (FAO, 2001)

En la práctica, el FVH consiste en la germinación de granos (semillas de cereales o de leguminosas) y su posterior crecimiento bajo condiciones ambientales controladas (luz, temperatura y humedad) en ausencia del suelo. Usualmente se utilizan semillas de avena, cebada, maíz, trigo y sorgo. (FAO, 2001)

Este proceso se realiza durante un periodo de 9 a 15 días, captando energía del sol y asimilando los minerales de la solución nutritiva. Se utilizan técnicas de hidroponía sin ningún sustrato. El grano germinado alcanza una altura promedio de 25 cm; el animal consume la parte aérea formada por el tallo y las hojas verdes, los restos de semilla y la raíz. (Coljap. 1997)

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, esta última, se encuentra en estado de formación, por lo que gran parte de los aminoácidos están en forma libre y son más fácilmente aprovechables por los animales que la consumen. (Rodríguez, 2003)

Con el forraje verde hidropónico podemos alimentar ganado vacuno, porcino, caprino y equino, conejos y una gran cantidad de animales domésticos, con excelentes resultados. Las ventajas del forraje verde hidropónico se puede resumir así: suministro constante todos los días de año, evitando alteraciones digestivas; menor incidencia de enfermedades; aumento en la fertilidad; aumento en la producción de leche y en general todas las ventajas que los animales puedan obtener de una buena alimentación. (Coljap, 1997)

Características del FVH

En la producción de forraje verde hidropónico, resaltan los siguientes puntos como de gran importancia (Valdivia, 1996)

- Está vivo

Ciertamente, a diferencia de cualquier forraje no consumido directamente del campo, este es un producto que llega a la boca del animal, vivo, en pleno crecimiento, conservando todas sus vitaminas y enzimas digestivas, que tan valiosas son para el ganado.

- Es completo y compuesto

Este es un forraje distinto a los demás, porque el animal consume la parte aérea, primeras hojas verdes, restos de semilla con el almidón movilizado y la zona radicular rica en azúcares y proteínas.

- Es Natural

Para su producción sólo se aprovecha el poder germinativo de la semilla, no existiendo ningún proceso ni manipulación artificial en su desarrollo. No se usan ni fungicidas, ni insecticidas.

A diferencia de otros forrajes, el FVH procede de la germinación natural y formación de una plántula que el animal come por entero; los mismos factores que producen el rápido crecimiento de la planta se transmiten en una correcta asimilación en el proceso metabólico del animal.

- Es apetecible

Su aspecto, color sabor y textura atraen al animal que reencuentra en el forraje verde un alimento conocido genéticamente por él.

- Es económico

Es definitivamente la proteína más barata; siendo además completamente digerible, lo que representa una economía en la alimentación del animal.

Ventajas y Desventajas del FVH

La Organización De Las Naciones Unidas Para La Agricultura y La Alimentación (FAO, 2001) en su manual técnico de forraje verde hidropónico, considera los siguientes puntos como ventajas y desventajas sobre la producción de FVH

VENTAJAS

-*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 y 635 litros de agua por kg de materia seca (Cuadro 5). 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% (Lomeli, 2000 Rodríguez, 2003). Esto se traduce en un consumo total de 15 a 20 litros de agua por kilogramo de materia seca obtenida en 14 días.

Cuadro 5. Gasto de agua para producción de forraje en condiciones de campo

Especie	Litros de agua / kg materia seca (promedio de 5 años)
Avena	635
Cebada	521
Trigo	505
Maíz	372
Sorgo	271

Carámbula, y Terra, 2000

Esta alta eficiencia del FVH en el ahorro de agua explica por qué los principales desarrollos de la hidroponía se hayan observado y generalmente en países con zonas 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.

-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 (Bonner y Galston, 1961; Koller, 1962; Simón y Meany, 1965; Fordham *et al*, 1975, citados todos ellos por Hidalgo, 1985)

- Calidad del 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 (Less, 1983, citado por Pérez, 1987) Su alto valor nutritivo (Cuadros 6 y 7) lo obtiene debido a la germinación de los granos (Arano, 1976 citado por Resh, 2001; Chen, 1975; Chen, Wells y Fordham, 1975 citados por Bravo, 1988).

En general el grano contiene una energía digestible algo superior (3.300 kcal/kg) que el FVH (3.200 kcal/kg) (Pérez, 1987). Sin embargo los valores reportados de energía digestible en FVH son ampliamente variables. En el caso particular de la cebada (Cuadro 7) el FVH se aproxima a los valores encontrados para el concentrado especialmente por su alto valor energético y apropiado nivel de digestibilidad.

Cuadro 6. Análisis comparativo del valor nutricional del grano de avena y el FVH obtenido de las semillas de avena a los 10 cm de altura y 13 días de crecimiento.

Nutriente o Factor	Grano	FVH
Materia seca (%)	91,0	32,0
Cenizas (%)	2,3	2,0
Proteína Bruta (%)	8,7	9,0
Proteína Verdadera (%)	6,5	5,8
Pared Celular (%)	35,7	56,1
Contenido Celular (%)	64,3	43,9
Lignina (%)	3,6	7,0
Fibra Detergente Ácido (%)	17,9	27,9
Hemicelulosa (%)	17,8	28,2

Fuente: Extractado de Dosal, 1987. Citado por FAO, 2001

Cuadro 7. Comparación entre las características del FVH (cebada) y otras fuentes alimenticias.

Parámetro	FVH (cebada)	Concentrado	Heno	Paja
Energía (kcal/kg MS)	3.216	3.000	1,680	1,392
Proteína Cruda (%)	25	30,0	9,2	3,7
Digestibilidad (%)	81,6	80	47,0	39,0
Kcal Digestible/kg	488	2,160	400	466
kg Proteína	46,5	216	35,75	12,41

Fuente: (Sepúlveda, 1994. citado por FAO, 2001)

- *Inocuidad.* El FVH producido de acuerdo a las indicaciones que serán presentadas en este manual, representa un forraje limpio e inocuo sin la presencia de hongos e insectos. Nos asegura la ingesta de un alimento conocido por su valor alimenticio y su calidad sanitaria. A través del uso del FVH los animales no comerán hierbas o pasturas indeseables que dificulten o

perjudiquen los procesos de metabolismo y absorción. Tal es el caso de un hongo denominado comúnmente “cornezuelo” que aparece usualmente en el centeno, el cual cuando es ingerido por hembras preñadas induce al aborto inmediato con la trágica consecuencia de la pérdida del feto y hasta de la misma madre. Asimismo en vacas lecheras, muchas veces los animales ingieren malezas que transmiten a la leche sabores no deseables para el consumidor final o no aceptados para la elaboración de quesos artesanales fundamentalmente (Sánchez, 1996 -1997).

Un caso notable de inocuidad y apoyo a la seguridad alimentaria a partir del uso de FVH fue informado en las poblaciones de Chernobyl, Kazakstan y Voronezh, ciudades afectadas por radiación atómica. En tal situación, como informado por Pavel Rotar (Julio, 2001) de la ISAR (Initiative for Social Action and Renewal in Eurasia), la única salida para la producción animal en estas zonas afectadas de Rusia, fue la implementación de la producción del FVH, lográndose una “sana y limpia alimentación de los animales”, dado que las pasturas existentes se encontraban totalmente contaminadas por la radiación. Además, con el suministro de FVH se aumentó la digestibilidad (de 30 a 95 %), con respecto a los granos que antes se utilizaban para consumo animal.

-Costos de producción. Las inversiones necesarias para producir FVH dependerán del nivel y de la escala de producción. El análisis de costos de producción de FVH, que se presenta por su importancia en una sección específica del manual, revela que considerando los riesgos de sequías, otros fenómenos climáticos adversos, las pérdidas de animales y los costos unitarios del insumo básico (semilla) el FVH es una alternativa económicamente viable que merece ser considerada por los pequeños y medianos productores. Al no requerir de maquinaria agrícola para su siembra y cosecha, el descenso de la inversión resulta evidente, Investigaciones recientes sostienen que la rentabilidad de la producción del FVH es lo suficientemente aceptable como para mejorar las condiciones de calidad de vida del productor con su familia, favoreciendo de este modo su desarrollo e inserción social, a la vez de ir

logrando una paulatina reconversión económica – productiva del predio (ejemplo: la producción de conejos alimentados con FVH integrada a horticultura intensiva (Sánchez, 1996 - 1997).

-Diversificación e intensificación de las actividades productivas. El uso del FVH posibilita intensificar y diversificar el uso de la tierra. Productores en Chile han estimado que 170 metros cuadrados de instalaciones con bandejas modulares en 4 pisos para FVH de avena, equivalen a la producción convencional de 5 has. de avena de corte que pueden ser destinadas a la producción alternativa en otros rubros o para rotación de largo plazo (opinión de Productor de Melipilla, 1998, Chile) y dentro de programas de intensificación sostenible de la agricultura. De igual forma, el sistema FVH posibilita regularizar la entrega de forraje a los animales posibilitando almacenar FVH para asistir a exposiciones, remates o ferias ganaderas. El FVH no intenta competir con los sistemas tradicionales de producción de pasturas, pero sí complementarla especialmente durante períodos de déficit.

-Alianzas y enfoque comercial. El FVH ha demostrado ser una alternativa aceptable comercialmente considerando tanto la inversión como la disponibilidad actual de tecnología que puede ser puesto a funcionar en pocos días sin costos de iniciación para proveer en forma urgente complemento nutricional. Y permite la colocación en el mercado de insumos (forraje) que posibilitan generar alianzas o convenios estratégicos con otras empresas afines tales como las empresas semilleras, cabañas de reproductores, tambos, locales de internada, ferias, locales de remates, aras de caballos, cuerpos de caballería del Ejército, etc. En la actualidad existen empresas comercializadoras de FVH en distintos países y todas ellas gozan de un buen nivel aparente de ventas (FAO, 2001)

Desventajas

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

-Desinformación y sobrevaloración 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 y de agua, óptimas condiciones de luz, temperatura, humedad ambiente, y niveles óptimos de concentración de CO₂. Innumerables de estos proyectos han sufrido significativos fracasos por no haberse accedido a una capacitación previa que permita un correcto manejo del sistema. Se debe tener presente que, por ejemplo, para la producción de forraje verde hidropónico sólo precisamos un fertilizante foliar quelatizado el cual contenga, aparte de los macro y micro nutrientes esenciales, un aporte básico de 200 partes por millón de nitrógeno. Asimismo el FVH es una actividad continua y exigente en cuidados lo que implica un compromiso concreto del productor. La falta de conocimientos e información simple y directa, se transforma en desventaja, al igual que en el caso de la tecnología de hidroponía familiar (Marulanda e Izquierdo, 1993).

-Costo de instalación elevado. Morales (1987), cita que una desventaja que presenta este sistema sería el elevado costo de implementación. Sin embargo, se ha demostrado (Sánchez, 1996,-1997) que utilizando estructuras de invernáculos hortícolas comunes, se logran excelentes resultados. Alternativamente, productores agropecuarios brasileños han optado por la producción de FVH directamente colocado a piso sobre plástico negro y bajo micro túneles, con singular éxito.

Factores que Influyen en la Contaminación por Hongos en el FVH.

Desafortunadamente en un ambiente controlado y húmedo se tienen problemas de importancia que afectan la producción; los principales son mohos, bacterias y hongos. El tipo común de moho, que afecta la producción, es un moho conocido como *rhizopus* y ataca el grano. El *rhizopus* es el moho del pan, que está presente en todos los granos de cereal y en el suelo, a tal grado que se disemina por todo el mundo. Un control climático estricto en forraje limita a menudo la cantidad de esporas del moho que puede germinar. Sin embargo si este moho 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, incluso muerte en ganado. El moho del *Aspergillus* ha sido el principal hongo encontrado como la causa de casos de envenenamiento en Sudáfrica, Israel, Francia, Inglaterra y China (Monney, 2002).

También dentro de los factores que encontramos para la formación de hongos se encuentran: la temperatura, la humedad relativa y una gran cantidad microorganismos, que se encuentran superficialmente en los polvos que van con en los granos, los cuales son algunos de los mayores problemas con los que se encuentran los productores de forraje verde hidropónico y siempre es una batalla, 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 (Arano, 1998).

El clima ejerce una importante influencia sobre los modelos de distribución y producción de mico toxinas. Las aflatoxinas y las fumonisinas predominan en áreas del mundo con clima cálido y húmedo, mientras que ocratoxinas y zearalenona se distribuyen en las regiones más frías (Fernández *et. al*; 2002).

Calidad de la Semilla:

El éxito del forraje verde comienza con la elección de una buena semilla, tanto en la calidad genética como en la fisiológica. La semilla debe presentar un porcentaje de germinación mayor o igual al 70-75 % para evitar pérdidas en el rendimiento del forraje verde hidropónico, esta semilla a utilizar tiene que estar limpia y tratada con una solución de hipoclorito de sodio al 1 % a través de un baño de inmersión, el cual dura aproximadamente entre 3 y 5 minutos, y el lote de semillas no debe contener semillas partidas, ni semillas de otros cultivares (FAO, 2001).

Calidad del Agua de Riego

En sistemas hidropónicos se debe utilizar un agua con su característica de potabilidad, es importante realizar un análisis químico de la misma y en base a ello formular la solución nutritiva, así como evaluar que otro tipo de tratamiento tendría que ser efectuado para asegurar su calidad (FAO, 2001).

Iluminación

La radicación solar es básica para el crecimiento del forraje verde a la vez que promueve síntesis de compuestos (vitaminas) los cuales serán de importancia para la alimentación animal, cabe mencionar que al comienzo del ciclo de producción la presencia de luz durante la germinación de las semillas no es deseable por lo que hasta el tercer o cuarto día de sembradas las charolas o bandejas, deberán estar en un ambiente de luz tenue pero con su oportuno riego para favorecer la aparición de los brotes y el posterior desarrollo de las raíces. La exposición directa al sol trae consecuencias negativas (aumento de la evapotranspiración, endurecimiento y quemaduras de las hojas). En los dos últimos días del proceso de producción, se exponen las bandejas a la acción de la luz para lograr, como cosa primordial que el forraje obtenga su color verde intenso característico y complete su riqueza nutricional (FAO, 2001).

No se han encontrado trabajos que mencionen si la luz tiene un efecto positivo o negativo sobre el desarrollo de hongos que producen micotoxinas.

Temperatura

Otro de los factores que afectan la producción de forraje, es la temperatura ambiente, aquí el control es muy importante, aunque depende mucho del tipo de grano escogido y su variedad, el rango óptimo para producir forraje verde hidropónico se sitúa entre los 18 y los 28°C (FAO, 2001).

Para evitar problemas de hongos, levaduras y bacterias indeseables nocivas para la calidad del forraje verde hidropónico; algunos granos como (avena, cebada y trigo) requieren temperaturas bajas para su germinación de 18 a 21°C, solamente el maíz requiere un rango mucho más alto de temperatura entre 22°C y 28°C, sin embargo hay que tener precaución ya que la contaminación se agudiza a estas temperaturas, principalmente con los grados de humedad tan alta a los que se trabaja el forraje verde hidropónico (Arano,1998).

Humedad

Es muy importante el control de humedad relativa en forraje verde hidropónico, los valores de la misma deben ser mayores de 90 %, es aconsejable una buena circulación de aire a efecto de minimizar los excesos de humedad ya que si es muy alta resultaran problemas fitosanitarios debido fundamentalmente a enfermedades fungosas o bacterias difíciles de combatir y eliminar, además de incrementar los costos de operación. Por otra parte la poca humedad relativa (ambiente seco) da como resultado forraje deshidratado con baja capacidad de crecimiento y poco valor alimenticio (Arano ,1998).

Ventilación

Una inadecuada ventilación de los invernaderos es otra de las causas de contaminación. Por lo tanto para combatir este problema es de vital importancia que exista una buena ventilación que permita un flujo constante del aire a través del invernadero (Arano, 1998).

Evitar que el aire que fluya a través del invernadero, lleve mucho polvo el cual contiene esporas que contaminarían el forraje. La ventilación también evita que se condense la humedad y se formen gotas de agua que caen sobre el forraje y que son óptimas para el desarrollo de los hongos, se ha demostrado en investigación continua que los nutrientes escasos en el sistema de riego producen planta más débiles, crecimiento más pequeño y más lento, las cuales son muy susceptibles al ataque de mohos, hongos y bacterias. Por lo tanto es de importancia extrema que la nutrición sea correcta y adecuada para la producción de forraje hidropónico de calidad (Monney, 2002).

Principales Hongos que Atacan el Forraje Verde Hidropónico

Durante su crecimiento, las plantas forrajeras son susceptibles de infecciones de diversos hongos, algunos de los cuales pueden producir micotoxinas. Estos hongos incluyen especies de *Fusarium*, *Alternaria*, *Cladosporium*, *Claviceps*, *Penicillium*, *Pythium*, *Rhizoctonia* e infecciones endófitas (Scudamore & Livesey, 1998).

Las enfermedades ocasionadas por estos hongos fitopatógenos es uno de los factores que afectan el rendimiento de los forrajes, causando enfermedades como la podredumbre de semilla y el *damping-off* de pre- y pos-emergencia en leguminosas forrajeras. El *dampingoff* de pre-emergencia se caracteriza por la pudrición de las semillas, las cuales se ablandan, se cargan de agua y por lo tanto las raíces no llegan a emerger. En el *dampingoff* de pos-emergencia el patógeno ataca a tallos jóvenes ocasionando la caída y muerte de la planta. Existen otros tres importantes géneros de hongos productores de micotoxinas y

que se encuentran ampliamente distribuidos a nivel mundial: *Aspergillus*, *Fusarium* y *Penicillium*. La infección de las cosechas por estos hongos, disminuye su rendimiento y los alimentos presentan valores nutricionales menores (Lawlor & Lynch, 2001).

Las cosechas son más susceptibles a la infección en el campo por una gama de hongos y pueden producir metabolitos secundarios los cuales se apropian dependiendo de las condiciones que se presenten. Esto puede ocurrir en condiciones frescas y de humedad. Aquí el ganado puede peligrar ante la presencia de micotoxinas y altos niveles de esporas fúngicas (Scudamore & Livesey, 2002).

El clima ejerce una importante influencia sobre los modelos de distribución y producción de micotoxinas. Las aflatoxinas y las fumonisinas predominan en áreas con clima cálido y húmedo, mientras que ocratoxinas y zearalenona se distribuyen en las regiones más frías. Dentro de los principales organismos contaminantes presentes en semillas forrajeras y forraje verde se encuentran, hongos productores de micotoxinas que afectan al ganado. Las micotoxinas son metabolitos secundarios tóxicos producidos por hongos filamentosos que crecen sobre sustratos vegetales, principalmente cereales y forrajes. Estas micotoxinas provocan una respuesta tóxica cuando son ingeridas por los animales o el hombre. La expresión de la enfermedad varía y depende del órgano afectado, tipo de toxina, dosis y combinación de micotoxinas. Los cuadros clínicos abarcan una amplia variedad de síntomas, desde lesiones cutáneas a efectos nefrotóxicos, hepatotóxicos, neurotóxicos y genotóxicos (Denly & Pérez 2006).

Esto puede ocurrir en condiciones frescas y húmedas. El ganado puede peligrar ante la presencia de micotoxinas y altos niveles de esporas fúngicas (Scudamore & Livesey, 1998).

Las micotoxinas como son las aflatoxinas y ocratoxinas, tienen una amplia gama de acciones que van desde las carcinogénicas, mutagénicas o

teratogénicas hasta llegar a ser unos importantes agentes inmunosupresores. Los hongos se desarrollan y producen micotoxinas cuando encuentran condiciones favorables en el medio, tales como humedad del grano superior al 13%, humedad relativa del aire por encima del 70%, temperatura mayor de 20°C, presencia de nutrientes apropiados, pH>5 y presencia de oxígeno.

El asentamiento del hongo también se ve favorecido por los daños que los insectos o pájaros hacen al grano, realizando pequeñas erosiones que facilitan la penetración del hongo. (Fernández *et al*; 2002).

Seis grupos de micotoxinas son producidos por los tres géneros principales de los hongos: *Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium* (Yiannikouris & Jouany, 2002).

Cuadro 8: Especies de *Fusarium* y principales micotoxinas que producen (Lawlor & Lynch, 2001)

ESPECIES DE <i>FUSARIUM</i>	MICOTOXINAS
<i>F. culmorum</i> ; <i>F. graminearum</i> , <i>F. sporotrichoides</i>	Deoxynivalenol
<i>F. F. sporotrichoides</i> , <i>F. poae</i>	T-2 TOXINA
<i>F. sporotrichoides</i> , <i>F. graminearum</i> , <i>F. poae</i>	Diacetoxyscirpenol
<i>F. culmorum</i> , <i>F. sporotrichioides</i> , <i>F. graminearum</i>	Zearalenone
<i>F. moniliforme</i>	Fumonisin
<i>F. moniliforme</i>	Acido Fusarico

Cuadro 9: Principales Micotoxinas (Fernández *et al*, 2002)

MICOTOXINAS	HONGOS	SÍNDROME
Aflatoxinas BI, B2, G1, y G2	<i>A. flavus</i> , <i>parasiticus</i>	A. Hepa totóxico, nefrotóxico, inmunotóxico
Aflatoxinas BI, B2,	<i>A. flavus</i> ,	
Toxina T-2	<i>Fusarium sporotrichioides</i>	
Zearalenonas	<i>F. roseum</i> , <i>F. graminearum</i>	Estrogénico
Fumonisinias	<i>F. moliforme</i> , (<i>F. Verticillioides</i>)	Hepatotóxico, nefrotóxico
Ocratoxinas	<i>A. ochraceus</i> , <i>A. fumigatus</i> , <i>P. verrucosum</i>	Nefrotóxico, poco patógeno para ovino
Ergotismo	<i>Pithomyces chartarum</i>	Eczema facial
Esclafamina	<i>Rhizoctomia leguminicola</i>	Parasimpático-mimético, salivar
Estaquiobotriotoxina	<i>Stachyobotrys alternans</i>	Úlceras en la boca

La Semilla

Partes Fundamentales de la Semilla

El tegumento, que es la capa que envuelve a la semilla, le sirve de protección, es impermeable, y sólo después de un tiempo prolongado de humedecimiento se reblandece permitiendo el paso de la humedad (Rodríguez, 2003)

El albumen constituye la materia de reserva, es rico en azúcares y almidones, facilita la germinación del embrión, es decir, mientras que la planta no pueda sintetizar los minerales se alimentará con estas reservas. (Rodríguez, 2003)

El embrión una vez humedecida la semilla por un tiempo determinado, ésta llevará a cabo sus procesos químicos y metabólicos de los cuales, igual a su antecesora o a la que procede. (Rodríguez, 2003)

Proceso de Germinación

La germinación se inicia desde el momento en que se somete la semilla a imbibición o hidratación. Las enzimas se movilizan invadiendo el interior de la semilla y ocurre una disolución de las paredes celulares por la acción de ellas. Posteriormente, se liberan granos de almidón que son transformados en azúcares y así empieza el proceso de germinación, en el que podemos diferenciar tres fases importantes que son: absorción de agua, movilización de nutrientes, y crecimiento y diferenciación. (Coljap, 1997)

Absorción de Agua: Se reanuda el metabolismo que se encontraba en estado de latencia y los carbohidratos se hidratan. La respiración de la semilla seca y latente, es lenta, y a medida que la humedad disminuye a menos del 12%, la viabilidad de la semilla es afectada, el humedecimiento de la semilla aumenta su respiración considerablemente, es importante mantener en los almacenes de semilla una humedad relativa menor al 50% ya que por encima de ésta, se inicia la actividad enzimática. (Rodríguez, 2003)

Movilización de Nutrientes: En la segunda fase, las enzimas comienzan a funcionar, el almidón es digerido y se transforma en azúcares, y los lípidos y proteínas se transforman en aminoácidos, así es como los nutrientes están disponibles para que el embrión comience su desarrollo. (Rodríguez, 2003). Los alimentos almacenados en los cotiledones generalmente se encuentran en cantidades suficientes para sostener el crecimiento de la plántula hasta cuando ésta pueda empezar a fabricar su propio alimento; es decir comience el proceso de la fotosíntesis. (Coljap, 1997)

Crecimiento y Diferenciación: Se inicia el alargamiento y la multiplicación celular, la capa seminal o tegumento, se rompe y empieza a emerger la radícula. Poco después se produce la raíz primaria, que a su vez se llenará de pelos radicales que posteriormente serán las raíces secundarias, enseguida se da la diferenciación de tejido y emerge la plúmula que origina un tallo y las primeras hojas, mismas que al principio tendrán un color verde amarillento para luego tomar su color definitivo, según su capacidad fotosintética. En esta etapa la planta ya puede obtener su alimento del exterior. (Rodríguez, 2003)

Descripción de las Especies Utilizadas

Avena (*Avena sativa*)

La avena ocupa el quinto lugar en la producción mundial de cereales, siendo el cereal de invierno de mayor importancia en los climas fríos del hemisferio norte (López, 1991).

Clasificación Taxonómica

Reino Vegetal
División Tracheophyta
Sub-división Pteropsida
Clase Angiospermae
Sub-clase Monocotiledóneae
Orden Graminales
Familia Gramineae
Tribu Aveneae
Género *Avena*
Especie *sativa*

(Robles, 1979)

Origen Geográfico

No se conoce con certeza el área exacta donde se originó la avena cultivada, pero varios autores coinciden en que procede de la región de del Asia Menor, desde allí se extendió hacia el norte y el oeste hasta llegar a Europa y otras regiones favorables para su cultivo (Robles, 1979)

Se sabe poco de la historia del cultivo de la avena antes de la Era Cristiana, aunque parece estar confirmado que este cereal no llegó a tener importancia en épocas tan tempranas como el trigo o la cebada. Las pruebas más antiguas del cultivo de avena en Europa datan de aproximadamente 4000 años y proceden de las viviendas lacustres de diferentes lugares de Europa Central, perteneciendo a la edad de bronce (López, 1991).

Usos de la Avena

Es mínima la cantidad destinada al consumo humano. En Argentina se utiliza como forraje, especialmente en estado de planta verde, en pastoreo directo, siendo un pasto muy apetecido rico en vitaminas y proteínas. El grano es un alimento altamente energético y excitante, resulta un alimento muy importante en las raciones de animales en crecimiento, o de los que tienen que desarrollar un trabajo fuerte. Su contenido de proteínas digeribles es alto y tiene una mayor riqueza en materia grasa que la cebada y el trigo. También es rica en minerales. (López, 1991).

El principal uso es para la alimentación del ganado, aún cuando se considera que el grano de avena contiene un 50% de cáscara, que en su mayor parte está constituida por fibra no digestible; el grano desnudo es rico en proteínas y constituye un alimento muy valioso. En Estados Unidos una proporción muy pequeña de la producción se destina a consumo humano como harina. La planta verde proporciona pasto o heno de excelente calidad. Una vez madura la paja tiene muy poco valor nutritivo (Wilson, 1981)

Cultivo de Avena a Campo Abierto

La avena es una planta que puede adaptarse a una gran variedad de climas semicálidos y fríos, puesto que se cultiva desde una altitud de 0 a 3000 msnm (Robles, 1979).

Además es cultivada entre los 65° de latitud norte y los 45° de latitud sur, exceptuando las regiones ecuatoriales cálidas y húmedas; básicamente la avena es una planta de estación fría, localizándose las mayores áreas de producción en los climas templados más fríos (López, 1991).

En cuanto a necesidades de temperatura, el crecimiento se detiene a los 0°C, y el umbral térmico de mortandad, se sitúa a los -10°C, para las variedades de primavera, y -14°C para las variedades de invierno (López, 1991).

El INIA, para el noreste de Chihuahua, recomienda 60 a 70 kg/ha; al mismo tiempo recomienda aumentar en un 10 a 20 % la densidad de semilla por ha en la siembra, cuando el objetivo es la producción de forraje; en siembras realizadas en Apodaca, NL., se encontró que la densidad de 90 kg/ha, fue la que produjo los más altos rendimientos, así como la más alta calidad forrajera. (Robles, 1979)

Las necesidades hídricas de la avena son las más altas de todos los cereales de invierno, superiores a las del trigo y la cebada (aproximadamente 1.5 veces superiores a las del trigo), es muy sensible a la sequía en el periodo de formación de grano (López, 1991).

Principales Plagas y Enfermedades a Campo Abierto

Algunas de las plagas que atacan a la avena son las mismas que otros cereales de invierno, sin embargo, las enfermedades, especialmente las producidas por hongos, pueden ser distintas. Por lo que se atribuye al cultivo de la avena el que puede “romper” el ciclo de algunos patógenos del trigo y la cebada. Entre las principales enfermedades que se citan en el cultivo de la

avena están el carbón (*Ustilago avenae*), las royas (*Puccinia coronata avenae* y *P.graminis avenae*), oídio (*Erysiphe graminis*) y nemátodos, especialmente *Heterodera avenae* al que es particularmente sensible la avena. (López, 1991).

Maíz (*Zea mays*)

Con excepción de las cumbres más elevadas, el maíz se cultiva en todo el territorio mexicano, sin que exista una zona delimitada para su producción, como sucede con el trigo y otras gramíneas, pues no hay planta que lo aventaje en su adaptación a nuestro clima, en la utilidad de sus productos y en la diversidad de las materias alimenticias que produce. (Lesur, 2005)

El maíz constituye el alimento básico de mayor importancia en México, y casi en todos los países de América, en nuestro país se calcula que cubre el 50% del área total que se encuentra bajo cultivo (Robles, 1979).

Clasificación Taxonómica

Reino Vegetal
División Tracheophyta
Sub-división Pteropsida
Clase Angiosperma
Sub-clase Monocotiledónea
Grupo Glumiflora
Orden Graminales
Familia Gramineae
Tribu Maydeae
Género *Zea*
Especie *mays*

(Robles, 1979)

Origen Geográfico

El origen del maíz no se conoce con exactitud, aunque existen evidencias que lo sitúan en México con anterioridad al año 5000 A.C (Robles, 1979)

Una de las teorías sostiene que el maíz procede de una planta silvestre llamada teosintle (*Zea mexicana*), que crece en México, Guatemala y Honduras, esta hipótesis fue compartida por todos los botánicos del siglo XVIII y XIX , aunque perdió valor en la primera mitad de nuestro siglo. En los últimos años ha sido retomada gracias a las valiosas pruebas aportadas, de carácter arqueológico y genético, que evidencian que el teosintle, en un intervalo de tiempo que varía de 8 a 15 mil años, fue el antepasado directo del maíz moderno. (López, 1991).

Usos del Maíz

Tradicionalmente el cultivo de maíz en México se ha realizado para el autoconsumo, aunque la importancia de esta especie no sólo se limita al consumo humano, ya que una considerable cantidad se destina a la alimentación pecuaria. (Robles, 1979)

En Estados Unidos, la mayor parte del maíz cosechado se utiliza como forraje, pues tiene un bajo contenido de fibra, es rico en carbohidratos y en aceites, lo que lo convierte en el más apetecible de los cereales. Aproximadamente el 8 al 9 % de la cosecha de maíz se usa para consumo humano y para usos industriales. las harinas y las hojuelas de maíz son ejemplos de su uso en la dieta humana. (Delorit, 1985)

Los subproductos del maíz que se utilizan en la industria, tienen una multitud de aplicaciones, que van desde la manufactura de papel, hasta la producción de plásticos. (Walton, 1962)

La producción de maíz forrajero es una de las mejores alternativas en dos de las actividades ganaderas más importantes en nuestro país: la producción de leche y la engorda de ganado en corrales, como se realiza en los estados de Sonora y Jalisco. Este tipo de cultivo forrajero, no ha recibido la atención

suficiente, porque las necesidades del país han normado que las investigaciones se enfoquen a la producción de grano (Jaramillo, 1992)

Cultivo de Maíz a Campo Abierto

La gran diversidad en tipos, razas y nuevas variedades de maíz que actualmente existen en México, permiten que haya maíces adaptados a prácticamente todas las condiciones que se puedan presentar en el país. Debido a esto podemos encontrar maíz cultivado desde las costas hasta más de 3000 msnm; el límite inferior de temperatura, para su crecimiento está situado entre los 10 y 12°C. (CIA, 1980)

Requiere de una larga estación de crecimiento y clima cálido, no siendo posible su cultivo en donde la media de temperaturas del pleno verano es inferior a los 19°C, o el promedio de temperatura nocturna durante los meses de verano es inferior a los 13°C, la mayor producción tiene lugar donde las temperaturas de los meses más cálidos, varía entre los 21 y 27 °C y la estación libre de heladas es superior a los 120-180 días. (López, 1991).

El suelo de textura franca es preferible para el maíz. Esto permite un buen desarrollo del sistema radicular, con una mayor eficiencia de absorción de humedad y de los nutrientes del suelo. Además se evitan problemas de acame o caída de las plantas. (SEP 1999)

Principales Plagas y Enfermedades a Campo Abierto

El maíz es quizá el cultivo que más problemas tiene con respecto a plagas y enfermedades; el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), distribuido ampliamente en la zona agrícola de México (Robles, 1979), de igual manera el gusano trozador (*Heliothis zea*), ya que destruye los estigmas antes de la polinización; el gusano soldado (*Spodeptera exigua*) es de igual importancia. Además podemos mencionar a gallina ciega (*Phyllophaga spp*), Diabroticas (*Diabrotica undecimpunctata*), además de pulgones, trips, (Lesur, 2005)

MATERIALES Y METODOS

Localización Geográfica del Área de Estudio

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), que se localiza al Noreste de la ciudad de Saltillo, Coahuila, México; cuyas coordenadas geográficas son 25° 27' de latitud Norte y 101°02' de longitud Oeste, con una altitud de 1610 msnm. En el periodo comprendido del 1 de febrero al 26 de noviembre de 2007.

Características del Sitio Experimental

El trabajo se realizó en dos invernaderos tipo túnel de 12 m de largo y 8 m de ancho, con estructura de tubo galvanizado de 1" y anclas de 1 ½", de una altura de 3.15 m y con ventilación estática por medio de dos ventanas laterales manejadas manualmente. Estos están cubiertos con polietileno calibre 720, térmico y larga duración. Dentro de los cuales hay módulos metálicos con racks de perfil de fierro con 4 niveles a 40 cm entre ellos, colocados los racks uno arriba del otro. Uno de los invernaderos estaba cubierto con una malla de 50% de sombreado sobre el plástico y el otro con 80% de sombreado sobre el plástico para manejar diferentes cantidades de radiación solar captada por las plantas.



Fig. 1: invernadero con malla sombra 50 %



Fig. 2: invernadero con malla sombra 80 %

Material Vegetal

El material vegetal que se utilizó tanto de maíz como de avena, fue un grano comercial, de procedencia desconocida, al que solo se realizaron las pruebas de germinación que aseguraran un porcentaje de brotación mayor al 80 %. Se utilizó este tipo de material porque para este sistema de producción de forraje, el grano debe ser lo más económico posible para que sea costeable y para que no se tenga problema de disponibilidad de grano.

Material de Campo Utilizado

- Invernaderos tipo túnel
- Equipo de Fertirriego (Fertimix de Eldar Shaney)
- Estanterías
- Cámara de secado (Marca Blue M Stabil therm)
- Balanza granataria (Marca Torino Modelo Dinamatic 15)
- Charolas de polietileno para la siembra de forraje de 37 cm X 57 cm y 5 cm de altura
- Botes de 20 lt
- Regla graduada de 30 cm
- Jabón (detergente)
- Hipoclorito de sodio (cloro)
- Cal
- Bascula tipo reloj para 15 kg
- Cinta maskintape
- Marcador
- Libreta de campo
- Probeta graduada de 100 ml

Descripción del Trabajo

Se realizaron 2 experimentos, con tres evaluaciones cada uno.

- En el primer experimento, el objetivo fue determinar la densidad adecuada para la producción de forraje verde hidropónico, de avena.
- En el segundo experimento, el objetivo fue determinar la densidad adecuada para la producción de forraje verde hidropónico, de maíz.

Experimento 1

Determinación de densidad de siembra y efecto de porcentaje de sombreado en Avena

Primera y Segunda Evaluación

Se manejaron cuatro densidades de siembra con grano de avena, 600, 500, 400, y 300 g de grano por cada charola, con 10 repeticiones, divididas en dos niveles de sombreado, 50% y 80 %; y se realizó de la siguiente manera.

Pesado

Se pesaron 6, 5, 4, y 3 kg de avena en botes de 20 lt, con el fin de distribuir la semilla de cada densidad en 10 charolas; y colocar 5 charolas de cada densidad en el invernadero con sombreado de 50% y 5 en el de 80 % de sombreado de tal manera que en cada invernadero tendríamos 5 charolas con 600g, 5 charolas con 500 g, 5 charolas con 400 g y 5 charolas con 300 g de grano.

Desinfección

Se lavó la semilla tres veces tan solo con agua y jabón (detergente) con el fin de eliminar la tierra y basura que ésta pudiera contener, y evitar la contaminación en la siembra, el siguiente paso, consistió en preparar una solución desinfectante a base de cloro al 1 % (10 ml de cloro/litro de agua),

y sumergir a la semilla por 15 minutos, terminado el tiempo, se escurrió la semilla.

Remojo

Una vez desinfectada la semilla, ésta se deja reposar en agua sola o agua con cal durante 24 h, la concentración es de 7.5 g de cal por litro de agua, transcurridas las 24 h, se escurre el agua con cal y se da un enjuague, con el fin de eliminar el resto de la cal, se cubren los botes y comienza la brotación.

Brotación

Se dejan brotar por 48 h, moviendo las semillas eventualmente para oxigenarlas, y para evitar la compactación de las mismas dentro del bote, con la intención de no tener que separar las semillas y lastimar las raíces que forman una especie de amarre cuando no se evita la compactación.

Siembra

La distribución de la semilla en las 10 charolas de cada densidad, se hizo tomando un vaso de precipitados de plástico, previamente marcado para la densidad deseada y colocando la misma cantidad en cada charola.

Riegos

Una vez terminada la siembra, las charolas se llevaron a los invernaderos donde el riego se programó a una duración de 10 segundos cada hora, comenzando a las 10:30 y terminando a las 17:30; ésta primera evaluación no contenía fertilización, solo se utilizó agua en el riego.

Este procedimiento de lavado, desinfección, remojo, brotación y siembra fue igual en las diferentes evaluaciones realizadas.

Parcela Experimental de la Primera y Segunda Evaluación

En la primera y segunda evaluación, del experimento 1 la parcela experimental estuvo constituida por 40 charolas; (20 en el invernadero con 50% de sombra y 20 en el invernadero con 80% de sombra) distribuidas al azar en los anaqueles de producción.

Diseño Experimental

En la primera y segunda evaluación del experimento 1, el diseño experimental utilizado fue el de parcelas divididas con arreglo factorial (AXB) completamente al azar. Con dos niveles en el factor A (invernadero con malla al 50% e invernadero con malla al 80% de sombreo) y cuatro niveles en el factor B (600, 500, 400, y 300 g de grano/charola), con 5 repeticiones cada uno de los tratamientos, dando un total de 40 unidades experimentales.

Tratamientos

Factor A

Niveles de Sombreo

A₁: Invernadero con malla sombra 50 %

A₂: Invernadero con malla sombra 80 %

Factor B

Densidades de Siembra en Charolas de 0.21 m²

B₁: 600 g

B₂: 500 g

B₃: 400 g

B₄: 300 g

Variables Evaluadas

Estas mediciones se realizaron a los 15 días de siembra, fecha en que se recomienda que sea cosechado como máximo el forraje verde hidropónico.

Peso del Forraje

Para obtener el peso fresco del forraje, se pesó la charola con el forraje, escurriendo la mayor cantidad de agua que se pudiera, se obtuvo el destare de las charolas, pesando charolas vacías y obteniendo un promedio de 737 g. por charola vacía, el peso del forraje se reportó en kg.

Altura del Forraje

En el caso de la medición de la altura, se realizó con una regla graduada de 30 cm, haciendo 5 mediciones dentro de la charola, sacando un promedio; la medición se realizó colocando la regla dentro del forraje y midiendo desde la base de la raíz, indicando la altura de la planta, la medición se realizó en cm.

Cantidad de Forraje de Avena Producido por Gramo de Semilla (Eficiencia)

Para obtener este dato, simplemente se dividió el peso real del forraje entre la densidad que se trataba, obteniendo así la eficiencia de conversión de semilla a forraje.

Contenido de Proteína

En esta variable se tomaron pequeñas muestras de las charolas para formar una muestra compuesta de cada densidad y nivel de sombreado, las muestras se colocaron en la estufa de secado, para posterior su análisis en el laboratorio de CIQA por el método kjeldahl

Determinación de Hongos Presentes en el Forraje

Para determinar el contenido de patógenos en el forraje se tomaron pequeñas muestras de las charolas para formar una muestra compuesta separándolas solo por el nivel de sombreado, las muestras se enviaron para su análisis a los laboratorio de CISEF (Centro Internacional de Servicios Fitosanitarios, S A de C V) cuyos laboratorios cuentan con acreditación en EMA y es una empresa certificada en ISO 9001-2000, además de estar certificada por Perry Johnson Registrers, Inc.

Parcela Experimental de la Tercera Evaluación del Experimento 1

En la tercera evaluación se eliminaron dos densidades de siembra, (400 g y 300 g), pues los resultados obtenidos quedaban muy por debajo de los obtenidos con las densidades de 600 y 500 g y sólo se trabajó con estas dos densidades.

En esta evaluación del experimento 1, la parcela experimental estuvo constituida por 16 charolas; (8 en el invernadero con 50% de sombra y 8 en el invernadero con 80% de sombra) distribuidas en los anaqueles de producción.

Diseño Experimental

En la tercera evaluación, del experimento 1, el diseño experimental utilizado fue el de parcelas divididas con arreglo factorial (AXB) completamente al azar. Con dos niveles en el factor A (invernadero con malla al 50% e invernadero con malla al 80%) y dos niveles en el factor B (600, 500g de grano/charola), con 4 repeticiones cada uno de los tratamientos, dando un total de 16 unidades experimentales.

Tratamientos

Factor A

Niveles de sombreo

A₁: Invernadero con mala sombra 50 %

A₂: Invernadero con mala sombra 80 %

Factor B

Densidades de Siembra en Charolas de 0.21 m²

B₁: 600 g

B₂: 500 g

Variables Evaluadas

Estas mediciones se realizaron a los 15 días de siembra, fecha en que se recomienda que sea cosechado el forraje verde hidropónico.

Peso del Forraje

Para obtener el peso fresco del forraje, se pesó la charola con el forraje, escurriendo la mayor cantidad de agua que se pudiera, se obtuvo el destare de las charolas, pesando charolas vacías y obteniendo un promedio de 737 g. por charola vacía, el peso del forraje se reportó en kg.

Altura del Forraje

En el caso de la medición de la altura, se realizó con una regla graduada de 30 cm, haciendo 5 mediciones dentro de la charola, sacando un promedio; la medición se realizó colocando la regla dentro del forraje y midiendo desde la raíz, indicando la altura de la planta, la medición se realizó en cm.

Cantidad de Forraje de Avena Producido por Gramo de Semilla (eficiencia)

Para obtener este dato, simplemente dividimos el peso real del forraje entre la densidad que se trataba, obteniendo así la eficiencia de conversión de semilla a forraje.

EXPERIMENTO 2

Determinación de densidades de siembra y efecto del porcentaje de sombreado en maíz

Parcela Experimental de la Primera Evaluación del Experimento 2

En la primera evaluación del experimento 2, la parcela experimental estuvo constituida por 40 charolas; (20 en el invernadero con 50% de sombra y 20 en el invernadero con 80% de sombra) distribuidas al azar en los anaqueles de producción.

Diseño Experimental

En la primera evaluación, del experimento 2, el diseño experimental utilizado fue el de parcelas divididas con arreglo factorial (AXB) completamente al azar. Con dos niveles en el factor A (invernadero con malla al 50% e invernadero con malla al 80% de sombreado) y cuatro en el factor B (1200, 1000, 800, y 600 g de grano/charola), con 5 repeticiones cada uno de los tratamientos, dando un total de 40 unidades experimentales.

Tratamientos

Factor A

Niveles de Sombreado

A₁: invernadero con malla sombra 50 %

A₂: invernadero con malla sombra 80 %

Factor B

Densidades de Siembra en Charolas de 0.21 m²

B₁: 1200 g

B₂: 1000 g

B₃: 800 g

B₄: 600 g

Variables Evaluadas

Las mediciones se realizaron a los 15 días de siembra, fecha en que se recomienda que sea cosechado el forraje verde hidropónico.

Peso del Forraje

Para obtener el peso fresco del forraje, se pesó la charola con el forraje, escurriendo la mayor cantidad de agua que se pudiera, se obtuvo el destare de las charolas, pesando charolas vacías y obteniendo un promedio de 737g. por charola vacía, el peso se reportó en kg.

Altura del Forraje

En el caso de la medición de la altura, se realizó con una regla graduada de 30 cm, haciendo 5 mediciones dentro de la charola y sacando un promedio, la medición se realizó colocando la regla dentro del forraje y midiendo desde la base de la raíz, indicando la altura de la planta, la medición se realizó en cm.

Cantidad de Forraje de Maíz Producido por Gramo de Semilla (eficiencia)

Para obtener este dato, simplemente se dividió el peso real del forraje (eliminando el peso de la charola) entre la densidad que se trataba, obteniendo así la eficiencia de conversión de semilla a forraje.

Parcela Experimental de la Segunda y Tercera Evaluación del Experimento 2

Para estas repeticiones se eliminó la densidad de 600 gr, pues los resultados obtenidos se encontraban muy por debajo de los obtenidos con los demás tratamientos.

En la segunda y tercera evaluación, del experimento 2, la parcela experimental estuvo constituida por 24 charolas; (12 en el invernadero con 50% de sombra y 12 en el invernadero con 80% de sombra) distribuidas al azar en los anaqueles de producción.

Diseño Experimental

En la segunda y tercera repetición del experimento 2, el diseño experimental utilizado fue el de parcelas divididas con arreglo factorial (AXB) completamente al azar. Con dos niveles en el factor A (invernadero con malla al 50% e invernadero con malla al 80% de sombreo) y tres niveles en el factor B (1200, 1000, 800g de grano/charola), con 4 repeticiones cada uno de los tratamientos, dando un total de 24 unidades experimentales.

Tratamientos

Factor A

Niveles de sombreado

A₁: invernadero con malla sombra 50%

A₂: invernaderos con malla sombra 80 %

Factor B

Densidades de Siembra en Charolas de 0.21 m²

B₁: 1200 g

B₂: 1000 g

B₃: 800 g

Variables Evaluadas

Estas mediciones se realizaron a los 15 días de siembra, fecha en que se recomienda que sea cosechado el forraje verde hidropónico.

Peso del Forraje

Para obtener el peso fresco del forraje, se pesó la charola con el forraje, escurriendo la mayor cantidad de agua que se pudiera, se obtuvo el destare de las charolas, pesando charolas vacías y obteniendo un promedio de 737 gr. Por charola vacía, el peso del forraje se reportó en kg.

Altura del Forraje

En el caso de la medición de la altura, se realizó con una regla graduada de 30 cm, haciendo 5 mediciones dentro de la charola y sacando un promedio; la medición se realizó colocando la regla dentro del forraje y haciendo la medición desde la base de la raíz, indicando la altura de la planta, la medición se realizó en cm.

Cantidad de Forraje de Maíz Producido por Gramo de Semilla (eficiencia)

Para obtener este dato, simplemente se dividió el peso real del forraje entre la densidad que se trataba, obteniendo así la eficiencia de conversión de semilla a forraje.

Contenido de Proteína

En esta variable se tomaron pequeñas muestras de las charolas para formar una muestra compuesta de cada densidad y nivel de sombreado, las muestras se colocaron en la estufa de secado, para posterior su análisis en el laboratorio de CIQA por el método kjeldahl

Determinación de Hongos presentes en el forraje

Para determinar el contenido de patógenos en el forraje se tomaron pequeñas muestras de las charolas para formar una muestra compuesta separándolas solo por el nivel de sombreado, las muestras se enviaron para su análisis a los laboratorio de CISEF (Centro Internacional de Servicios Fitosanitarios, S A de C V) cuyos laboratorios cuentan con acreditación en EMA y es una empresa certificada en ISO 9001-2000, además de estar certificada por Perry Johnson Registrers, Inc.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados del Experimento 1 Avena

Determinación de Densidades de Siembra y Porcentajes de Sombreado en forraje verde hidropónico de avena

Peso de Forraje de Avena

De acuerdo al análisis de varianza y de la comparación de medias (Cuadro 10) se observa que para los componentes del factor A (nivel de sombreado), existen diferencias estadísticas en peso de forraje entre los tratamientos. En la primera evaluación existe diferencia altamente significativa, siendo el mejor tratamiento el de sombreado de malla al 80%; en la segunda evaluación existe diferencia significativa, con mejores resultados el tratamiento 50 % de sombreado y en la tercera evaluación, no existe diferencia significativa entre los tratamientos, aunque se observó que el tratamiento de 50% de sombreado, fue el que presentó mayor peso de forraje fresco, por lo que se recomienda un nivel de sombreado de 50%, para el caso de peso de forraje fresco.

Para el caso del factor B (densidad de siembra), en la primera y segunda evaluación existe diferencia altamente significativa, entre los tratamientos siendo el mejor estadísticamente el tratamiento de 600 gr de semilla por charola y seguido de los tratamientos de 500 g, 400 g y 300 g,

En la tercera evaluación cabe recordar que se eliminaron dos densidades de siembra, (400 g y 300 g), pues los resultados obtenidos quedaban muy por debajo de los obtenidos con las densidades de 600 y 500 g. En esta evaluación para los componentes del factor B, (densidades de siembra), se observó diferencia altamente significativa, siendo el mejor el tratamiento estadísticamente el de 600 g, pero a diferencia de las repeticiones anteriores, se mantiene como el mejor en eficiencia y altura de planta. Haciendo un análisis del comportamiento de las densidades, se recomienda el uso de 500 g de grano de avena por charolas de 0.21 m² porque haciendo uso de menor cantidad de semilla, no difiere mucho de la densidad de 600 g. En la tercera evaluación los rendimientos fueron más bajos que en las dos anteriores debido a mayores problemas de contaminación por hongos que afectan el desarrollo y productividad

En la interacción AXB, no existe diferencia estadística, sin embargo se observa que en la primera evaluación, presenta mayor peso fresco el forraje colocado bajo sombra al 80% en comparación con las mismas densidades colocadas bajo sombra al 50% y la mejor combinación es la de 600 g al 80% de sombreado. En la segunda y tercera evaluación, se observa un mejor comportamiento en cuanto a peso del forraje bajo la malla de 50% y las mejores combinaciones fueron 600 g con 50 % de sombra para la segunda y para la tercera fueron 600 g con los dos niveles de sombreado.

Estos resultados coinciden con los encontrados por Guzmán (2006), quien encontró que a una densidad de siembra de 500 g de trigo o Triticale, con un nivel de sombreado de 50 % hubo mejores resultados con respecto a los demás tratamientos utilizados.

Cuadro 10. Comparación de medias de peso de forraje hidropónico de avena con diferentes densidades de siembra y porcentajes de sombreado.

	Primera Evaluación	Segunda Evaluación	Tercera Evaluación
Cosecha	5 de Marzo	23 de Marzo	12 de Abril
Factor A (nivel de sombreado)			
	Peso del forraje	Peso del forraje	Peso del forraje
Malla 50%	2.403 B	3.099 A	1.720
Malla 80%	2.668 A	2.699 B	1.698
Significancia	**	*	NS
DMS	0.133	0.291	
Factor B (densidad de siembra)			
600 g	3.156 A	4.178 A	2.075 A
500 g	2.794 B	3.296 B	1.343 B
400 g	2.324 C	2.327 C	
300 g	1.874 D	1.790 D	
Significancia	**	**	**
DMS	0.260	0.186	0.204
Interacción A X B			
Malla 50% 600 g	2.919	4.461	2.083
Malla 80% 600 g	3.393	3.895	2.068
Malla 50% 500 g	2.583	3.451	1.358
Malla 80% 500 g	3.005	3.141	1.328
Malla 50% 400 g	2.259	2.535	
Malla 80% 400 g	2.389	2.119	
Malla 50% 300 g	1.853	1.949	
Malla 80% 300 g	1.887	1.631	
C.V (%)	11.12	6.96	9.79
Significancia	Ns	Ns	Ns

Altura de Forraje de Avena

De acuerdo al análisis de varianza y al cuadro de comparación de medias, (Cuadro 11) en la primera evaluación del Experimento 1, se observa que no hay significancia, lo que indica que estadísticamente son iguales los tratamientos. Sin embargo al final de los 15 días, la altura de las plantas bajo el invernadero con 80 % de sombra fue mayor con respecto a las colocadas bajo el 50% de sombra. En el caso de la segunda evaluación, existe diferencia significativa, obteniéndose mayor altura de planta con malla al 50%; y en la tercera evaluación, nuevamente existe diferencia significativa, pero en esta ocasión, los mejores resultados se observan al utilizar malla sombra al 80%, por lo que se recomienda su utilización.

Para el caso de los componentes del factor B (densidad de siembra), en la primera evaluación del experimento 1, existe diferencia significativa entre los tratamientos, obteniendo mayor altura en el tratamiento de 500 g, seguido de los tratamientos de 300 g, 400 g y 600 g, en orden descendente. En la segunda evaluación existe diferencia altamente significativa, entre los tratamientos, mostrándose en los tratamientos de 600 g y 500 g las plantas más altas, seguidos de 400 g, y 300 g. En la tercera evaluación nuevamente hay significancia y el tratamiento de 600 g, se ubica como el mejor con respecto al de 500 g; de tal manera que después de observar el cuadro de comparación de medias (Cuadro 11) se considera que el tratamiento de 500 g, es el mejor al mantenerse dentro de los primeros lugares de las tres evaluaciones de las variables descritas.

Dentro de las interacciones A X B, no se encontró diferencia estadística entre los tratamientos en ninguna de las repeticiones, aunque se mantiene el comportamiento de mayor altura en general en 50 % de sombra y en las densidades de 500 y 600 g por charola, aunque en la tercera evaluación la respuesta fue mejor en sombreado de 80%.

Cuadro 11. Comparación de medias de altura de forraje hidropónico de avena con diferentes densidades de siembra y porcentajes de sombra.

	Primera Evaluación	Segunda Evaluación	Tercera Evaluación
Cosecha	5 de Marzo	23 de Marzo	12 de Abril
Factor A (nivel de sombreo)			
	Altura	Altura	Altura
Malla 50%	12.280	19.140 A	15.287 B
Malla 80%	12.624	18.300 B	16.050 A
Significancia	NS	*	*
DMS		0.711	0.614
Factor B (densidad de siembra)			
600 g	11.930 B	19.790 A	16.312 A
500g	13.158 A	19.200 A	15.287 B
400g	12.100 B	18.330 B	
300g	12.620 AB	17.560 C	
Significancia	*	**	*
DMS	0.766	0.650	1.009
Interacción AXB			
Malla 50% 600 g	11.680	20.200	15.675
Malla 80% 600 g	12.180	19.380	16.950
Malla 50% 500 g	12.900	19.700	14.900
Malla 80% 500 g	13.416	18.700	15.150
Malla 50% 400 g	12.460	18.680	
Malla 80% 400 g	11.740	17.980	
Malla 50% 300 g	12.080	17.980	
Malla 80% 300 g	13.160	17.140	
C.V (%)	6.67	3.76	5.27
Significancia	NS	NS	NS

Eficiencia de Conversión Grano- Forraje

De acuerdo al análisis de varianza y al cuadro de comparación de medias, (Cuadro 12) para los componentes del factor A (Nivel de sombreado), para eficiencia de conversión de forraje, se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, obteniendo mejores resultados en la conversión de semilla a forraje con el tratamiento de malla al 80% de sombreado en la primera evaluación. Para el caso de la segunda evaluación, existe diferencia significativa entre los tratamientos de malla sombra al 80% y malla sombra al 50%, siendo el mejor tratamiento el de malla sombra al 50% y para la tercera repetición, estadísticamente no existe diferencia y la diferencia numérica observada marca ligeramente superior al tratamiento de 50% de malla sombra. (Cuadro 12)

En el caso de los componentes del factor B (densidad de siembra), en la primera evaluación del experimento 1, estadísticamente existe diferencia significativa, ubicándose como el mejor tratamiento la densidad de 300 g , seguido de los tratamientos 600 g, 500 g y 400g, no encontrando diferencias estadísticas entre estos últimos. Para el caso de la segunda evaluación, existe diferencia altamente significativa, teniendo mejores resultados el tratamiento de 600 g, seguido del tratamiento de 500 g, y ubicando a los tratamientos 400 g y 300 g, en último lugar. En la tercera evaluación, la diferencia estadística es altamente significativa, siendo el mejor tratamiento del de 600 g, dejando al tratamiento de 500 g como el peor.

La eficiencia de conversión de forraje tanto para el porcentaje de sombreado como en las diferentes densidades no fue constante y varió dependiendo de la fecha realización. Se observa una tendencia de mayor conversión con densidades mayores pero no en todas las evaluaciones ya que en la primera evaluación la mayor conversión fue a bajas densidades. Por lo que puede estar influenciado por las condiciones ambientales, ya que se realizaron en fechas diferentes

Observando el comportamiento de los tratamientos de 600 g y 500 g, se considera que este último es el mejor, ya que haciendo uso de una menor cantidad de semilla, tiene mayor eficiencia superando al tratamiento de 600 g, el cual obtuvo mayor peso fresco, pero disminuyó su eficiencia de conversión de semilla a forraje, de ésta manera se aprovechará al máximo el uso de los recursos

En la interacción A X B, no existe diferencia estadística, sin embargo haciendo las comparaciones entre los tratamientos, observamos que en la primera repetición, los mejores resultados se obtuvieron al utilizar la malla sombra al 80 % y la mejor combinación fue de 300 g bajo 80% de sombra. La situación cambió en la segunda evaluación; la cual mostró mejores resultados en las densidades que utilizaron malla sombra al 50%; y para el caso de la tercera evaluación, los resultados, fueron muy similares en los dos niveles de sombreo.

Se observa una inconsistencia en los resultados que puede estar afectado por las condiciones ambientales ya que las evaluaciones al realizarse en fechas diferentes el clima también fue diferente.

Cuadro 12. Comparación de medias de eficiencia del forraje hidropónico de avena con diferentes densidades de siembra y porcentajes de sombreado

	Primera Evaluación	Segunda Evaluación	Tercera Evaluación
Cosecha	5 de Marzo	23 de Marzo	12 de Abril
Factor A (nivel de sombreado)			
	Eficiencia	Eficiencia	Eficiencia
Malla 50%	5.464 B	6.792 A	3.096
Malla 80%	5.982 A	5.877 B	3.055
Significancia	*	*	NS
DMS	0.385	0.659	
Factor B (densidad de siembra)			
600 g	5.259 B	6.963 A	3.4613 A
500 g	5.588 B	6.592 B	2.690 B
400 g	5.811 B	5.966 C	
300 g	6.234 A	5.818 C	
Significancia	*	**	**
DMS	0.618	0.354	0.387
Interacción A X B			
Malla 50% 600 g	4.864	7.434	3.472
Malla 80% 600 g	5.655	6.491	3.450
Malla 50% 500 g	5.166	6.902	2.720
Malla 80% 500 g	6.010	6.282	2.660
Malla 50% 400 g	5.648	6.338	
Malla 80% 400 g	5.974	5.298	
Malla 50% 300 g	6.179	6.496	
Malla 80% 300 g	6.290	5.436	
C.V (%)	11.71	6.06	10.20
Significancia	NS	NS	NS

Contenido de Proteína

Según los resultados del análisis de laboratorio, (Cuadro 13 y 14) el contenido de proteína es muy parecido en ambos niveles de sombreo, aunque se muestra ligeramente superior el contenido en las densidades que se encontraban bajo un nivel de sombreo del 50 %, con respecto a las de 80% de sombra.

Cuadro 13. Contenido de proteína del forraje verde hidropónico obtenido de la semilla de Avena a los 15 días de crecimiento

Muestra	Contenido de proteínas
50 % de sombra 300 g/charola r	25.34
50 % de sombra 400 gr/charola	25.46
50 % de sombra 500 gr/charola	25.31
50 % de sombra 600 gr/charola	25.36
<u>Promedio</u>	<u>25.36</u>
80 % de sombra 300 g/charola r	25.31
80 % de sombra 400 gr/charola	24.50
80 % de sombra 500 gr/charola	25.31
80 % de sombra 600 gr/charola	24.93
<u>Promedio</u>	<u>25.01</u>

Cuadro 14: Contenido de proteína del forraje verde hidropónico (hojas y tallo) obtenido de la semilla de avena a los 8 y 15 días de crecimiento

Tratamiento	% de proteína	
	8 días de siembra	15 días de siembra
50 % de sombra 500 g/charola	23.10	24.53
50 % de sombra 500 g/charola	23.56	24.00
50 % de sombra 500 g/charola	24.00	23.58
<u>Promedio</u>	<u>23.55</u>	<u>24.03</u>
80 % d sombra 500 g/charola	26.93	25.00
80 % d sombra 500 g/charola	25.98	24.53
80 % d sombra 500 g/charola	25.50	24.53
<u>Promedio</u>	<u>26.13</u>	<u>24.68</u>

Resultados del Experimento 2 Maíz

Determinación de densidades de siembra y porcentajes de sombreado en forraje verde hidropónico de maíz

Peso de Forraje de Maíz

De acuerdo al análisis de varianza, no existe diferencia significativa en ninguna de las evaluaciones realizadas, y de acuerdo al cuadro de comparación de medias, (Cuadro 15) se observa que en la primera repetición ligeramente se muestra superior el tratamiento de 80% de sombreado; lo cual cambia en la segunda evaluación, donde la malla sombra al 50%, mostró mejores resultados que la de 80% de sombra; y en la tercera evaluación, nuevamente los tratamientos de malla sombra al 50% obtienen ligeramente mejores resultados.

Para el caso de los componentes del factor B (densidad de siembra); en la primera evaluación la diferencia es altamente significativa, ubicando al tratamiento de 1200 g como el mejor, seguido de 1000 g, y 800 g respectivamente, colocando al tratamiento de 600 g como el de menor peso. En la segunda evaluación, nuevamente hay diferencia altamente significativa, mostrando como mejor tratamiento a 1200 g, seguido 1000 g y 800 g, respectivamente; y en la tercera evaluación, existe diferencia altamente significativa, mostrando a los tratamientos de 1200 g y 1000 g como los mejores y dejando al tratamiento de 800 g como el de menor peso. Estos resultados son lógicos, ya que los mayores pesos de forraje, se encuentran en las densidades mayores, donde se puede ubicar mejor la respuesta es en el apartado de eficiencia.

Para el caso de las interacciones A X B, no existe diferencia significativa en ninguna de las tres evaluaciones, sin embargo haciendo un análisis del cuadro de comparación de medias (Cuadro 15), en la primera evaluación, se observa que la respuesta en función del porciento de sombreado es casi

igual en los dos niveles de sombreado, y en cuanto a las densidades, las mayores obtuvieron más peso de forraje. Para el caso de la segunda evaluación, el tratamiento de malla sombra al 80%, se muestra ligeramente mejor que el de malla al 50 %, ya que dos de los tres tratamientos utilizados presentan mayor peso al 80 % de sombra que las densidades colocadas bajo sombra de 50%. Para la tercera evaluación, las densidades colocadas bajo la malla de 80% de sombra presentaron mayor peso que las mismas densidades colocadas bajo la malla al 50%.

En estos resultados de maíz hubo mucha variación en cuanto a rendimiento obtenido en cada evaluación y en general se presentaron muy bajos rendimientos, esto se pudo deber a que las semillas utilizadas en las evaluaciones fueron de procedencias diferentes y de grano comercial no certificado, algunos lotes salieron con muy baja germinación, lo que afecta el rendimiento, además de que venían muy contaminadas y ni con el tratamiento de lavado y desinfección se logró eliminar las contaminaciones por hongos en el forraje, esta contaminación desde etapas muy tempranas provocó que las plantas no se desarrollaran adecuadamente influyendo de manera muy negativa en los rendimientos del forraje.

Es necesario poner énfasis en la calidad del grano de cualquier especie que se trabaje, para evitarse problemas de germinación, contaminación y obtener los mejores rendimientos

Cuadro 15. Comparación de medias de peso de forraje hidropónico de maíz con diferentes densidades de siembra y porcentajes de sombreo.

	Primera Evaluación	Segunda Evaluación	Tercera Evaluación
Cosecha	26 de Abril	17 de mayo	16 de julio
Factor A (nivel de sombreo)			
	Peso del forraje	Peso del forraje	Peso del forraje
Malla 50%	2.497	6.544	2.813
Malla 80%	2.579	6.448	3.563
Significancia	NS	NS	NS
DMS			
Factor B (densidad de siembra)			
1200 g	3.517 A	7.955 A	3.665 A
1000 g	2.936 B	6.388 B	3.544 A
800 g	2.283 C	5.146 C	2.355 B
600 g	1.417 D		
Significancia	**	**	**
DMS	0.304	0.677	0.516
Interacción AXB			
Malla 50% 1200 g	3.525	7.825	3.035
Malla 80% 1200 g	3.509	8.085	4.295
Malla 50% 1000 g	2.936	6.808	3.258
Malla 80% 1000 g	2.937	5.968	3.830
Malla 50% 800 g	2.183	5.000	2.145
Malla 80% 800 g	2.383	5.293	2.565
Malla 50% 600 g	1.347		
Malla 80% 600 g	1.487		
C.V (%)	13.00	9.56	14.86
Significancia	NS	NS	NS

Eficiencia de Conversión Grano- Forraje de Maíz

De acuerdo al análisis de varianza, no existe diferencia estadística significativa de eficiencia de conversión entre los tratamientos, sin embargo se puede observar una diferencia numérica. En cuanto a porcentaje de sombreado, en las tres evaluaciones realizadas se observa una mejor respuesta de eficiencia de conversión de grano a forraje al 80 % de sombreado con respecto al de 50 % (Cuadro 16).

Para los componentes del factor B (densidad de siembra), estadísticamente, existe diferencia altamente significativa sólo en la primera evaluación y no significativa en la segunda y tercera evaluación. En cuanto a densidades de siembra, en general en las tres evaluaciones se observa mejor respuesta de conversión de grano a forraje en la densidad de 1000 g de grano por charola de 0.21 m².

En la interacción A X B, no existe diferencia estadística en ninguna de las tres repeticiones, sin embargo las densidades colocadas bajo malla sombra al 80 % se mostraron se ligeramente superiores en las tres repeticiones, las mejores combinaciones se dan con 1000 g de grano y 80 % de sombreado.

Cuadro 16. Comparación de medias de eficiencia de forraje hidropónico de maíz con diferentes densidades de siembra y porcentajes de sombreo.

	Primera Evaluación	Segunda Evaluación	Tercera Evaluación
Cosecha	26 de Abril	17 de mayo	16 de julio
Factor A (nivel de sombreo)			
	Eficiencia	Eficiencia	Eficiencia
Malla 50%	2.711	6.526	2.821
Malla 80%	2.829	6.440	3.537
Significancia	NS	NS	NS
DMS			
Factor B (densidad de siembra)			
1200 g	2.931 A	6.629	3.053
1000 g	2.936 A	6.388	3.541
800 g	2.853 A	6.433	2.943
600 g	2.362 B		
Significancia	**	NS	NS
DMS	0.299		
Interacción AXB			
Malla 50% 1200 g	2.937	6.521	2.527
Malla 80% 1200 g	2.924	6.738	3.580
Malla 50% 1000 g	2.936	6.808	3.255
Malla 80% 1000 g	2.937	5.968	3.827
Malla 50% 800 g	2.728	6.250	2.682
Malla 80% 800 g	2.978	6.616	3.205
Malla 50% 600 g	2.245		
Malla 80% 600 g	2.479		
C.V (%)	11.71	10.16	16.82
Significancia	NS	NS	NS

Altura de Forraje de Maíz

De acuerdo con el análisis de varianza, y la comparación de medias (Cuadro 17) para los componentes del factor A (nivel de sombreado) no existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos en ninguna de las evaluaciones, pero observando el cuadro de comparación de medias; (Cuadro 17) en la primera evaluación se observa un incremento de altura en las plantas sometidas a nivel de sombreado de 80%, lo cual cambia ligeramente en la segunda evaluación; donde se observa mayor altura en las plantas que se encontraban bajo malla al 50%, y en la tercera evaluación, nuevamente las plantas sometidas a un nivel de sombreado del 80%, presentaron mayor altura.

Para los componentes del factor B (densidad de siembra), existe diferencia estadística significativa en las tres evaluaciones (ver cuadro15), mostrando a los tratamientos 1200 g y 1000 g como los de mayor altura, seguidos del tratamiento de 800 g y dejando al tratamiento de 600 g como el de menor altura alcanzada.

Los resultados muestran que a mayor densidad mayor altura y a mayor sombreado mayor altura, esto está directamente relacionado con la elongación de las plantas cuando las condiciones ambientales son de menor luz como sucede en las plantas colocadas en el invernadero de 80 % de sombra, hay mayor altura de las plantas debido a que las planta se elongan por falta de luz y lógicamente la altura es mayor, lo cual no significa que se obtenga más peso, sino por el contrario, ya que a menor luz hay una menor tasa de acumulación de biomasa por la falta de luz y por lo tanto los pesos pueden ser menores.

En cuanto a las densidades, a medida que éstas son mayores, el número de plantas aumenta dentro de la charola y se sombreadan unas a otras compitiendo por la luz y por lo tanto también tienden a elongarse y ser más altas que en donde hay menores densidades.

En el Cuadro 17 se observan los resultados de las interacciones de sombreado y densidades de siembra, sólo para el caso de la tercer evaluación, de acuerdo al análisis de varianza, existe diferencia significativa, por lo cual de acuerdo a la comparación de medias del factor A (nivel de sombreado), dentro del nivel 1 (1200 g) del factor B (densidad de siembra), la combinación de 1200 g bajo 80% de sombra mostró ser estadísticamente superior a la misma densidad colocada bajo 50% de malla sombra. (Cuadro 19)

En la comparación de medias del factor A (nivel de sombreado), dentro del nivel 2 (1000 g) del factor B (densidad de siembra), muestra que la altura mayor se obtiene en la combinación de 1000 g de grano y 80 % de sombra. (Cuadro 20).

En el caso de comparación de medias del factor B (densidad de siembra), dentro del nivel 1 del factor A (50 % de sombreado), la combinación de 1000 g de grano y 50% de malla sombra, mostró ser estadísticamente superior al resto de las densidades colocadas bajo el mismo nivel de sombreado (Cuadro 21).

En la comparación de medias del factor B (densidad de siembra), dentro del nivel 2 del factor A (80 % de sombreado), las densidades utilizadas se comportaron igual bajo el nivel de sombreado de 80 %(Cuadro 22).

Según el cuadro de comparación de medias del factor A (nivel de sombreado), dentro del nivel 3 (800 g) del factor B (densidad de siembra), la combinación de 800 g y 80% de malla sombra, mostró ser estadísticamente superior a la combinación de 800 g y malla sombra al 50% (Cuadro 23).

Cuadro 17 Comparación de medias de altura de forraje hidropónico de maíz con diferentes densidades de siembra y porcentajes de sombreo.

	Primera Evaluación	Segunda Evaluación	Tercera Evaluación
Cosecha	26 de Abril	17 de mayo	16 de julio
Factor A (nivel de sombreo)			
	Altura	Altura	Altura
Malla 50%	8.605	24.366	18.333
Malla 80%	9.100	24.016	22.324
Significancia	NS	NS	NS
DMS			
Factor B (densidad de siembra)			
1200 g	9.440 A	26.181 A	19.912 B
1000 g	9.180 A	23.775 B	22.850 A
800 g	8.780 AB	22.618 C	18.225 B
600 g	8.010 B		
Significancia	*	**	**
DMS	0.969	0.966	1.903
Interacción AXB			
Malla 50% 1200 g	9.520	26.312	16.950
Malla 80% 1200 g	9.360	26.050	22.875
Malla 50% 1000 g	9.080	24.100	22.350
Malla 80% 1000 g	9.280	23.450	23.350
Malla 50% 800 g	8.300	22.687	15.700
Malla 80% 800 g	9.260	22.550	20.750
Malla 50% 600 g	7.520		
Malla 80% 600 g	8.500		
C.V (%)	11.87	3.67	8.59
Significancia	NS	NS	*

Contenido de Proteína

Los resultados de los análisis bromatológicos del forraje verde hidropónico del maíz, (Cuadro 18) muestra que sí existió una influencia notable de la luz sobre la síntesis y acumulación de proteínas. Podemos notar claramente como las plantas que se encontraban en el invernadero con malla, al 80 % fueron las que tuvieron un alto contenido de proteínas.

Esto puede deberse a que las plantas que se encontraban en el invernadero con malla al 80 % tenían mejores condiciones ambientales tales como; menor radiación y por consiguiente una menor temperatura no gastaban su energía en la respiración ni en la transpiración lo que les permitía realizar de manera más eficiente el proceso de síntesis de proteínas.

Rodríguez (2003) menciona que el FVH es de alta palatabilidad y calidad

Los resultados obtenidos tanto en peso, altura y contenido de proteína coinciden con los encontrados por De León (2005), quien concluye que el sombreado favorece la producción y contenido de proteína en el forraje, además de afectar favorablemente la altura del forraje.

Cuadro 18. Contenido de proteína del forraje verde hidropónico obtenido de la semilla de maíz a los 8 y 15 días de crecimiento

Muestra		Contenido de proteína (%)			
		Segunda Evaluación		Tercera Evaluación	
sombra	densidad	8 días de crecimiento	15 días de crecimiento	8 días de crecimiento	15 días de crecimiento
50%	800	22.37	22.0	20.0	19.9
	1000	21.87	21.75	20.9	19.4
	1200	21.43	21.81	20.0	19.9
	promedio	21.89	21.85	20.3	19.73
80%	800	23.75	20.68	21.5	20.9
	1000	23.31	20.62	21.5	21.5
	1200	23.75	20.62	22.0	20.9
	promedio	23.60	20.64	21.66	21.1

Cuadro 19. Comparación de medias del factor A dentro del nivel 1 del factor B

Tratamiento	Media
80 % de sombra con 1200 g	22.8750 A
50 % de sombra con 1200 g	16.9500 B
Nivel de Significancia = 0.05	
DMS = 4.8035	

Cuadro 20. Comparación de medias del factor A dentro del nivel 2 del factor B

Tratamiento	Media
80 % de sombra con 1000 g	23.3500 A
50 % de sombra con 1000 g	22.3500 A
Nivel de Significancia = 0.05	
DMS = 4.8035	

Cuadro 21. Comparación de medias del factor B dentro del nivel 1 del factor A

Tratamiento	Media
1000 g con 50 % de sombra	22.3500 A
1200 g con 50 % de sombra	16.9500 B
800 g con 50 % de sombra	15.700 0B
Nivel de Significancia = 0.05	
DMS = 2.6917	

Cuadro 22. Comparación de medias del factor B dentro del nivel 2 del factor A

Tratamiento	Media
1000 g con 80 % de sombra	23.3500 A
1200 g con 80 % de sombra	22.8750 A
800 g con 80 % de sombra	20.7500 A
Nivel de Significancia = 0.05	
DMS = 2.6917	

Cuadro 23. Comparación de medias del factor B dentro del nivel 3 del factor A

Tratamiento	Media
80 % de sombra con 800g	20.7500 A
50 % de sombra con 800 g	15.7000 B
Nivel de Significancia = 0.05	
DMS = 4.8035	

Hongos y Bacterias Presentes en los Forrajes Hidropónicos

Se realizaron determinaciones de cargas patogénicas a diferentes forrajes evaluados durante el proyecto, (Cuadro 24), encontrándose generalmente presentes diferentes tipos de hongos, pero de todos algunos son los que pueden presentar más problemas en los animales que los consumen, ya que producen algunas micotoxinas que pueden ser muy dañinas para los animales, principalmente para los animales que no son rumiantes, como los equinos y los porcinos.

No se encontraron contaminaciones por bacterias en los forrajes producidos.

El problema con la contaminación con hongos viene desde la semilla, se analizaron algunas de las semillas utilizadas en la producción del forraje y en estas estaban presentes algunos de los hongos que posteriormente se detectaron en los forrajes, por lo que el problema se genera desde el campo

de producción de grano y las esporas no se eliminan fácilmente o totalmente con los procedimientos del lavado y desinfección de semillas

El problema de la contaminación del forraje con hongos fue uno de los problemas más difíciles de tratar y no se ha podido eliminar por completo, por lo que es necesario seguir investigando para poder eliminar este problema, que puede disminuir con el manejo del riego y la ventilación.

Cuadro 24: Hongos presentes en el forraje hidropónico de maíz y avena

Grano	Hongos presentes
Forraje hidropónico de maíz	<i>Fusarium miniliforme</i> , <i>Fusarium culmorum</i> , <i>Fusarium solani</i> , <i>Fusarium oxysporum</i> , <i>Rhizopus sp</i>
Forraje hidropónico de avena	<i>Fusarium miniliforme</i> , <i>Rhizopus sp</i> , <i>Alternaria sp</i> , <i>Mucor sp</i>

CONCLUSIONES

En este trabajo se cumplieron las dos hipótesis: las densidades más grandes produjeron mayor cantidad de forraje, y éste fue afectado por la cantidad de sombreo.

En el caso del FVH de avena, los mejores resultados se observaron a la densidad de siembra de 500 g de grano / charola de 0.21 m², y el nivel de sombreo recomendado para este cultivo es de 50 %, ya que bajo este nivel de sombra se presentaron los mejores resultados de peso de forraje, eficiencia de conversión grano – forraje y contenido de proteína.

Para el caso de FVH de maíz, la densidad de 1000 g de grano / charola de 0.21 m², presentó los mejores resultados para eficiencia de conversión grano – forraje, altura, y contenido de proteína, y en el caso del nivel de sombreo, los menores resultados se observaron con el tratamiento de 80 %, a diferencia de la avena.

La producción de FVH, es una muy buena opción para la alimentación animal, con posibles aplicaciones en la alimentación humana, y es necesario realizar investigaciones al respecto, principalmente en la presentación del producto.

BIBLIOGRAFIA

- Andrade C.A. 2003. Efecto de la Densidad de Siembra en la Producción de Forraje Verde Hidropónico en Cebada, Trigo y Triticale. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila México.
- Arano R. C .1998 Forraje verde hidropónico y otras técnicas de cultivo. pp 143-150
- Bravo R. M. R. 1988. Niveles de Avena Hidropónica en la Alimentación de Conejos Angora. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de Concepción, Sede Chillán, Chile.
- Cantú B.J.E.1985. Apuntes de Cultivos Forrajeros. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Torreón Coahuila.
- Carámbula M. 1977 Producción y Manejo de Pasturas Sembradas. Editorial Hemisferio Sur. Uruguay
- Carámbula M; Terra, J. 2000. Alternativas de Manejo de Pasturas Post-sequia. Revista Plan Agropecuario N° 91. Montevideo, Uruguay.
- Centro de Investigaciones Agrarias (CIA). 1980. .El Cultivo del Maíz en México. Centro de Investigaciones Agrarias. México
- Coljap. 1997. Aprende Fácil Cultivos Hidropónicos No. 9. Ediciones Culturales Ver Ltda. Pp. 137-142.
- Daubenmire R. F. 1990. Ecología Vegetal (Tratado de Autoecología de Plantas). Editorial Limusa S.A de C.V México D.F
- De La Cruz B.J.A.2000. Un Sistema de Producción de Plantas. Hidroponía, Principios y Métodos. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila.

- De la Torre M. F. 2005. Determinación de fertilización óptima e influencia de la radiación solar para la producción de forraje verde hidropónico de trigo (*Triticum aestivum* L) en invernaderos tipo túnel. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- De León P. M. 2005. Influencia del sombreado y la Fertilización Sobre el Crecimiento y Productividad de Forraje Verde Hidropónico de Maíz. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Delorit R. J. 1985. Producción Agrícola Compañía Editorial Continental S.A de CV. México D.F.
- Denly M. y Pérez J. F. 2006. Contaminación por micotoxinas en los piensos. Efectos, tratamientos y prevención. XXII Curso de Especialización de Fundación Española para el desarrollo de la nutrición animal (FEDNA). Barcelona, España.
- Duthil J. 1976. Producción de Forrajes. Ediciones Mundi-prensa. 3era Edición. Madrid España.
- Edmond J. C, Senn. T.L y Andrews F.S.1967. Principios de Horticultura. Tercera Edición. Octava Reimpresión. Compañía Editorial Continental. S.A de CV
- FAO 2001. Forraje Verde Hidropónico. Manual Técnico. Mejoramiento de la Disponibilidad de Alimento en los Centros de Desarrollo Infantil del Infa. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile. [Http://Www.Rlc.Fao.Org/Prior/Segalim/Pdf/1.Pdf](http://www.Rlc.Fao.Org/Prior/Segalim/Pdf/1.Pdf)
- Fernández A., A Loste, T. Sáenz., J.J. Ramos 2002. Principales micotoxinas en el ganado ovino. Revista pequeños rumiantes, 3,3 pp. 8-13

- García A. J. C. 2004. Evaluación de forraje verde hidropónico en tres especies forrajeras (cebada, trigo y triticale), bajo condiciones de invernadero. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Guerrero G.A. 1999. Cultivos Herbáceos Extensivos. Ediciones Mundiprensa. 2da Edición. Madrid España.
- Guzmán R. Y. A. 2006. Determinación de la densidad de siembra y dosis de fertilización para la producción de forraje verde hidropónico de trigo (*Triticum aestivum* L) y triticale (*X. triticosecale* W) bajo dos condiciones de luz. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila México.
- Halfacre R.G y J.A Barden. 1992. Horticultura. Primera Reimpresión. Editorial Agt. Editor, S.A.
- Hidalgo M. L. R. 1985. Producción de Forraje en Condición de Hidroponía 1. Evaluaciones Preliminares en Avena y Triticale. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de Concepción. Sede Chillán, Chile.
- Hughes. H.D, E. Heath, M, Metcalfe y S. Darrel. 1981. Forrajes. Compañía Editorial Continental. S A De C V, México
- Jaramillo V. V. 1992. La Importancia Forrajera Del Maíz. Secretaria De Agricultura Y Recursos Hidráulicos. México.
- Jiménez M. A. 2001. Conservación de Forraje para la Alimentación del Ganado. Universidad Autónoma de Chapingo. México
- Lawlor P. G and P. B. Lynch (2001), Mycotoxins in pigs' feeds 2: Clinical Aspects. Irish Veterinary Journal Vol. 54(4) pp.172-176

- Lawlor P. G. and P. B Lynch. (2001), Mycotoxins in pigs feeds 1: Source of toxins prevention and management of myotoxicosis. Irish Veterinary Journal, Vol. 54, (3) pp. 19-29
- Lesur L. (Coord.). 2005 .Manual del Cultivo del Maíz. Una Guía Paso a Paso. Editorial Trillas, México. D.F
- Lomelí Z. H. 2000. Agricultura. México
- López B. L. 1991. Cultivos Herbáceos; Cereales. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid España
- Martínez, G. M. A. 2000. Efecto de la Malla-Sombra en la Calidad y Rendimiento de Chile Pimiento y Chile Anaheim (*Capsicum annum* L.) Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México
- Marulanda C.; Izquierdo, J. 1993. Manual Técnico "La Huerta Hidropónica Popular". FAO. PNUD. Santiago, Chile.
- Monney J. 2002. Growing Cattle Feed Hydroponically. Meat Livestock. Australia
- Morales O. A. F. 1987. Forraje Hidropónico y su Utilización en la Alimentación de Corderos Precozmente Destetados. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de Concepción. Sede Chillán, Chile.
- Pérez G. F. y Martínez. J.B 1994. Introducción a la Fisiología Vegetal. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Pérez L. N. 1987. Efecto de la Sustitución del Concentrado por Forraje Obtenido en Condiciones de Hidroponía en una Crianza Artificial de Terneros. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de Concepción. Sede Chillán, Chile

- Poehlman J.M.1986. Mejoramiento Genético de las Cosechas. Editorial Limusa. México. D.F
- Resh H. M. 2001. Cultivos Hidropónicos: Nuevas Técnicas de Producción. Ediciones Mundi-Prensa. México D.F
- Robles S. R. 1979 Producción de Granos y Forrajes. Ediciones Limusa, México.
- Rodríguez S. A. C. 2003. Como Producir con Facilidad, Rapidez y Óptimos Resultados Forraje Verde Hidropónico. Editorial Diana. México. D.F
- Salisbury F. B.1994. Fisiología Vegetal, Grupo Editorial Iberoamérica, México D.F
- Samperio R. G. 1999 Hidroponía Comercial. Editorial Diana. México, 1999.
- Samperio R. G. 2004. Un Paso Más en la Hidroponía. Editorial Diana México. D.F
- Samperio R. G.1997. Hidroponía Básica. Editorial Diana. México. D.F
- Sánchez, A. 1996 – 1997. Informes Técnicos de Estadía. Informes Internos de la Dirección Nacional de Empleo (DINAE – Ministerio de Trabajo y Seguridad Social). Montevideo, Uruguay.
- Scudamore, K. and Ch. Livesley.1998. Occurrence and Significance of Mycotoxins in Forage Crops and Silage: a Review. J Sci Food Agric Vol.77 pp 1-17
- Secretaría de Educación Pública.1999. Manuales Para Educación Agropecuaria: Cultivos Forrajeros Editorial: Trillas. México
- Secretaría de Educación Pública.1999. Manuales para Educación Agropecuaria: Maíz. Editorial: Trillas. México

Serrano C.Z .1979. Cultivo de las Hortalizas en Invernaderos. Primera Edición. Editorial Aedos.- Barcelona. España.

Valdivia B. E. 1996. Producción de Forraje Verde Hidropónico. Conferencia Internacional en Hidroponía Comercial. 6 Al 8 de Agosto de 1997. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.

Walton, E.V. 1962. Cosechas Productivas. Compañía Editorial Continental S.A de C.V. México, D.F.

Wilson, H. K. 1981. Producción de Cosechas. Compañía Editorial Continental S.A de CV. México, D.F.

www.coahuila.gob.mx/conozca/hub.php/generalidades/actividades-economicas/index.htm

www.coahuila.gob.mx/conozca/hub.php/generalidades/desc-edo/index.htm

Yiannikouris, A. & Jouany J. P. 2002. Mycotoxins In feeds and their fate in animals: a review Anim. Res. Vol. 51 pp. 81-99.