



# **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”**

**UNIDAD LAGUNA  
DIVISION DE CARRERAS AGRONOMICAS**

**PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO COMO  
ALTERNATIVA DE SUPLEMENTO PARA GANADO CAPRINO  
DURANTE LA ÉPOCA SECA EN LA REGIÓN LAGUNERA**

**POR**

**SERGIO ADRIÁN MORALES RAMÍREZ**

**TESIS  
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL  
TÍTULO DE:**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**TORREON, COAHUILA, MEXICO**

**DICIEMBRE DE 2013**

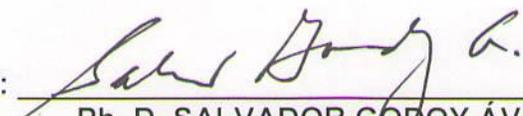
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

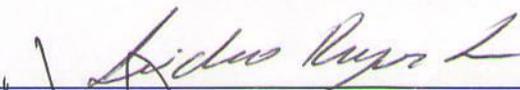
“ANTONIO NARRO”  
UNIDAD LAGUNA

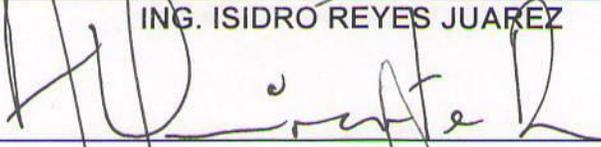
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

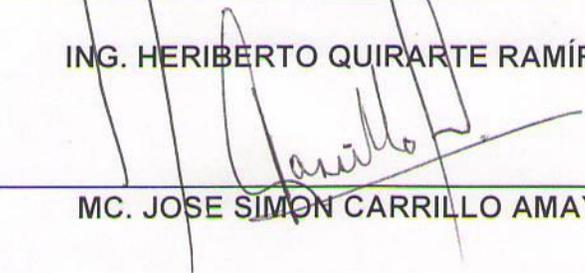
TESIS DEL C. SERGIO ADRIAN MORALES RAMIREZ ELABORADA BAJO LA SUPERVISIÓN DEL COMITÉ PARTICULAR DE ASESORÍA Y APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE: INGENIERO AGRÓNOMO

COMITÉ PARTICULAR:

Asesor Principal:   
Ph. D. SALVADOR GODOY ÁVILA

Asesor:   
ING. ISIDRO REYES JUÁREZ

Asesor:   
ING. HERIBERTO QUIRARTE RAMÍREZ

Asesor:   
MC. JOSE SIMON CARRILLO AMAYA

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE  
CARRERAS AGRONÓMICAS U/L

  
DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS



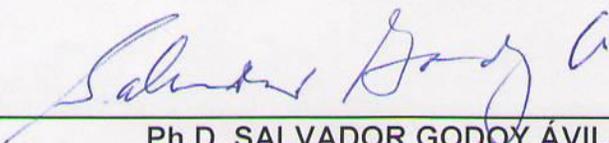
Coordinación de la División de  
Carreras Agronómicas

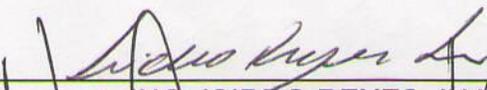
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
"ANTONIO NARRO"  
UNIDAD LAGUNA

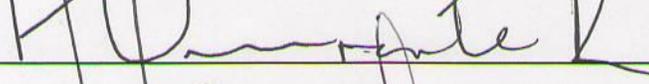
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

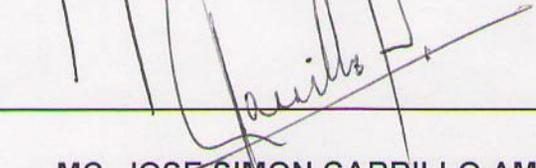
TESIS DEL C. SERGIO ADRIAN MORALES RAMIREZ QUE SE SOMETE A LA  
CONSIDERACION DEL H. JURADO EXAMINADOR, COMO REQUISITO  
PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO AGRÓNOMO

COMITÉ EXAMINADOR

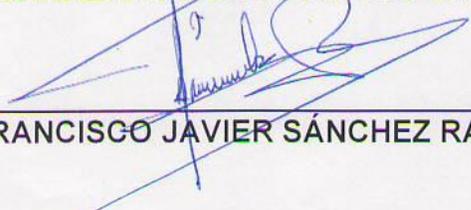
Presidente:   
Ph.D. SALVADOR GODOY ÁVILA

Vocal:   
ING. ISIDRO REYES JUAREZ

Vocal:   
ING. HERIBERTO QUIRARTE RAMIREZ

Vocal suplente:   
MC. JOSE SIMON CARRILLO AMAYA

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE  
CARRERAS AGRONÓMICAS UL

  
DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS



Coordinación de la División de  
Carreras Agronómicas

## DEDICATORIA

A mis padres Sergio Morales Ramírez y Ma. Lourdes Ramírez castro por todo el apoyo brindado para la culminación de mi carrera

### **A MI FAMILIA MUY EN ESPECIAL:**

#### **A mis padres**

Sergio Morales Ramírez y Ma. Lourdes Ramírez Castro dedico este trabajo a ellos que con ansias esperaban la culminación de mi carrera y la obtención de mi título. Por el esmero e interés que mostraron siempre, la confianza que en mi depositaron y el apoyo económico que me brindaron.

#### **A mi esposa**

Flor Lizeth Juárez López

Por apoyarme y depositar su confianza en mí a pesar de la adversidad.

#### **A mi hija**

Melany Nicole Morales Juárez que me dio fuerzas para terminar mi carrera.

#### **A mis hermanos**

A mis tres hermanos que han influido en la culminación de mi carrera **Fabiola, Sergio y Luis**, por el apoyo moral, les dedico este trabajo

## RESUMEN

El proyecto se realizó en el campo experimental la laguna en Matamoros, Coahuila, en un invernadero de 5x8m construido para este fin, con el objetivo de producir forraje verde hidropónico de maíz, triticale y cebada para suplementar cabras en la época seca. La cebada y triticale tienen una mayor conversión semilla-forraje verde que el maíz (1:5 contra 1:3). El consumo de agua promedio para la producción de un kilogramo de forraje verde fue de 5.34 litros. Los rendimientos obtenidos fueron menores que los reportados en la literatura. Este sistema de producción de forraje verde hidropónico es viable para la suplementación de ganado caprino en zonas áridas donde la producción de forraje convencional no es posible por falta de agua o falta de suelos con condiciones para producir.

**Palabras clave:** forraje, hidroponía, sin suelo, agua, hongos

## ÍNDICE

|   |          |
|---|----------|
| <b>I INTRODUCCIÓN .....</b>   | <b>1</b> |
| 1.1 Hipótesis.....  | 3        |
| 1.2 Objetivos .....   | 3        |
| <b>II REVISION DE LITERATURA .....</b>                              | <b>4</b> |
| 2.1 Forraje verde hidropónico.....                                  | 4        |
| 2.2 Ventajas y desventajas .....                                    | 6        |
| 2.2.1 Ventajas.....   | 6        |
| 2.2.1.1 Ahorro de agua.....   | 6        |
| 2.2.1.2 Eficiencia en el uso del espacio .....                      | 6        |
| 2.2.1.3 Eficiencia en el tiempo de producción .....                 | 7        |
| 2.2.1.4 Producción constante de forraje en cualquier clima .....    | 7        |
| 2.2.2 Desventajas .....   | 7        |
| 2.2.2.1 Desinformación y sobrevaloración de la tecnología .....     | 7        |
| 2.2.2.2 Se requiere capacitación .....                              | 8        |
| 2.2.2.3 Muy susceptible al ataque de hongos.....                    | 8        |
| 2.2.2.4 Costo de instalación elevado .....                          | 8        |
| 2.2.2.5 Alto contenido de humedad del FVH .....                     | 8        |
| 2.3 Fisiología de la producción de FVH .....                        | 8        |
| 2.4 Condiciones ambientales que se requieren para producir FVH..... | 11       |
| 2.4.1 Luz .....   | 11       |
| 2.4.2 Temperatura.....  | 11       |
| 2.4.3 Humedad Relativa .....  | 12       |
| 2.5 Infraestructura requerida para producir FVH .....               | 12       |
| 2.5.1 Estructura de protección.....                                 | 13       |
| 2.5.2 Contenedores para la semilla.....                             | 13       |
| 2.5.3 Estantes .....  | 14       |
| 2.6 Sistema de riego .....  | 14       |
| 2.7 Proceso de producción de FVH .....                              | 15       |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.7.1 Selección de semilla .....   | 16        |
| 2.7.2 Lavado .....   | 17        |
| 2.7.3 Desinfección y Pre remojo .....  | 17        |
| 2.7.4 Pre germinación en fase oscura .....                                     | 19        |
| 2.7.5 Siembra en fase oscura .....   | 20        |
| 2.7.6 Fase luminosa .....  | 22        |
| 2.7.7 Riegos .....   | 22        |
| 2.7.8 Calidad del agua .....   | 24        |
| 2.7.9 Fertilización .....  | 24        |
| 2.7.10 Cosecha .....   | 24        |
| <b>III MATERIALES Y METODOS.....</b>   | <b>26</b> |
| 3.1 Descripción del área de estudio.....                                       | 26        |
| 3.2 Lavado y desinfección de semillas.....                                     | 26        |
| 3.3 Pre germinación en fase oscura .....                                       | 27        |
| 3.4 Siembra en fase oscura .....   | 27        |
| 3.5 Fase luminosa.....   | 28        |
| 3.6 Riegos .....   | 28        |
| 3.7 Cosecha .....  | 28        |
| <b>IV RESULTADOS .....</b>   | <b>30</b> |
| 4.1 Rendimiento y consumo de agua en el proceso de producción de F.V.H.....    | 30        |
| 4.1.1 Rendimiento.....   | 30        |
| 4.1.2 Consumo de agua.....   | 30        |
| 4.1.3 Producción de materia seca.....  | 31        |
| 4.1.4 Principales problemas en la producción de forraje verde hidropónico..... | 33        |
| <b>V DISCUSIÓN .....</b>   | <b>38</b> |
| <b>VI CONCLUSIONES.....</b>  | <b>40</b> |
| <b>VII BIBLIOGRAFIA.....</b>   | <b>42</b> |

## I INTRODUCCIÓN

El Forraje verde hidropónico (F.V.H.) consiste en la germinación de granos (semillas de cereales o de leguminosas) y su posterior crecimiento bajo condiciones ambientales controladas (luz, temperatura y humedad) en ausencia del suelo, (Barrios, 2007). Usualmente se utilizan semillas de avena, cebada, maíz, trigo y sorgo se realiza durante un período de 8 a 14 días teniendo como principio el crecimiento de las plántulas a partir de las reservas en las semillas. Debido a su gran digestibilidad y calidad nutricional es una alternativa para la alimentación de los animales domésticos.

El presente documento está diseñado para apoyar a los productores a mejorar el proceso de producción de forraje verde hidropónico (FVH), el cual es una variación de las técnicas de los cultivos sin suelo (hidroponía) que realiza la germinación de las semillas a raíz desnuda, sin ningún sustrato o tierra de por medio. En la región lagunera existen dos objetivos de producción caprina bien definidos, estos son: producción de leche y producción de cabrito. Este sistema de producción leche-cabrito se localiza en áreas donde los recursos alimenticios disminuyen considerablemente en el invierno, especialmente entre enero y febrero. La alimentación básica es la vegetación natural constituida por pastos, brotes de arbustos, árboles y los residuos de cosechas en las áreas de riego.

Los principales factores limitantes de este sistema de producción están asociados a la carencia alimenticia y la concentración de los partos en el invierno.

La deficiencia alimenticia que se agudiza entre enero y abril contribuye a bajos índices de fertilidad (51.1%), altos índices de aborto (265%) y elevada mortalidad de adultos y crías (14.7 y 11.2%) por lo que desde el punto de vista económico, el productor recibe un porcentaje muy bajo del precio final del cabrito y por la leche de cabra (Salinas *et al*, 1991). El forraje verde hidropónico (FVH) es una metodología de producción de alimento para el ganado que resulta propicia para evadir las principales dificultades encontradas en zonas áridas y semiáridas para la producción convencional de forraje para el ganado caprino.

La producción de FVH es una tecnología de desarrollo de biomasa vegetal obtenida a partir del crecimiento inicial de plántulas en los estados de germinación y crecimiento temprano a partir de semillas con una alta tasa de germinación para producir un forraje vivo de alta digestibilidad, calidad nutricional y apto para la alimentación del ganado caprino (FAO, 2002). Esta metodología alternativa de producción de forraje en la cual se considera el ahorro de agua, altos rendimientos por m<sup>2</sup>, calidad nutricional, exhibilidad en la transferencia y mínimos impactos negativos sobre el medio ambiente es de particular importancia para el suplemento de alimento al ganado caprino en épocas de escasez de forraje o

como un complemento alimenticio en todo el año. El FVH es un sistema de producción de forraje el cual es complementario y no competitivo a la producción convencional de forraje a partir de especies aptas para cultivo forrajero (González, 2010).

### **1.1 Hipótesis**

Es posible producir forraje verde hidropónico de forma sostenible y sustentable para la suplementación de ganado caprino en la época de escasas de forraje.

### **1.2 Objetivos**

1.2.1 Producir forraje para la suplementación del ganado caprino en épocas de sequía mediante la técnica de producción de forraje verde hidropónico.

1.2.2 Identificar las características del forraje verde hidropónico como alimento alternativo para ganado caprino.

1.2.3 Verificar condiciones ambientales existentes para producir forraje verde hidropónico en la región lagunera.

## II REVISION DE LITERATURA

### 2.1 Forraje verde hidropónico

El concepto de FVH tiene inicio en el siglo XVII cuando el científico irlandés Robert Boyle (1627-1691) citado por Arano, (1998) realizó los primeros experimentos de cultivos en agua. Pocos años después, sobre el final de dicha centuria, John Woodward citado por Arano, (1998) produjo germinaciones de granos utilizando aguas de diferentes orígenes y comparó diferentes concentraciones de nutrientes para el riego de los granos así como la composición del forraje resultante.

El FVH es un forraje vivo, de alta digestibilidad, calidad nutricional y muy apto para la alimentación animal, no sólo de rumiantes, sino de mono gástricos.

El FVH es biomasa vegetal de alta sanidad y calidad nutricional producido muy rápidamente (9 a 15 días), en cualquier época del año y en cualquier localidad geográfica, siempre y cuando se establezcan las condiciones mínimas necesarias para ello (FAO, 2002).

En la práctica, el FVH consiste en la germinación de granos (semillas de cereales o de leguminosas) y su posterior crecimiento bajo condiciones

ambientales controladas (luz, temperatura y humedad). Usualmente se utilizan semillas de avena, cebada, maíz, trigo y sorgo. Se realiza durante un período de 10 a 14 días teniendo como principio el crecimiento de las plántulas a partir de las reservas en las semillas (Figura 1). La producción del FVH es una de las derivaciones prácticas que tiene el uso de la técnica de los cultivos sin suelo o hidroponía (Huterwal, 1960; y Níguez, 1988).



Figura 1. Forraje verde hidropónico a partir de semillas de maíz, cebada y triticales

## **2.2 Ventajas y desventajas**

### **2.2.1 Ventajas**

#### **2.2.1.1 Ahorro de agua**

En el sistema de producción de FVH las pérdidas de agua por evapotranspiración, escurrimiento superficial e infiltración son mínimas al comparar con las condiciones de producción convencional de forraje (Lomelí, 2000).

#### **2.2.1.2 Eficiencia en el uso del espacio**

El sistema de producción de FVH puede ser instalado en forma modular para ahorrar espacio al estar ubicados de forma vertical (Figura 2).



Figura 2. Estantes de cinco niveles para la producción modular de forraje verde hidropónico

### **2.2.1.3 Eficiencia en el tiempo de producción**

La producción de FVH es apto para suplementación animal tiene un ciclo de 10 a 14 días.

### **2.2.1.4 Producción constante de forraje en cualquier clima**

El uso de estructuras de protección contra factores climáticos (invernaderos rústicos, casa sombras, bodegas y otras construcciones) en el sistema de producción de FVH, permite producir forraje todos los días del año.

## **2.2.2 Desventajas**

### **2.2.2.1 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 ambiente, esto ha ocasionado el fracaso de algunos proyectos por no haber accedido a una capacitación previa que permita un correcto manejo del sistema. Así mismo el FVH es una actividad continua y exigente en cuidados lo que implica un compromiso concreto del productor.

#### **2.2.2.2 Se requiere capacitación**

Es importante tener un conocimiento básico de cómo funciona el sistema de producción de FVH,

#### **2.2.2.3 Muy susceptible al ataque de hongos**

El descuido en el mantenimiento de los niveles de humedad y temperatura pueden provocar problemas con hongos y bacterias.

#### **2.2.2.4 Costo de instalación elevado**

La implementación de infraestructura y equipos para la producción de FVH implica un costo inicial considerable.

#### **2.2.2.5 Alto contenido de humedad del FVH**

Lo cual puede limitar su manejo y duración después del corte.

### **2.3 Fisiología de la producción de FVH**

El forraje verde hidropónico se produce a partir de la germinación de semillas de cultivos forrajeros, la germinación inicia desde el momento en que se somete la semilla a inhibición o hidratación. El germen del embrión de la futura planta, a partir de los carbohidratos y lípidos almacenados, es capaz de transformarse en pocos días en una plántula con capacidad para captar energía del sol. En este estado la planta tanto en su parte aérea como en la zona radicular se encuentra

en un crecimiento acelerado teniendo poco contenido de fibra y un alto contenido en proteína, parte de la cual se encuentra en estado de nueva formación, por lo que gran parte de los aminoácidos están en forma libre y son aprovechables más fácilmente por los animales que los consumen.

**Germinación** Una semilla contiene una planta embrionaria en un estado de reposo, y la germinación es la reanudación del crecimiento hasta convertirse en una nueva planta (Figura 3). **Condiciones para la germinación** Para que el proceso de germinación, es decir, la recuperación de la actividad biológica por parte de la semilla, tenga lugar, es necesario que se den una serie de condiciones ambientales favorables como son: humedad suficiente, disponibilidad de oxígeno que permita la respiración aerobia y, una temperatura adecuada para los distintos procesos metabólicos y para el desarrollo de la plántula.

Los factores que afectan a la germinación se dividen en dos tipos internos y externos.

Los factores internos que afectan a la germinación son la madurez que presentan las semillas y la viabilidad de las mismas, la semilla está madura cuando ha alcanzado su completo desarrollo tanto desde el punto de vista morfológico como fisiológico.

La viabilidad de las semillas es el período de tiempo durante el cual las semillas conservan su capacidad para germinar. Es un período variable y depende del tipo de semilla y de las condiciones de almacenamiento.

Entre los factores externos o ambientales, existen tres factores importantes: agua, temperatura (Mínima, Máxima y óptima) y oxígeno. (Raven *et al.*, 1992). En el Cuadro 1 se indica el contenido de humedad que requieren algunas semillas para germinar. En el Cuadro 2 se presenta la temperatura mínima, máxima y óptima requerida para la germinación.

Cuadro 1. Contenido de humedad necesario para que ocurra la germinación de algunas semillas de especies cultivadas.

| <b>cultivo</b>        | <b>Contenido de humedad para germinación en %</b> |
|-----------------------|---|
| <b>Maíz</b>           | 30.5  |
| <b>Avena y cebada</b> | 32.0-36.0   |
| <b>Soya</b>           | 50  |

Cuadro 2. Temperatura mínima, máxima y óptima requerida para la germinación de algunos cultivos forrajeros.

| <b>cultivo</b>        | <b>Temperatura mínima °C</b> | <b>Temperatura óptima °C</b> | <b>Temperatura máxima °C</b> |
|-----------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| <b>Maíz</b>           | 8-10                         | 32-35                        | 40-44                        |
| <b>Avena y cebada</b> | 3-5                          | 25-31                        | 30-40                        |
| <b>Trigo</b>          | 3-5                          | 15-31                        | 30-43                        |
| <b>Soya</b>           | 8                            | 32                           | 40                           |

## **2.4 Condiciones ambientales que se requieren para producir FVH**

Las condiciones ambientales que tienen mayor influencia en la producción de FVH son: La luz, temperatura y humedad relativa.

### **2.4.1 Luz**

La radiación solar es muy importante para el proceso de fotosíntesis; porque provoca el crecimiento vegetal y la síntesis de otros compuestos como las vitaminas que son de vital importancia para la alimentación del animal. La semilla de FVH necesita estar en oscuridad para que germine, al comienzo del ciclo de producción y hasta el cuarto o quinto día debe estar en un ambiente de luz muy tenue pero con riego. Después de esto se exponen a la acción de la luz, no le debe dar la luz directa del sol ya que produce quemaduras en la plántula.

### **2.4.2 Temperatura**

La temperatura es una de las variables más importantes en la producción de FVH, esto implica efectuar un debido control sobre la regulación de la misma el rango de temperatura está entre los 15-28 °C, la temperatura óptima es de 23 °C, aunque esto depende de la especie utilizada y de sus requerimientos. Un exceso de temperatura puede causar hongos, y una temperatura baja retarda el crecimiento (Calderón, 1992).

### **2.4.3 Humedad Relativa**

Como el cultivo de FVH es un cultivo a raíz desnuda, es decir sin sustrato, se deberá realizar en un ambiente con una alta humedad relativa entre el 60 y 80% para evitar que las raíces se sequen, esta humedad se consigue con la frecuencia de los riegos y de la evapotranspiración de las plantas. (Gutiérrez, *et al.*, 2000). Es importante que la humedad no exceda de 80% ya que existe el riesgo que proliferen enfermedades por hongos. Una humedad relativa baja provoca la desecación del ambiente y disminución significativa de la producción por deshidratación del cultivo.

### **2.5 Infraestructura requerida para producir FVH**

Para cualquier proceso de producción con hidroponía se requiere una infraestructura que brinde protección al sistema.

Las instalaciones pueden ser desde materiales muy sencillos y económicos, hasta construcciones de invernaderos formales altamente tecnificados (FAO, 2002). El productor puede adecuar las instalaciones disponibles de acuerdo a sus posibilidades, éstas deben permitir regular la ventilación, iluminación y temperatura para mantener el microclima adecuado para la producción de FVH.

La infraestructura básica con que se debe contar para la producción de FVH es la siguiente (Figura 4): Figura

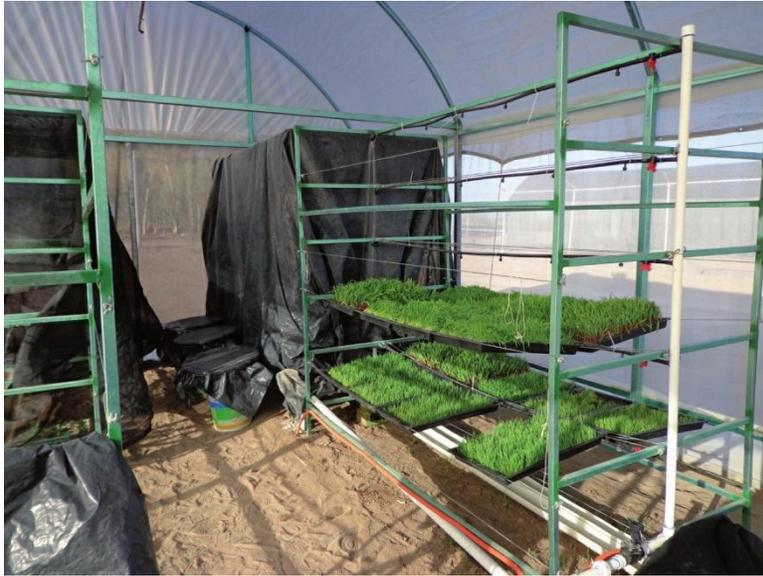


Figura 4. Infraestructura básica para la producción de FVH en la que se observan la estructura de protección, estantes, charolas de producción y el sistema de riego.

### **2.5.1 Estructura de protección**

Sirve para proteger el forraje de la luz directa del sol, viento, lluvia y del ataque de depredadores, se pueden usar estructuras simples cubiertas con malla sombra, bodegas, invernaderos, instalaciones industriales en desuso, antiguos criaderos de pollos, galpones vacíos, viejas fábricas, casas abandonadas, o cualquier otra instalación disponible que pueda servir para este fin.

### **2.5.2 Contenedores para la semilla**

Son los recipientes que se usan para colocar la semilla para el desarrollo del cultivo, el material con que están fabricados puede ser de cualquier tipo y origen.

Lo más común es que sean recipientes de plástico de desecho, cortados longitudinalmente y obtener dos contenedores por cada uno de los recipientes, se deben hacer pequeñas perforaciones que sirvan para drenaje del agua, también se utilizan charolas de plástico de diferentes tamaños fabricadas específicamente para la producción de FVH.

### **2.5.3 Estantes**

Los estantes son la infraestructura que soportan los contenedores o charolas donde se va a cultivar el forraje y pueden ser fabricados de madera, metal o PVC, su altura debe permitir un manejo adecuado de los contenedores o charolas, los estantes deben tener una pendiente transversal para favorecer el drenaje y evitar encharcamientos en las charolas que pueden provocar la pudrición de la semilla o de la planta. Los estantes también sirven de soporte para colocar el sistema de riego.

## **2.6 Sistema de riego**

En la producción de FVH es imprescindible el uso de un sistema de riego para suplir las necesidades de agua de las plantas y suministrarle los nutrientes necesarios. Los sistemas de riego que pueden utilizarse van desde uno manual con regadera hasta el más sofisticado con controladores automáticos de dosificación de nutrientes, pH y programador automático de riego. Los sistemas más

utilizados son el riego por goteo, riego por aspersión y riego por nebulización, el riego por inundación no es recomendable ya que se pueden provocar encharcamientos en las charolas que propicien la aparición de hongos.

## 2.7 Proceso de producción de FVH

Para la producción de forraje verde hidropónico se utilizó el método de producción descrito en el manual técnico “Forraje Verde Hidropónico” editado por la FAO, en la Figura 5 se muestran las etapas correspondientes.

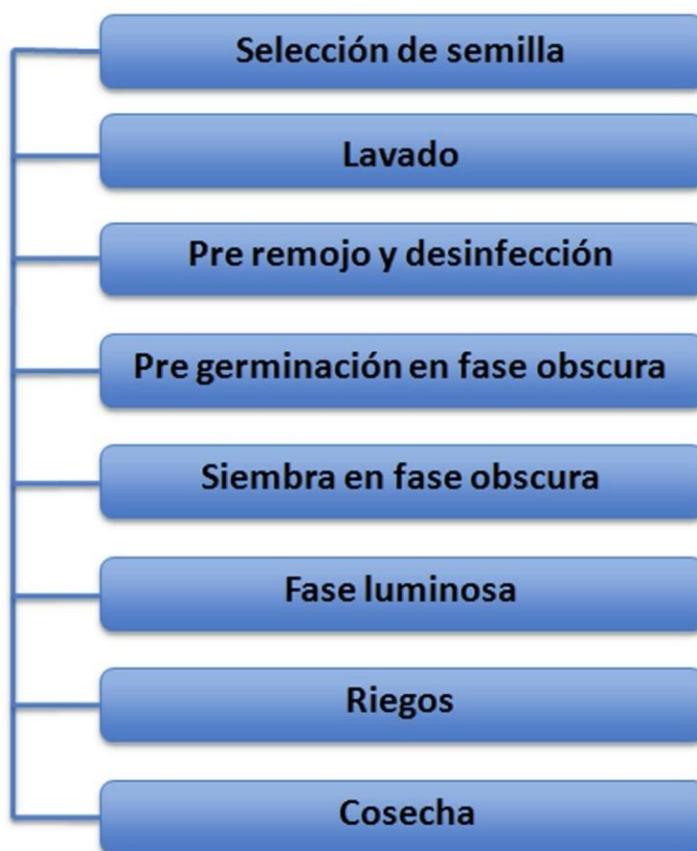


Figura 5. Diagrama de las etapas que componen el proceso de producción de FVH.

### 2.7.1 Selección de semilla

La selección de la semilla a utilizar depende de la disponibilidad local y/o del precio a que se logren adquirir. Las especies más empleadas son el maíz, cebada, trigo y avena (Figura 6). Se debe seleccionar cuidadosamente la semilla, atendiendo a que los granos estén en buen estado (ni rotos, ni maltratados) y, particularmente, a que no hayan sido tratados con pesticidas o productos tóxicos. (Gallegos, 2004, Gutiérrez, *et al.*, 2000; Samperio, 1997),



Figura 6. Semillas de maíz, cebada y triticales seleccionadas para producir Forraje verde hidropónico.

En resumen al seleccionar la semilla debemos considerar lo siguiente:

- Usar semillas de buena calidad, de origen conocido y adaptadas a las condiciones locales.
- Libres de fungicidas e insecticidas.
- Libres de plagas, enfermedades y libres de material contaminante.
- Madurez fisiológica.
- No material transgénico.

### 2.7.2 Lavado

La semilla a utilizar debe lavarse para eliminar basura, material flotante, semillas vanas, quebradas o podridas que no germinarán y que pueden ser fuente de contaminación que favorezca el crecimiento de hongos y bacterias (Figura 7).



Figura 7. Proceso de lavado para eliminar basura y contaminantes que contiene la semilla para producción de FVH.

Se recomienda lavar tantas veces como sea necesario, hasta ver que el agua esté limpia. Por otra parte es importante señalar que el agua utilizada en esta etapa se puede reciclar y utilizarse en otras actividades.

### 2.7.3 Desinfección y Pre remojo

La semilla se desinfecta agregando cloro al 1% (10 m<sup>1</sup> por litro de agua utilizada) y se deja reposar por espacio de 10 a 15 minutos. Después de este tiempo se enjuaga bien y se desecha el agua. Esto sirve para eliminar hongos y bacterias presentes en las semillas, también ayuda a evitar el crecimiento de hongos y bacterias durante el proceso de producción de FVH (Figura 8).



Figura 8. Proceso de desinfección con cloro y eliminación por lavado después de reposar por espacio de 10 a 15 minutos.

Las semillas limpias, se dejan remojar por un lapso no mayor de 24 horas.

Otra forma de desinfectar la semilla es mediante la aplicación de cal a razón de 50 gramos por litro de agua y remojar por 8 horas para desinfectar y reblandecer la semilla, luego dejar orear por una hora enjuagar y volver a remojar por 16 horas con agua limpia y completar las 24 horas (Figura 9)



Figura 9. Remojo en cal para desinfección y reblandecimiento de la semilla.

Al absorber agua las semillas se hinchan, se reblandecen y están listas para germinar (Figura 10)



Figura 10. Comparación de semilla seca y semilla remojada lista para pre germinación.

#### 2.7.4 Pre germinación en fase oscura

Luego del periodo de remojo de las semillas, se dejan orear en un recipiente con orificios (Tipo cedazo) para eliminar el exceso de agua, luego se debe tapar el recipiente con plástico negro y se deja así por dos días (Figura 11). A los dos días las semillas tienen raíces y se puede ver el punto de brote (Figura 12).



Figura 11. Proceso de pre germinación de semilla en fase oscura, Oreo de la semilla, Pre germinación.



Figura 12. Semilla de triticales después de dos días de pre germinación.

### **2.7.5 Siembra en fase oscura**

La semilla ya germinada se coloca en las charolas o recipientes destinados para este fin. Las charolas o recipientes deben ser lavados y desinfectados con cloro utilizando la misma concentración utilizada en la desinfección de la semilla. La cantidad de semilla depende del recipiente que sea utilizado pero la altura de la cama de siembra no debe exceder de 1.5 cm, es importante no dejar espacios sin cubrir en el recipiente (Figura 13).



Figura 13. Siembra de semilla pre germinada en charolas.

Las charolas se colocan en el área de germinación la cual debe estar tapada con plástico negro (en total oscuridad), las charolas permanecerán por espacio de 4 a 6 días (Figura 14). Después de este tiempo las charolas pasan a la fase luminosa (área de producción).



Figura 14. Charolas colocadas en el área de germinación (fase oscura) y Desarrollo de las plantulas después de 6 días listas para pasar al área de producción.

### **2.7.6 Fase luminosa**

Se trasladan las charolas del área de germinación al área de producción en donde permanecerán hasta su cosecha (6 a 8 días y que cumpla con una altura de 15 a 20 cm), el crecimiento del forraje verde hidropónico se realiza con total iluminación, tomando en consideración que no deben recibir la luz directa del sol (Figura 15).



Figura 15. Charolas de FVH en los estantes de producción (fase luminosa).

### **2.7.7 Riegos**

El riego puede llevarse a cabo de manera sencilla y económica simplemente utilizando una regadera manual o utilizando métodos costosos y sofisticados en los que es necesario el uso de micro aspersores, nebulizadores, riego por goteo y controladores de riego (Figura 16). No se recomienda el riego por inundación, ya

que favorece la acumulación de humedad propiciando el desarrollo de hongos y bacterias.



Figura 16. Sistema de riego por nebulización automatizado para la producción de FVH.

La frecuencia de irrigación es muy importante y dependerá de la demanda de agua de las plantas, la que a su vez está determinada por la temperatura, luz y su etapa de crecimiento (Morgan, 1992). Considerando que en verano el requerimiento de agua es mayor que en invierno.

La cantidad a aplicar será de 0.5 litros/m<sup>2</sup>; hasta 2 litros/m<sup>2</sup> de acuerdo a los requerimientos del cultivo y a las condiciones ambientales.

Nota: Es importante asegurarse que las raíces de la semilla o las plantas no se sequen.

### **2.7.8 Calidad del agua**

El agua debe ser limpia, de preferencia potable, si no cuenta con agua potable, esta se debe filtrar y desinfectar. Preferentemente el pH del agua debe estar entre 6 y 7.

### **2.7.9 Fertilización**

La semilla contiene una importante reserva de nutriente, por lo cual no es necesario aplicar fertilizantes en las primeras etapas de desarrollo, no obstante se puede considerar fertilizar cuando la producción se pasa a la fase luminosa, utilizando mezclas comerciales específicas para este sistema de producción.

### **2.7.10 Cosecha**

La cosecha del FVH se debe hacer cuando el forraje alcance una altura de 15 a 20 cm y tenga una edad promedio de 10 a 15 días en verano y de 15 a 21 días en invierno, se colecta el total de la biomasa que se encuentra en el recipiente. La biomasa total comprende hojas, tallos, colchón radicular y semillas sin germinar. Posteriormente se puede ofrecer a los animales, se debe considerar picar la biomasa para disminuir el desperdicio de forraje (Figura 17).



Figura 17. Biomasa total cosechada de FVH que comprende hojas, tallos y colcho radicular lista para el consumo, Suplementación de FVH en ganado caprino.

## **III MATERIALES Y METODOS**

### **3.1 Descripción del área de estudio**

El presente trabajo se desarrolló en el campo experimental la laguna, localizado en Matamoros, Coahuila. Para la realización de este trabajo se construyo un invernadero tipo túnel de 5x8m con cuatro estantes con capacidad de 300 charolas de 60x40m para forraje verde hidropónico, con sistema de riego por nebulización, El invernadero se cubrió en su parte cenital con polietileno y en los laterales con malla antiáfido para control de plaga, control de temperatura y renovación de aire.

Las especies seleccionadas fueron maíz, triticale y cebada, considerando el precio y disponibilidad local. Se utilizaron cuatro kilos de semilla de cada especie seleccionada por día.

El FVH de maíz, trigo y cebada fue desarrollado igual para las tres especies mediante el siguiente procedimiento:

### **3.2 Lavado y desinfección de semillas**

Las semillas se depositaron en botes de plástico de 20 litros, Se vertió agua corriente de tal manera que el nivel subiera al doble del espacio ocupado por las semillas. Se agitaron suavemente las semillas dentro de los botes para su lavado, se retiraron impurezas y fragmentos de semillas utilizando un cedazo. El agua de lavado fue desechada y remplazada por igual volumen de agua limpia. La semilla

se desinfectó agregando cloro al 1% (10 mililitros por litro de agua utilizada) y se dejó reposar por espacio de 10 a 15 minutos. Después de este tiempo se enjuagó bien y se desechó el agua. Las semillas limpias, se dejan remojar por un lapso no mayor de 24 horas.

### **3.3 Pre germinación en fase oscura**

Luego del periodo de remojo de las semillas, se dejaron orear en un recipiente con orificios (Tipo cedazo) para eliminar el exceso de agua, enseguida se tapó el recipiente con plástico negro y se dejó así por dos días. A los dos días las semillas ya tenían raíces.

### **3.4 Siembra en fase oscura**

La semilla ya germinada se colocó en las charolas. Las charolas se lavaron y desinfectaron con cloro utilizando la misma concentración utilizada en la desinfección de la semilla. Se formó una altura de cama de siembra no mayor de 1.5 centímetros, tratando de no dejar espacios sin cubrir en la charola.

Las charolas se colocaron en el área de germinación, tapadas con plástico negro (en total oscuridad), por espacio de 4 a 6 días.

### **3.5 Fase luminosa**

Las charolas se trasladaron del área de germinación al área de producción en donde permanecieron hasta su cosecha (6 a 8 días más ó una altura de 15 a 20 centímetros), el crecimiento del forraje verde hidropónico se realizó con total iluminación, tomando en consideración que no deben recibir la luz directa del sol.

### **3.6 Riegos**

Los riegos se realizaron por medio de nebulizadores aplicando de 8 a 10 riegos por día con una duración de 10 a 15 segundos para evitar la deshidratación y promover el crecimiento de las plántulas.

### **3.7 Cosecha**

La cosecha del FVH se realizó cuando el forraje alcanzó una altura de 15 a 20 centímetros o cuando tenía una edad promedio de 10 a 15 días en verano y de 15 a 21 días en invierno, se colectó el total de la biomasa de la charola. La biomasa total comprende hojas, tallos, colchón radicular y semillas sin germinar.

Para evaluar el rendimiento de las diferentes especies el FVH de todas las charolas de cada cultivo fue cosechado y se determinó su peso fresco. El diseño estadístico fue bloques al azar con cuatro repeticiones.

Se instaló un medidor de agua en el sistema de riego para medir la cantidad de agua consumida.

## IV RESULTADOS

### 4.1 Rendimiento y consumo de agua en el proceso de producción de F.V.H.

#### 4.1.1 Rendimiento

Para las condiciones de la Región Lagunera con un clima árido semicálido y una temperatura media de 22 a 26°C, la conversión de semilla a forraje fue para el caso del maíz 1:3 y para el caso de la cebada y triticale de 1:5, en los tres casos la semilla preparada fue de 4 kilogramos (Cuadro 3). El período de preparación de semilla a cosecha fue de 15 días

Cuadro 3 Rendimiento de FVH de tres cultivos y su conversión semilla — forraje verde.

| Cultivo          | Kg de semilla | Kg de FVH | Kg de FVH/ Kg de semilla | Conversión de semilla a forraje base húmedo |
|------------------|---------------|-----------|--------------------------|---|
| <b>MAIZ</b>      | 4.00          | 12.562    | 3.132                    | 1:3   |
| <b>CEBADA</b>    | 4.00          | 21.366    | 5.342                    | 1:5   |
| <b>TRITICALE</b> | 4.00          | 19.700    | 4.925                    | 1:5   |

#### 4.1.2 Consumo de agua

El consumo de agua total en el proceso de producción de FVH incluye el agua utilizada en la preparación de semilla (Lavado, desinfección y remojo) además de

la requerida para el lavado de charolas y el riego, en el Cuadro 4 se muestra el consumo de agua por cada actividad para la preparación de 12 kilos de semilla (cuatro kilos de maíz, cuatro de triticale y cuatro de cebada).

Cuadro 4. Consumo de agua por actividad en el proceso de producción de FVH.

| <b>Actividad</b>                                | <b>Litros de agua utilizados</b> |
|---|----------------------------------|
| <b>Lavado, desinfección y remojo de semilla</b> | 92                               |
| <b>Lavado de charolas</b>                       | 54                               |
| <b>Riego de charolas de producción</b>          | 140                              |
| <b>TOTAL</b>                                    | 286                              |

La producción obtenida de los 12 kilogramos de semilla fue de 53.6 kilogramos en promedio de FVH (Cuadro 3), el consumo de agua de acuerdo al Cuadro 4 es de 286 litros de agua, por lo tanto el agua requerida para producir un kilogramo de FVH en base húmedo es de 5.34 litros.

#### **4.1.3 Producción de materia seca**

El FVH es un germinado de 10 a 15 días con un alto contenido de humedad que va de 80 a 90%. El rendimiento en base húmedo no proporciona una medida exacta del valor alimenticio del forraje, por lo que se debe transformar el rendimiento en base materia seca (MS), (Sneath y McIntosh, 2003).

En el Cuadro 5 se muestra la producción de FVH y su conversión a materia seca de acuerdo al % de peso seco de cada cultivo, en la conversión final se observa que la materia seca es igual o menor que el peso de la semilla, esto indica que la materia seca del FVH es la misma de la semilla, incluso disminuye. La razón de esta pérdida es probablemente debida a la utilización de los carbohidratos, de la energía dentro del grano para la germinación y el crecimiento de la planta. La fotosíntesis comienza alrededor del día 5 cuando se activan los cloroplastos, pero cuando se cosecha el FVH a los 10 a 15 días, no hay acumulación de MS significativa (Dung, *et al.*, 2010).

Cuadro 5. Conversión de semilla a materia seca (MS) de tres cultivos utilizados en la producción de forraje verde hidropónico.

| Cultivo   | Kg de semilla | Kg de FVH | Peso seco % | Materia seca Kg | Conversión Kg semilla/ Kg FVH (MS) |
|-----------|---------------|-----------|-------------|-----------------|------------------------------------|
| MAIZ      | 4.00          | 12.562    | 24          | 3.01            | 1:0.75                             |
| CEBADA    | 4.00          | 21.366    | 14.7        | 3.14            | 1:0.78                             |
| TRITICALE | 4.00          | 19.700    | 20.2        | 3.98            | 1:0.99                             |

#### 4.1.4 Principales problemas en la producción de forraje verde hidropónico

En la Región Lagunera las temperaturas máximas extremas alcanzan hasta los 43 °C en verano, mientras que la humedad relativa promedio es baja (59%), por lo que se debe aplicar más agua para mantener las condiciones adecuadas de temperatura y humedad relativa, de lo contrario las raíces de la semilla germinada se secan ocasionando una disminución en la producción. (Figura 18).



Figura 18. Charolas de FVH presentando una baja cobertura de plántulas debido al desecamiento de la semilla germinada por altas temperaturas y baja humedad relativa.

Los niveles de humedad y temperatura por encima de los límites permisibles dentro de la unidad de producción de FVH (Temperatura >30°C, humedad relativa >80%) provocan problemas con hongos, la presencia de estos microorganismos

puede llegar a causar una severa disminución del rendimiento, incluso pérdida total cuando el grado de infestación es severo (Figura 19).



Figura 19. Charolas de FVH presentando el tapete radicular con daño severo por hongos ocasionado por altas temperaturas y alta humedad relativa.

El tipo de hongo más común es el hongo *Rhizopus* (Figura 20) que está presente en todos los granos de cereales, y en el suelo en diferentes grados de infestación, este hongo se desarrolla rápidamente y se convierte en fuente de alimento para patógenos más peligrosos para la salud animal como las bacterias, otro de los hongos encontrados en el FVH es el *aspergillus* que se encuentra en forma natural en la semilla de maíz, este hongo puede causar envenenamiento en animales (Figura 21).



Figura 20. Hongo *Rhizopus* en FVH de cebada.



Figura 21. Hongo *aspergillus* en FVH de maíz.

Las altas temperaturas en verano en la región lagunera provocan que la temperatura al interior de un invernadero sin control de clima puede aumentar de 5-10°C la temperatura del aire, aún teniendo buena ventilación por lo que no es recomendable usar plástico en el techo de una unidad de producción de FVH, ya que con esto aumenta considerablemente la temperatura y disminuye la humedad relativa (Figuras 22 y 23), se recomienda sombrear ya sea utilizando malla sombra o algún material que sirva para este fin. Otra recomendación para controlar la temperatura en el interior es la colocación de ventilación cenital para desalojar el aire caliente del interior y mejorar las condiciones de clima para la producción de FVH. En invierno las bajas temperaturas retrasan la germinación de la semilla hasta por tres días, y el ciclo total de producción se alarga hasta siete días más. Es recomendable proteger el FVH de heladas cubriendo los estantes de producción con plástico durante la noche.

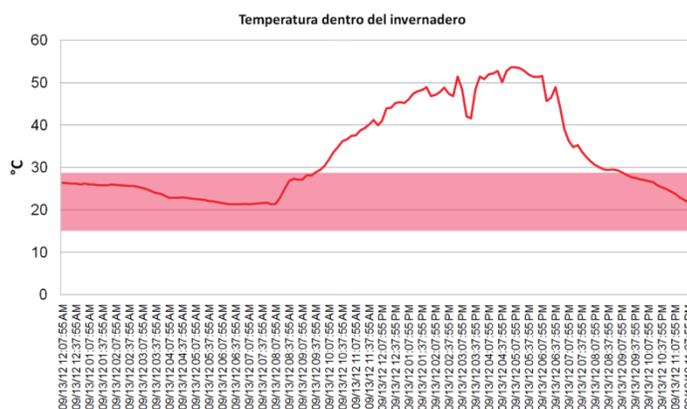


Figura 22. Temperatura registrada al interior del invernadero en 24 horas, el área sombreada representa el rango de la temperatura adecuada para producir FVH.

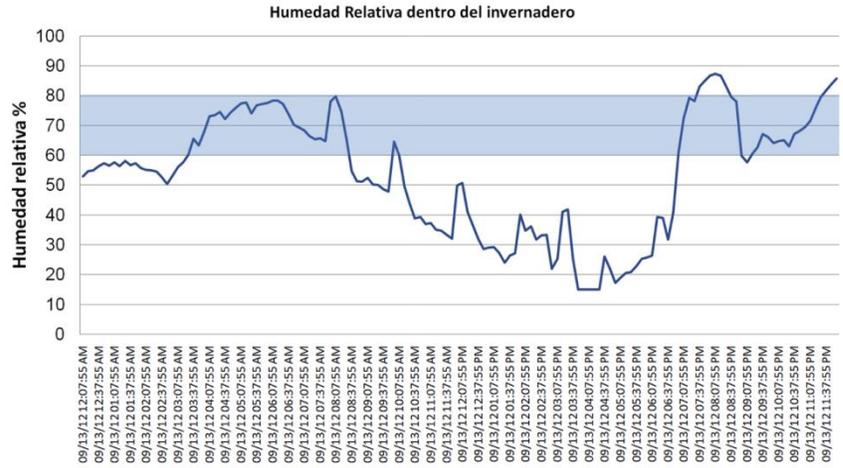


Figura 23. Humedad relativa registrada al interior del invernadero en 24 horas, el área sombreada representa el rango de la temperatura adecuada para producir FVH.

## V DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio indican que se puede producir forraje verde en un periodo de 10 a 15 días desde plantación hasta cosecha, utilizando la técnica hidropónica en los cultivos de maíz, triticale y cebada.

El cultivo con mayor conversión semilla-forraje verde fue la cebada.

El cultivo con mayor conversión semilla-Materia seca fue el triticale.

En las Figuras 21 y 22 se observa que la temperatura y humedad relativa dentro del invernadero en verano no son las adecuadas para producir FVH en base a las condiciones ambientales óptimas que se requieren para producir FVH.

Estas condiciones provocan la aparición de hongos patógenos que disminuyen el rendimiento de FVH.

Los rendimientos obtenidos en el experimento (alrededor de 4,5 kilos de FVH por cada kilo de semilla) son bajos comparados con la literatura (7,3 a 9 kilos de FVH por cada kilo de semilla), esto pudo ser debido a que no se contó con un sistema de control de temperatura y humedad dentro del invernadero, ya que el diseño fue rústico y económico para que esté al alcance de los caprino cultores del sector rural. Aun así, utilizando esta metodología de producción de FVH se puede cosechar anualmente 19,564 kg de forraje verde en un espacio de 40 m<sup>2</sup>, lo que

permite un mejor aprovechamiento del espacio disponible y la utilización de áreas no aptas para la agricultura convencional.

## VI CONCLUSIONES

De los resultados de este estudio se observa que el triticale y la cebada producen más forraje verde hidropónico que el maíz.

La producción de forraje verde hidropónico requiere menor cantidad de agua que el forraje convencional.

Las altas temperaturas y la baja humedad relativa en verano al interior del invernadero no son las adecuadas para la óptima producción de FVH

Pese a que los rendimientos alcanzados no pueden considerarse óptimos, el experimento realizado permitió obtener información importante de los problemas en el manejo de la técnica de producción de FVH y tomar medidas correctivas para lograr mejores resultados.

La técnica de producción de forraje verde hidropónico representa una alternativa viable para la suplementación de ganado caprino en épocas de sequía y en regiones donde no se puede producir forraje con los sistemas convencionales.

Se construyó una unidad de producción de forraje verde hidropónico (FVH), esta unidad está formada por la estructura del invernadero, los estantes de producción, las charolas para FVH y el sistema de riego por nebulización

Se logró la producción de forraje verde hidropónico de maíz, cebada y triticale para suplementación de ganado caprino mediante el uso de la tecnología de producción del manual técnico “Forraje verde hidropónico” preparado por la Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe.

En la Región Lagunera las altas temperaturas y la baja humedad relativa, no permiten mantener las condiciones adecuadas de temperatura y humedad relativa, dentro del invernadero sin control de clima ocasionando que las raíces de la semilla germinada se sequen ocasionando una disminución en la producción.

Las altas temperaturas en verano en la Región Lagunera provocan que la temperatura al interior de un invernadero sin control de clima pueda aumentar de 5-10°C la temperatura del aire, aún cuando se tenga una buena ventilación por lo que no es recomendable usar plástico en el techo de una unidad de producción de FVH, ya que con esto se incrementa considerablemente la temperatura y disminuye la humedad relativa provocando condiciones no adecuadas para la producción de FVH.

## VII BIBLIOGRAFIA

Barrios, L. (2007) Forraje Verde Hidropónico y otras técnicas de cultivos sin tierra, Buenos Aires, Argentina. Mimeo.

Calderón, F. 1992. Aprende fácil. Cultivos hidropónicos. Forraje verde hidropónico. Fascículo No. 9. Ediciones Culturales VER Ltda. p 137-152. Bogotá, Colombia.

Dung, I. D. D., Goodwin, I. R., & Nolan, J. V. (2010). Nutrient Content and in sacco Digestibility of Barley Grain and Sprouted Barley. Journal of Animal and Veterinary Advances, 9 (19), 2485-2492.

FAO, 2002. Forraje Verde Hidropónico, Manual Técnico. Oficina Regional para América Latina y El Caribe. Santiago, Chile. 79 p.

Gallegos, L. 2004. Hydroponic green forage. Gobierno del Estado de Chihuahua. México. 14 de septiembre de 2006. <[http://www.unm.edu/~opst/Reports/H2O%20Session%202/2-2\\_Gallegos.pdf](http://www.unm.edu/~opst/Reports/H2O%20Session%202/2-2_Gallegos.pdf)>

González M.C.G. 2010. Producción de forraje verde hidropónico como complemento alimenticio alternativo en la producción animal. Tesis. Venezuela. Universidad Bolivariana de Venezuela.

Gutiérrez, I. Sánchez, S. Calderón, F. 2000. cultivos Hidropónicos. Fascículo 9. Bogotá, Colombia. Edit. Géminis Ltda. V1 pp. 137-141,149-152.

Huterwal, G. 1992. Hidroponía. Edit. Albatros, Buenos Aires, Argentina.

Lomelí Zúñiga, H. 2000. Agrocultura. México.

Morgan, J., Hunter, R. y O' Haire, R. 1992. Limiting factors in hydroponic barley grass production. In: Proceedings of the 8th International Congress on Soilless Culture, Holanda. 241161 pp.34

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.

Raven, P.H., Evert, R. F., y Susan E. E. 1992. Biology of Plant. Ed. Wurth Publisher Inc. New York, N.Y. 9712

Salinas, H, Quiroga, M. 1991. Reporte del proyecto de sistemas de producción caprino en la Comarca Lagunera y Zacatecas. 1989-90 INIFAP/CIID 54P.

Samperio, G. 1997, Hidroponía Básica. 1a ed. México. Edit. Diana. pp. 13-35.

Sneath, R. & McIntosh, F. (2003). Review of Hydroponic Fodder Production for Beef Cattle. North Sydney; Australia: Meat and Livestock Australia Limited.