

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”**

**DIVISIÓN DE AGRONOMÍA**



**Influencia del Sombreado y la Fertilización sobre el  
Crecimiento y Productividad del Forraje Verde  
Hidropónico de Maíz (*Zea mays* L.).**

**Por:**

**Melesio de León Pérez**

**Presentada Como Requisito Parcial para Obtener el Título  
de:**

**Ingeniero Agrónomo en Producción**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.**

**Noviembre de 2005**

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A DIOS**

Por darme la oportunidad de vivir y ver realizado uno de mis sueños en compañía de mis seres queridos, al guiarme y protegerme durante el camino andado.

### **A MI “ALMA MATER”**

Por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente y albergarme en sus instalaciones durante mi estancia en ella.

### **A LA M. C. BIOL. MARÍA ROSARIO QUEZADA MARTÍN**

Por haberme brindado su tiempo y confianza, así como la excelente dirección en la realización de este trabajo de tesis, y por brindarme su amistad.

### **AL ING. JOSÉ ÁNGEL DE LA CRUZ BRETÓN**

Por el tiempo y la dedicación para la realización de este trabajo.

### **A MIS SINODALES**

**Ing. René A. de la Cruz Rodríguez**

**M. C. Carlos I. Suárez Flores**

Por su colaboración y valiosa participación para hacer posible este trabajo de tesis.

**A LA M. C. JUANITA FLORES VELÁZQUEZ**

Por la ayuda que me dio durante el trabajo experimental y por su valiosa colaboración en la revisión de este trabajo.

**A LA Q. F. B. NOEMÍ CANTÚ GONZÁLEZ**

Por su participación en parte del trabajo experimental de ésta tesis.

**A LA LIC. LAURA OLIVIA FUENTES LARA Y AL T. L. Q. CARLOS A.  
ARÉVALO SANMIGUEL**

Por su apoyo en el trabajo de laboratorio que permitió concluirlo satisfactoriamente.

**A LAS PERSONAS QUE LABORAN EN DEPARTAMENTO DE  
AGROPLÁSTICOS DEL CIQA:**

Al M. C. Boanerges, al Ing. Felipe, a los señores Gregorio, Arturo y Jacobo por su apoyo y amistad.

**AL CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA (CIQA)**

Gran Institución que me permitió realizar este trabajo en sus instalaciones y por todo el apoyo que me proporcionó.

**AL CONSEJO ESTATAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (COECYT) DE  
COAHUILA**

Por la confianza y el apoyo económico para la realización de mi tesis, pieza clave para la culminación de una de mis metas.

## *DEDICATORIAS*

*El presente trabajo lo dedico a todos mis seres queridos que de alguna u otra forma me han apoyado, haciendo posible la culminación de mis estudios profesionales.*

*A MI MADRE:*

*SRA. BRUNA PÉREZ RODRÍGUEZ*

*Quien no conforme con darme la vida supo ser padre y madre para mi y para mis hermanos y que con su amor infinito diario supo guiarnos por un camino correcto.*

*A MIS HERMANOS:*

*EYRA*

*MAGALI*

*EDGAR FRANCISCO*

*JHAIR ELEAZAR*

*Y ALEXIS*

*Por el gran apoyo y cariño que siempre he recibido de ellos y por la armonía familiar que nos une.*

*A MIS TÍOS:*

*APOLONIA Y JOSÉ*

*Por su apoyo incondicional, educación y cariño que me fortalecieron para superar las adversidades y gracias a ello he podido lograr una meta más en la vida.*

*A MIS ABUELOS:*

*CELINA Y FRANCISCO*

*Por todo su apoyo a lo largo de mi vida y por sus sabios consejos que han servido para guiar mis pasos.*

*A MIS PRIMOS*

*YURIDIA Y JOSÉ ANDRÉS*

*A TODAS AQUELLAS PERSONAS QUE POR SU CARIÑO, COMPAÑÍA, AMISTAD Y CERCANÍA, ME IMPULSAN A SEGUIR ADELANTE...*

*iii GRACIAS !!!*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS .....	I
DEDICATORIA .....	III
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	V
ÍNDICE DE CUADROS.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
INTRODUCCIÓN .....	1
OBJETIVO.....	3
HIPÓTESIS.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Generalidades de la Radiación Solar .....	4
Importancia de la Radiación en las plantas .....	4
Fotosíntesis.....	6
Relación de las Propiedades de la Luz con la Fotosíntesis .....	6
Generalidades de la Malla Sombra .....	8
Historia.....	8
Características de las Mallas sombras.....	8
Uso de Mallas en la Agricultura.....	8
Ventajas de la Malla sombra .....	9
Hidroponía .....	10
Importancia .....	10
Justificación de la Implantación del Cultivo Hidropónico.....	11
Nutrición Mineral e Hidroponia.....	12
La Solución Nutritiva.....	12
Forraje Verde Hidropónico.....	14
Ventajas en la producción de FVH .....	15
Desventajas en la producción de FVH .....	20
Fisiología de la producción de FVH .....	20
Características del FVH .....	22
Proceso de producción de FVH.....	26

Selección de las especies de granos utilizados en FVH.....	26
Selección de la semilla.....	26
Lavado y desinfección .....	27
Remojo y germinación de las semillas .....	27
Dosis de siembra.....	29
Siembra en las bandejas.....	29
Riego de las bandejas.....	30
Riego con solución nutritiva.....	30
Efectos de la fertilización nitrogenada .....	32
Cosecha y rendimientos .....	32
Factores que influyen en la producción de FVH .....	35
Investigaciones realizadas para la producción de FVH.....	43
Enfermedades en la producción de FVH.....	43
Características del invernadero para producción de FVH.....	46
MATERIALES Y MÉTODOS .....	48
Localización Geográfica de Área de Estudio .....	48
Características del Sitio Experimental.....	48
Material Vegetal .....	48
Material de Campo .....	49
Diseño Experimental .....	49
Descripción de los tratamientos.....	49
Construcción de Invernaderos .....	50
Pruebas de Desinfección de la Semilla.....	51
Tratamientos para el lavado .....	51
Tratamientos para el tiempo de desinfección.....	51
Tratamientos para el tiempo de remojo.....	51
Proceso de producción de FVH de Maíz.....	52
Pesado y desinfección .....	52
Remojo .....	52
Brotación.....	53
Siembra .....	53
Riego .....	53
Fertilización.....	53

Aplicación del fertilizante .....	54
Parcela experimental .....	54
Muestras .....	56
Medición de los Factores Ambientales en el Desarrollo del Forraje .....	56
Variables evaluadas.....	56
Altura de planta .....	56
Área foliar de planta.....	57
Peso seco total de la planta.....	57
Índices de crecimiento.....	57
Coeficiente de partición de biomasa (CPB).....	57
Tasa de crecimiento relativo (TCR) .....	58
Tasa de asimilación neta (TAN) .....	58
Razón de área foliar (RAF).....	59
Razón de peso foliar (RPF).....	59
Área foliar específica (AFE).....	60
Contenido nutricional del forraje .....	60
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	62
CONCLUSIONES .....	89
RECOMENDACIONES .....	90
BIBLIOGRAFÍA .....	91
CONCLUSIONES .....	88
BIBLIOGRAFÍA .....	89

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.1</b> Elementos necesarios para formular una solución nutritiva y rangos de concentración.....	13
<b>Cuadro 1.2</b> Empleo del cultivo tradicional en la producción de forrajes y su gasto de agua .....	16
<b>Cuadro 1.3</b> Comparación entre FVH de maíz y trigo en relación a alfalfa fresca y seca .....	17
<b>Cuadro 1.4</b> Comparativo de raciones forrajeras de diferentes tipos de forrajes.....	25
<b>Cuadro 1.5</b> Contenido nutricional por cada kilogramo de FVH.....	25
<b>Cuadro 1.6</b> Composición de una solución nutritiva apta para producción de FVH.....	31
<b>Cuadro 1.7</b> Solución concentrada “A” para la obtención de la solución nutritiva de la FAO.....	31
<b>Cuadro 1.8</b> Solución concentrada “B” para la obtención de la solución nutritiva de la FAO.....	32
<b>Cuadro 2.1</b> Dosis de fertilización (tratamientos) aplicados al riego de FVH de maíz .....	54
<b>Cuadro 3.1</b> Comparación de diferentes concentraciones de hipoclorito de sodio, tiempo óptimo de inmersión para la desinfección y horas de remojo requeridas en las semillas de maíz, para la producción de FVH.....	63
<b>Cuadro 3.2</b> Medias de altura de plantas de maíz, como forraje verde hidropónico .....	64
<b>Cuadro 3.3</b> Medias de área foliar de plantas de maíz, como forraje verde hidropónico .....	66
<b>Cuadro 3.4</b> Medias de peso seco total de plantas de maíz, como forraje verde hidropónico.....	68
<b>Cuadro 3.5</b> Medias de tasa de asimilación neta (TAN) de plantas de maíz, como forraje verde hidropónico.....	70

<b>Cuadro 3.6</b> Medias de la tasa de crecimiento relativo (TCR) del vástago de plantas de maíz, como forraje verde hidropónico .....	72
<b>Cuadro 3.7</b> Medias de la tasa de crecimiento relativo (TCR) de las hojas de plantas de maíz, como forraje verde hidropónico .....	73
<b>Cuadro 3.8</b> Medias de la tasa de crecimiento relativo (TCR) del tallo de plantas de maíz, como forraje verde hidropónico .....	75
<b>Cuadro 3.9</b> Medias de la razón de área foliar (RAF) de plantas de maíz, como forraje verde hidropónico .....	77
<b>Cuadro 3.10</b> Medias de la razón de peso foliar (RPF) de plantas de maíz, como forraje verde hidropónico .....	78
<b>Cuadro 3.11</b> Medias del área foliar específica (AFE) de plantas de maíz, como forraje verde hidropónico .....	80
<b>Cuadro 3.12</b> Medias del coeficiente de partición de biomasa (CPB) de las hojas de plantas de maíz, como forraje verde hidropónico .....	81
<b>Cuadro 3.13</b> Medias del coeficiente de partición de biomasa (CPB) del tallo de las plantas de maíz, como forraje verde hidropónico .....	82
<b>Cuadro 3.14</b> Análisis bromatológico del forraje verde hidropónico de maíz a los 16 días después de la siembra .....	84
<b>Cuadro 3.15</b> Medias de porcentajes de proteínas en forraje verde hidropónico (hojas y tallos de maíz) .....	84

## INTRODUCCIÓN

México cuenta con diferentes tipos de climas, algunas de ellas son las zonas áridas y semiáridas, las cuales ocupan una gran parte de nuestro territorio; aquí las actividades agropecuarias enfrentan numerosos problemas, uno de ellos es la baja producción de forraje para la actividad ganadera. Este problema se debe a que las lluvias son escasas, o mejor dicho a que el recurso agua es muy limitado y porque los suelos se caracterizan por ser muy pobres. Esto trae como consecuencia que la disponibilidad de forraje se vea afectada, es decir, en ciertos periodos el forraje producido no es suficiente en cantidad o calidad para satisfacer la demanda o las necesidades de los productores, por lo que éstos se ven afectados al reducir su producción de ganado, por lo que se ven obligados a buscar otras fuentes de abastecimiento trayendo como consecuencia una afectación en su economía.

Al pensar en satisfacer la demanda de leche y carne en México, es preciso proveer al ganado con una alimentación abundante y balanceada para aumentar la productividad animal, por lo que se deben buscar alternativas para aumentar y mejorar considerablemente la calidad del alimento.

Una alternativa viable para obtener forraje verde con buen valor nutritivo es por medio de producción hidropónica, utilizando grano forrajero de rápido desarrollo como el maíz, trigo, sorgo, cebada, centeno, etc. y con técnicas sencillas y económicas. Según estudios realizados por Arano (1998) y por Rodríguez S. (2003) se puede producir forraje verde hidropónico de maíz en el período de verano y trigo en el de invierno con buenos resultados en un lapso de 14 días, obteniéndose 10 kg. de forraje por kg. de semilla utilizada, lo que representa una buena opción para producir forraje hidropónico en túneles sencillos con poco agua y en forma continua o en períodos de escasez de alimento, pudiendo utilizar también los túneles para producir hortalizas para alimento de la comunidad en el tiempo que este no esté en producción de forraje.

Existe pocas metodologías disponibles en México para la producción de forraje hidropónico en forma sencilla, y existe poca información sobre este tema, sin embargo es una necesidad para beneficio de los productores de leche y carne por lo que es prioritario desarrollar una metodología que permita producir forraje en forma masiva mediante el uso adecuado del recurso agua.

## **OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar una metodología que permita producir forraje verde hidropónico de alta calidad para la alimentación del ganado, sobre todo en épocas de sequía y en lugares donde los recursos son limitados.

## **OBJETIVO PARTICULAR**

Determinar cómo influye la radiación solar en la producción de forraje verde hidropónico para lograr manejar o controlar este factor durante el proceso de producción con el objetivo de obtener altos rendimientos y de buena calidad.

Conocer el efecto que tiene la fertilización en el crecimiento y desarrollo del Forraje Verde Hidropónico.

## **HIPÓTESIS**

El sombreado y la fertilización influye en el crecimiento, desarrollo, acumulación de biomasa y contenido nutrimental, en la producción de Forraje Verde Hidropónico de maíz.

## **REVISIÓN DE LITERATURA**

### **Generalidades de la Radiación Solar**

La energía que reciben las plantas proviene esencialmente del sol y representa una fuente para poder realizar su proceso fotosintético. Todas las manifestaciones climáticas de la atmósfera tienen su causa primaria en la energía solar recibida por la tierra. Esta energía viaja a través del espacio en forma de radiación electromagnética. La radiación solar se transmite como luz y energía en forma de ondas electromagnéticas cuyas longitudes de onda  $\lambda$  corresponden a las diferencias entre dos puntos correspondientes de ondas adyacentes (cm./onda) y en frecuencia  $\nu$  que corresponden al número de ondas que pasan cada segundo por un punto determinado (onda/s). El conjunto de la radiación electromagnética tiene características ondulatorias y se desplaza a una misma velocidad de  $3 \times 10^8$  m/s (Torres, 1995).

La energía emitida por el sol no permanece estática al llegar a la superficie terrestre, sino que está en constante movimiento y/o transformación. Una parte de la energía solar recibida por la tierra no es absorbida, sino que se refleja y vuelve a la atmósfera (albedo). La energía luminosa (luz visible) es absorbida por los pigmentos clorofílicos de las plantas verdes, y utilizada para realizar fotosíntesis. La energía calorífica (rayos infrarrojos) es absorbida en parte por el agua de los tejidos vegetales, produciéndose el fenómeno de evaporación (transpiración); la otra parte es absorbida por el suelo calentándolo y evaporando el agua contenida en él (Torres, 1995).

### **Importancia de la Radiación en las Plantas**

La luminosidad tiene una importancia decisiva en todos los procesos vitales de los vegetales. Algunas funciones más importante en el desarrollo de las plantas son debidas a la energía luminosa (Serrano, 1990 citado por Moreno 2000). Es importante además de la calidad (longitud de onda), la cantidad (intensidad) del flujo de radiación, ya que la transferencia de vapor de agua en la transpiración, el

consumo de CO<sub>2</sub> y el transporte de nutrientes están directamente correlacionados con la cantidad de radiación neta (Torres, 1995).

Desde el punto de vista de la influencia de la radiación solar sobre las plantas, los aspectos más importantes que deben destacarse son: la intensidad, duración y calidad de luz, mereciendo una atención especial la fotosíntesis, proceso principal en el crecimiento de las plantas, ligado íntimamente a la intensidad de la luz. Considerando la totalidad de la radiación solar, un 9% corresponde al ultravioleta y un 46% al infrarrojo. El 45% restante se encuentra en el espectro visible con una intensidad máxima en las proximidades de las 474  $\mu\text{m}$  -porción azul-amarillo del espectro- (Zarca,1992).

Las plantas funcionan o “trabajan” con energía solar. Todas las plantas captan la energía del sol y la transforman en sustancias que directa o indirectamente alimentan a la mayoría de las otras formas de vida en la tierra. Debido a esto. El destino de una semilla germinada, o de una futura planta depende no solamente de la intensidad de la luz, sino también de la calidad de la luz que recibe la plántula, y de esta calidad depende el tamaño de la planta adulta, la cantidad de hojas, el principio de la floración, de la fructificación y de la senescencia, siendo de esta manera la luz la que determina todos los aspectos de la vida vegetal, según el proceso de fotomorfogénesis (Zarca, 1992).

La radiación solar es la fuente de energía para la fotosíntesis, primer proceso en las plantas verdes, usado para convertir el CO<sub>2</sub> y agua en azúcares simples. Otras plantas convierten en el proceso inicial, el producto de fotosíntesis en materia seca incluyendo carbohidratos, proteínas y aceites. La radiación solar es aprovechada como fuente de energía por las plantas, sólo cuando interactúa con las hojas. En una buena producción, con un adecuado abastecimiento de agua, la producción de materia seca es proporcional a la radiación interceptada por el dosel. De esta manera, los componentes importantes de crecimiento y producción son la cantidad y duración de la planta en la superficie, útil durante la fotosíntesis (Daughtry *et al.*, 1982 citado por Moreno, 2000).

## **Fotosíntesis**

La fotosíntesis es el proceso por el cual las plantas captan la energía solar y la utilizan para fabricar moléculas orgánicas a partir de bióxido de carbono y agua. Durante este proceso se libera oxígeno. Por lo tanto, casi todos los organismos dependen en última instancia de este proceso para proveerse de energía, nutrimento y oxígeno. Sin la fotosíntesis, casi toda la vida de nuestro planeta se acabaría. Las células vegetales en las que se lleva a cabo la fotosíntesis tienen organelos especializados llamados cloroplastos, los cuales contienen clorofila y otros pigmentos, que absorben la luz de ciertas longitudes de onda. Los cloroplastos de una planta suelen estar concentrados en las células de las hojas que reciben la máxima cantidad de luz (Enciclopedia metódica, 1998 citado por Moreno 2000).

La extensión en que se realiza la fotosíntesis en una planta depende de una serie de factores internos y externos. Los principales factores internos son la estructura de la hoja y su contenido de clorofila, la acumulación de los productos de la fotosíntesis en las células de las partes verdes de las plantas y la presencia de pequeñas cantidades de sales minerales. Los factores externos son la calidad y cantidad de luz incidente en las hojas, la temperatura ambiente y la concentración de dióxido de carbono y oxígeno en la atmósfera envolvente (Enciclopedia metódica, 1998 citado por Moreno 2000).

## **Relación de la Luz con la Fotosíntesis**

La mayor eficacia fotosintética se obtiene, en general, a baja intensidad luminosa de 10,000 a 20,000 lux, correspondientes a 0.15-0.3 cal/cm<sup>2</sup>/min. Cuando la intensidad luminosa está por encima de 5,000 lux se realiza la fotosíntesis, por debajo de esa cantidad de luz hay necesidad de restablecer la iluminación si se requiere que la fotosíntesis siga su proceso.

La mayor parte de los vegetales detiene su desarrollo vegetativo cuando la iluminación está por debajo de 1,000-2,000 lux. La cantidad de luz solar que llega en un día claro en muchos puntos de la Tierra sobrepasa los 110,000 lux que

corresponden a una radiación global de  $1.4 \text{ cal/cm}^2/\text{min.}$ , con este exceso de luz y calor, se dan algunos fenómenos negativos como la saturación en la velocidad de fotosíntesis. Si la intensidad luminosa es muy elevada, más de 100,000 lux, produce una reducción en la asimilación fotosintética (Serrano, 1970 y Halfacre, 1992 citado por Martínez, 2000).

Aproximadamente el 90% de la materia seca de las plantas superiores está formada por compuestos de carbono derivados de la fotosíntesis, siendo éste el proceso por el cual las plantas sintetizan compuestos orgánicos (hidratos de carbono) a partir de sustancias inorgánicas como el dióxido de carbono y agua en presencia de la luz solar. Si para la realización de la fotosíntesis se utilizara toda la energía procedente del Sol, la producción vegetal sería muy alta; pero, por una parte, los pigmentos fotosintéticos sólo absorben las longitudes de ondas comprendidas entre 400 y 700 nm. (corresponde a un 41% de la radiación global). Además, también, se pierde un 8% de la radiación total por efecto de la reflexión por la superficie foliar y otro 10% se inactiva al ser absorbida por pigmentos no fotosintéticos, paredes celulares, etc. A todas estas pérdidas debe sumarse la producida por la respiración de los vegetales, que viene a representar otro 33%. De este cálculo se deduce que el límite máximo teórico de productividad corresponde a una utilización bastante moderada de la energía global 12-13%, que en la práctica siempre es menor. Según el mecanismo interno de asimilación utilizado por las plantas, el exceso de radiación afecta con mayor o menor intensidad al proceso de fotosíntesis (Biblioteca Práctica Agrícola y Ganadera, 1990 citado por Moreno 2000).

Ludlow (1982), citado por Moreno, 2000 establece algunas relaciones entre el microclima, las plantas y el agua, en el caso de la radiación solar menciona que es una fuerza que induce la fotosíntesis y el crecimiento de las plantas. La cantidad de radiación recibida establece el límite máximo de la producción de biomasa y determina la distribución ecológica de las plantas ya que influye en su balance de energía y temperatura.

## **Generalidades de la Mallas Sombra**

### **Historia**

El uso de mallas tuvo su origen en Inglaterra, pasando a América posteriormente, teniendo en México pocos años de ser utilizadas. Fueron desarrollados con la finalidad de evitar el deterioro de los cultivos hortícolas y particularmente el de la fruta por la incidencia de granizada (Díaz, 1984 citado por Martínez 2000).

### **Características y Cualidades de la Malla Sombra**

El carbono es la base química de casi todos los plásticos. La malla-sombra y otras cubiertas utilizadas en la agricultura están hechos de materiales plásticos, pero muchos de ellos son diferentes en cuanto a propiedades, comportamiento y costo (Díaz, 1984 citado por Martínez 2000).

Plásticos con buena transmisión de luz, termicidad, color, brillo, reflexión de luz, propiedades mecánicas y el coeficiente global de transmisión calorífica, son características deseadas para una mayor y más precoz producción (Papaseit, 1997).

Las mallas-sombra fabricadas en México, son de polietileno generalmente, reciben un tratamiento especial con un material conocido como “Negro de Humo” que da cualidades benéficas como lo es mayor resistencia a la tensión, formación de enlaces dobles en la estructura química, protección contra la luz ultravioleta; mientras que en otros lugares como Inglaterra se utiliza el polipropileno (Ibarra, 1989).

Las redes protectoras de plástico tienen un grosor que varía pero generalmente va de 0.28 a 0.30 mm. y con una abertura de 4 x 8 mm (Giulivo, 1974 citado por Ibarra, 1989).

Mediante un proceso industrial se obtiene un filamento con el cual se teje una red a la cual se le ha llamado malla. Ésta tiene un área neta de 19% y el peso normalmente oscila entre los 60 y 65 g/m<sup>2</sup> (Flores, 1975 citado por Martínez 2000).

La porosidad de la malla, el tipo de material y el sistema de fabricación condicionan la intensidad de sombreo, que cada agricultor debe definir según las necesidades de cada cultivo.

### **Usos de Mallas en la Agricultura**

Se está haciendo uso de las mallas sombra debido a que las plantas necesitan la luz para la fotosíntesis, pero la propia luz puede ser dañina si ésta es excesiva, la planta sólo absorba la cantidad máxima de luz para su crecimiento pero que no sea dañina al cultivo, o que la luz sea convertida en calor ya que también mucho calor puede ser peligroso para la planta. Las mismas mallas actúan como una barrera aislante en la noche y también pueden proteger durante el día (Chico, 2000).

La aplicación de las mallas de sombreo es muy extensa en muchos cultivos: ornamentales de alto porte, verde de corte y frutales en climas tropicales, también se utiliza para forzado y protección de frutales.

Los usos de las mallas agrícolas son numerosas, por ejemplo se utilizan para sombreado, rompevientos, antigranizo, antiácidos, polinización, protección y forzado, recolección de frutos, entutorado de cultivos, antipájaros, cubierta de piso antimaleza, secado de frutas, protección de plantas, refuerzo de césped y escudo térmico (Martínez, 2000).

### **Ventajas de la Malla- Sombra**

Con el uso de las mallas de sombreo, y en otros casos pantallas térmicas, puede adaptarse el clima bajo una estructura tipo invernadero, aproximándolo a las condiciones ambientales requeridas por el cultivo. Según la malla usada también se limitan los efectos extremos del clima provocados por exceso de viento y luz sobre las plantas.

Las mallas de sombreo consiguen una disminución de la temperatura del cultivo y con ella una menor evapotranspiración. De este modo se disminuye también el riesgo de deshidratación del cultivo provocado por una exportación de agua superior a la capacidad de absorción del sistema radicular (Martínez, 2000).

En resumen, se utilizan:

- ❖ Elimina el estrés de la planta y economiza el uso del agua.
- ❖ Mantiene el clima ideal para mejores productos de cultivo.
- ❖ Fácil de instalar, es de peso ligero y tiene larga duración.
- ❖ Ahorra energía calorífica en invernadero, túneles y a campo abierto; es efectiva en la preservación de calor durante el verano.
- ❖ Reduce los cambios de temperatura.
- ❖ Mayor y mejor producción por superficie de cultivo,
- ❖ Mantiene la temperatura interior más baja durante el día y más cálida por la noche, cuando la temperatura exterior es de  $-1^{\circ}\text{C}$ , la temperatura de debajo de la malla es de  $1^{\circ}\text{C}$ . (Martínez, 2000).

## **Hidroponía**

El término hidroponía deriva de los vocablos griegos “hydro” o “hudor”, que significa agua y “ponos”, equivalente a trabajo o actividad. Literalmente se traduce como “trabajo del agua” o “actividad del agua”. Se puede definir a la hidroponía como un sistema de producción en el que las raíces de las plantas se riegan con una mezcla de elementos nutritivos esenciales, disueltos en agua y en el que a diferencia de los cultivos tradicionales en el suelo, se utiliza como sustrato un material inerte, o simplemente agua (Sánchez y Escalante, 1988).

### **Importancia de la Hidroponía**

Varios autores consideran que dicha importancia se va en la gran flexibilidad del sistema, es decir, por la posibilidad de aplicarlo con éxito, bajo muy distintas condiciones ecológicas, económicas y sociales (Sánchez y Escalante, 1988).

La hidroponía es una técnica de producción de cultivos sin suelo, que ha tenido importancia a través de los años como una alternativa de producción, en la agricultura moderna mundial y también en México. Sus estructuras y métodos han sufrido cambios muy importantes desde la aparición de los plásticos. Los países desarrollados ven en ella una alternativa económica para automatizar y programar su agricultura intensiva. Actualmente se emplea con mucha frecuencia en los países en vías de desarrollo, por lo que la hidroponía se puede ofrecer como una opción para:

- ⇒ Producir cultivos de alto valor, en localidades con limitantes de suelo o agua.
- ⇒ Aumentar la generación de divisas a través de la exportación de cultivos de alto valor producidos en más cantidad y calidad.
- ⇒ Propiciar una mayor ocupación de mano de obra no calificada en el campo.
- ⇒ Mejorar los ingresos de las familias campesinas de escasos recursos.

### **Justificación de la Implantación del Cultivo Hidropónico**

El deterioro progresivo del suelo y de las zonas de producción en general, debido al agotamiento, contaminación y una salinización cada vez más extendidos, obliga a los agricultores a optar por el cultivo hidropónico como solución a dichos problemas, actualmente la técnica economiza cada vez más los recursos hídricos, ya que permite solamente consumir el agua necesaria, minimizando todo tipo de pérdidas y aportando solamente la cantidad adecuada del elemento que las plantas necesitan. Además el uso de esta técnica permite perfectamente controlar las variables del cultivo, así como la obtención de una mayor cantidad de producto con el mínimo consumo de agua.

La hidroponía es una alternativa de solución a la problemática agrícola donde la agricultura tradicional es difícil o imposible de llevarla a cabo.

La producción de forraje para las zonas áridas y semiáridas es uno de los principales problemas en México, ya que se ven afectadas por las condiciones climáticas, por lo cual se puede producir forraje fresco, más nutritivo, a un bajo precio y menor tiempo que producirlo en el suelo. La producción se puede continuar durante todo el año, para satisfacer las necesidades de los productores pecuarios (López, 1988).

## **Nutrición Mineral e Hidroponia**

El punto más importante para un buen manejo hidropónico es la nutrición de la planta. La nutrición mineral ha tenido un impacto importante en el desarrollo de la agricultura moderna y, ha sido y sigue siendo una herramienta necesaria para comprender la fisiología de las plantas. En la agricultura, los altos rendimientos están asociados a una adecuada fertilización, ya sea química u orgánica (Rodríguez *et all*, 2001).

Para evitar la aparición de desordenes fisiológicos en las plantas, los nutrientes deben ser repuestos en la solución nutritiva a través de sales o fertilizantes. Los fertilizantes que proveen nutrientes en las formas inorgánicas se llaman fertilizantes químicos; aquellos que provienen de residuos de plantas y animales se llaman fertilizantes orgánicos. En ambos casos las plantas absorben los nutrientes como iones inorgánicos (Rodríguez *et all*, 2001).

La composición de una solución nutritiva es la base para producir cualquier cultivo hidropónico. La solución nutritiva en un sistema hidropónico tiene dos aspectos importantes: 1) la concentración de los elementos minerales en el agua y en la solución nutritiva y, 2) el balance de los elementos minerales en la solución nutritiva (Rodríguez *et all*, 2001).

### **La Solución Nutritiva**

Un aspecto muy importante en hidroponía es la formulación de la solución nutritiva. La solución nutritiva es una mezcla de agua y nutrientes minerales esenciales, en cantidades y proporciones adecuadas, la cual es usada para lograr un crecimiento y desarrollo óptimo de las plantas. La nutrición es sólo un factor que afecta el crecimiento de la planta. El estado general de las plantas indicará que se esta haciendo bien o que se necesita corregir (Rodríguez *et. all*, 2001).

Para lograr una nutrición balanceada de las plantas y, por lo tanto, para obtener mejores rendimientos, es necesario que cada uno de los elementos esenciales

minerales señalados deben estar en la solución nutritiva en cantidades óptimas (cuadro 1.1). Si falta alguno de los macro o microelementos, entonces la planta no desarrollará y puede morir prematuramente (Rodríguez *et al*, 2001).

**Cuadro 1.1** Elementos necesarios para formular una solución nutritiva y rangos de concentración.

<b>Elemento</b>	<b>Peso Atómico</b>	<b>Concentración en la Solución Nutritiva (ppm.)</b>
<b>Potasio (K)</b>	39.0	200.00 – 300.00
<b>Nitrógeno (N)</b>	14.0	150.00 – 250.00
<b>Calcio (Ca)</b>	40.0	120.00 – 200.00
<b>Magnesio (Mg)</b>	24.0	20.00 – 50.00
<b>Fósforo (P)</b>	31.0	30.00 – 50.00
<b>Azufre (S)</b>	32.0	50.00 – 100.00
<b>Cloro (Cl)</b>	35.5	50.00 – 100.00
<b>Hierro (Fe)</b>	56.0	0.50 – 2.00
<b>Manganeso (Mn)</b>	55.0	0.50 – 0.80
<b>Boro (B)</b>	11.0	0.30 – 0.60
<b>Zinc (Zn)</b>	65.5	0.10 – 0.30
<b>Cobre (Cu)</b>	63.5	0.05 – 0.15
<b>Molibdeno (Mo)</b>	96.0	0.01 – 0.05

Fuente: (Rodríguez *et al*, 2001).

No existe una solución nutritiva única para todos los cultivos, porque no todos tienen las mismas exigencias nutricionales, principalmente en nitrógeno, fósforo y potasio. Existe un gran número de soluciones nutritivas para distintos cultivos, y muchas satisfacen los requerimientos de un buen número de ellos (Rodríguez *et al*, 2001).

El crecimiento y el rendimiento de cualquier cultivo pueden ser optimizados formulando una solución nutritiva específica. Una solución nutritiva debe formularse de acuerdo al estado de desarrollo (vegetativo, floración, fructificación) y al tipo de cultivo (Rodríguez *et al*, 2001).

## **Forraje Verde Hidropónico (FVH)**

El FVH es el resultado del proceso de germinación de granos de cereales o leguminosas (maíz- sorgo, cebada- alfalfa) que 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. Con el FVH podemos alimentar ganado vacuno, porcino, caprino y equino, conejos y una gran cantidad de animales domésticos, con excelentes resultados (COLJAP, 1997).

El FVH es el resultado de la germinación de los granos de cebada, maíz, sorgo, avena, trigo, en condiciones óptimas de temperatura, iluminación y riego. El embrión de la futura planta, a partir de un almacén de energía en forma de hidratos de carbono o lípidos, es capaz de transformarse en pocos días en una plántula con capacidad para captar energía lumínica (fotosíntesis) y absorber elementos minerales de la solución nutritiva. En este estado, la plántula se encuentra en un crecimiento acelerado, con muy poca fibra y alto contenido de proteína en su composición, ésta última, se encuentra en estado de formación, por lo que gran parte de los aminoácidos están en forma libre y son más fácilmente aprovechables por los animales que la consumen. El FVH, es por tanto, un producto de especiales características alimenticias (Valdivia, 1997).

El 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, por un lapso de tiempo de 9 a 15 días. El FVH o “green fodder hidroponics” es un pienso o forraje vivo, de alta digestibilidad, alta sanidad, calidad nutricional, y muy apto para la alimentación animal (corderos, cabras, terneros, vacas en ordeño, caballos de carrera, conejos, pollos, gallinas ponedoras, patos, cuyes, chinchillas, entre otros), producidos en cualquier época del año y localidad geográfica, siempre y cuando se establezcan las condiciones mínimas necesarias para ello. El FVH consiste en la germinación de granos (semillas de cereales o 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).

La producción del FVH es tan solo una de las derivaciones prácticas que tiene el uso de la técnica de los cultivos sin suelo (hidroponía) y se remonta al siglo XVII cuando el científico irlandés Robert Boyle (1627 – 1691) realizó los primeros experimentos de cultivos en agua. Pocos años después, sobre el final de dicha centuria, John Woodward produjo germinaciones de granos utilizando agua de diferentes orígenes y comparó diferentes concentraciones de nutrientes para el riego de los granos así como la composición del forraje resultante (Huterwal 1960), citado por Ñiguez, (1988).

Las unidades hidropónicas para el cultivo de FVH pueden producir a lo largo de todo el año en el sitio de consumo, no siendo necesario ni el almacenamiento, ni el ensilado, ya que la hierba fresca se produce diariamente, y puede crecer en un área muy pequeña, en comparación con los campos destinados para la alimentación animal. Los gastos en insecticidas, fertilizantes, maquinaria para el cultivo, así como todas las labores necesarias en los cultivos al aire libre de forrajes, pueden calcularse que son 10 veces mayores que los normales en el cultivo de FVH (Arano, 1976).

## **Ventajas del Forraje Verde Hidropónico**

### **Ahorro de Agua**

Las pérdidas de agua por evapotranspiración, escurrimiento superficial e infiltración son mínimas al comparar con las condiciones de producción convencional en especies forrajeras. La eficiencia varía entre 270-635 l de agua/kg de materia seca, alternativamente, de 15 a 20 l/kg de materia seca de FVH obtenida en 14 días (Sánchez, 1996-1997, Lomelí, 2000; Rodríguez, 2000).

Se puede afirmar que en la producción de 1 kg FVH se gastan menos de 2 litros de agua, y con un amplio margen de seguridad; esto equivale a 600 litros diarios, para

producir 300 kg de forraje. En contraste, en la región ganadera de Chihuahua, se requieren 800 litros de agua por kg de forraje de maíz forrajero producido (Rodríguez, 1999).

**Cuadro 1.2** Empleo del cultivo tradicional en la producción de forrajes y su gasto de agua.

<b>Cultivo</b>	<b>l de agua/kg de M. S. (Promedio 5 años)</b>
Avena	635
Cebada	521
Trigo	505
Maíz	372
Sorgo	270

Fuente: Carámbula, M. y Terra, J. 2000, citado por FAO 2001.

### **Eficiencia en el Uso de 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 (FAO, 2001).

El FVH puede producirse utilizando una buena variedad de unidades hidropónicas en donde se colocan hasta seis charolas una sobre otra, dejando un espacio de al menos 30 cm. En 100 m<sup>2</sup> bien pueden producirse hasta 300 kg de forraje diariamente. Mayor producción por unidad de superficie en un área pequeña en comparación con los campos destinados para tal fin (Rodríguez, 2003).

### **Eficiencia en el Tiempo de Producción**

Tiene un ciclo de 10 a 12 días. Aunque por estrategias de manejo interno de los establecimientos, la cosecha se realiza a los 14 o 15 días, a pesar de que el óptimo definido por varios estudios, no puede exceder más allá del día 12, ya que a partir de ese día se inicia un marcado descenso en el valor nutricional (Bonner y Gatston, 1961; Soller, 1962; Simon y Meany, 1965; Fordham *et al*, 1975; citados todos por Hidalgo, 1985).

Las cantidades requeridas para la manutención de los animales se programan con facilidad (Rodríguez, 2003).

### **Calidad del Forraje para los Animales**

Es un succulento forraje verde de aproximadamente 20 a 30 cm de altura y de plena aptitud comestible para los animales (Less, 1983, citado por Pérez, 1987). Su alto valor nutritivo lo obtiene debido a la germinación de los granos (Arano, 1976; 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). Obtención de un forraje de alta palatabilidad y calidad nutritiva, ya que suministra una proteína barata y de alta calidad (Rodríguez, 2003).

**Cuadro 1.3** Comparación entre FVH de maíz y trigo en relación a alfalfa fresca y seca.

<b>Contenidos</b>	<b>Alfalfa seca</b>	<b>Alfalfa fresca</b>	<b>FVH maíz</b>	<b>FVH trigo</b>
<b>Materia seca</b>	93.3	23.4	<b>24.5</b>	25
<b>% Proteína cruda</b>	18.4	18.9	<b>14.8</b>	22
<b>% Fibra detergente neutro</b>	45.0	62.0	<b>37.6</b>	39
<b>% Fibra detergente ácido</b>	36.9		<b>12.2</b>	16

Fuente: Rodríguez, 1999; Pérez, 2000; Rodríguez, 2003.

### **Inocuidad**

Nos asegura la ingesta de un alimento conocido por su valor alimenticio y su calidad sanitaria. Los animales no comerán hierbas o pasturas indeseables que perjudiquen los procesos de metabolismo y absorción. Tal es el caso de un hongo denominado “cornezuelo”, que aparece en el centeno, que al ser ingerido por hembras preñadas induce al aborto, perdiéndose el feto y hasta en ocasiones la misma madre. Así también, en vacas lecheras, cuando ingieren malezas que

transmiten a la leche sabores no deseables para el consumidor final (Sánchez, 1996 y 1997).

### **Costos de Producción**

El análisis de costos de producción de FVH, 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 (Sánchez, 1996 y 1997).

No se requiere del uso de maquinaria pesada y el empleo de mano de obra es mucho menor que en la producción convencional (Rodríguez, 2003).

### **Suministro de Forraje Fresco Durante Todos los Días del Año**

Con la producción de forraje verde hidropónico se puede lograr un suministro constante durante todos los días del año y con las mismas características nutricionales, es decir, no habrá problema de escasez del producto y éste será fresco y limpio (Valdivia, 1997).

### **Mayor Asimilación de Vitaminas**

El forraje verde hidropónico brinda todas las vitaminas libres y solubles, haciéndolas muy asimilables, lo que no ocurre con el grano seco. El uso de FVH puede evitar la necesidad de usar vitaminas sintéticas y cualquier otro suplemento nutritivo, ya que todas las vitaminas se encuentran libres y solubles (Valdivia, 1997).

### **Evita Trastornos Digestivos**

Al suministrar forraje hidropónico durante toda la dieta alimenticia, se evitan trastornos digestivos causados por los cambios de composición y procedencia de los alimentos de suplementación animal: además, debemos tener en cuenta que estos animales son biológicamente herbívoros; es decir se alimentan con hierbas y forrajes

frescos (Valdivia. 1997).

### **Un Excelente Suplemento Alimenticio**

En el ganado de engorde que usualmente ha sido alimentado con pastos, alimentándolos con FVH combinado con concentrados, se logra una reducción en el tiempo de engorde ya que existe un mayor incremento de peso diario (Valdivia. 1997).

### **Diversificación e Intensificación de las Actividades Productivas**

Posibilita intensificar y diversificar el uso de la tierra. Productores en Chile han estimado que 170 m<sup>2</sup> de instalaciones con bandejas modulares en 4 pisos para FVH de avena, equivalen a la producción convencional de 5 ha 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, Chile, 1998, citado por FAO 2001), y dentro de programas de intensificación sostenible de la agricultura.

### **Alianzas y Enfoque Comercial**

El FVH ha demostrado ser una alternativa aceptable comercialmente considerando tanto la inversión como la disponibilidad actual de tecnología. Permite la colocación en el mercado de insumos (forraje) que posibilitan generar alianzas o convenios estratégicos con otras empresas afines tales como las empresas semilleros, cabañas de reproductores, tambos, locales de invernada, ferias, locales de remates, aras de caballos, cuerpos de caballería del Ejército, etc. (FAO, 2001)

## **Desventajas en la Producción de Forraje Verde Hidropónico**

### **Desinformación y Sobrevaloración de la Tecnología**

Proyectos de FVH 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 ambiental, y niveles óptimos de concentración de CO<sub>2</sub>. Innumerables de estos proyectos han sufrido significativos fracasos por no haberse accedido a una capacitación previa que permita un correcto manejo del sistema. 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 instalación. Sin embargo, se ha demostrado (Sánchez, 1996, 1997) que utilizando estructuras de invernáculos hortícolas comunes, se logran excelentes resultados. La práctica de producción de FVH directamente colocado a piso sobre plástico negro y bajo microtúneles es quizás la más económica y accesible.

## **Fisiología de la Producción de Forraje Verde Hidropónico**

En el proceso de germinación de una semilla se producen una serie de transformaciones cualitativas y cuantitativas muy importantes. La germinación es la reanudación del estado de latencia al crecimiento del embrión. Dicho proceso termina cuando: a) aparece la radícula, b) la parte aérea (hojas) se torna verde y c) la plántula es autosuficiente, es decir, comienza con sus procesos fotosintéticos, y a través de la raíz sintetiza los minerales con total autonomía (Rodríguez, 2003)

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**

Durante esta fase se inicia la actividad vital de la semilla, es decir, se reanuda el metabolismo, para lo cual se necesitan condiciones adecuadas de humedad, temperatura y oxígeno. Una vez reunidos estos factores, la semilla va aumentando de volumen por la absorción del agua, el embrión se hincha, se reblandecen las cubiertas protectoras y las reservas alimenticias comienzan una serie de reacciones químicas y biológicas que hacen que el embrión se desarrolle (COLJAP, 1997).

### **Movilización de Nutrientes**

Una vez que la semilla se ha humedecido por un tiempo determinado, se hincha y las enzimas empiezan a funcionar, el almidón es digerido y se transforma en azúcares, y los lípidos y las proteínas se transforman en aminoácidos. La disponibilidad de estas sustancias permite la liberación de energía y comienza entonces el intercambio gaseoso. Así es como los nutrientes están disponibles para que el embrión comience su desarrollo (Rodríguez, 2003).

### **Crecimiento y Diferenciación**

Se puede definir al crecimiento como la síntesis del material vegetal (biomasa), que normalmente viene acompañada de un cambio de forma y un aumento irreversible de la masa del organismo, órgano o célula. Este es susceptible de ser medido de la longitud o del diámetro del cuerpo del vegetal y su aumento en peso. El crecimiento de las diferentes partes de la planta se suelen determinar por la altura, el área foliar o el peso seco. En relación con el tiempo transcurrido durante el ciclo de vida. La diferenciación es el proceso mediante el cual se forman y

reproducen las diferentes clases de células. En una planta el crecimiento y la diferenciación transcurren paralelamente y por ello, parecería tratarse de un solo proceso que llamamos desarrollo. Una vez que han aparecido las raicillas y las primeras hojas, la planta está capacitada para obtener los nutrientes del medio externo y demás elementos para la fabricación de su propio alimento (fotosíntesis), motivo por el cual se debe exponer a condiciones óptimas de luminosidad, oxigenación y nutrición (COLJAP, 1997).

### **Características del Forraje Verde Hidropónico**

Valdivia (1996), cita las siguientes características sobresalientes que se obtienen en la producción de FVH:

#### **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 mas barata; siendo además completamente digerible, lo que representa una economía en la alimentación del animal.

### **Aumenta la Fertilidad y Eimina casi Totalmente los Abortos**

Esto gracias a su alto contenido de vitamina E, es un alimento ideal tanto para monogástricos como poligástricos en gestación y en etapas previas a la gestación.

### **Características Nutricionales del Forraje Verde Hidropónico**

Valdivia (1997), menciona que las principales características nutrimentales del FVH son las siguientes:

- Los forrajes tiernos en condiciones normales de siembra en suelos, poseen entre 23% y 25% de contenido proteico referido a sustancia seca. Dicho valor es notablemente más elevado que el nivel de proteínas de las mismas plantas en épocas de mayor desarrollo (floración y maduración), donde baja su contenido proteico. La proteína contenida en forrajes tiernos, es de mayor digestibilidad que en plantas maduras.
- Los forrajes tiernos contienen poca fibra bruta, respecto a una planta adulta; y está representada por celulosa pura, sustancia altamente digerible. En los forrajes maduros, junto con el progresivo aumento del contenido de la celulosa se verifica el proceso de lignificación de su estructura orgánica, por esta razón su coeficiente de

digestibilidad disminuye notablemente.

- La planta tierna tiene un elevado contenido de calcio, fósforo y fierro, minerales que sufren importantes variaciones a medida que crece la planta y por influencia del medio ambiente y suelo; tal fenómeno es muy acentuado en zonas áridas y desérticas.
  
- Los forrajes tiernos son muy ricos en vitaminas, principalmente carotenos (250-350 mg/kg de materia seca) y vitaminas liposolubles (A y E), por lo que los alimentos basados en forrajes tiernos o recién germinados proporcionan a los animales todos los minerales y vitaminas necesarias para su subsistencia.
  
- En el forraje verde hidropónico todas las vitaminas se presentan libres y solubles y por lo tanto, asimilables directamente. La vitamina E se encuentra en estado completamente asimilable y en libre circulación por toda la planta joven.
  
- Este producto tiene una cantidad de enzimas que lo hacen doblemente aprovechable, ya que evita un trabajo en el tracto digestivo del animal, teniendo en cuenta que está predigerido, además estimula el sistema endocrino del animal y aumenta la actividad metabólica. Se observa un aumento de la fertilidad ya que la vitamina C, factor de gran importancia para esta actividad, es de 15.45 mg por cada 100 gr en el FVH y de autodefensa contra las enfermedades.
  
- El caroteno aumenta en 100% en el grano germinado.
  
- Las plantas, absorben los minerales de abono que están en solución en el agua de riego y realizan una elaboración que conduce a un equilibrio casi perfecto de calcio, magnesio y fósforo.
  
- El pH, del FVH está entre 6 y 6.5. Es ligeramente ácido, lo que hace que este sea muy conveniente como alimento.

- Comparativamente las raciones hidropónicas o FVH equivalen a las siguientes unidades forrajeras por kg.

**Cuadro 1.4** Comparativo de raciones forrajeras de diferentes tipos de forrajes.

<b>Forraje verde hidropónico</b>	2.50 kg = 1 UF
<b>Brotos de pradera</b>	6.66 kg = 1 UF
<b>Alfalfa fresca</b>	7.69 kg = 1 UF
<b>Maíz forrajero</b>	7.62 kg = 1 UF

Fuente: Valdivia, 1997.

- La asimilación del FVH es superior a las demás raciones conocidas, cada kg de pasto hidropónico contiene:

**Cuadro 1.5** Contenido nutricional por cada kilogramo de FVH.

<b>Prótidos</b>	16.20 g
<b>Polipéptidos, aminoácidos y aminos</b>	33.54 g
<b>Valor proteico</b>	49.74 g
<b>Lípidos brutos</b>	19.50 g
<b>Almidón</b>	78.90 g
<b>Azúcares solubles (Maltosa)</b>	63.30 g
<b>Celulosa</b>	20.10 g
<b>Fibras brutas</b>	39.60 g
<b>Sustancias minerales</b>	16.86 g
<b>Valor energético (Equivalente a 0.40 UF)</b>	1178/1190 calorías

Fuente: Valdivia, 1997

- Las raciones hidropónicas son inmediatamente asimilables, su digestibilidad es de 85% a 90%. La palatabilidad es excelente.
- Su aspecto, color, sabor, textura le confieren gran palatabilidad a la vez que aumentan la asimilación de otros alimentos por parte del animal.

## **Proceso de Producción de Forraje Verde Hidropónico**

Los métodos de producción de FVH cubren un amplio espectro de posibilidades y oportunidades. Existen casos muy simples (franjas de semillas pregerminadas colocadas directamente sobre plásticos cubiertos con túneles, invernaderos en los que se establecen bandejas en pisos múltiples, criaderos de pollos abandonados, etc.), hasta métodos sofisticados conocidos como “fabricas de forraje” (estructuras cerradas, automatizadas y climatizadas, con solo un operario). El cultivo puede estar instalado en bandejas de plástico provenientes del corte longitudinal de envases desechables, estantes viejos forrados con plástico, bandejas de fibra de vidrio, en cajones de deshecho, etc. (FAO, 2001).

Sin embargo, en cualquiera de las circunstancias anteriores, el proceso a seguir para una buena producción, debe considerar las siguientes etapas:

### **Selección de las Especies de Granos Utilizados en FVH**

Esencialmente granos de cebada, avena, maíz, trigo y sorgo. La elección depende de la disponibilidad local y/o del precio. La utilización de semillas de alfalfa no es tan eficiente como los granos de gramíneas debido a que su manejo es muy delicado y los rendimientos son similares a la producción convencional de forraje (FAO, 2001).

Arano (1998), menciona que los granos que se pueden utilizar para la producción de FVH son los de trigo, avena, cebada, centeno, maíz y sorgo.

### **Selección de la Semilla**

Lo ideal es utilizar semilla de buena calidad, de origen conocido, adaptadas a las condiciones locales, disponibles, de probada germinación y rendimiento. Sin embargo, por razones de eficiencia y costos, puede producirse con semillas de menor calidad pero con un porcentaje de germinación adecuado. Se recomienda utilizar semillas que se producen a nivel local. Las semillas deben de estar libres de piedras, paja, tierra, semillas partidas, de otras plantas, y fundamentalmente que no hayan sido tratadas con productos químicos (curasemillas, preemergentes, u otros) (FAO,

2001).

Arano (1998), menciona que el tipo de grano seleccionado debe ser de buena calidad, entendiéndose así a aquellos que:

- No hayan sido sobrecalentados durante el secado.
- No hayan sido dañados en su manipuleo.
- Se encuentren limpios de polvos.
- Estén libres de residuos de fumigaciones.

### **Lavado y Desinfección de la Semilla**

Estas deben de lavarse y desinfectarse con una solución de hipoclorito de sodio al 1%. El lavado tiene por objeto eliminar hongos y bacterias contaminantes, liberarlas de residuos y dejarlas limpias (Rodríguez, *et al.*, 2000). El desinfectado con hipoclorito elimina los ataques de microorganismos patógenos. El tiempo que dejamos las semillas en la solución desinfectante no debe ser menor a los 30 segundos ni mayor a los 3 minutos. Finalizando el lavado procedemos a un enjuague riguroso de las semillas con agua limpia (FAO, 2001).

Algunos autores recomiendan un tratamiento previo con una solución de formol al 1%. Otros el tratamiento con agua lavandina (hipoclorito de sodio). Cualquiera de los dos es bueno siempre y cuando se realice un lavado previo a la semilla (detergente inerte), con el objeto de eliminar al máximo los polvos superficiales. Luego, con la semilla ya limpia, el tratamiento con formol o con lavandina puede proceder. Si se efectúa con formol al 1 % (1 litro de formol al 40 % en 100 litros de agua o proporcional), las semillas se sumergen en la solución por 1 a 2 horas, luego se procede a escurrirlas aireándolas o se las enjuaga varias veces (Arano, 1998).

Valdivia (1997), recomienda que toda semilla que flote al momento del lavado se elimine, por ser de grano vano, con poco peso y/o sin germen.

## **Remojo y Germinación de las Semillas**

Consiste en colocar las semillas dentro de una bolsa de tela y sumergirlas completamente en agua limpia por un periodo no mayor a las 24 h para lograr una completa imbibición. Transcurridas 12 h procedemos a secarlas y orearlas durante 1 hora, para luego sumergirlas nuevamente las 12 h. restantes, y finalmente realizarle el último oreado. Con lo anterior se induce la rápida germinación de la semilla a través del estímulo que estamos efectuando a su embrión, esto nos asegura un crecimiento inicial vigoroso del FVH, dado que estaremos utilizando semillas que ya han brotado y por lo tanto su posterior etapa de crecimiento estará más estimulada (FAO, 2001).

Trabajos anteriores citados por Hidalgo (1985), establecen que terminado el proceso de imbibición, aumenta rápidamente la intensidad respiratoria y con ello las necesidades de oxígeno. Este fenómeno bioquímico es lo que nos estaría explicando por qué se acelera el crecimiento de la semilla cuando la dejamos en remojo por un periodo no superior a las 24 horas. Varias experiencias han demostrado que periodos de imbibición más prolongados no resultan efectivos en cuanto al aumento de la producción de FVH.

Arano (1998), menciona que habiendo seguido estrictamente el procedimiento de lavado y desinfección de los granos, a continuación se colocan en remojo por 24 horas en agua clorada. Es conveniente cambiar el agua una o dos veces durante el periodo de remojo. Cumplidas las 24 horas, se tira el agua, se les escurre y se mantienen húmedas otras 24 horas, para que la germinación comience. Para este segundo día de preparación previa es conveniente mantener los granos tapados, con el objeto de mantener el microclima necesario que se obtiene por la liberación de calor de los mismos.

El tiempo de remojo es variable; cuando la temperatura es alta (verano), el número de horas puede variar de 18 a 20, mientras que en invierno dura máximo 24 horas. Lo importante en el remojo es la imbibición del grano, para lograrlo es necesario variar el pH del agua agregando cal (2 por mil), para comprobar que el

proceso de imbibición se ha dado, al abrir las válvulas, el agua que escurre debe ser de color amarillo lechoso (Valdivia, 1997).

Para obviar problemas de procedencia y manejo histórico, y asegurar la calidad germinativa de las semillas, se aconseja efectuarse un ensayo de germinación. Si el resultado supera el 90 %, la semilla puede ser considerada apta para la producción de FVH (Arano, 1998).

### **Dosis de Siembra**

La relación de siembra es de aproximadamente 5 a 7.5 kg/m<sup>2</sup>, dependiendo del tipo de grano a utilizar (Arano, 1998).

Las dosis óptimas de semillas a sembrar por metro cuadrado oscilan entre 2.2 a 3.4 kg, considerando que la disposición de las semillas no debe superar los 1.5 cm de altura en la bandeja (FAO, 2001).

Valdivia (1997), menciona que la relación de semillas para siembra es de 1.4 a 1.7 kg/bandeja de 400 cm<sup>2</sup>, mayor densidad no da mayores conversiones.

### **Siembra en las Bandejas**

Se distribuirá una delgada capa de semillas pregerminadas, la cual no debe exceder los 1.5 cm. de espesor, para luego colocar por encima de las semillas una capa de papel filtro (diario o revistas) el cual también se moja. Posteriormente tapamos todo con un plástico negro recordando que las semillas deben de estar en semioscuridad en el lapso de tiempo que transcurre desde la siembra hasta su germinación o brotación. Una vez detectada la brotación completa de las semillas retiramos el plástico negro y el papel (FAO, 2001).

Al observar perfectamente los brotes de los granos (después de las primeras 48 horas de tratamiento), es el momento adecuado para colocar las semillas germinadas en las bandejas, en capas finas y cuidando no romper los brotes (Arano, 1998).

Rodríguez *et al.* (2000), sugiere el uso de charolas de plástico o de fibra de vidrio como contenedores con una altura de 6 a 10 cm. de altura, que debe de contar con un sistema de drenaje.

### **Riego de las Bandejas**

Debe realizarse sólo a través de microaspersores, nebulizadores y hasta con una sencilla pulverizadora o mochila de mano en varias aplicaciones por día, espaciados según la estación del año (8 a 10 veces no mayor de 2 minutos). El volumen de agua de riego está de acuerdo a los requerimientos del cultivo y a las condiciones ambientales internas del recinto de producción. Un indicador práctico que se debe tener en cuenta es no aplicar riego cuando las hojas se encuentren levemente húmedas al igual que su masa radicular (Sánchez, 1996-1997). Recomendar una dosis exacta de agua de riego para cada especie resulta muy difícil, dado que dependerá del tipo de infraestructura disponible.

### **Riego con Solución Nutritiva**

Apenas aparecidas las primeras hojas, entre el 4° y 5° día, se comienza el riego con una solución nutritiva. Sobre la cantidad de nutrientes, en la práctica cada productor debe ensayar su propia formulación, variando uno u otro elemento hasta obtener una formulación ideal para sus condiciones de cultivo (tipo de agua, calidad de semilla, etc.). Finalmente no debemos olvidar que cuando llegamos a los días finales de crecimiento del FVH (días 12 ó 13) el riego se realizara exclusivamente con agua para eliminar todo rastro de sales minerales que pudiera haber quedado sobre las hojas y/o raíces (FAO, 2001).

Los riegos se realizan únicamente con agua hasta que los brotes alcancen un largo de 3 a 4 cm. A partir de ese momento se continúa los riegos con una solución nutritiva la cual tiene por finalidad aportar los elementos químicos necesarios (especialmente el nitrógeno), necesarios para el óptimo crecimiento del forraje, así como también el de otorgarle, entre otras características, su alta palatabilidad, buena

digestibilidad y excelente sustituto del alimento concentrado (Hidalgo, 1985; Morales, 1987)

Un ejemplo de dosis de fertilización utilizada en el riego del FVH es la que se encuentra en el cuadro siguiente:

**Cuadro 1.6** Composición de una solución nutritiva apta para producción de FVH.

Sal Mineral	Cantidad (g)	Elemento que aporta	Aporte en ppm.
Nitrato de Sodio	355	Nitrógeno	207
Sulfato de Potasio	113	Potasio	178
Superfosfato Normal	142	Fósforo	83
Sulfato de Magnesio	100	Magnesio	71
Sulfato de Hierro	4	Hierro	10
-----	-----	Azufre *	90

Fuente: Adaptado de L. R. Hidalgo, 1985. \* El aporte de azufre es la suma de los aportes parciales.

Otra opción de fórmula de riego para el FVH, es la que se encuentra en el “Manual FAO: La Huerta Hidropónica Popular” (Marulanda e Izquierdo, 1993). De acuerdo a esta fórmula, para llegar a la solución nutritiva final, debemos preparar dos soluciones concentradas denominadas: solución concentrada “A” (Macronutrientes) y solución concentrada “B” (Micronutrientes). Las sales y las cantidades necesarias para preparar la solución A, se observa en el siguiente cuadro:

**Cuadro 1.7** Solución concentrada “A” para la obtención de la solución nutritiva de la FAO.

Sal Mineral	Cantidad (g)
Fosfato Mono Amónico	340
Nitrato de Calcio	2.080
Nitrato de Potasio	1.100

Fuente: Manual “La Huerta Hidropónica Popular”, citado por FAO 2001.

Estas cantidades se diluyen en agua potable, hasta alcanzar 10 litros (temperatura del agua 21 a 24 °C). Las sales se van colocando y mezclando en un recipiente de plástico en el orden citado para obtener la solución concentrada “A”.

**Cuadro 1.8** Solución concentrada “B” para la obtención de la solución nutritiva de la FAO.

<b>Sal Mineral</b>	<b>Cantidad (g)</b>
Sulfato de Magnesio	492
Sulfato de Cobre	0.48
Sulfato de Manganeso	2.48
Sulfato de Zinc	1.20
Ácido Bórico	6.20
Molibdato de Amonio	0.02
Quelato de Hierro	50

Fuente: Manual “La Huerta Hidropónica Popular”, citado por FAO 2001.

La dilución se hace también con agua, pero hasta alcanzar un volumen final de 4 litros de solución.

Una vez que tenemos las dos soluciones, procedemos al tercer paso que es preparar la solución final. No debemos de mezclar las soluciones “A” y “B” sin la presencia de agua. Primero agregamos el agua, luego la solución “A”, revolvemos muy bien, y finalmente agregamos la solución “B”. El proceso para la elaboración de la solución nutritiva con destino a la producción de FVH finaliza de la siguiente forma: por cada litro de agua se agregan 1.25 cc de solución “A” y 0.5 cc de solución “B” (FAO, 2001).

### **Efectos de la Fertilización Nitrogenada**

La fertilización del FVH utilizando agua de riego conteniendo 200 ppm de nitrógeno como mínimo, tiene efectos principales durante el proceso de crecimiento del FVH (FAO, 2001).

### ➤ **Proteína Bruta (PB)**

El contenido de PB ( $\text{g/m}^2$ ) al cabo de 15 días de crecimiento, tiende a aumentar a medida que se incrementa el contenido de N en la solución nutritiva (hasta valores de 200 ppm), una concentración mayor (por ejemplo 400 ppm) no aumenta el aporte proteico, sino que por el contrario, lo disminuye en aproximadamente 13.6 % respecto del tratamiento anterior (Dosal, 1987). La mencionada disminución de proteína, asociada a altos niveles de fertilización nitrogenada, podría indicarnos un posible efecto de toxicidad o desbalance con otros nutrientes, lo que a su vez, sería la causa de una menor producción de fitomasa (FAO, 2001).

### ➤ **Proteína Verdadera (PV)**

La proteína verdadera disminuye a través del tiempo, observándose una reducción del aporte proteico del FVH en relación al aporte en grano, independientemente del tipo de solución nutritiva utilizada durante los 15 días en que se desarrolló el cultivo. La fertilización nitrogenada no evita las pérdidas en el contenido de proteína verdadera del FVH respecto al grano. Sin embargo, estas pérdidas son significativamente mayores si el cultivo no se fertiliza con nitrógeno (Dosal, 1987).

Los experimentos de Dosal (1987), indican que riegos con dosis de 200 y 400 ppm, presentan al término de la primera semana, un mayor contenido proteico (PB y PV) que el testigo (sin fertilizar). Esto estaría confirmando que la mayor proporción de los cambios que originan el aumento del valor nutritivo del FVH, ocurren en los primeros 7 días desde la siembra (Soller, 1982; Fordhan *et al*, 1975; citados por Dosal, 1987).

### ➤ **Pared Celular (PC)**

La pared celular tiende a disminuir en el follaje a medida que pasa el tiempo, mientras que en el sistema radicular aumenta (Dosal, 1987 e Hidalgo 1985).

### ➤ **Lignina**

Se ha demostrado que en el FVH existe un aumento de la cantidad de lignina ( $\text{g/m}^2$ ) en comparación con el grano. Esto nos indica que realmente existe una síntesis durante la etapa de crecimiento del FVH. La lignina cumple un importante rol en la estructura celular. El aumento de la lignina en el FVH con respecto al grano, se debería al incremento en la actividad de enzimas relacionadas a la biosíntesis de la lignina (tirosina amonioliasa). Se conoce que tanto la luz, la temperatura, la concentración de etileno y el metabolismo de los hidratos de carbono, regulan la actividad de esta enzima precursora de la lignina. Dichas condiciones se encuentran casi óptimas en los recintos de producción de FVH, de ahí su mayor presencia en el FVH que en el grano (FAO, 2001).

### ➤ **Digestibilidad Estimada (DE)**

En líneas generales la digestibilidad estimada presenta una disminución en relación al grano luego de dos semanas, independiente del tratamiento nitrogenado e indistintamente de la fórmula empleada para su determinación (Dosal, 1987).

### **Cosecha y Rendimientos**

En términos generales, entre los días 12 a 14, se realiza la cosecha del FVH, el cual comprende el total de la biomasa que se encuentra en la bandeja (hojas, tallos, raíces y restos de semillas). Sin embargo si estamos necesitados de forraje, podemos efectuar una cosecha anticipada a los 8 ó 9 días. La mayor riqueza nutricional de un FVH se alcanza entre los días 7º y 8º por lo que un mayor volumen y peso de cosecha debe ser compatibilizado con la calidad dado que el factor tiempo pasaría a

convertirse en un elemento negativo para la eficiencia de la producción (Ñíguez, 1988).

La cosecha se realiza después de obtenido el tamaño de hierba requerido. Se retira de la bandeja el colchón radicular, conteniendo los tallos, las hojas, algunas semillas no germinadas, las raicillas, y los residuos de semilla germinada. Por la densidad de siembra, dicha estructura en conjunto forma un bloque compacto que puede retirarse fácilmente de la bandeja. Dependiendo del animal al que haya que alimentar se desmenuza o se reparte en forma entera. El forraje producido debe ser ingerido en el mismo día de cosecha, esto no impide almacenarla por más tiempo; con un adecuado suministro de agua, la hierba puede durar 2 a 3 días más, después de este tiempo el contenido nutricional empieza a alterarse significativamente y pierde mucho valor alimenticio (Valdivia, 1996).

Una relación de producción de 1:5 es un buen logro, lo importante es alcanzar rendimientos de 1:6 ó 1:7; es difícil obtener mayores logros por la calidad de semilla que tenemos. En algunos casos hemos logrado conversiones de 1:10 y hasta 1:12, pero son casos aislados (Valdivia, 1997).

## **Factores que Influyen en la Producción de Forraje Verde Hidropónico**

### **Calidad de la Semilla**

Las semillas deben reunir ciertas condiciones propias, es decir, deben tener el grado de madurez adecuado y estar íntegras y bien desarrolladas; esto significa que hayan sido cosechadas en el momento oportuno y que hayan llevado su proceso de posmaduración. Además, las semillas no deben estar deterioradas, quebradas o con plagas y deben contar con sus reservas necesarias: estar llenas (no vanas), ni demasiado secas, pues esto indicaría que las semillas son viejas.

Para la producción de forraje verde hidropónico es indispensable que la semilla no haya sido tratada con ningún pesticida (Rodríguez, 2003).

El éxito del FVH comienza con la elección de una buena semilla, tanto en calidad genética como fisiológica. Si bien todo depende del precio y de la disponibilidad, la calidad no debe ser descuidada. La semilla debe presentar como mínimo un porcentaje de germinación no inferior al 75 % para evitar pérdidas en los rendimientos. El usar semillas más baratas, o cultivares desconocidos, pueden constituir una falsa economía y hacer fracasar totalmente la producción. La semilla debe estar lo más limpia posible y no contener semillas partidas ni de otros cultivares (FAO, 2001).

## **Iluminación**

Favorece la germinación de las semillas de muchas especies y retrasa o inhibe la de otras; sin embargo, el efecto de la luz es modificado por la combinación de otros factores. En la producción de forraje verde hidropónico, la luz no inhibe ni retrasa los procesos de germinación (Rodríguez, 2003).

Al comienzo del ciclo de producción de FVH, 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 bandejas deberán estar en un ambiente de luz tenue pero con oportuno riego para favorecer la aparición de los brotes y el posterior desarrollo de las raíces. A partir del 3er o 4to día iniciamos el riego con solución nutritiva y exponemos las bandejas a una iluminación bien distribuida pero nunca directa de luz solar (FAO, 2001).

El proceso de germinado se lleva a cabo de manera exitosa con un rango de luminosidad de entre 2,800 y 40,000 luxes. Aunque existen referencias de que con una luminosidad de 1,000 a 60,000 luxes se puede producir, se debe tomar en cuenta que el plástico de invernadero proporciona de 8 a 10% de sombra, por eso es recomendable que si el invernadero se va a hacer donde no hay sombra, se utilicen mallas sombras, ya que ayudan a disminuir la temperatura y mantiene la luminosidad relativamente controlada. Existen también otras especies a las que no les afecta la oscuridad o la luz, como por ejemplo, muchas de las semillas de gramíneas que se utilizan para la producción de forraje verde hidropónico, que no presentan reacciones

a la intensidad lumínica o a la oscuridad en el proceso de germinación (Rodríguez, 2003)

El forraje verde hidropónico es una de las menos exigentes con respecto a la luminosidad, puesto que no llega a su etapa productiva y sólo es un germinado; no obstante, requiere de un mínimo de luminosidad; por ejemplo, en un día sensiblemente luminoso se cuenta con una luminosidad aproximada de 108,000 a 120,000 luxes, y la luz que nos proporciona una lámpara fluorescente, tipo *slime line*, es aproximadamente de unos 3,000 o 4,000 luxes.

Cuando la planta está verde, aumenta el grado de capacidad fotosintética al incrementarse los niveles de radiación solar, hasta que la hoja alcanza el punto de saturación de luz, más allá de este punto la planta no presenta ninguna reacción, al incremento de la radiación solar. Cada planta tiene una necesidad muy específica de intensidad lumínica; como en todo, podemos decir que existe una luminosidad mínima, con la cual la planta realiza lentamente su actividad fotosintética, y una luminosidad óptima, en la cual la planta realiza de manera más eficiente su actividad fotosintética, después ya no reacciona al incremento de intensidad lumínica. Si la intensidad lumínica máxima es rebasada, la planta sufrirá estrés y morirá. La luminosidad esta directamente relacionada con grado de transpiración de las plantas porque éstas realizan su transpiración a través de los estomas; la abertura o cierre de éstos depende directamente de la luz (Rodríguez, 2003).

De la energía radiante, sólo se utiliza una pequeña parte en la fotosíntesis, otra es reflejada, y el resto se convierte en calor que la planta tiene que disipar mediante el enfriamiento transpiratorio. Si no fuera así, las hojas de la planta alcanzarían grados casi letales de temperatura interna (Rodríguez, 2003).

Mientras haya luz la planta llevará a cabo su acción fotosintética, esto es, cumplirá con sus procesos metabólicos y por tanto continuará con su crecimiento y desarrollo; una vez que la luz desaparece, cesa la función fotosintética y la planta entra en un estado de descanso, “la planta duerme” (Rodríguez, 2003).

En la producción de forraje hidropónico se puede iluminar el cultivo por las noches para que la planta no interrumpa sus funciones; es esta forma obtendremos una producción en un tiempo mucho menor, sobre todo porque a estas plantas no se les lleva hasta sus etapas productivas (Rodríguez, 2003).

### **Oxigenación**

Mediante la oxigenación, la semilla puede realizar adecuadamente su respiración (intercambio gaseoso); sin oxígeno, la semilla se intoxicaría con sus propios gases. Las semillas no germinan en condiciones de anegamiento.

La importancia de la aireación radica en que el carbono junto con la luz representa el segundo alimento más importante para planta, éste se encuentra en el aire y la planta lo utiliza para fijarlo y convertirlo en carbohidratos, mediante el proceso de fotosíntesis; si hay poco movimiento de aire adentro del invernadero, le estaremos proporcionando poco carbono. Se considera suficiente cambiar dos o tres veces el aire en el invernadero; esto puede ser sustituido por una buena ventilación (Rodríguez, 2003).

### **Temperatura**

Éste es un factor que varía en relación con el tipo de semilla. El límite inferior es aproximadamente 0°C y el superior 45°C, pero el porcentaje de germinación en ambos extremos es muy pobre. Para la mayoría de las plantas cultivadas, el rango se sitúa entre los 20 y 30°C, sin embargo, algunas semillas como el chícharo, la avena, el trigo, la cebada o el centeno, tienen un buen índice de germinación entre los 15 y los 20°C.

Existen tres tipos de temperatura: la mínima, bajo la cual no hay crecimiento; la óptima, que propician mayor crecimiento, y la máxima, por encima de la cual se interrumpe todo desarrollo. El crecimiento de la mayor parte de las plantas se realiza entre 10 y 30° (Rodríguez, 2003).

La temperatura es una de las variables más importantes en la producción de FVH. El rango óptimo para la producción se sitúa siempre entre los 18 y 23 °C. La variabilidad de las temperaturas óptimas para la germinación y el posterior crecimiento de los granos en FVH es diverso. Es así que los granos de avena, cebada y trigo, entre otros, requieren de temperaturas bajas para germinar (entre los 18 a 21°C). sin embargo el maíz necesita de temperaturas óptimas que varían entre los 25 y 28 °C (Martínez E., 2001, citado por FAO, 2001).

La temperatura influye en la germinación de la planta, ya que a mayor temperatura, mayor absorción de agua; e influye también en la actividad fotosintética y metabólica, en el crecimiento y en la reproducción. Debido a la gran variedad de plantas que se han tenido que adaptar durante su proceso evolutivo, encontramos que cada una tiene una necesidad específica de temperatura, al darse entre ellas un índice de transpiración y una resistencia estomática diferentes (Rodríguez, 2003).

Por lo general, se favorece el crecimiento cuando la temperatura sube, y se retrasa cuando la temperatura baja. Sin embargo, el crecimiento de cada planta no aumentará con la elevación de la temperatura. Por el contrario, las altas temperaturas pueden disminuir la turgencia y el crecimiento, especialmente durante el día. En el cultivo de forraje verde hidropónico, el aumento o la disminución de temperatura se verá reflejado en el tiempo de producción (Rodríguez, 2003).

Una herramienta importante que debe estar instalada en los locales de producción es un termómetro de máxima y mínima que permitirá llevar el control diario de temperaturas y detectar rápidamente posibles problemas debido a variaciones del rango óptimo de la misma. En el caso de épocas frías, tendremos que calefaccionar y en caso de épocas de altas temperaturas, habrá que ventilarlo o enfriarlo. El número de calefactores esta en función de la intensidad del frío, y de la temperatura a la cual pretendemos alcanzar (Schneider, 1991).

## Humedad

La humedad es indispensable, pues sin ella se detiene el proceso enzimático; en todas las fases de la germinación debe haber humedad. Recordemos que humedad no es lo mismo que inundación; la inundación sólo se debe hacer por un periodo corto.

De todos los factores que afectan la vida de las plantas el agua es el más importante, tanto que sus procesos fisiológicos se realizan en presencia de ésta. El agua es necesaria para las reacciones químicas de la digestión; en la fotosíntesis el hidrógeno del agua se une al dióxido de carbono para formar azúcares. Las sustancias minerales y los alimentos elaborados por las hojas circulan en forma de solución hacia las otras partes de la planta. El agua empuja el citoplasma contra la pared celular y mantiene la turgencia de las células, de este modo contribuye a la rigidez y sostén de la planta y con la transpiración se disipa el calor (Rodríguez, 2003).

La humedad que la planta necesita es proporcionada mediante el riego, que se hará de acuerdo con el tipo de instalación. Ahora bien, mientras menor sea la humedad relativa en el ambiente del cultivo de FVH, mayor será la necesidad de la planta de mantener su propia humedad. Esto último como cabe suponer, traerá consigo una pérdida de eficiencia. El rango óptimo de humedad relativa oscila entre 60 y 80% y es posible medirla con un higrómetro. En estados de mayor humedad relativa, existe el riesgo de que proliferen enfermedades fúngicas, como el *Damping off* y los tizones (Rodríguez, 2003).

La humedad relativa del recinto de producción no puede ser inferior al 90 %. Valores de humedad superiores al 90 % y sin buena ventilación pueden causar graves problemas sanitarios, debido fundamentalmente a enfermedades fúngicas difíciles de combatir y eliminar, además de incrementar los costos operativos. La situación inversa (excesiva ventilación), provoca la desecación del ambiente y disminución significativa de la producción por deshidratación del cultivo. Por lo tanto, compatibilizar el porcentaje de humedad relativa con la temperatura óptima es una de las claves para lograr una exitosa producción de FVH (FAO, 2001).

## **Calidad del Agua de Riego**

La condición básica que debe presentar un agua para ser usada en sistemas hidropónicos es su característica de potabilidad. Su origen puede ser de pozo, de lluvia, o agua corriente de cañerías. Si el agua disponible no es potable, se tendrán problemas sanitarios y nutricionales con el FVH. Para el caso anterior, será imprescindible el realizar un detallado análisis químico de la misma, y en base a ello reformular la solución nutritiva, así como evaluar que otro tipo de tratamiento tendría que ser efectuado para asegurar su calidad (filtración, decantación, asoleo, acidificación o alcalinización). La calidad de agua no puede ser descuidada y existen casos donde por desconocer su importancia fue causa de fracasos y pérdidas de tiempo (FAO, 2001).

Ramos (1999), establece criterios en el uso de aguas para cultivos hidropónicos respecto a: 1) contenido de sales y elementos fitotóxicos (sodio, cloro y boro); 2) contenido de microorganismos patógenos; 3) concentración de metales pesados; y 4) concentración de nutrientes y compuestos orgánico.

## **Potencial de Hidrógeno (pH)**

El valor de pH del agua de riego debe oscilar entre 5.2 y 7 y salvo raras excepciones como son las leguminosas, que pueden desarrollarse hasta con pH cercano a 7.5, el resto de las semillas utilizadas (cereales mayormente) usualmente en FVH, no se comportan eficientemente por encima del valor de 7 (FAO, 2001).

El pH (potencial de hidrógeno) es muy importante en la asimilación de los nutrientes, por lo que es necesario controlarlo. Se mide en los tanques de solución mediante un pH metro a través de tiras, y se encuentra que un pH óptimo oscila entre el 6.5 y el 7.5. Se puede regular adicionando ácido fosfórico a la solución ya mezclada y diluida cuando es alcalina (más de 7.5), o cal agrícola cuando es ácida (menos de 6.5) (Rodríguez, 2003).

## **Conductividad Eléctrica (CE)**

En este caso nos referimos a la concentración de sales en la solución nutritiva que se le aplica al cultivo. Un rango óptimo de CE de una solución nutritiva estaría en torno de 1.5 a 2.0 mS/cm. Por lo tanto, aguas con CE menores a 1.0 serían las más aptas para preparar la solución de riego. Debe de tenerse presente también que el contenido de sales en el agua no debe superar los 100 mg de carbonato de calcio por litro y que la concentración de cloruros debe estar entre los 50 – 150 mg por litro de agua (Ramos, 1999).

### **Anhídrido Carbónico (CO<sub>2</sub>)**

El poder controlar la concentración del anhídrido carbónico dentro del ambiente de producción del FVH, ofrece una excelente oportunidad para aumentar la producción de forraje, a través de un incremento de la fotosíntesis. El control se ejerce mediante controladores automáticos los cuales enriquecen constantemente el ambiente interno con altos niveles de anhídrido carbónico, promoviendo una mayor fotoasimilación celular y el aumento de la masa vegetal. La NASA ha experimentado con singulares resultados positivos la práctica de suministro de CO<sub>2</sub> a cultivos hidropónicos obteniéndose un excelente aumento en la producción de biomasa vegetal (Arano, 1998).

También puede enriquecerse el ambiente introduciendo cantidades adicionales de CO<sub>2</sub>, en tanques y un equipo especializado para dicho fin. Esto es remunerable ya que se obtiene aproximadamente 25% más de producción o se acorta el periodo de producción hasta en un 30%.

Existen maneras mucho más simples de adicionar CO<sub>2</sub>, por ejemplo se pueden distribuir cubetas o recipientes dentro del invernadero, a los que se les agrega agua más o menos a la mitad de su capacidad, y después se les añade cualquier ácido – muriático, sulfúrico o acético -. Evidentemente mientras más fuerte sea el ácido, mayor será la reacción al agregar cualquier carbonato cálcico (en las tiendas de material para construcción se conoce como cero fino o cero grueso), pues el ácido liberará el carbono del carbonato, dejando precipitaciones de calcio.

Otra manera de suministrar CO<sub>2</sub>, aumentar humedad relativa y bajar temperatura, es administrando hielo seco (anhídrido carbónico) en los recipientes con agua, lo que formará una especie de neblina rica en CO<sub>2</sub> (Rodríguez, 2003).

### **Investigaciones Realizadas para Producción de Forraje Verde Hidropónico**

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

Aumento significativo de peso vivo en corderos precozmente destetados al suministrarles dosis crecientes de FVH hasta un máximo comprobado de 300 gramos de materia seca al día (Morales, 1987).

Aumento de producción en aves domésticas (pollos, gallinas, patos, gansos, etc.) a partir del uso del FVH (Falen y Petersen, 1969; Bull y Petersen, 1969, citados por Bravo, 1988), lográndose sustituir entre un 30 a 40 % de la dosis de ración peleteada pero asociado al riesgo, en casos de exceso en el uso de FVH, de un incremento de excreta de heces líquidas y fermentaciones aeróbicas del estiércol, malos olores de los locales, aumento de insectos voladores no deseados y aumento de enfermedades respiratorias especialmente en verano.

Aumento de producción en vacas lecheras a partir del uso de FVH obtenido de semillas de avena variedad "Nehuén" y cebada cervecera variedad "Triumph" existiendo también en este caso antecedentes en el uso del maíz, sorgo, trigo, arroz y triticale. (Sepúlveda, 1994).

Sustitución en conejos, de hasta el 75% del concentrado por FVH de cebada sin afectar la eficiencia en la ganancia de peso alcanzándose el peso de faena (2,1 a 2,3 kg de peso vivo) a los 72 días. Estos resultados han tenido un alto impacto técnico, económico y social en Uruguay (Rincón de la Bolsa) posibilitando la generación de ingresos, la alimentación familiar y el mantenimiento de la producción

a mini productores cunícolas afectados por los altos costos de los concentrados (Sánchez, 1996 y 1997).

Estudios realizados en México (Lomeli, 2000), con control del volumen de agua a aplicar, luz, nutrientes y CO<sub>2</sub>, demostraron que a partir de 22 kg de semilla de trigo es posible obtener en un área de 11.6 m<sup>2</sup> (1.89 kg semilla/m<sup>2</sup>) una óptima producción de 112 kg de FVH por día (9.65 kg FVH/m<sup>2</sup>/día). Este sistema ha permitido obtener una mayor calidad de carne, aumento del peso vivo, mayores volúmenes de leche, aumento de la fertilidad, disminución de los costos de producción por sustitución parcial de la ración por FVH (Hidalgo, 1985; Morales, 1987; Pérez, 1987; Bravo, 1988; Valdivia, 1996; Sánchez, 1996-1997; Arano, 1998).

Se ha comprobado (Arano, 1976) que cada kg de FVH equivale nutricionalmente a 3 kg de alfalfa fresca. Arano también ha comprobado que de 16 – 18 kg de FVH son suficientes para el alimento diario de una vaca lechera en producción. Según sus cálculos, una unidad de cosecha con 6 anaqueles que tenga cada una de ellas 40 bandejas, podría alimentar a 80 vacas durante un año.

Existen pruebas (Arano, 1976) de que las unidades hidropónicas para el cultivo de FVH producen alimentos para los animales a la mitad del coste convencional. Esto se basa en la gran cantidad combustible para la producción y transporte de los forrajes comunes.

Trabajos realizados en Rincón de la Bolsa, Uruguay en 1996 y 1997, han obtenido cosechas de FVH con una altura promedio de 30 cm y una productividad de 12 a 18 kg de forraje producidos por cada kg de semilla utilizada a los 15 días de instalado el cultivo y en una situación climática favorable (FAO, 2001).

Dosal (1987), probando distintas dosis de fertilización en avena, encontró los mejores resultados en volumen de producción y valor nutritivo del FVH cuando se utilizó 200 ppm. de N en la solución nutritiva. El mismo autor señala que la pérdida de materia seca durante los primeros 11 días es menor en los tratamientos con fertilización nitrogenada (100, 200 y 400 ppm de N), que en el caso del testigo. También concluye que el uso de fertilizaciones mayores a las 200 ppm de N no resultan en mayor cantidad de producción de fitomasa.

## **Enfermedades en la Producción de Forraje Verde Hidropónico**

Valdivia (1997), menciona que el mayor problema de la producción de FVH es el ataque por hongos, que ocurre siempre que hay altas temperaturas y poca ventilación y sugiere las siguientes prácticas para evitar esta incidencia:

- Lavar continuamente la poza de remojo, los cajones de oreo y los pisos, usando normalmente cloro al 5%.
- Manteniendo temperaturas adecuadas y suficiente aireación en el cultivo.
- Cambiando el pH del sistema agua-planta a 5.5
- Purificar el agua y aire del invernadero (Ozonización).

Rodríguez (2003), cita que la sanidad en cualquier tipo de cultivo, puede ser la diferencia entre el éxito y el fracaso. Aun cuando el cultivo de FVH, por el corto tiempo de producción no es tan susceptible al ataque de plagas, si debemos tener precauciones para evitar problemas de putrefacción, para lo cual recomienda realizar lo siguiente:

- Mantener limpia el área de trabajo y evitar encharcamientos y derrame de agua.
- Encalar las paredes y poner barreras de cal en los límites del invernadero (evitar entrada de plagas rastreras), esto se logra con una mezcla de agua con cal.
- Asperjar los contenedores (antes de sembrar) con productos a base de oxiclورو de cobre y azufre elemental (1 gr/litro de agua), o con agua y cal (5 gr/litro de agua). Esto atacará las esporas que circunden en el área de trabajo.
- Si el cultivo fuese atacado por algún hongo (manchas concéntricas de color verde, azul, o blancuzcas en el área radicular) se puede aplicar la solución de oxiclورو de cobre y azufre elemental (1 ml/litro de agua). Esta práctica puede hacerse también de

manera preventiva.

Para combatir los hongos solo con mucha experiencia en el manejo de la producción se logra el éxito, normalmente este factor termina desanimando a los aficionados (Valdivia, 1997).

### **Características del Invernadero para Producción de Forraje Verde Hidropónico.**

Valdivia (1997), menciona que el invernadero debe tener las siguientes áreas:

#### **1. Nave de producción**

Para el desarrollo de las plántulas, donde permanecen terminado el proceso de germinación hasta la cosecha durante un periodo de 7 días, aproximadamente. Esta sala consta de estanterías de 7 pisos cada una.

#### **2. Germinador**

Área donde las bandejas permanecen solamente por 24 horas, tiene una alta densidad de bandejas y el sistema de riego es por nebulización, el ambiente es oscuro pero bien ventilado, es área anexa a la nave principal.

#### **3. Zona de Remojo**

Es un tanque de fibra de vidrio o cemento dependiendo del tamaño del sistema, con 2 o 3 válvulas de evacuación de agua y grano; este tanque desagua a un estanque donde queda el grano y el agua se elimina a través de rejillas.

#### **4. Zona de oreo**

Es el área que reúne a un conjunto de cajones de madera, plástico o material aparente.

Además requiere de:

- Sistema de transporte de bandejas
- Sistema de Riego
- Sistema eléctrico
- Sistema de ventilación y enfriamiento.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Localización Geográfica del Área de Estudio**

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el periodo comprendido del 15 de mayo al 15 de noviembre de 2004, en el campo experimental del 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.

### **Características del Sitio Experimental**

De acuerdo a la clasificación climática realizada por Köpen y modificada por García, para la República Mexicana, el tipo de clima de Saltillo, Coah. se define como seco estepario BSo K (x')(e'), donde: BSo, es el más seco de los BS. K, es templado con verano cálido, temperatura media anual entre 12 y 18 °C y la del mes más caluroso 18 °C. (x'), regímenes de lluvias intermedias entre verano e invierno. (e'), extremoso con oscilaciones entre 7 y 14 °C. En general la temperatura media anual y la precipitación pluvial son de 18 °C y 365 mm respectivamente. Los meses más lluviosos son de julio a septiembre concentrados la mayor parte en el mes de julio. La evaporación promedio mensual es de 178 mm (Munguía, 1985).

### **Material Vegetal**

La especie utilizada en este trabajo fue el maíz (*Zea mays* L.), el cual era un material comercializado para consumo humano, sin utilizar variedades o híbridos forrajeros, con la intención de reducir los costos de producción del forraje.

## **Material de Campo**

- Estructuras de invernadero tipo túnel
- Estanterías
- Equipo de fertirriego
- Medidor de área foliar (LI – 1200)
- Data–Logger LI-100 de Li-Cor Co. para almacenamiento de datos
- Sensores para medición de temperatura del ambiente LI-1000-16
- Sensores para medir radiación fotosintéticamente activa Tipo Quantum LI-Cor Co.
- Cámara de secado vegetal
- Bolsas de papel
- Balanza analítica
- Charolas de producción de FVH
- Botes de 20 litros
- Regla de 30 cm.
- Libreta de campo
- Probeta graduada de 100 ml
- Hipoclorito de sodio (cloro)
- Jabón (detergente)

## **Diseño Experimental**

El diseño experimental utilizado fue parcelas divididas con arreglo (AxB) con 2 niveles en el factor A (Invernadero con malla y sin malla) y 4 niveles de fertilización en el factor B (T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub>), con 10 repeticiones en cada uno de los tratamientos, dando un total de 80 unidades experimentales.

### **Descripción de los Tratamientos (dosis de fertilización)**

- T<sub>1</sub>** : 50 ppm N; 35 ppm P; 50 ppm K
- T<sub>2</sub>** : 100 ppm N; 70 ppm P; 100 ppm K
- T<sub>3</sub>** : 150 ppm N; 105 ppm P; 150 ppm K
- T<sub>4</sub>** : Testigo (agua sola).

## Construcción de Invernaderos

Se construyeron dos túneles invernadero de 12 m de largo y 8m de ancho, de tubo galvanizado de 1” y anclas de 1 /1/2 “, de una altura de 3.15 m y con ventilación estática por medio dos ventanas laterales manejadas manualmente. El túnel se cubrió con polietileno calibre 720, térmico y larga duración. Dentro de los túneles se instalaron módulos metálicos con rakets de perfil de fierro con 4 niveles a 40 cm. entre ellos colocados los rakets uno arriba del otro. En uno de los invernaderos se colocó una malla sombra con 30% de sombreo sobre el plástico y el otro solamente el plástico sin malla, esto para manejar diferentes cantidades de radiación solar captada por las plantas.

**Figura 2.1** Invernadero con malla e invernadero sin malla para probar efectos de la captación de radiación solar por el forraje.



Se realizaron pruebas para determinar el mejor método de germinación y desinfección de las semillas de trigo y maíz para lo cual se utilizó: Prelavado con jabón y sin jabón y posteriormente desinfección con hipoclorito de sodio en varias concentraciones y tiempos.

## **Pruebas de Desinfección de la Semilla**

Para obtener una buena germinación o brotación de las semillas de trigo (debido a su procedencia) se tuvieron que hacer pruebas de desinfección para eliminar la mayor cantidad de patógenos presentes que pudieran obstaculizar su posterior germinación, aplicando diferentes concentraciones de hipoclorito de sodio (HS): Concentrado (166 ml/litro de agua) y Diluido: (10 ml/litro de agua) y diferentes tiempos de remojo; esto con el objetivo de determinar el mejor método de desinfección y garantizar un porcentaje de germinación aceptable.

### **Tratamientos para el lavado**

- 1) AJ+C+SE (Agua con jabón, HS concentrado y sin enjuagar)
- 2) AJ+D+SE (Agua con jabón, HS diluido y sin enjuagar)
- 3) AJ+C+E (Agua con jabón, HS concentrado y enjuagado)
- 4) AJ+D+E (Agua con jabón, HS diluido y enjuagado)
- 5) A+C+SE (Agua, HS concentrado y sin enjuagar)
- 6) A+D+SE (Agua, HS diluido y sin enjuagar)
- 7) A+C+E (Agua, HS concentrado y enjuagado)
- 8) A+D+E (Agua, HS diluido y enjuagado)

### **Tratamientos para el tiempo de desinfección**

- 1) Inmersión en la solución desinfectante por 15 minutos
- 2) Inmersión en la solución desinfectante por 30 minutos

### **Tratamientos para el tiempo de remojo**

- 1) Remojado durante 24 horas
- 2) Remojado durante 48 horas

Las variables de importancia evaluadas en esta etapa de la investigación, fueron las siguientes:

- a) El porcentaje de germinación de las semillas y,
- b) La altura alcanzada por la planta al final del ciclo.

Después de terminados de construir y acondicionar los invernaderos, y ya con la técnica de desinfección, tiempo de inmersión y remojo definida, se prosiguió con los ensayos de producción de FVH aplicando las dosis de fertilizantes a evaluar y los tratamientos de sombreado y sin sombreado.

### **Proceso de Producción de Forraje Verde Hidropónico de Maíz**

#### **Pesado y desinfección**

Se pesaron 18 kg de semilla de trigo para cubrir 40 charolas de un área de 0.214 m<sup>2</sup>, de tal forma que la cantidad de semilla para cada charola fue de aproximadamente 0.45 kg (2.1 kg/m<sup>2</sup>). Después de pesado se colocaron las semillas en botes para ser lavadas con agua y jabón, eliminando todas las impurezas presentes para luego ser tratadas con una solución desinfectante a base de cloro al 1 % (10 ml de cloro/litro de agua), por 15 minutos.

#### **Remojo**

Transcurridos los 15 minutos de desinfección se le dio otro lavado con agua limpia para después dejarla remojando por un lapso de 24 horas. La cantidad de agua para el remojo fue de aproximadamente 1 litro de agua por cada kg de semilla. Pasadas las primeras 12 horas de remojo, se secaron y orearon durante 1 hora, para luego sumergirlas nuevamente las 12 horas restantes.

## **Brotación**

Después del remojo, se eliminó toda el agua y se dejó la semilla otras 48 horas dentro del bote; el bote estuvo semicerrado para que la semilla pudiera respirar sin perder mucha humedad y de esta forma acelerar la germinación de las semillas, después de realizado este procedimiento se pasa a la siguiente fase de desarrollo de la planta.

## **Siembra**

Cumplido el tiempo de brotación, toda la masa de semillas se observa brotada por lo cual la siguiente etapa consistió en pasarlas a las charolas y para asegurarnos de la completa autonomía de la plántula se dejaron otras 24 horas estivadas dentro del invernadero cubiertas con un plástico negro, esto con el fin de impulsar el crecimiento de las raicillas y estar seguros de su capacidad de absorción de agua y nutrientes.

## **Riego**

Teniendo ya plantas bien brotadas y con buena raíz las colocamos en los racks o anaqueles de producción, para inmediatamente empezar los riegos, los cuales se aplicaron con intervalos de riego de 1 hora con una duración de 10 segundos cada uno, de las 10 de la mañana hasta las 4 de la tarde y una última aplicación a las 6 de la tarde. Esto durante los primeros 4 días de establecido el cultivo en el invernadero; ya bien formado el colchón de raíz se procedió a la fertilización con los nutrientes.

## **Fertilización**

Al quinto día de crecimiento del FVH, se inicio con la fertilización, en la cual se probaron 3 dosis de fertilización diferentes y el testigo (únicamente agua). En el siguiente cuadro se presentan los fertilizantes utilizados y las dosis aplicadas de cada uno de ellos:

**Cuadro 2.1** Dosis de fertilización (tratamientos) aplicados en el riego de FVH de trigo.

TRATAMIENTO (ppm. N:P:K)	FERTILIZANTES (gr./lt.)		
	GROFOL (20 – 30 – 10)	NITRATO DE POTASIO (12 – 00 – 46)	LOBY (44 – 00 – 00)
T <sub>1</sub> : 50 – 35 – 50	0.116	0.083	0.036
T <sub>2</sub> : 100 – 70 – 100	0.232	0.166	0.0726
T <sub>3</sub> : 150 – 105 – 150	0.348	0.249	0.108
T <sub>4</sub> : Testigo	0	0	0

### Aplicación del fertilizante

La cantidad de solución aplicada fue de 1 litro de solución nutritiva por charola, 3 veces al día cada 3 horas (10:00, 13:00 y 16:00 horas), esta actividad se realizó manualmente, debido a que la fertilización no podía hacerse en el sistema de riego por la diferencia de tratamientos; el riego con agua no fue interrumpido, ya que a la hora de la fertilización se suspendía y las siguientes 2 horas continuaban con normalidad.

### Parcela experimental

La parcela experimental estuvo constituida por 40 charolas (20 en el invernadero con malla y 20 en el invernadero sin malla), distribuidas al azar en los anaqueles de producción.

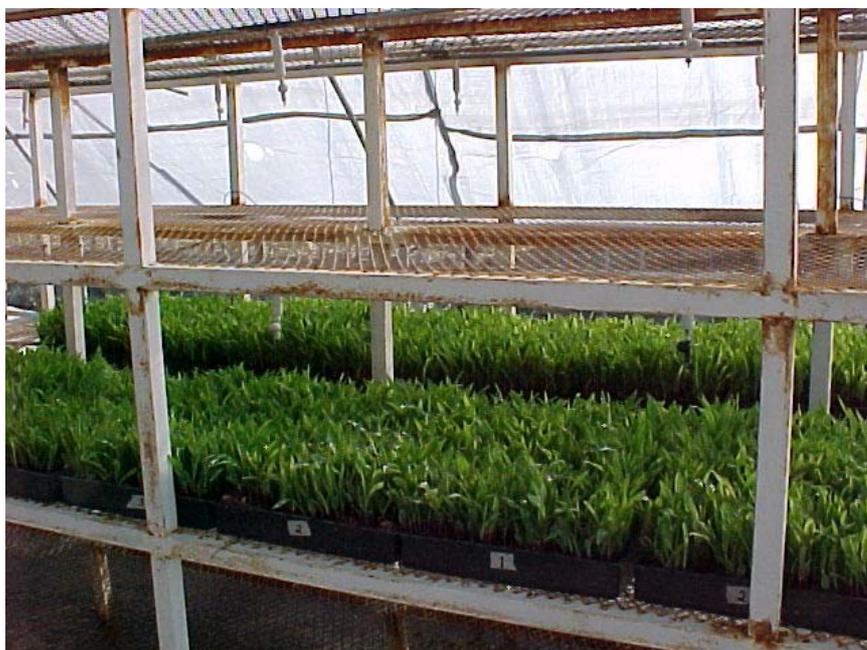
T<sub>1</sub> : 5 Charolas en el inv. c/malla y 5 charolas en el inv. s/malla

T<sub>2</sub> : 5 Charolas en el inv. c/malla y 5 charolas en el inv. s/malla

T<sub>3</sub> : 5 Charolas en el inv. c/malla y 5 charolas en el inv. s/malla

T<sub>4</sub> : 5 Charolas en el inv. c/malla y 5 charolas en el inv. s/malla

**Fig. 2.2** Distribución de las charolas en el invernadero con malla.



**Fig. 2.3** Distribución de las charolas en el invernadero sin malla.



## **Muestreos**

Se realizaron 4 muestreos durante todo el ciclo de producción, del en maíz para forraje, en intervalos de 4 días. La metodología del muestreo consistió en tomar 10 muestras (plántulas) al azar de cada uno de los tratamientos, obteniendo un total de 80 muestras (40 en el inv. c/malla y 40 en el inv. sin malla). A cada una de las muestras se le midió la altura total, para luego seccionarla separando las hojas y el tallo, y determinar posteriormente su área foliar en el medidor de área foliar LI – 1200. Cada una de las partes se colocó por separado en bolsas de papel estraza para luego meterlas en la cámara de secado durante 48 horas a una temperatura de 70 °C. Cumplido el tiempo de secado se pesaron las muestras en una balanza analítica y se determinó el peso seco de la hoja (PSH) y peso seco del tallo (PST). Con los datos anteriores se procedió a realizar el análisis de crecimiento utilizando la metodología de Hunt (1982).

## **Medición de los Factores Ambientales en el Desarrollo del Forraje**

Se determinó la temperatura del ambiente dentro del túnel y la temperatura del área radicular utilizando sensores de temperatura Li-Cor tipo 1000-15, también se determinó la radiación fotosintéticamente activa dentro y fuera de los túneles con sensores Li-Cor tipo Quantum. Todos los sensores se conectaron a un Data-Logger LI-1000 de Li-Cor el cual se programó para tomar lecturas cada minuto y almacenar la media de cada hora, durante las 24 horas del día y durante el tiempo que duró cada prueba.

## **Variables Evaluadas**

### **1. Altura de planta**

Esta se hizo midiendo la altura de cada una de las muestras de los diferentes tratamientos tomados de la población total, con una regla de 30 centímetros. El procedimiento para la toma de datos de esta variable fue extendiendo lo mejor

posible la planta y medir desde la base del tallo hasta el ápice de la última hoja. La unidad de medida fue en cm.

## **2. Área foliar de la planta**

Esta variable consistió en tomar el área foliar de cada una de las muestras de maíz con un medidor de área foliar (LI – 1200), para esto se necesitó seccionar la planta en tallo y hojas. A las hojas se les extendió lo mejor posible para luego pasarlas en el medidor y obtener la superficie foliar de las plantas en cm<sup>2</sup>.

## **3. Peso seco total de la planta**

Después de haber medido la altura y el área foliar de las plantas, se metieron las muestras a la estufa de secado por 48 horas a una temperatura de 70 °C. Transcurrido el tiempo de secado, se sacaron las muestras y se pesaron en una balanza analítica, obteniendo de esta manera el peso seco de cada una de las muestras.

## **4. Índices de crecimiento**

### **Coefficiente de partición de biomasa (CPB)**

La variable coeficiente de partición de biomasa se utiliza para conocer la distribución de la masa total así como identificar la distribución en las diferentes partes de las plantas, la proporción de hojas, tallos, flores, etc. En cualquier momento, dependen de las tasas de crecimiento precedentes y de la partición de los incrementos de materia seca sobre las diferentes partes de una planta.

$$CPB = \frac{P_i}{P}$$

Donde:

**CPB** = Coeficiente de Partición de Biomasa

**P<sub>i</sub>** = Peso seco del componente

**P** = Peso seco total

### **Tasa de crecimiento relativo (TCR)**

La tasa de crecimiento relativo es el incremento de material vegetal por unidad de material vegetal presente, por unidad de tiempo. Representa la eficacia de la planta como productora de nuevo material. Se expresa en  $\text{g.g.}^{-1} \text{ día}^{-1}$ .

$$TCR = \frac{LN(PS_2) - LN(PS_1)}{T_2 - T_1}$$

Donde:

**TCR** = Tasa de Crecimiento Relativo

**LN** = Logaritmo natural

**PS<sub>2</sub>** = Peso seco tiempo dos

**PS<sub>1</sub>** = Peso seco tiempo uno

**T<sub>1</sub>** = Tiempo uno

**T<sub>2</sub>** = Tiempo dos

### **Tasa de asimilación neta (TAN)**

La Tasa de asimilación neta es uno de los más importantes índices del análisis de crecimiento, porque mide en forma indirecta la fotosíntesis realizada por la planta en intervalos de tiempo, junto con la tasa unitaria, miden el aumento neto del peso seco de la planta por área foliar unitaria. La eficiencia fotosintética de las plantas se expresa en términos de la TAN, es la cantidad de materia seca producida por unidad de hoja y por unidad de tiempo.

$$TAN = \frac{(PST_2 - PST_1)}{T_2 - T_1} \times \frac{(LN(AF_2) - LN(AF_1))}{(AF_2 - AF_1)}$$

Entonces:

**TAN** = Tasa de Asimilación Neta

**PST<sub>2</sub>** = Peso seco total en el tiempo dos

**PST<sub>1</sub>** = Peso seco total en el tiempo uno

**T<sub>1</sub>** = Tiempo uno

$T_2$  = Tiempo dos

$LN$  = Logaritmo natural

$AF_2$  = Área foliar en el tiempo dos

$AF_1$  = Área foliar en el tiempo uno

Unidades de medida =  $g\ cm^{-2}\ día^{-1}$  ó  $g\ m^{-2}\ día^{-1}$

### **Razón de área foliar (RAF)**

La razón de área foliar de una planta o un cultivo en cualquier instante de tiempo es la razón del material asimilatorio por unidad de material vegetal presente. Esta variable relaciona la respiración y la fotosíntesis dentro de la planta, se define como la relación que existe entre el área foliar y el peso seco de la planta (Stewart, 1969).

$$RAF = \frac{(AF_1 / PST_1) + (AF_2 / PST_2)}{2}$$

Por lo tanto:

**RAF** = Razón de Área foliar

$AF_1$  = Área foliar en el tiempo uno

$AF_2$  = Área foliar en el tiempo dos

$PST_1$  = Peso seco total en el tiempo uno

$PST_2$  = Peso seco total en el tiempo dos

Unidades de medida =  $cm^2\ g^{-1}$  ó  $m^2\ g^{-1}$

### **Razón de peso foliar (RPF)**

Un índice del follaje de la planta sobre una base de peso seco. Una medida de la inversión productiva de la planta, porque esto se ocupa del gasto relativo en fotosintetizar parcialmente los órganos. La proporción entre el peso seco total de la hoja y el peso seco total por la planta.

$$RPF = \frac{((PSH_1 / PST_1) + (PSH_2 / PST_2))}{2}$$

Donde:

**RPF** = Razón de Peso Foliar

**PST<sub>1</sub>** = Peso seco total de la planta en el tiempo uno

**PST<sub>2</sub>** = Peso seco total de la planta en el tiempo dos

**PSH<sub>1</sub>** = Peso seco de la hoja en el tiempo uno

**PSH<sub>2</sub>** = Peso seco de la hoja en el tiempo dos

Unidades de medida = Adimensional

### **Área foliar específica (AFE)**

Es un índice de la hoja. Una medida del espesor relativo, porque se ocupa de áreas de hojas en relación con su peso seco. La proporción entre el área de hoja total por la planta y el peso seco total de la hoja por la planta. Un incremento de AFE superior a lo normal, sombrea las hojas inferiores de la planta y la otra parte es fuertemente iluminada, donde el proceso de respiración excede a la fotosíntesis, provocando la caída de la TAN (Verhagen, 1963).

$$AFE = \frac{RAF}{RPF}$$

Entonces:

**AFE** = Área Foliar Especifica

**RAF** = Razón de área foliar

**RPF** = Razón de peso foliar

Unidades de medida = cm<sup>2</sup>g<sup>-1</sup> o m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>

### **5. Contenido nutrimental del forraje**

Esta variable se obtuvo mediante análisis bromatológicos de las muestras de los tratamientos evaluados. Se hicieron dos análisis del forraje, uno en el laboratorio de nutrición y alimentos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y otro en el laboratorio del departamento de agroplásticos del centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA). Se determinó así mismo el contenido de nitratos en el

follaje del forraje, dado la importancia que tiene la posible toxicidad de este ión para el consumo de los animales.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### **Determinación de Concentración de Cloro, Tiempo de Inmersión en la Solución Desinfectante y Horas de Remojo para la Brotación de Semillas de Maíz**

Los resultados obtenidos fueron de múltiples pruebas y repeticiones llevadas a cabo desde el inicio del trabajo hasta concretar los tratamientos adecuados, para así poder continuar con la siguiente etapa de la investigación.

Analizando el cuadro de concentración de datos (Cuadro 3.1), se concluyó que la mejor concentración y tiempo de remojo fue de: cloro al 1 % por 15 minutos, dejándolo remojado por 48 horas, esto si tomamos en cuenta la germinación. Sin embargo, el remojo por 24 horas finalmente dio casi los mismos resultados que el remojo por 48 horas en cuanto a la altura alcanzada al final del ciclo, por lo tanto, el remojo por 24 horas es el recomendado ya que se ahorran 24 horas de remojo. En el caso de la concentración del hipoclorito de sodio podemos señalar que a concentraciones altas se ve afectada la germinación. También observamos que el lavado con jabón tiene un efecto positivo en el % de germinación de las semillas, esto debido a una mayor eliminación de los patógenos presentes en las semillas, en comparación con los tratamientos en los que únicamente se lavó con agua.

En trabajos realizados por Arano (1998) y Rodríguez *et al* (2000), se establece que la mejor concentración de hipoclorito de sodio es al 1 % y un periodo de remojo de 24 horas, resultados que concuerdan con los encontrados en este trabajo.

Arano (1998), menciona que cualquiera que sea el tratamiento de desinfección será bueno, siempre y cuando se le realice un lavado previo a la semilla con un detergente inerte, con el objeto de eliminar al máximo los polvos superficiales. Lo anterior puede ser avalado por este trabajo, ya que la diferencia entre el lavado con detergente y el no lavado afecta la germinación de las semillas.

**Cuadro 3.1** Comparación de diferentes concentraciones de hipoclorito de sodio, tiempo óptimo de inmersión para la desinfección y horas de remojo requeridas en las semillas de maíz, para la producción de Forraje Verde Hidropónico.

Tratamiento (lavado)	Tiempo de inmersión	24 horas de remojo		48 horas de remojo	
		% de germinación	Altura de planta	% de germinación	Altura de planta
AJ+C+SE	15 minut.	78	22	83	23
	30 minut.	80	23	85	23.5
AJ+C+E	15 minut.	86	24	87	25
	30 minut.	87	25	88	25
AJ+D+SE	15 minut.	86	24.5	90	25
	30 minut.	88	25	90	25
AJ+D+E	15 minut.	87	25	90	24.5
	30 minut.	88	24.5	92	25
A+C+SE	15 minut.	84	23	87	24
	30 minut.	88	23	88	23.5
A+C+E	15 minut.	79	20	80	21.5
	30 minut.	82	22	86	23
A+D+SE	15 minut.	81	21	84	22.5
	30 minut.	86	22	87	22
A+D+E	15 minut.	79	22	83	21
	30 minut.	81	22	83	23

### Altura de la Planta

En esta variable se encontraron diferencias en el factor A (Cuadro 3.2). Como puede observarse, la altura de las plantas que se encontraban en el invernadero con malla fue mayor durante casi todo el ciclo del forraje, sólo del 4° al 8° no hubo diferencias con respecto a las plantas del invernadero sin malla. Este suceso puede explicarse si se toma en cuentas que las plantas que se encontraban en invernadero con malla tenían mejores condiciones ambientales pero una menor radiación y por lo tanto una menor transpiración, es por esto que el crecimiento de las plantas pudo deberse a la búsqueda de luz solar por lo que tendían a etiolarse originando una mayor altura. Mientras que las plantas que se encontraban en el invernadero sin malla tuvieron condiciones adversas tales como una mayor radiación y por consiguiente una mayor evapotranspiración lo que provocó un estrés y un menor crecimiento.

En el factor B también hubo diferencia, pero sólo en las últimas etapas, es decir, del 12° al 16° día después de haber sido sembrado; podemos observar que los tratamientos 1 y 2 fueron mejores, o sea, que tuvieron un mejor efecto sobre el crecimiento de las plantas. Podemos notar que la fertilización si influye positivamente, pero también nos queda claro que una mayor fertilización (mayor concentración) no se ve reflejado en un mayor crecimiento al menos no en altura de la planta..

En la interacción de los dos factores A y B no hubo diferencias estadísticas, pero como podemos notar, es evidente un mejor crecimiento conforme transcurre el tiempo pero siempre con mayor altura en las plantas del invernadero con malla, además de que tanto la falta de nutrientes como el exceso repercute en menor crecimiento de las plantas.

**Cuadro 3.2.-** Medias de altura de plantas de maíz, como forraje verde hidropónico.

	<b>Altura de Planta (cm.)</b>			
	<b>Días Después de Siembra</b>			
<b>Factor A</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>12</b>	<b>16</b>
Inv. con malla	3.79 <b>A</b>	8.59	15.00 <b>A</b>	15.72 <b>A</b>
Inv. sin malla	3.37 <b>B</b>	7.89	12.02 <b>B</b>	13.57 <b>B</b>
Significancia	0.05	NS	0.01	0.05
DMS	0.360		1.10	1.76
<b>Factor B</b>				
Fert. 1	3.54	7.95	13.45	15.30 <b>A</b>
Fert. 2	3.81	9.13	14.00	15.60 <b>A</b>
Fert. 3	3.62	8.20	13.41	14.57 <b>AB</b>
Testigo	3.36	7.69	13.17	13.13 <b>B</b>
Significancia	NS	NS	NS	0.01
DMS				1.47
<b>Interacción</b>				
Inv. c/m fert. 1	3.62	8.57	14.89	16.97
Inv. c/m fert. 2	4.03	9.20	15.24	16.36
Inv. c/m fert. 3	3.92	8.98	15.02	15.97
Inv. c/m testigo	3.62	7.61	14.85	13.16
Inv. s/m fert. 1	3.46	7.34	12.02	13.63
Inv. s/m fert. 2	3.60	9.06	12.76	14.84
Inv. s/m fert. 3	3.33	7.42	11.81	13.19
Inv. s/m testigo	3.10	7.77	11.50	12.65
Significancia	NS	NS	NS	NS
DMS				
<b>C. V. (%)</b>	14.69	23.9	13.58	14.93

## Área Foliar

El ANVA para área foliar (Cuadro 3.3), muestra que para esta variable no existen diferencias significativas en los componentes del factor A. Lo que si podemos notar es el aumento del follaje al pasar los días.

En el factor B sí existen diferencias significativas, éstos se presentaron al final del ciclo (8-12 días). Podemos observar claramente como la fertilización sí influye en la producción de follaje o área foliar. Como se puede notar, el tratamiento 2 (fertilización mediana) es el que tuvo un efecto más favorable en esta variable, seguidos por el tratamiento 3 (fertilización alta), el 1 (fertilización baja) y por último el testigo.

Se puede decir que la fertilización es necesaria para la producción de hojas, sin embargo una mayor cantidad de fertilizantes no equivale a obtener una mayor área foliar. El hecho de que el efecto positivo de la fertilización se haya observado en los últimos días, puede comprenderse si aclaramos que la demanda de nutrientes se va incrementando al pasar el tiempo, ya que las plantas van creciendo, van sintetizando nuevo material (área foliar) para poder realizar todos sus procesos de manera adecuada, una de ellas es el proceso fotosintético.

Dueñas, *et al* (1977) trabajando con maíz reportan que la aplicación de nitrógeno favorece el desarrollo vegetativo del cultivo y facilita una mayor captación de energía; resultados que coincidieron con lo que se encontró en este trabajo.

En la interacción de los factores para esta variable no se encontraron diferencias estadísticas, es decir, los resultados de área foliar fueron similares sin importar el sombreado ni la fertilización.

**Cuadro 3.3.-** Medias de área foliar de plantas de maíz, como forraje verde hidropónico.

Factor A	Área Foliar (cm. <sup>2</sup> )			
	Días Después de Siembra			
	0	4	8	12
Inv. con malla	2.74	7.41	14.23	15.32
Inv. sin malla	2.29	7.45	13.76	15.97
Significancia	NS	NS	NS	NS
DMS				
<b>Factor B</b>				
Fert. 1	2.33	7.20	14.36	15.61 <b>AB</b>
Fert. 2	2.84	8.31	13.85	17.41 <b>A</b>
Fert. 3	2.66	7.04	13.93	15.97 <b>AB</b>
Testigo	2.22	7.17	13.82	13.59 <b>B</b>
Significancia	NS	NS	NS	0.05
DMS				2.41
<b>Interacción</b>				
Inv. c/m fert. 1	2.40	7.37	14.30	16.85
Inv. c/m fert. 2	3.01	7.78	14.40	16.23
Inv. c/m fert. 3	2.90	7.48	14.05	15.22
Inv. c/m testigo	2.65	7.01	14.17	12.98
Inv. s/m fert. 1	2.25	7.03	14.43	14.38
Inv. s/m fert. 2	2.68	8.83	13.29	18.60
Inv. s/m fert. 3	2.43	6.61	13.82	16.71
Inv. s/m testigo	1.79	7.34	13.48	14.20
Significancia	NS	NS	NS	NS
DMS				
<b>C. V. (%)</b>	37.19	31.6	22.1	22.8

#### **Peso Seco Total de la Planta**

De acuerdo a los resultados de la comparación de medias (Cuadro 3.4), podemos apreciar que sí existen diferencias significativas en el peso total de las plantas, sobre todo del 4° al 12° día después de haberse establecido, por lo que podemos decir de acuerdo al cuadro, que la acumulación de biomasa fue mayor en las plantas que se encontraban en el invernadero sin malla. Esto puede deberse a que como en el invernadero sin malla existe una mayor radiación podemos suponer que la tasa fotosintética es mayor, por ende la acumulación de materia seca también aumenta, y esto se comprueba ya que la tasa de asimilación neta es mucho mayor en las plantas del invernadero sin malla como se puede observar en el cuadro 3.5.

En el factor B no se encontraron diferencias estadísticas, es decir, la respuesta de las plantas a las fertilizaciones fueron similares estadísticamente, pero con tendencias de mayor asimilación de materia seca en los tratamientos fertilizados con respecto al testigo sin fertilización. También se puede notar que al pasar los días la producción de material vegetal aumenta, lo que se ve redundado en una mayor peso seco total.

En la interacción de los factores tampoco se encontró diferencias significativas, sin embargo se puede observar la tendencia de mayor acumulación de materia seca en los tratamientos del invernadero sin malla en donde la radiación es mayor. También hay una mayor acumulación de materia seca en los tratamientos con fertilización comparándolos con los que no tienen fertilización (testigo).

De León (1983) en un trabajo con maíz encontró que la acumulación de materia seca y área foliar fueron mayormente afectadas por la densidad de población (sombreo) que por la fertilización nitrogenada. Esto también lo notamos en el presente trabajo, ya que la luz fue el factor que más influyó sobre esta variable.

**Cuadro 3.4.-** Medias de peso seco total de plantas de maíz, como forraje verde hidropónico.

	<b>Peso seco total (g.)</b>			
	<b>Días Después de Siembra</b>			
<b>Factor A</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>12</b>
Inv. con malla	0.0171	0.0309 <b>B</b>	0.0522 <b>B</b>	0.0559 <b>B</b>
Inv. sin malla	0.0171	0.0354 <b>A</b>	0.0600 <b>A</b>	0.0685 <b>A</b>
Significancia	NS	0.05	0.05	0.01
DMS		0.0039	0.0068	0.0063
<b>Factor B</b>				
Fert. 1	0.0168	0.0335	0.0594	0.0627
Fert. 2	0.0182	0.0352	0.0544	0.0641
Fert. 3	0.0173	0.0317	0.0552	0.0674
Testigo	0.0162	0.0321	0.0555	0.0546
DMS	NS	NS	NS	NS
<b>Interacción</b>				
Inv. c/m fert. 1	0.0156	0.0321	0.0539	0.0594
Inv. c/m fert. 2	0.0182	0.0321	0.0517	0.0543
Inv. c/m fert. 3	0.0176	0.0300	0.0509	0.0586
Inv. c/m testigo	0.0170	0.0294	0.0524	0.0513
Inv. s/m fert. 1	0.0180	0.0350	0.0649	0.0660
Inv. s/m fert. 2	0.0182	0.0383	0.0571	0.0740
Inv. s/m fert. 3	0.0170	0.0334	0.0596	0.0762
Inv. s/m testigo	0.0155	0.0349	0.0586	0.0580
Significancia	NS	NS	NS	NS
DMS				
<b>C. V. (%)</b>	19.99	22.60	22.67	24.77

### **Tasa de Asimilación Neta**

Los resultados del análisis de varianza (Cuadro 3.5), muestran que existen diferencias significativas en los componentes del factor A (Invernadero con y sin malla), esto sucede en los primeros días (4) de haber colocado las charolas en el invernadero, se observa que en las primeras etapas de desarrollo se presentó una mayor eficiencia en la actividad fotosintética y por tanto, una producción de materia seca más alta ( $\text{g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ) en el invernadero sin malla; lo anterior puede deberse al arranque de crecimiento de las plantas y a la cantidad de luz que reciben para realizar la fotosíntesis, aunque en los muestreos de los 4-8 y 8-12 días después de la siembra no hubo diferencias significativas se observa la tendencia de mayor tasa de asimilación neta en las plantas del invernadero sin malla que en la que tiene malla.

Hashemi, *et all* (1992) concluyeron que el primer efecto de la reducción de la luz disponible es reducir la fotosíntesis, esto podría entonces reducir el aporte de asimilatos para desarrollar la producción.

Kappel (1983), menciona que la absorción y utilización de la radiación fotosintéticamente activa (RFA) es uno de los factores más importantes que limitan la productividad de la planta.

Cabe hacer notar que esta eficiencia se va reduciendo (en ambos invernaderos) al transcurrir el tiempo, como lo podemos constatar en el intervalo de los días 4° al 12°. La información anterior nos puede ayudar a deducir el mejor tiempo para la cosecha ya que como nos damos cuenta un mayor tiempo no esta correlacionado positivamente con una mayor producción de materia seca.

Para el factor B (dosis de fertilización) no hay diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, sin embargo se puede observar que el tratamiento sin fertilización fue el que presentó una caída más drástica al final en la tasa de asimilación neta, por lo que se puede inferir que si influye la nutrición finalmente en la respuesta de la planta.

En la interacción de los factores no se presentan diferencias significativas pero siempre la mejor respuesta la tienen las plantas del invernadero sin malla, también se puede apreciar que es más drástica la falta de nutrientes en el ambiente con mayor iluminación que en aquel donde es menor la cantidad de luz recibida.

Watson (1956) indica que la mayor influencia de la tasa de asimilación neta de materia orgánica es ejercida por la luz y la temperatura. Sin embargo, se ha observado que los valores de la tasa de asimilación neta son afectados por otros factores tales como fertilización, condiciones de agua en la planta, genotipo, etc.

Los resultados anteriores permiten entender la importancia de la luz en los procesos fotosintéticos y en la tasa de asimilación neta para una acumulación de materia

por unidad foliar, pero también un exceso de radiación influye en un incremento de la temperatura ambiental como se puede observar en las figuras 3.1, 3.2 y 3.3, esto tiene como resultado un estrés en las plantas que puede afectar negativamente el desarrollo de las plantas, por lo que es importante buscar un equilibrio entre la cantidad de radiación que se puede bloquear para que no afecte tan drásticamente la fotosíntesis y tasa de asimilación neta y que las plantas puedan estar más confortables y con menores demandas de agua para promover su crecimiento en forma más equilibrada.

**Cuadro 3.5.-** Medias de la tasa de asimilación neta (TAN) de plantas de maíz, como forraje verde hidropónico.

Factor A	Tasa de Asimilación Neta (g. m. <sup>2</sup> día <sup>-1</sup> )		
	Días Después de Siembra		
	0 - 4	4 - 8	8 - 12
Inv. con malla	7.653520 B	5.427415	1.376508
Inv. sin malla	11.097992 A	6.110152	2.503295
Significancia	0.05		
DMS	2.1597		
<b>Factor B</b>			
Fert. 1	10.347548	6.350092	2.118623
Fert. 2	8.410100	4.718002	2.173842
Fert. 3	8.791837	6.154329	2.341493
Testigo	9.953539	5.852710	1.125647
DMS			
<b>Interacción</b>			
Inv. c/m fert. 1	9.9808	5.3685	1.6948
Inv. c/m fert. 2	6.7659	4.8837	1.0386
Inv. c/m fert. 3	6.5577	5.5258	1.5019
Inv. c/m testigo	7.3096	5.9316	1.2707
Inv. s/m fert. 1	10.7143	7.3317	2.5424
Inv. s/m fert. 2	10.0543	4.5523	3.3091
Inv. s/m fert. 3	11.0259	6.7828	3.1811
Inv. s/m testigo	12.5975	5.7738	0.9806
Significancia			
DMS			
<b>C. V. (%)</b>	43.27	59.03	120.40

### **Tasa de crecimiento relativo del vástago**

Con base al ANVA (Cuadro 3.6), se puede observar que hay diferencia significativa entre los tratamientos para el factor A. Siendo las plantas del invernadero sin malla los que acumularon una mayor biomasa; esta diferencia estadística se presentó en los primeros días de desarrollo.

También se puede observar que la eficiencia de producción de biomasa tiende a disminuir al pasar el tiempo.

Para el factor B (fertilizaciones y testigo) y en las interacciones no se encontraron diferencias estadísticas, es decir, no se encontró un efecto significativo de las fertilizaciones sobre la producción de biomasa. Lo que si se puede observar es la misma tendencia de menor tasa de crecimiento en las plantas sin fertilización y la disminución de la tasa de crecimiento relativo a través del tiempo, lo que permite definir los tiempos de cosecha óptimo y disminuir los gastos de producción al mantener más tiempo el forraje sin tener ya acumulación de materia significativa.

Finalmente esto es importante ya que la disminución drástica en el crecimiento de las plantas está también relacionado con una disminución en la cantidad de proteínas después de los 10 a 12 días de crecimiento según datos reportados por Rodríguez (2000) y Dosal (1987).

**Cuadro 3.6.-** Medias de la tasa de crecimiento relativo (TCR) del vástago de plantas de maíz, como forraje verde hidropónico.

	<b>Tasa de Crecimiento Relativo (g g<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>)</b>		
	<b>Días Después de Siembra</b>		
<b>Factor A</b>	<b>0 - 4</b>	<b>4 - 8</b>	<b>8 - 12</b>
Inv. con malla	0.148268 <b>B</b>	0.135654	0.037117
Inv. sin malla	0.183011 <b>A</b>	0.132027	0.056863
Significancia	0.05		
DMS	0.0333		
<b>Factor B</b>			
Fert. 1	0.175852	0.140548	0.050639
Fert. 2	0.162487	0.114409	0.054979
Fert. 3	0.152489	0.143048	0.054677
Testigo	0.171730	0.137356	0.027663
DMS			
<b>Interacción</b>			
Inv. C/m fert. 1	0.1838	0.1315	0.0454
Inv. C/m fert. 2	0.1352	0.1244	0.0297
Inv. C/m fert. 3	0.1332	0.1388	0.0406
Inv. C/m testigo	0.1408	0.1479	0.0328
Inv. S/m fert. 1	0.1679	0.1496	0.0558
Inv. S/m fert. 2	0.1897	0.1044	0.0803
Inv. S/m fert. 3	0.1718	0.1473	0.0687
Inv. S/m testigo	0.2026	0.1268	0.0226
Significancia			
DMS			
<b>C. V. (%)</b>	43.39	57.52	120.82

### **Tasa de crecimiento relativo de las hojas**

Analizando la comparación de medias (Cuadro 3.7), se puede observar que no existen diferencias significativas en ningún factor ni en la interacción de ambos factores. Estos es, que ni el sombreado ni la nutrición tuvieron un efecto determinante sobre la producción de biomasa para el crecimiento foliar por unida de tiempo, aunque como en los casos anteriores se observa una tendencia de más tasa de crecimiento relativo en las plantas del invernadero con mayor iluminación a excepción del periodo de 4-8 días. Además de que al paso de los días la falta de nutrientes si se va haciendo más crítica repercutiendo en una disminución más marcada de la tasa de crecimiento relativo al final.

Lo que sí se observa en ambos factores y en las interacciones es la disminución de la capacidad de elaboración de biomasa foliar al transcurrir el tiempo, permitiéndonos con esta información, decidir el tiempo de permanencia de las plantas en el invernadero y por consiguiente el momento adecuado para la cosecha.

**Cuadro 3.7.-** Medias de la tasa de crecimiento relativo (TCR) de las hojas de plantas de maíz, como forraje verde hidropónico.

	Tasa de Crecimiento Relativo ( $\text{g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$ )		
	Días Después de Siembra		
Factor A	0 - 4	4 - 8	8 - 12
Inv. con malla	0.212083	0.161852	0.031297
Inv. sin malla	0.259095	0.146090	0.055264
Significancia			
DMS			
<b>Factor B</b>			
Fert. 1	0.255918	0.158904	0.039060
Fert. 2	0.210435	0.132080	0.058800
Fert. 3	0.235908	0.162454	0.048208
Testigo	0.240094	0.162447	0.027054
DMS			
<b>Interacción</b>			
Inv. c/m fert. 1	0.2651	0.1573	0.0408
Inv. c/m fert. 2	0.1883	0.1543	0.0292
Inv. c/m fert. 3	0.1987	0.1671	0.0234
Inv. c/m testigo	0.1962	0.1687	0.0318
Inv. s/m fert. 1	0.2467	0.1605	0.0374
Inv. s/m fert. 2	0.2326	0.1099	0.0884
Inv. s/m fert. 3	0.2731	0.1578	0.0730
Inv. s/m testigo	0.2840	0.1562	0.0223
Significancia			
DMS			
<b>C. V. (%)</b>	44.91	58.27	130.47

### Tasa de crecimiento relativo del tallo

De acuerdo al ANVA (Cuadro 3.8), se puede apreciar que no existen diferencias estadísticas significativas en ningún factor ni en la interacción de ambos, sin embargo al igual que en las variables anteriores las tasas de crecimiento relativo son mayores en las plantas que reciben más radiación con respecto a las que están más sombreadas, además de que las plantas sin fertilización al pasar más días

aumentan sus demandas de nutrimentos y al no tenerlos disponibles se refleja en una disminución más marcada de sus tasas de crecimiento.

Buttery (1969) observó que la tasa de asimilación neta y la tasa de crecimiento relativo disminuyeron a través de la época de crecimiento al evaluar 4 densidades de siembra y dos niveles de fertilización en soya, esto es debido al aumento en el sombreado.

En base a lo anterior se puede ver la importancia que tiene el que las plantas reciban una radiación y nutrición adecuada para una mejor respuesta lo que también está relacionado con factores ambientales tales como temperatura y humedad relativa, ya que si éstas exceden los límites del cultivo también se refleja en un estrés de la planta que repercute en su desarrollo y acumulación de biomasa, por lo que es importante encontrar el equilibrio entre el sombreado máximo que puede recibir una planta sin afectar sus procesos, la nutrición de las plantas, la humedad relativa y temperatura más adecuada que en conjunto repercuta en una mejor respuesta de la planta.

**Cuadro 3.8.-** Medias de la tasa de crecimiento relativo (TCR) del tallo de plantas de maíz, como forraje verde hidropónico.

Factor A	Tasa de Crecimiento Relativo (g g <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )		
	Días Después de Siembra		
	0 - 4	4 - 8	8 - 12
Inv. con malla	0.099487	0.106889	0.051027
Inv. sin malla	0.124756	0.115031	0.062187
Significancia			
<b>DMS</b>			
<b>Factor B</b>			
Fert. 1	0.114112	0.119955	0.067456
Fert. 2	0.121082	0.094919	0.053998
Fert. 3	0.094421	0.119892	0.071021
Testigo	0.118871	0.109074	0.033953
DMS			
<b>Interacción</b>			
Inv. c/m fert. 1	0.1238	0.1032	0.0572
Inv. c/m fert. 2	0.0922	0.0907	0.0376
Inv. c/m fert. 3	0.0842	0.1056	0.0714
Inv. c/m testigo	0.0977	0.1281	0.0379
Inv. s/m fert. 1	0.1044	0.1367	0.0777
Inv. s/m fert. 2	0.1500	0.0992	0.0704
Inv. s/m fert. 3	0.1047	0.1342	0.0707
Inv. s/m testigo	0.1400	0.0901	0.0300
Significancia			
DMS			
<b>C. V. (%)</b>	55.57	67.30	120.90

### Razón de área foliar

Para esta variable, el cuadro 3.9, muestra diferencias estadísticas para el factor A, a lo largo de todo el ciclo. Podemos deducir claramente que las plantas que se encontraban en el invernadero con malla fueron las que tuvieron una mayor superficie foliar por cada gramo de material vegetal, es decir, área fotosintética es mayor. Este comportamiento pudo ser debido a la necesidad de la planta por capturar una mayor cantidad de luz, ya que se encontraban en el invernadero sombreado.

Comarck (1952) menciona que el área de las hojas en exposición completa al sol es considerablemente menor que en la hoja sombreada.

Esto puede representar por otro lado mayor acumulación de algunos compuestos que son sintetizados por la hojas, probablemente vitaminas y proteínas lo cual sí se encontró en este trabajo, ya que la cantidad de proteínas fue mayor en las plantas sombreadas que en aquellos que recibieron mayor radiación, por lo que se puede inferir que a mayor área foliar mayor síntesis de proteínas (cuadro 3.14)), además de que estas plantas estaban en un invernadero con condiciones ambientales más favorables lo que también pudo influir.

Syversten (1984) dice que los cambios en la anatomía de la hoja y características físicas y componentes químicos son mecanismos que permiten a las hojas aclimatarse a cambios de luz.

En el factor B también hubo diferencias significativas pero éstos sólo se presentaron durante las primeras etapas (los primeros 4 días); podemos notar cómo la fertilización mediana ( $T_2$ ) sí influye positivamente en el proceso de desarrollo del follaje.

También se puede notar que el tratamiento 2 (fertilización mediana) es mejor numéricamente a lo largo del ciclo aunque no parece haber mucha influencia de la fertilización en el área foliar.

En la interacción de los factores no se aprecian diferencias estadísticas.

**Cuadro 3.9.-** Medias de la razón de área foliar (RAF) de plantas de maíz, como forraje verde hidropónico.

Factor A	Razón de Área Foliar (cm. <sup>2</sup> g. <sup>-1</sup> )		
	Días Después de Siembra		
	0 - 4	4 - 8	8 - 12
Inv. con malla	196.858795 <b>A</b>	255.771805 <b>A</b>	275.608337 <b>A</b>
Inv. sin malla	170.198395 <b>B</b>	220.505524 <b>B</b>	233.814865 <b>B</b>
Significancia	0.05	0.05	0.05
DMS	13.9194	8.1723	12.1398
<b>Factor B</b>			
Fert. 1	173.799957 <b>B</b>	229.626068	251.696808
Fert. 2	194.933685 <b>A</b>	247.251908	267.536713
Fert. 3	186.752548 <b>AB</b>	238.917282	249.365387
Testigo	178.628128 <b>AB</b>	236.759354	250.247406
Significancia	0.05		
DMS	16.4778		
<b>Interacción</b>			
Inv. c/m fert. 1	188.0150	247.2344	277.1217
Inv. c/m fert. 2	200.9307	259.7906	289.5160
Inv. c/m fert. 3	204.0541	262.4948	271.5876
Inv. c/m testigo	194.4353	253.5674	264.2081
Inv. s/m fert. 1	159.5849	212.0178	226.2719
Inv. s/m fert. 2	188.9367	234.7132	245.5575
Inv. s/m fert. 3	169.4510	215.3398	227.1432
Inv. s/m testigo	162.8210	219.9513	236.2867
Significancia			
DMS			
<b>C. V. (%)</b>	13.28	9.52	10.64

### Razón de peso foliar

Visualizando el cuadro 3.10 podemos darnos cuenta de que para esta variable no hubo diferencias significativas en ninguno de los dos factores.

En cambio en la interacción de los dos factores podemos apreciar que sí hubo diferencias entre tratamientos, pero solamente para los 8-12 días después de la siembra, el cuadro muestra cómo las plantas colocadas en el invernadero con malla y con las diferentes fertilizaciones (baja, mediana y alta) presentaron ligeramente mayor eficiencia de producción de follaje en base seca aunque no es muy marcado.

De acuerdo a los resultados de razón de área foliar y razón de peso foliar se puede deducir que la disminución de la luz influye en una expansión de la lámina foliar pero no en la acumulación de materia seca y esto se puede deber a la necesidad de la planta de captar mayor cantidad de luz debido al sombreado.

**Cuadro 3.10.-** Medias de la razón de peso foliar (RPF) de plantas de maíz, como forraje verde hidropónico.

Factor A	Razón de Peso Foliar		
	Días Después de Siembra		
	0 - 4	4 - 8	8 - 12
Inv. con malla	0.454042	0.537468	0.547920
Inv. sin malla	0.459332	0.541130	0.550423
Significancia	NS	NS	NS
DMS			
<b>Factor B</b>			
Fert. 1	0.448490	0.536605	0.537945
Fert. 2	0.473445	0.539180	0.559265
Fert. 3	0.451220	0.540495	0.543680
Testigo	0.453595	0.540915	0.555790
DMS			
<b>Interacción</b>			
Inv. C/m fert. 1	0.4381	0.5337	0.5483 <b>A</b>
Inv. C/m fert. 2	0.4639	0.5449	0.5655 <b>A</b>
Inv. C/m fert. 3	0.4550	0.5396	0.5377 <b>A</b>
Inv. C/m testigo	0.4591	0.5316	0.5402 <b>A</b>
Inv. S/m fert. 1	0.4589	0.5395	0.5275 <b>B</b>
Inv. S/m fert. 2	0.4830	0.5334	0.5530 <b>AB</b>
Inv. S/m fert. 3	0.4474	0.5414	0.5497 <b>AB</b>
Inv. S/m testigo	0.4481	0.5502	0.5714 <b>A</b>
Significancia	NS	NS	0.05
DMS			0.0289
<b>C. V. (%)</b>	8.72	5.74	5.50

### Área foliar específica

El cuadro 3.11 nos muestra que los tratamientos del factor A sí tuvieron un efecto diferente estadísticamente, como se puede observar en el invernadero con malla el área foliar por unidad de peso fue mayor en comparación con las plantas que se encontraban en el invernadero sin malla. Esto nos indica que el sombreado provoca el desarrollo de una mayor área foliar que induce una mayor expansión de las hojas, con un menor espesor y en consecuencia la hoja tendrá un menor peso, en comparación de las hojas con menor área por unidad de peso dentro del invernadero

sin malla, las cuales tienen un espesor mayor y por lo tanto, son más pequeñas y más gruesas.

En estudios realizados con higueras (*Picus benjamina*), Fail y Lewis (1982) mencionan que las hojas creciendo en sombra fueron más largas, más delgadas y de un verde más oscuro que en hojas expuestas directamente al sol.

Ghosh (1973) menciona que en hojas de manzano en completa exposición a la luz presentaron 3 o 4 capas de células de empalizada y en hojas con sombra (efecto de la malla) no tuvieron más de tres capas.

En los niveles del factor B y en la interacción de ambos factores no se observaron diferencias entre tratamientos, aunque se observa una ligera tendencia en las plantas sin fertilización a tener hojas un poco más pequeñas y gruesas y las combinaciones de sombreado bajo cualquier fertilización y sin fertilización tiene hojas más expandidas y más delgadas que las plantas del invernadero sin malla sombra, por lo que se deduce que la anatomía de la hoja está fuertemente influenciada por la cantidad de radiación que reciben.

**Cuadro 3.11.-** Medias del área foliar específica (AFE) de plantas de maíz, como forraje verde hidropónico.

Factor A	Área Foliar Específica (cm. <sup>2</sup> g. <sup>-1</sup> )		
	Días Después de Siembra		
	0 - 4	4 - 8	8 - 12
Inv. con malla	433.920258 <b>A</b>	476.282288 <b>A</b>	502.860748 <b>A</b>
Inv. sin malla	369.648224 <b>B</b>	407.494781 <b>B</b>	424.520111 <b>B</b>
Significancia	0.05	0.05	0.05
DMS	26.7697	12.4627	13.9988
<b>Factor B</b>			
Fert. 1	388.918793	427.926453	466.277924
Fert. 2	411.282532	458.303131	478.513763
Fert. 3	413.579926	442.244812	458.781433
Testigo	393.355652	439.079529	451.188477
DMS			
<b>Interacción</b>			
Inv. C/m fert. 1	429.5949	463.5350	505.0216
Inv. C/m fert. 2	432.1099	476.7956	513.2299
Inv. C/m fert. 3	450.2636	486.4995	503.7070
Inv. C/m testigo	423.7127	478.2989	489.4844
Inv. S/m fert. 1	348.2427	392.3179	427.5343
Inv. S/m fert. 2	390.4552	439.8107	443.7977
Inv. S/m fert. 3	376.8963	397.9902	413.8559
Inv. S/m testigo	362.9986	399.8602	412.8925
Significancia	NS	NS	NS
DMS			
<b>C. V. (%)</b>	9.52	8.09	8.46

### **Coefficiente de partición de biomasa de las hojas**

Analizando el cuadro de comparación de medias (Cuadro 3.12), observamos que sí hubo diferencias significativas dentro del factor A, este se presentó sólo a los 8 días de haber sembrado las semillas, siendo el invernadero sin malla el que provocó una mejor respuesta para esta variable en ese periodo. Se puede observar también que al paso del tiempo cambia la distribución de los fotosintatos, ya que al inicio la mayor demanda es del tallo y posteriormente repartiéndose ligeramente más en la hoja al momento de la cosecha del forraje.

En cuanto a la fertilización (factor B) y en la interacción de ambos factores no se encontraron diferencias estadísticas para esta variable por lo que se puede mencionar que no tienen influencia en la distribución de fotosintatos al contrario de

la luz que si parece tener mayor influencia en cómo y dónde se reparten los fotosintatos.

**Cuadro 3.12.-** Medias del coeficiente de partición de biomasa (CPB) de las hojas de plantas de maíz, como forraje verde hidropónico.

Factor A	Coeficiente de Partición de Biomasa			
	Días Después de Siembra			
	4	8	12	16
Inv. con malla	0.398391	0.509683 B	0.565239	0.530607
Inv. sin malla	0.394210	0.524444 A	0.557824	0.543010
Significancia		0.05		
DMS		0.0122		
<b>Factor B</b>				
Fert. 1	0.379652	0.517329	0.555863	0.520035
Fert. 2	0.429663	0.517225	0.561150	0.557357
Fert. 3	0.382603	0.519810	0.561175	0.526176
Testigo	0.393283	0.513889	0.567936	0.543666
DMS				
<b>Interacción</b>				
Inv. c/m fert. 1	0.3693	0.5070	0.5604	0.5363
Inv. c/m fert. 2	0.4173	0.5105	0.5793	0.5516
Inv. c/m fert. 3	0.3988	0.5112	0.5680	0.5073
Inv. c/m testigo	0.4081	0.5101	0.5532	0.5272
Inv. s/m fert. 1	0.3900	0.5277	0.5573	0.5038
Inv. s/m fert. 2	0.4420	0.5239	0.5430	0.5631
Inv. s/m fert. 3	0.3664	0.5284	0.5543	0.5450
Inv. s/m testigo	0.3785	0.5177	0.5827	0.5601
Significancia				
DMS				
<b>C. V. (%)</b>	17.39	8.73	7.63	9.01

### Coeficiente de partición de biomasa del tallo

Los resultados del Análisis de Varianza para coeficiente de partición de biomas del tallo muestran que solamente hubo diferencias significativas para el segundo muestreo, a los 8 días después de la siembra y dentro del factor A (invernadero sombreado y sin sombrear), encontrándose una ligera tendencia de aumento en la proporción de tallo en las plantas del invernadero con malla con respecto a las que no estaban sombreadas, además, la proporción de acumulación de biomasa en tallo se modifica sustancialmente en el transcurso del tiempo, disminuyendo considerablemente en todos los tratamientos con respecto a la biomasa

de hojas, pero no afectado en gran medida por las diferentes fertilizaciones evaluadas y sí un poco por la cantidad de luz que recibe cada tratamiento.

No se observan resultados significativos en las interacciones de los factores por lo que solamente se puede atribuir respuesta de las plantas a la cantidad de luz que reciben.

**Cuadro 3.13.-** Medias del coeficiente de partición de biomasa (CPB) de los tallos de plantas de maíz, como forraje verde hidropónico.

Factor A	Coeficiente de Partición de Biomasa			
	Días Después de Siembra			
	4	8	12	16
Inv. con malla	0.601609	0.490317 A	0.434761	0.469393
Inv. sin malla	0.605790	0.475556 B	0.442177	0.456990
Significancia		0.05		
DMS		0.0121		
<b>Factor B</b>				
Fert. 1	0.620348	0.482671	0.444137	0.479966
Fert. 2	0.570337	0.482775	0.438850	0.442643
Fert. 3	0.617397	0.480190	0.438825	0.473824
Testigo	0.606717	0.486111	0.432064	0.456334
DMS				
<b>Interacción</b>				
Inv. c/m fert. 1	0.6307	0.4930	0.4396	0.4637
Inv. c/m fert. 2	0.5827	0.4895	0.4207	0.4484
Inv. c/m fert. 3	0.6012	0.4888	0.4320	0.4927
Inv. c/m testigo	0.5919	0.4899	0.4468	0.4728
Inv. s/m fert. 1	0.6100	0.4723	0.4487	0.4962
Inv. s/m fert. 2	0.5580	0.4761	0.4570	0.4369
Inv. s/m fert. 3	0.6336	0.4716	0.4457	0.4550
Inv. s/m testigo	0.6215	0.4823	0.4173	0.4399
Significancia				
DMS				
<b>C. V. (%)</b>	11.41	9.35	9.78	10.44

## **Contenido de Proteína**

Los resultados del análisis bromatológico del forraje verde hidropónico del maíz (Cuadro 3.14), 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, es decir, los que estuvieron expuestos a una menor cantidad de radiación fueron la que tuvieron un alto contenido de proteínas.

Esto puede deberse a que las plantas que se encontraban en el invernadero con malla 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.

En cuanto a la fertilización se puede observar un incremento ligero al aumentar el aporte de nitrógeno en la fertilización bajo los dos sistemas de fertilización, alrededor de 1% más, pareciendo lógico debido al mayor aporte de nitrógeno, pero pudiendo no ser significativo debido al mayor costo por el uso de mayor dosis de fertilización.

Rodríguez (2003) menciona que el FVH es de alta palatabilidad y calidad nutritiva, ya que suministra una proteína barato y de alta calidad.

En un estudio comparativo de la calidad nutritiva de la alfalfa con respecto a otras semillas utilizadas para FVH, se encontró que el valor de proteína cruda de FVH de Maíz fue del 14.8%. Estos resultados fueron superados en el presente experimento, como podemos constatar en los cuadros 3.14 y 3.15, lo que nos permite decir sin duda alguna, que el FVH tiene un alto valor proteínico.

**3.14.-** Análisis bromatológico del forraje verde hidropónico de maíz a los 16 días después de la siembra.

Tratamientos	MST (%)	H (%)	C (%)	PC (%)	FC (%)	EE (%)	ELN (%)
T <sub>1</sub> c/m	90.66	9.34	7.77	24.43	19.37	3.94	35.60
T <sub>2</sub> c/m	91.24	8.76	5.64	24.93	19.41	3.51	37.75
T <sub>3</sub> c/m	91.41	8.59	7.65	24.75	19.00	3.56	36.45
T <sub>4</sub> c/m	89.98	10.2	7.55	23.93	19.38	3.67	35.27
T <sub>1</sub> s/m	90.31	9.69	7.69	21.81	19.04	3.71	38.69
T <sub>2</sub> s/m	90.24	9.76	7.68	21.43	19.67	4.11	37.35
T <sub>3</sub> s/m	90.41	9.59	8.29	22.68	18.16	3.88	37.40
T <sub>4</sub> s/m	90.61	9.39	7.05	21.00	18.60	3.18	40.78

Fuente: Técnica Oficial A.O.A.C. (1980). UAAAN 2004.

**Donde:**

**MST:** Materia seca total

**H:** Humedad

**C:** Cenizas

**PC:** Proteína cruda

**FC:** Fibra cruda

**EE:** Extracto etéreo (grasa)

**ELN:** Extracto libre de nitrógeno

**Cuadro 3.15.-** Medias de porcentajes de proteínas en forraje hidropónico (hojas y tallos) de maíz.

Tratamiento	Proteína (%)
Invernadero con malla fertilización 1	21,87
Invernadero con malla fertilización 2	21,0
Invernadero con malla fertilización 3	21,87
Invernadero con malla fertilización 4	21,0
Invernadero sin malla fertilización 1	12,25
Invernadero sin malla fertilización 2	16,62
Invernadero sin malla fertilización 3	17,06
Invernadero sin malla fertilización 4	17,5

Fuente: CIQA, 2004

## **Radiación y Temperatura**

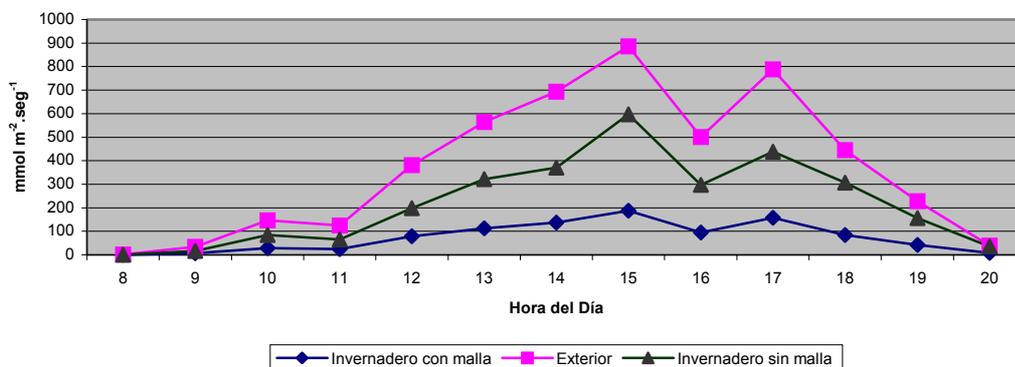
Se encontró según los resultados agronómicos y ambientales que la radiación y la temperatura tienen influencia importante sobre el desarrollo y crecimiento de las plantas y sobre la síntesis de proteína en las hojas y tallos.

Cuando la radiación incidente dentro de un invernadero es parcialmente bloqueado se refleja inmediatamente en una disminución de la temperatura ambiental (Figs. 3.1-3.9) trayendo como consecuencia un cambio en los procesos fisiológicos de las plantas, pudiendo ser positivo o negativo dependiendo del cultivo y el objetivo que se persiga. En este trabajo, específicamente en la producción de forraje hidropónico, se observó un efecto positivo sobre el cultivo al disminuir la radiación y la temperatura del invernadero, aunque cabe aclarar que fueron más de tipo cualitativo que cuantitativo, por lo cual es importante determinar los rangos óptimos entre la radiación y la temperatura que tenga una mejor influencia sobre la productividad y calidad del forraje para mejorar los resultados obtenidos hasta ahora.

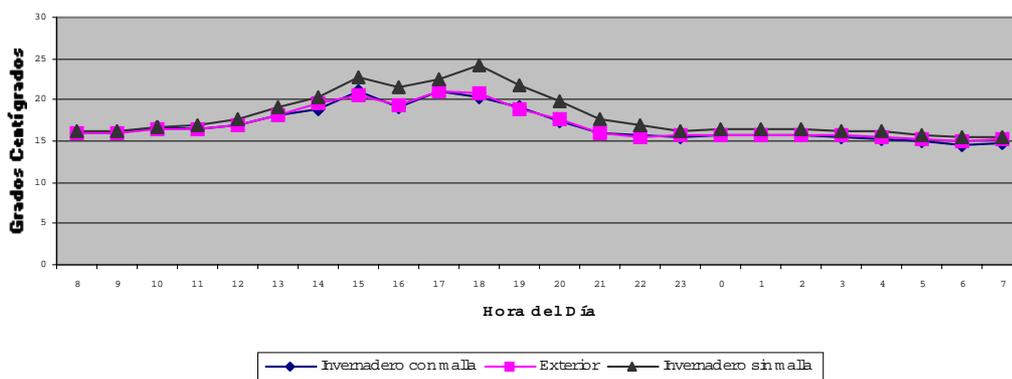
En las figuras 3.1-3.9 se observan los comportamientos de la radiación fotosintéticamente activa, temperatura del ambiente y de la raíz de forraje verde hidropónico de maíz en invernadero con y sin malla sombra, en diferentes fechas, todas dentro del intervalo de producción en la que se llevó a cabo el presente trabajo. Esto permite comprender cómo las plantas son afectadas por estos factores y por la interacción o combinación de éstos.

No se encontraron estudios comparativos en donde se analizaron efectos de cantidad de radiación y su efecto sobre la temperatura y respuesta del forraje, para poderlos comparar con los resultados encontrados en esta investigación.

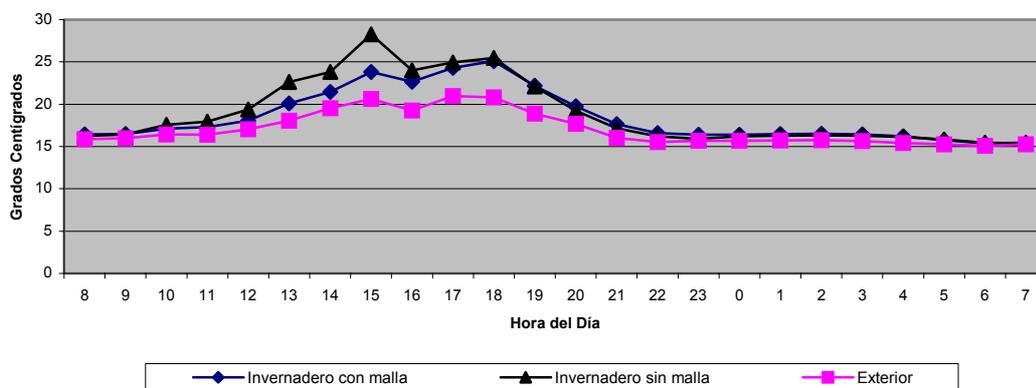
**Radiación Fotosintéticamente Activa**  
27/09/2004



**Temperatura Ambiental**  
27/09/2004

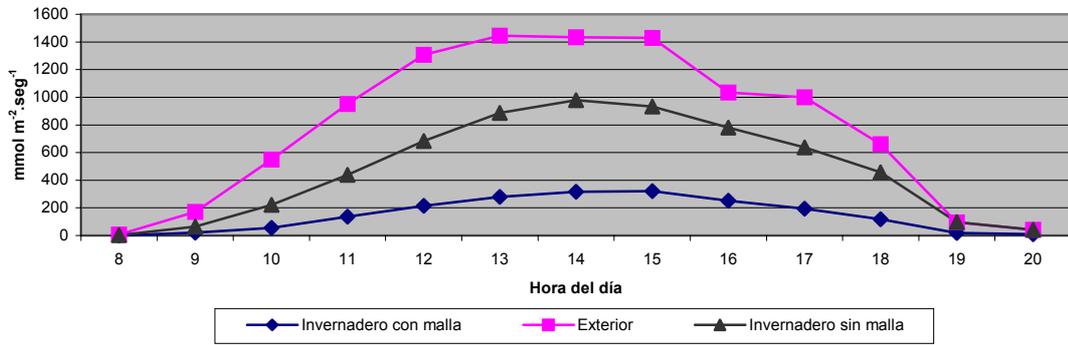


**Temperatura de la Raíz**  
27/09/2004

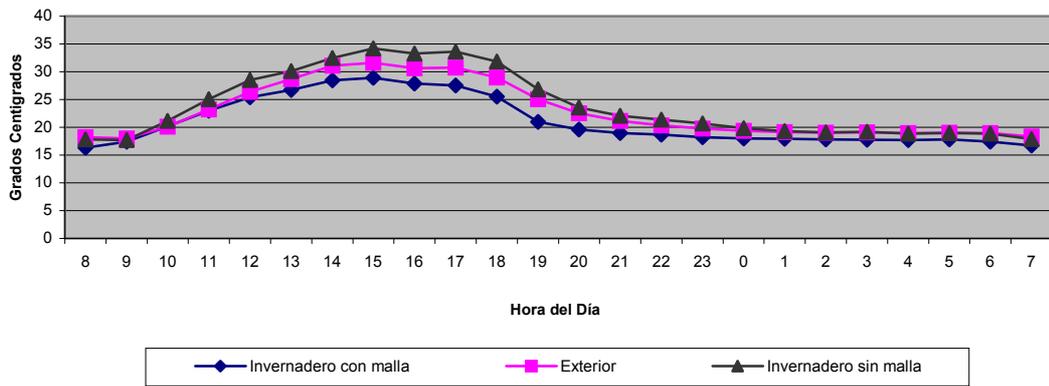


**Fig 3.1, 3.2 y 3.33.** Radiación fotosintéticamente activa, temperatura del ambiente y de la raíz de forraje hidropónico de maíz en invernadero con y sin malla sombra.

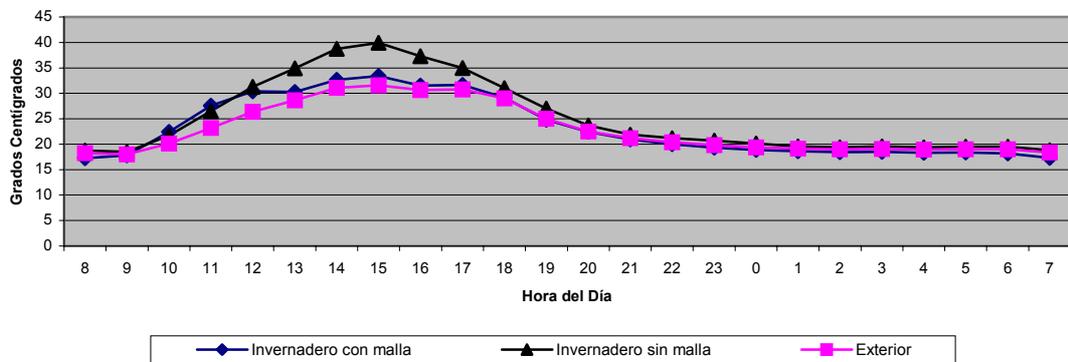
**Radiación Fotosintéticamente Activa  
03/10/2004**



**Temperatura Ambiental  
03/10/2004**

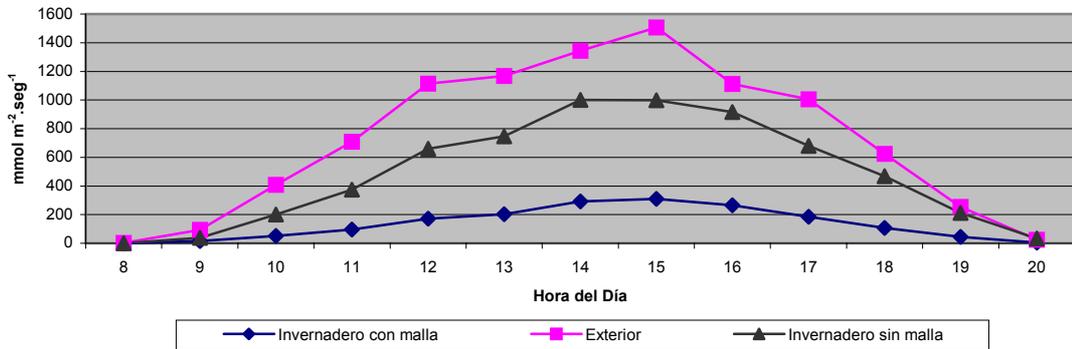


**Temperatura de la Raíz  
03/10/2004**

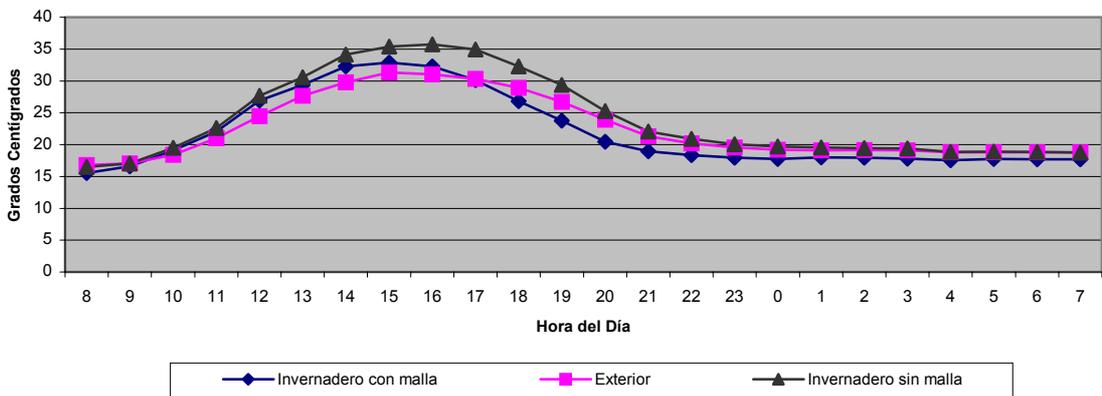


**Fig. 3.4, 3.5 y 3.6.** Radiación fotosintéticamente activa, temperatura del ambiente y de la raíz de forraje hidropónico de maíz en invernadero con y sin malla sombra.

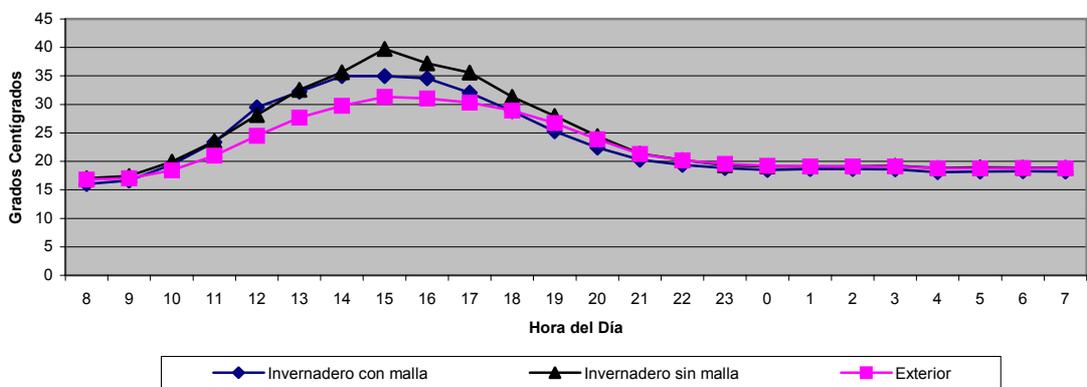
**Radiación Fotosintéticamente Activa  
06/10/2004**



**Temperatura Ambiental  
06/10/2004**



**Temperatura de la Raíz  
06/10/2004**



**Fig 3.7, 3.8 y 3.9. Radiación fotosintéticamente activa, temperatura del ambiente y de la raíz de forraje hidropónico de maíz en invernadero con y sin malla sombra.**

## CONCLUSIONES

La producción de forraje a través de la técnica hidropónica es un excelente alternativa par satisfacer las demandas alimenticias del ganado, puesto que utilizando la metodología adecuada se obtiene un producto de buena calidad y en suficiente cantidad, además de que permite ahorrar muchos recursos tales como el agua, infraestructura, mano de obra, etc, que se verá reflejado finalmente en la economía.

El uso de la malla sombra en la producción de forraje verde hidropónico, sobre todo en lugares con un intensa radiación, propicia ciertas condiciones que modifican el ambiente y por consecuencia la respuesta de las plantas. El sombreado produjo una disminución de la temperatura provocando que las plantas que se encontraban bajo la malla tuvieran mejores condiciones de crecimiento y un uso eficiente del agua bajo este sistema. El sombreado también favorece la producción y contenido de proteínas en el forraje, es decir, las plantas que se encontraban en el invernadero con malla tuvieron más proteína que las que no tenían sombra como lo muestra el cuadro 3.14, obtenido de una análisis bromatológico. La malla sombra también tuvo un efecto sobre el follaje y al altura de la plantas las hojas del forraje sombreado fueron más grandes y más delgadas que cuando recibieron más luz y la altura también fue mayor.

En cuanto a las fertilizaciones, se observa que hay una influencia positiva sobre el crecimiento y desarrollo del forraje, sobre todo en el desarrollo de hojas y tallos; aunque este efecto no fue muy notable se observó que las plantas fertilizadas crecen mejor y permanecen más tiempo en buenas condiciones comparándolos con las que no fueron fertilizadas.

## **RECOMENDACIONES**

Producir Forraje Verde Hidropónico para la alimentación del ganado, ya que es un alimento de muy buena calidad y tiene muchos beneficios, además de que permite ahorrar muchos recursos.

Antes de empezar a trabajar con este material se recomienda conocer la metodología para así tener una idea de los factores que intervienen en la producción, esto con la finalidad de tener buenos resultados.

En lugares con una intensa radiación solar es recomendable utilizar mallas sombra para que las plantas crezcan y se desarrollen en buenas condiciones, lo que se verá reflejado en una buena producción.

Se sugiere también llevar a cabo una fertilización nitrogenada para que el forraje aumente o mantenga su calidad a lo largo del ciclo.

Sería conveniente seguir realizando estudios acerca del Forraje Verde Hidropónico sobre todo en lo que se refiere al manejo y a los factores que influyen sobre éste para que así se puedan modificarlos o controlarlos permitiendo así tener éxito en esta actividad.

## BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, A. C. 2003. Efecto de la Densidad de Siembra en la Producción de Forraje Verde Hidropónico en Cebada, Trigo y Triticale. Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila México.
- Antonio, B. A. 2001. Influencia de la Fertilización en el Desarrollo y Calidad Nixtamalera de Dos Maíces Criollos (*Zea mays* L.) Bajo Condiciones de Temporal en la Localidad de Tlalixtac, Oaxaca. Tesis Licenciatura. UAAAN, Buenavista, Saltillo Coahuila, México.
- Arano, C. R. 1976. Raciones Hidropónicas. Buenos Aires, Argentina. La Serenísima 29: 13-19. Cultivos Hidropónicos. 31: 4-19. Forraje Verde Hidropónico (FVH) 35: 19. La Serenísima
- Arano, C. R. 1998. Forraje Verde Hidropónico y Otras Técnicas de Cultivo sin Tierra. Editado por el Autor. Prov. de Buenos Aires, Argentina.
- 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.
- Buttery, B. R. 1969. Effects of plant population and fertilizer on the growth and yield of soybeans. Can. J. Plant. Sci. 49:659-673.
- Carámbula, M; Terra, J. 2000. Alternativas de Manejo de Pasturas Post-sequía. Revista Plan Agropecuario N° 91. Montevideo, Uruguay.
- Chang, M; Hoyos, M; Rodríguez, A. 2000. Producción de Forraje Verde Hidropónico. Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral. Lima, Perú.
- Chico J. A. V. 2000. Influencia de la Intensidad Lumínica y Manejo de Períodos de Sombreo en la Absorción de Flores de Liliis (*Lilium spp*). Tesis, Licenciatura. UAAAN. Horticultura. Septiembre. Saltillo, Coahuila, México.

- COLJAP. 1997. Aprende Fácil Cultivos Hidropónicos No. 9. Ediciones Culturales Ver LTDA pp 137-142.
- Comarck, R. G. M. 1952. Effects of exposure to direct, sun light upon the development of leaf structure of two deciduos shrub species. CAN. J. Of Bot. Vol. 31.
- Dosal A. J. J. M. 1987. Efecto de la Dosis de Siembra, Época de Cosecha y Fertilización sobre la Calidad y Cantidad de Forraje de Avena Producido bajo Condiciones de Hidroponía. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de Concepción, sede Chillán, Chile.
- Dueñas L. E. R., Aguirre, R. y G. R. de Lucía Silva. 1977. Efecto de la Densidad de Población y la fertilización nitrogenada y fosfatada en el rendimiento del maíz forrajero H-127. Cahpingo, Nueva Época. No. 7-8.
- Fails, B S., Lewis, A. J. 1982. Anatomy and Morphology of Sun and Shade Grown *Ficus benjamina*. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 107 (5): 754-757.
- FAO. 2001. Forraje Verde Hidropónico. Manual Técnico. Mejoramiento de la Disponibilidad de Alimentos en los Centros de Desarrollo Infantil del INNFA. Oficina regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile.
- Gaitán, J., J. Polendo, W. Du Solier. 2002. Programa Estratégico de Necesidades de Investigación y Transferencia de Tecnología del estado de Coahuila. Reporte Etapa I. Recolección de Información e Identificación de Cadenas Productivas Prioritarias. Centro de Agronegocios del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.
- Ghosh, S. P. 1973. Internal structure and photosinthetic activity of different leaves of apple. J. Hort. Sci. 48: 1-9.
- Hashemi, D. A. y Herbert, S. J. 1992. Intensifyny plant density resnponse of corn with artificial shade. Agronomy Journal. 34: 151-154.

- 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.
- Hunt, R. 1982. Plant Growth Curves the Functional Approach to Plant Growth Analysis. Edward Arnold, Pub. London, U. K.
- Huterwal, O. G. 1983. Hidroponía. Cultivos de Plantas Sin Tierra. Editorial Albatros, Buenos Aires, Argentina.
- Ibarra, P. R. 1989. Estudio Comparativo del Efecto de la Malla Antigranizo En Algunos Parámetros Fisiotécnicos y Morfológicos den el Cultivo del Manzano (*Malus silvestres*). Tesis Licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Jaramillo V. V. 1992. La Importancia Forrajera del Maíz. Comisión Técnico Consultiva de Coeficientes de Agostadero (COTECOCA). III Simposio Nacional Sobre el Maíz. Guadalajara, Jal., México, marzo de 1992.
- Kappel, F. 1983. Effects of Shade on Photosynthesis, specific wight leaf clorophill content, and, morphology of young peahc trees. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 108 (4): 541-544.
- Llanos, C. M. 1984. El Maíz. Editorial Mundi – Prensa.
- Lomelí Z. H. 2000. Agroicultura. México.
- Martínez, E. 2001. Comunicación Personal a la FAO. Maldonado, Uruguay.
- Martínez G., M. A. 2000. Efecto de la Malla Sombra en la Calidad y Rendimiento de Chile Pimiento y Chile Anaheim (*Capsicum annuum* L.). Tesis Lic. UAAAN. Saltillo, Coah. México.
- Marulanda, C; Izquierdo, J. 1993. Manual Técnico “La Huerta Hidropónica Popular”. FAO. PNUD. Santiago, Chile.
- 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.

- Moreno C., C. 2000. Distribución de la Radiación Solar en el Cultivo de Maíz (*Zea mays* L.) Bajo diferentes Densidades de Población. Tesis M. C. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México.
- Munguia, L. J. P. 1985. El Acolchado de Suelo y la Práctica del Riego en el Cultivo de Espinaca (*Spinacia oleraceae* L.) var. Viroflay. Tesis de Maestría, UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila México.
- Munguia-López, R. Quezada-Martín, M. de la Rosa Ibarra y B. Cedeño-Ruvalcaba. Effectof Plastic Mulch on Growth of melon, *Cucumis melo* L. “Laguna” Hybrid. International Journal of Experimental Botany. 69 (2000) 37-44.
- Ñíguez C. M. E. 1988. Producción de Forraje en Condiciones de Hidroponía II. Selección de Especies y Evaluación de Cebada y Trigo. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de Concepción, Sede Chillán Chile.
- Papaseit, P., Badiola, J. y Armengol, E. 1997. Los plásticos y la Agricultura. Ediciones de Horticultura, S. L.
- 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.
- Pérez L. 2000. Obtención de Forraje y Alimento para Avestruz por Medio de Hidroponía. Trabajo presentado en el curso de Química Experimental, impartido en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua.
- Ramos, C. 1999. El Uso de Aguas Residuales en Riegos Localizados y en Cultivos Hidropónicos. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. Valencia, España.
- Resh, M. H. 1996-1997. Cultivos Hidropónicos. Nuevas Técnicas de Producción. Cuarta Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid España.
- Robles, R. S. 1990. Producción de Granos y Forrajes. 5ª Edición. Editorial Limusa, México.

- Rodríguez, S. 1999. Informe Entregado al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, dentro del Proyecto Sevilla. Clave: 9505097
- Rodríguez, S. 2000. Hidroponía: Una Solución de Producción en Chihuahua. México. Boletín Informativo de la Red Hidroponía N° 9 Lima, Perú.
- Rodríguez, A; Chang, M; Hoyos, M; Falcón, F. 2000. Manual Práctico de Hidroponía. Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima Perú.
- Rodríguez D. A., Hoyos R. M., Chang L R. M. 2001. Soluciones Nutritivas en Hidroponía. Formulación y Preparación. Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral. Departamento de Biología. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Rodríguez M. 2003. Producción de Forraje Verde. Literatura pendiente de publicación. Facultad de Zootecnia de la Universidad Autónoma de Chihuahua.
- Rodríguez, S. 2003. Forraje Verde Hidropónico. Boletín informativo No. 21 Octubre/Diciembre. Universidad Agraria la Molina. Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral, Departamento de Biología. Lima Perú.
- Rodríguez S. A. C. 2003. Forraje Verde Hidropónico. Como Producir con Facilidad, Rapidez y Óptimos Resultados. Primera Edición. Editorial DIANA S. A. de C. V. México D. F. febrero de 2003.
- 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.
- Sánchez, A. 2000. Una Experiencia de Forraje Verde Hidropónico en el Uruguay. Boletín Informativo de la Red Hidroponía N° 7. Lima, Perú.
- Schneider, A. 1991. Alternativas para Lecheras y Engordes: Forraje Verde Hidropónico. Revista El Campesino (Julio 1991). Santiago, Chile.
- Sepúlveda, R. 1994. Notas Sobre Producción de Forraje Verde Hidropónico. Santiago, Chile.

- Simple Shed Company. 2003. Hidroponic Fodder Section. Australia. <http://www.simpleshed.com/fodder/enclosed%20systems/6salientpoint.html>
- Sivori, M. E., Montaldi, E. R. y Caso, O. H. 1980. Fisiología vegetal. Ed. Hemisferio Sur. S. A. Buenos Aires, Argentina.
- Syversten, J. P. 1984. Light acclimation in citrus leaves. II CO<sub>2</sub> assimilation and light, water and nitrogen use efficiency. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 109 (6): 812-817.
- Tanaka, A.; Yamaguchi, J. 1981. Producción de Materia Seca, Componentes de Rendimiento y Rendimiento del Grano de Maíz. Editorial. C. P., Chapingo, México.
- Torres, R. E. 1995. Agrometeorología. Editorial: Trillas. México
- Valdivia B. E. 1996. Producción de Forraje Verde Hidropónico. Curso Taller Internacional de Hidroponía. Del 25 al 29 de marzo de 1996. Lima, Perú.
- Valdivia B. E. 1997. Producción de Forraje Verde Hidropónico. Conferencia Internacional en Hidroponía Comercial. Del 6 al 8 de Agosto de 1997. UNA La Molina. Lima, Perú.
- Watson, D. J. 1956. Leaf growth in relation to crop yield. In: the growth of leaves. Proceedings of the third Easter School in Agricultural science, University of Nottingham. Milthorpe, F. L. Ed. Butterworths Sci. Publ. London.
- Zarca, Y. 1992. Películas Fotoselectivas y Fluorescentes en Plásticultura. CEPLA.