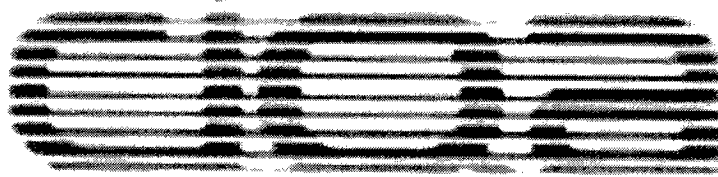


CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



**“INVERNADEROS PARA PRODUCCIÓN
DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO,
TIPOS Y CARACTERÍSTICAS”**

CASO DE ESTUDIO

PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCIÓN: AGROPLASTICULTURA

PRESENTA:

DAMIÁN MARTÍNEZ GÓMEZ



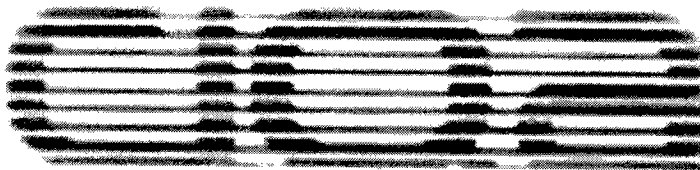
SALTILLO, COAHUILA

13 OCT 2006

AGOSTO 2006

RECIBIDO

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



HACE CONSTAR QUE EL CASO DE ESTUDIO TITULADO:

**“INVERNADEROS PARA PRODUCCIÓN
DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO,
TIPOS Y CARACTERÍSTICAS”**

PRESENTADO POR:

DAMIÁN MARTÍNEZ GÓMEZ

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:

**ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA
OPCIÓN: AGROPLASTICULTURA**

HA SIDO DIRIGIDA POR:

MC. MARIA ROSARIO QUEZADA MARTÍN

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



**A TRAVÉS DEL JURADO EXAMINADOR HACE CONSTAR
QUE EL CASO DE ESTUDIO TITULADO:**

**“INVERNADEROS PARA PRODUCCIÓN
DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO,
TIPOS Y CARACTERÍSTICAS”**

QUE PRESENTA:

DAMIÁN MARTÍNEZ GÓMEZ

HA SIDO ACEPTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL GRADO DE:

**ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA
OPCIÓN: AGROPLASTICULTURA**


DR. LUIS IBARRA JIMENEZ
PRESIDENTE


M.C. JUANITA FLORES VELASQUEZ
VOCAL

Agradecimientos

Al Centro de investigación en Química Aplicada por la beca otorgada para la realización de la Especialidad en Agroplasticultura

Al COECYT por darme la oportunidad de realizar el caso de estudio dentro del proyecto “Desarrollo de Tecnología para Producción de Forraje Verde Hidropónico a Base de Energía Alternativa para Diferentes Regiones de Coahuila” Clave: COAH-2005-CO3-13 dirigido por la M.C. Ma. Rosario Quezada Martin, el cual es apoyado con Fondos Mixtos Coahuila, Convocatoria 2005-3

INDICE GENERAL

	Pags.
Índice General	i
Índice de Figuras	iii
I. Introducción	1
Justificación del caso de estudio	2
Objetivo General	3
II. Revisión de Literatura	4
Invernaderos	4
Definición	4
Tipos de Invernaderos	5
a) Tipo Parral	5
b) Tipo Capilla o Multicapilla	6
c) Tipo Túnel	7
d) Tipo Diamante	9
e) Tipo Asimétrico	9
f) Tipo Cristal o Venlo	11
Materiales más Comunes en la Construcción de Invernaderos	12
Estructuras de Madera	12
Estructuras de Palos y Alambre	12
Estructuras de Rectas Metálicas	12
Estructuras de Hormigón	12
Estructuras Curvas	13
Materiales Utilizados como Cubierta de Invernaderos	13
a) Vidrio	14
b) Plástico Transparente	15
Plástico Rígido	15
Poliéster estratificado	15
Cloruro de Polivinilo (PVC)	15
Polimetacrilato de Metilo	16
Plástico Flexible	16
Polietileno	16
Acetato de Vinilo Etileno (Eva-Etil-Vinil-Acetato)	17
PVC Flexible	17
Factores a Considerar en la Instalación de un Invernadero	17
Tipos de Instalaciones para la Producción de FVH	18
Populares	18
Estructuras o Recintos en Desuso	21
Modernas o de Alta Tecnología	21
Características Generales del Invernadero para Producción de FVH	25
Nave de Producción	25
Germinador	26
Zona de Remojo	27
Zona de Oreo	27
Sistema de Riego	27

Sistema Eléctrico	28
Sistema de Ventilación y Enfriamiento	28
Factores que Influyen en la Producción de FVH	29
Calidad de la semilla	29
Iluminación	29
Oxigenación	31
Temperatura	32
Humedad	33
Calidad del Agua de Riego	34
Potencial de Hidrogeno (pH)	35
Conductividad Eléctrica (CE)	35
Anhídrido Carbónico (CO ₂)	36
Importancia del FVH en el Sector Pecuario	37
Investigaciones Realizadas en la Producción de Forraje Verde Hidropónico	38
III. ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO	41
IV. ÁREA DE OPORTUNIDAD	43
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	45
VI. LITERATURA CITADA	46

INDICE DE FIGURAS

	Pags.
Figura 1. Invernadero tipo parral	6
Figura 2. Invernadero tipo capilla o multicapilla	7
Figura 3. Invernadero tipo túnel	8
Figura 4. Invernadero tipo diamante o gótico	9
Figura 5. Invernadero tipo asimétrico	10
Figura 6. Invernadero de cristal o tipo venlo	11
Figura 7. Invernadero tipo túnel, con cubierta de polietileno, estantería de tubular galvanizado, charolas de polietileno de alta densidad y sistema de riego por microaspersión	19
Figura 8 y 9. Invernadero tipo túnel, estantería de perfil cuadrado, charola de polietileno de alta densidad y sistema de riego por microaspersión	20
Figura 10. Instalaciones modernas	23
Figura 11. Bandejas de producción de forraje hidropónico	24
Figura 12. Nave de producción tipo túnel, cubierta de polietileno y malla sombra de polipropileno	25
Figura 13. Charolas de producción con semilla en área de germinación	26
Figura 14. Sistema de riego por microaspersión en cada anaquel de producción	27
Figura 15. Sistema de ventilación mediante ventanas laterales	28

I. INTRODUCCIÓN

México al igual que el resto del mundo esta sufriendo los cambios climáticos que están afectando al sector agropecuarios en todas sus actividades económicas y que principalmente reducen los niveles de rendimientos de los cultivos en los que se refiere a calidad y cantidad de los mismos, por lo que será necesario buscar alternativas para enfrentar este tipo de problema que esta afectando gravemente al campo agrícola y a la población en general.

Una alternativa para el sector pecuario y en particular para la ganadería es la producción de forraje verde hidropónico, que es una técnica que nos ayuda a producir alimentos en épocas donde las condiciones no son las más favorables para el desarrollo de los pastizales y que entre sus principales ventajas están la de obtener forraje fresco de alta palatabilidad con excelente valor nutritivo a un bajo costo y en menor tiempo de lo producido en forma tradicional.

De igual manera, los invernaderos han ayudado a que esta técnica sea un éxito en su aplicación, ya que este tipo de construcción nos ayuda a controlar las condiciones ambientales que las especies vegetales requieren y en especial las forrajeras para su crecimiento y desarrollo, y así aportar las cantidades necesarias de nutrientes que los animales necesitan para producir leche y/o carne.

Los forrajes son el material vegetativo con el cual se alimenta al ganado, las especies de interés forrajero se encuentran principalmente comprendidas en la familia de las gramíneas y de las leguminosas. Las gramíneas forrajeras incluyen a pastos y cereales forrajeros los cuales tienen la característica de producir alta calidad y cantidad de alimento en un corto periodo de tiempo, presentan un alto contenido de proteínas e hidratos de carbono solubles y un bajo contenido de fibra poco lignificada (SEP, 1991).

Por lo anterior se llega a la conclusión que se deben de implementar proyectos que vayan encaminados a la producción de forraje verde hidropónico junto con los diferentes tipos

de invernaderos para que nos ayuden a que esta técnica sea más eficiente y así estar de alguna manera participando en la solución del problema

Justificación del Caso de Estudio

En las regiones áridas y semiáridas existen problemas de disponibilidad de forraje debido principalmente a las bajas precipitaciones pluviales y a las lluvias escasas, por lo cual el recurso agua es muy limitado para la producción de forraje, además los pastizales son pobres o no existen, por lo cual hay períodos críticos de escasez de alimento, principalmente en las épocas de estío lo que representa un grave problema para los productores de leche como de carne ya que tienen que comprar alimento a costos mayores o los animales tienen pérdidas de peso por falta de alimento.

Esto es más crítico para los productores rurales de leche y carne de bovino y caprino, por los pocos recursos económicos de que disponen para la compra de forraje para la alimentación de sus animales. Según los inventarios ganaderos de 2005 de la Secretaría de Fomento Agropecuario y Dirección de Ganadería de Coahuila, solamente en la región Norte y Sureste del Estado, existen alrededor de 412,000 cabezas de ganado caprino se encuentran distribuidas entre 6,500 productores y alrededor de 400,000 cabezas de ganado bovino para carne y leche distribuidas entre 6400 productores, lo que representa en conjunto de casi 13,000 familias que dependen directamente de esta actividad y se ven seriamente afectadas cuando la disponibilidad de alimento para su ganado escasea (Información personal proporcionada por el MVZ Enrique García Pérez, Director de Ganadería de la Secretaria de Fomento Agropecuario del Estado de Coahuila).

Una alternativa viable para obtener forraje verde con un 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 técnica sencilla y económica, pudiéndose 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.

La producción de forraje y principalmente de alfalfa se les considera altos consumidores de agua, sin embargo, es la actividad que realmente ha representado una opción agrícola al alcance de todos los productores, que deja ganancias gracias a la comercialización ya establecida por la demanda de leche y carne, y los forrajes son necesarios para su producción, por lo tanto, se debe hacer un esfuerzo mayor para hacer más eficiente la explotación de esta actividad y transformarlas en alternativas eficientes y productivas.

Por lo anterior se considera que es necesario desarrollar tecnología adecuada a la región para la producción de forraje verde hidropónico e implementar a nivel estatal proyectos de producción de forraje utilizando tecnología de invernaderos y sistemas automatizados de riego y fertirriego lo que permitiría disponer de forraje en forma continua, haciendo más eficiente el uso del recurso agua y el espacio además de incrementar la productividad de los hatos y mejorar la economía de los productores principalmente caprinos.

Sin embargo, existen poca metodología disponible en México para la producción de forraje verde hidropónico que sea sencilla y además poca información sobre este tema por lo que sería importante buscar y documentar la información disponible que pueda servir como base para la implementación de esta tecnología y para innovar y adecuar la tecnología a las condiciones y necesidades de nuestro país y región.

Objetivo General

Obtener y documentar información sobre los diferentes tipos de invernaderos para producción de forraje verde hidropónico, cuales son sus características principales, ventajas y desventajas y su efectividad, para que sirva de base para la toma de decisiones a productores agrícolas y pecuarios que quieran implementar esta tecnología.

- Tiene grandes facilidades para evacuar el agua de lluvia.
- Permite la unión de varias naves en batería.

La anchura que suele darse a estos invernaderos es de 12 a 16 metros. La altura en cumbreras esta comprendida entre 3.5 y 4 metros, si la inclinación de los planos de la techumbre es mayor a 25° no ofrecen inconvenientes en la evacuación del agua de lluvias.

La ventilación es por ventanas frontales y laterales, cuando se trata de estructuras formadas por varias naves unidas, la ausencia de ventanas cenitales dificulta la ventilación.

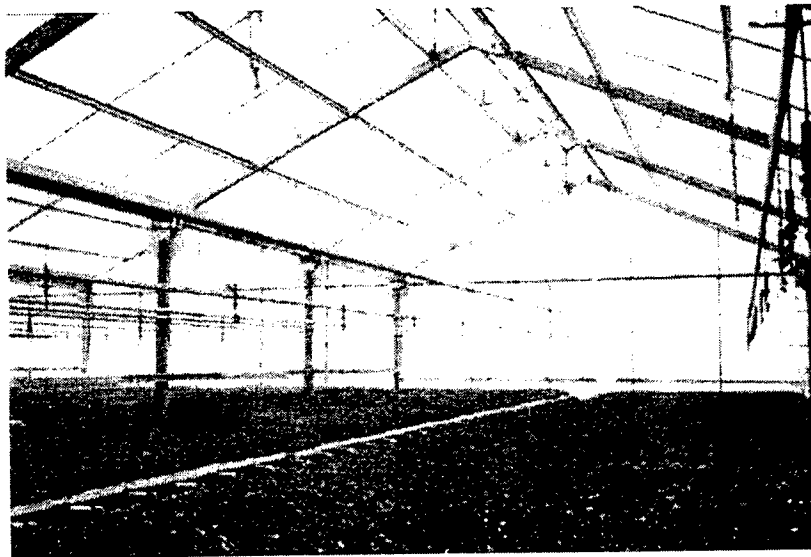


Figura 2. Invernadero tipo capilla o multicapilla

c) Tipo Túnel

El invernadero tipo túnel se considera que es la primera transformación que sufrieron las construcciones tradicionales, ya que se incrementan la captación de la energía solar y presentan una mejoría en la resistencia contra el viento. Se caracterizan por la forma de su cubierta y por su estructura totalmente metálica. El empleo de este tipo de invernadero se está extendiendo por su mayor capacidad para el control de los factores climáticos, su gran resistencia a fuertes vientos y su rapidez de instalación al ser estructuras prefabricadas.

- La instalación de ventanas cenitales es bastante difícil.
- Demasiada especialización en su construcción y conservación.
- Rápido envejecimiento de la instalación.
- Poco o nada aconsejable en los lugares lluviosos.
- Peligro de hundimiento por las bolsas de agua de lluvia que se forman en la lamina de plástico.
- Difícil mecanización y dificultad en las labores de cultivo por el excesivo número de postes, piedras de anclaje, etc.

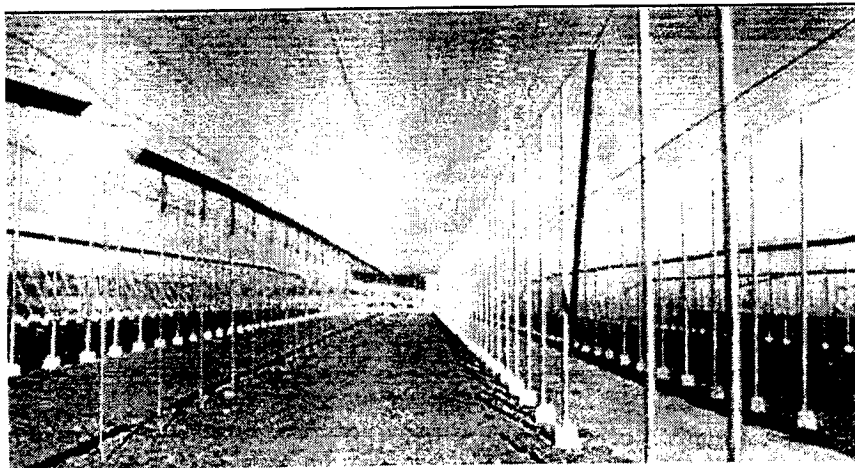


Figura 1. Invernadero tipo parral

b) Tipo Capilla o Multicapilla

Las instalaciones tipo capillas han sido consideradas las clásicas o tradicionales por muchos años. Los materiales de construcción son muy variados, desde maderas, tuberías galvanizadas hasta aluminios. Este tipo de estructura presenta una mayor exposición a las fuerzas del viento, con el consiguiente problema de sufrir riesgo.

Las principales ventajas son:

- Es de fácil construcción y de fácil manejo.
- Es muy aceptable para la colocación de todo tipo de plásticos en la cubierta.
- La ventilación vertical en paredes es muy fácil y se puede hacer de grandes superficies, con mecanización sencilla. También resulta fácil la instalación de ventanas cenitales.

Es un conjunto de perfiles metálicos galvanizados en caliente, que forman una estructura que puede ser recubierta con diferentes materiales: vidrio, lámina de policarbonatos, películas de plástico, Euronovedades (2001).

Los principales aspectos que controlamos en un invernadero para el buen crecimiento y desarrollo de las plantas son:

1. Factores que rigen las actividades de las plantas (luz, temperatura y humedad).
2. Factores que influyen en la eficiencia del trabajo humano.
3. Control de plagas y enfermedades, Euronovedades (2001).

Tipos de Invernaderos

Según la conformación estructural, los invernaderos se pueden clasificar en:

a) Tipo Parral

Este tipo de invernadero es el comúnmente utilizado en la zona de Almería en las costas del mar Mediterráneo en España. La estructura se encuentra constituida por dos partes claramente diferenciadas (una estructura vertical y otra horizontal). La escasa precipitación de esa zona es la que ha predominado en la elección de este tipo de invernadero.

Las principales ventajas son:

- Su economía de construcción.
- Su gran adaptabilidad a la geometría del terreno.
- Mayor resistencia al viento.
- Aprovecha el agua de lluvia en periodos secos.
- Presenta una gran uniformidad en cuanto a luminosidad.

Las desventajas que presenta son:

- Poco volumen de aire.
- Mala ventilación.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Invernaderos

El propósito fundamental de cultivar bajo condiciones de invernaderos algunos cultivos es el de obtener producción fuera de la temporada normal, precocidad y así esperar un mejor precio en el mercado del producto con respecto a la época usual. Con esto se logra obtener producto de gran calidad derivado de la protección contra ciertos agentes devastadores (sequías, heladas, vientos, polvo, granizo, etc.), Robledo y Martín (1981).

Para la producción de Forraje verde hidropónico (FVH), los invernaderos han sido de gran ayuda porque han representado una alternativa para los productores que día a día enfrentan la sequía que cada año se les presenta afectando a los pastizales principalmente en cuanto a calidad y cantidad del mismo, repercutiendo básicamente en la producción y rendimiento del sector pecuario.

Definición

Un invernadero es una instalación cubierta y abrigada artificialmente con materiales transparentes para defender a las plantas de la acción de los meteoros exteriores. El volumen interior del recinto permite el desarrollo de los cultivos en todo su ciclo vegetativo (Serrano, 1980).

La norma francesa define como invernaderos, "Conjunto formado por estructura y cubierta que permite la protección y el crecimiento de las plantas mediante el uso de energía solar y la defensa contra el frío y otras condiciones climáticas adversas, las dimensiones del recinto permiten trabajar cómodamente en su interior" (Vigouroux 1999).

Los soportes son de tubos de hierro galvanizado y tienen una separación interior de 5 x 8 o 3 x 5 m. La altura máxima de este tipo invernadero oscila entre 3.5 y 5 m. En las bandas laterales se adoptan de 2.5 a 4 m.

El ancho de estas naves esta comprendidos entre 6 y 9 m y permite el adosamiento de varias naves en baterías. La ventilación es mediante ventanas cenitales que se abren hacia el exterior del invernadero.

Las principales ventajas que caracterizan a este tipo de invernaderos son:

- Estructuras con pocos obstáculos en su estructura.
- Buena ventilación.
- Buena estanqueidad a la lluvia y al aire.
- Permiten la instalación de ventilación cenital a sotavento y facilita su accionamiento mecanizado.
- Buen reparto de la luminosidad en el interior del invernadero.
- Fácil instalación.

Los inconvenientes o desventajas son:

- Elevado costo.
- No aprovecha el agua de lluvia.

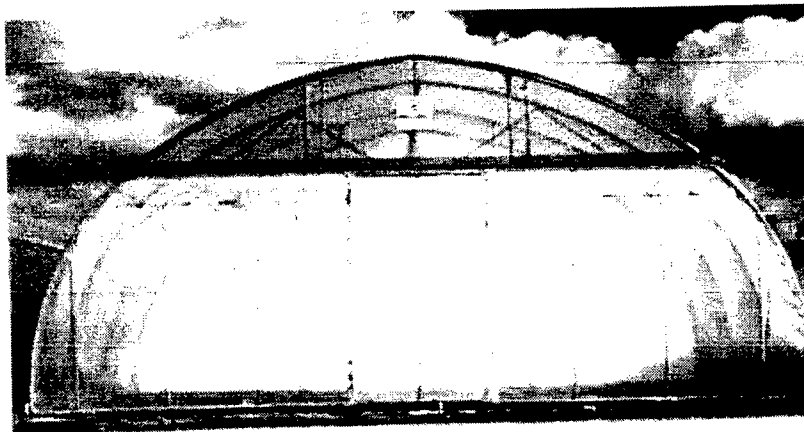


Figura 3. Invernadero tipo túnel

d) Tipo Diamante

La construcción tipo diamante o gótico presenta un diseño estructural aerodinámico para cultivos de diversas especies vegetales, con una gran capacidad de captación de radiación solar (siempre y cuando disponga de una orientación adecuada), tienen gran resistencia a los efectos del viento y de un bajo costo.

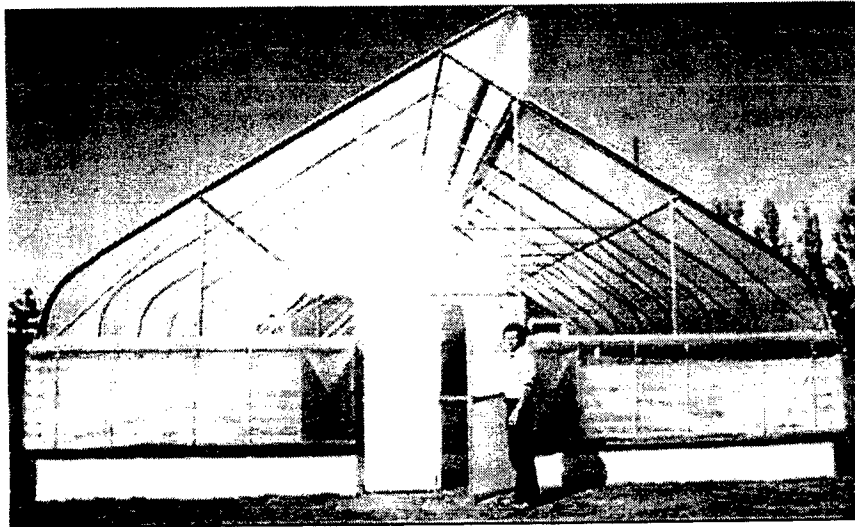


Figura 4. Invernadero tipo diamante o gótico

Las principales ventajas que caracterizan a este tipo de invernaderos son:

- Buena iluminación.
- Buena ventilación cenital y lateral.
- Resistencia al viento.
- Buen deslizamiento de agua y nieve.
- Fácil instalación

Los inconvenientes o desventajas son:

- No aprovecha el agua de lluvia.
- Es más difícil adosar varias naves

e) Tipo Asimétrico

Es una construcción sencilla y de moderada resistencia a los efectos del viento, de mayor costo que los invernaderos tipo túnel o circulares y que ha venido a resolver los problemas de captación de radiación solar, específicamente en los periodos de días cortos, para cubrir su objetivo, al momento de su diseño se toma en cuenta el ángulo de incidencia de los rayos solares sobre un plano horizontal, buscando el ángulo de mayor incidencia de los rayos solares sobre un plano horizontal, buscando un ángulo reducido en la cara sur de la cubierta que procure la máxima penetración y aprovechamiento de la energía solar, especialmente en los meses invernales. La adopción de sistemas de ventilación cenital de fácil empleo permite un mejor manejo del clima del invernadero, Rodríguez (1996).

Las principales ventajas que caracterizan a este tipo de invernaderos son:

Fácil manejo

Moderada iluminación

Buena ventilación

Los inconvenientes o desventajas son:

Menor resistencia a la acción del viento que los circulares

Mayor costo que los invernaderos tipo túnel

Requiere soldadura en algunas uniones



Figura 5. Invernadero tipo asimétrico

f) Tipo Cristal o Tipo Venlo

Principalmente son de estructuras metálicas prefabricadas con cubierta de vidrio y se emplean generalmente en el Norte de Europa. El techo de este invernadero industrial esta formado por paneles de vidrio que descansan sobre canales de recogida de lluvia y sobre un conjunto de barras transversales. La anchura de cada módulo es de 2 a 3 m, desde los canales hasta la cumbrera hay un solo panel de vidrio de una longitud de 1.5 m, y una anchura que varía desde 0.75 hasta 1.5 m, la separación entre columnas en la dirección paralela a los canales es de 3 m, y en el sentido transversal están separadas de 2 a 3 m.

Las ventajas que presente este tipo de invernaderos son:

- Buena estanqueidad lo que facilita una mejor climatización de los invernaderos.

Los inconvenientes o desventajas son:

- La abundancia de elementos estructurales implica una menor transmisión de luz.
- Su elevado costo.
- Naves mas pequeñas debido a la complejidad de su estructura.



Figura 6. Invernadero de cristal o tipo venlo.

Así mismo, al elegir el tipo de invernadero; es necesario también elegir el material con el cual se va a construir la estructura del invernadero debido a que es de gran importancia, ya que de esta elección depende el costo y la duración de la estructura.

Materiales más Comunes en la Construcción de Invernaderos

Estructura de Madera

Estas estructuras se hacen con diferentes tipos de madera, siendo las más comunes eucalipto, pino y castaño. Antes de montar el invernadero conviene hacer un tratamiento de curación a la madera para evitar su envejecimiento y pudrición. La altura que suelen darse a estos invernaderos es de 3 a 3.5 m, en cubrerías y de 2 a 2.5 m, en las paredes laterales, la distancia entre postes ha de estar comprendido entre 3 y 4 m, y la anchura recomendable esta comprendida entre 10 y 12 m, no es conveniente verlos adosados en batería, Serrano (1980).

Estructuras de Palos y Alambre

En este tipo de estructura se combina la madera con el alambre, la madera es de rollizos de eucaliptos (aunque también puede ser de otra clase de madera), que forman los pies derechos e inclinados; el alambre constituye toda la techumbre y paredes verticales, Serrano (1980).

Estructuras Rectas Metálicas

El material con que se construye este tipo de estructuras es de hierro galvanizado o sin galvanizar, el hierro que se utiliza es de varias formas o secciones, destacándose los perfiles en ángulo, los tubos cilindro y los tubos cuadrangulares; como complemento de esto, algunas veces se emplea hierro redondo y pletina.

Estructuras de Hormigón

Las estructuras hechas a base de hormigón de cemento son poco utilizadas; en la mayoría de los casos se combina el hormigón que siempre estará armado con la madera y el

hierro, no se aconseja este tipo de estructura a no ser que se requiera una gran altura de la nave en una zona donde los vientos sean muy peligrosos.

Estructuras Curvas

Las estructuras curvas son muy distintas unas de otras y todas se construyen de metal o de arcos de hierro macizo o tubos de hierro de 3/4 de pulgada de diámetro, este tipo de invernaderos se construye en naves aisladas cuya anchura oscila entre 3 y 6 metros, Serrano (1980).

Materiales Utilizados como Cubierta de Invernaderos

Considerando el sistema de producción de cultivos protegidos, se debe tomar en cuenta que de la cubierta del invernadero dependerán primordialmente los resultados, tanto de precocidad como en producción, así como la inversión, ya que la cubierta condiciona el tipo de estructura que se utilizará. La ligereza de los materiales de la estructura dependerá del peso que tengan los materiales de cubierta.

El material de cubierta debe de cubrir los siguientes requisitos: buen efecto de abrigo, gran retención de calor, buen rendimiento térmico, transparencia a las radiaciones solares, buena opacidad a las radiaciones infrarrojas largas emitidas por el suelo y la planta durante la noche.

La mayoría de las películas plásticas utilizadas como cubierta para invernaderos son termoplásticos a excepción del poliéster reforzado con fibra de vidrio. La ligereza de los materiales constituye una gran ventaja, tanto en el transporte y manipulación, así como en menores exigencias de estructuras, Rodríguez (1996).

En el caso de cubierta para forraje verde hidropónico, éstas pueden tener un porcentaje menor de transmisión de luz, o en su defecto adicionar una malla sombra ya que el forraje hidropónico requiere menor radiación que los demás cultivos de invernadero. La disminución

en la radiación disminuye automáticamente la temperatura interior del recinto de producción y se mejora el desarrollo de los forrajes al disminuir el estrés de las plantas por altas temperaturas, además de que al disminuir la radiación incidente con el sombreado se incrementa el contenido de proteína en los forrajes de trigo y maíz (De León 2005).

A continuación se mencionaran los principales materiales que se han utilizados para cubierta de invernadero:

a) Vidrio

El cristal es el primer material que se ha utilizado como cubierta de invernadero y el que se utiliza como cubierta en invernadero es siempre el vidrio impreso o cristal, con la particularidad que por una cara esta pulido y por la otra es rugoso. Lógicamente en la colocación del cristal sobre la cubierta de la instalación la cara rugosa quedará hacia el interior y la cara pulida hacia el exterior.

Colocando el cristal de la forma que se acaba de indicar, recibirá por la parte exterior casi todas las radiaciones luminosas que al pasar a través de éste, se difundirán en todas las direcciones al salir por la cara rugosa.

Como la transparencia del cristal es aproximadamente un 90%, si se tiene en cuenta su propiedad de buena transmisión de la luz, la luminosidad dentro del invernadero o se asemeja bastante a la que existe en el exterior cuando los haces luminosos inciden perpendicularmente sobre el cristal y, por lo tanto, hay poca reflexión.

El cristal tiene la propiedad de ser casi totalmente opaco a las radiaciones de longitud larga, es decir, a las que emiten las plantas y el suelo por las noches, las pérdidas de calor por las noches son mucho menores que las que ocurren con los demás materiales plásticos utilizados como cubiertas.

El vidrio es inalterable, a los medios en que esta expuesto en el invernadero tal como: calor, humedad, ácidos, productos de blanqueo, etc. No envejece ni pierde transparencia (Serrano, 1980).

b) Plástico Transparente

Las fluctuaciones de temperaturas entre el día y la noche son pronunciadas; en el día el efecto de invernadero esta a su nivel máximo ya que es transmitido mas del 80% de la radiación al interior y al suelo.

En la noche la permeabilidad del plástico, si éste no tiene aditivos térmicos a la radiación de longitud de onda infrarroja significa mayor perdida de energía térmica de reirradiación terrestre (Reyes, 1992).

*** Plásticos Rígidos**

- **Poliéster estratificado:** Suelen ser resinas de poliéster reforzados con fibra de vidrio. Puede presentarse en láminas planas u onduladas.

Es menos transparente que el cristal, pero esta característica puede ser mejorada por determinados aditivos en su composición, son relativamente opacos a la radiación ultravioleta y producen un efecto de invernadero correcto (Reyes, 1992).

- **Cloruro de Polivinilo (PVC):** En placas rígidas puede presentarse en forma plana u ondulada. También se encuentra en láminas de plástico flexible. En su elaboración admite un gran número de aditivos químicos, que mejoran sus cualidades ópticas. Su fabricación ha evolucionado mucho y es uno de los más utilizados dentro de la gama de productos a precio económico.

- Polimetacrilato de Metilo: Su empleo esta muy limitado por su elevado precio. Tiene buena transparencia, es inalterable y de gran resistencia mecánica. Puede adoptar formas especiales de manera bastante sencilla. En los ultimo años, se han empezado a fabricar placas planas o estructuradas (con cámaras de aire) (Reyes, 1992).

*** Plásticos Flexibles**

Es uno de los plásticos mas utilizados. Tiene óptimas cualidades ópticas pero es muy transparente a los rayos infrarrojos, con lo cual no produce efectos de invernadero y además puede ser degradado por la radiación UV muy rápidamente. Sin embargo estos inconvenientes pueden solventarse agregándoles aditivos, y unos plásticos que hace pocos años había que cambiar forzosamente cada temporada, actualmente pueden durar dos, tres o hasta cuatro años.

Este material plástico es un derivado de la hulla del petróleo. Según su forma de fabricación puede ser de alta o baja densidad; los de alta densidad son más rígidos y frágiles en el caso de temperaturas bajas, que los de baja densidad.

- Polietileno: Se reconoce porque al quemarla arde con facilidad dando una llama viva y despidiendo olor a cera. Una de las propiedades de este material es que tiene un poder absorbente del 5 al 30% en los espesores utilizados en la agricultura, el poder de reflexión es de 10 a 14 %, y el poder de difusión es bajo, menos del 20%.

La transparencia del polietileno dentro del recinto cubierto por el material plástico, se percibirá de un 15 a 30% menos de luz aproximadamente que en el exterior. El polietileno es el material plástico que menos densidad tiene, es decir, el que menos pesa por unidad de superficie a igualdad de grosor. Este plástico es fácil de soldar y pegar, además que no se opaca como ocurre con el PVC (Reyes, 1992).

Dependiendo de los aditivos que se adicionen al polietileno, éstos pueden tener diferentes propiedades como: termicidad, difusión de luz, larga duración, transparencia a la luz, fotoselectividad, propiedades antiviral, anti botritis y fluorescencia, etc (Quezada, 2001).

- **Acetato de Vinilo Etileno (Eva-Etil-Vinil-Acetato):** Es una co-polimeración del etileno con acetato de vinilo. Tiene características mecánicas parecidas pero mejora la retención de luz infrarroja y puede tener una duración de varios años, resiste bien el desgarre (Reyes, 1992).

- **PVC Flexible:** Presenta un gran poder de retención de la radiación infrarroja y mayor duración que los anteriores. Se ha utilizado mucho en invernaderos en Japón y su tecnología se ha difundido considerablemente. Tiene una carga de electricidad estática que favorece el depósito de polvo y suciedad (Reyes, 1992).

En la actualidad, las investigaciones que se realizan sobre las diversas formas y estructuras de los invernaderos, han permitido que exista en el mercado mundial una gran variedad de recintos protegidos para cultivos vegetales. Invernaderos que van desde los mas sofisticados y con una inversión elevada (características que toman los que se construyen en zonas muy frías), hasta los muy sencillos y económicos que se construye en zonas templadas con menos riesgos climáticos (Rodríguez 1996).

Factores a Considerar en la Instalación de un Invernadero

Aunque existe una gran variedad de formas y estructuras de los invernaderos, al momento de tomar una decisión de instalar un invernadero se deberá considerar las características de la zona, es decir:

- a) Temperatura (máxima, mínima y promedio).
- b) Situación geográfica (latitud).
- c) Radiación solar (longitud de onda recibida).
- d) Viento (velocidad, intensidad y dirección).
- e) Horas luz (promedio mensual y anual).
- f) Precipitación (cantidad, intensidad y frecuencia).

g) Evaporación (promedio mensual y anual).

h) Granizo (intensidad y frecuencia), Rodríguez (1996).

Tipos de Instalaciones para la Producción de FVH

La localización de una construcción para producción de Forraje Verde Hidropónico no presenta grandes requisitos. Como parte de una buena estrategia, la decisión de iniciar la construcción de instalaciones para FVH debe considerar previamente que la unidad de producción de FVH debe estar ubicada en una zona de producción animal o muy próxima a esta; y que existen periodos de déficit nutricional a consecuencia de la ocurrencia de condiciones agro meteorológicas desfavorables para la producción normal de forraje (sequías recurrentes, inundaciones) o simplemente suelos malos o empobrecidos. Para iniciar la construcción se debe nivelar bien el suelo; buscar un sitio que este protegido de los vientos fuertes; que cuente con disponibilidad de agua de riego de calidad aceptable para abastecer las necesidades del cultivo; y con fácil acceso a energía eléctrica. Existe un amplio rango de posibilidades para las instalaciones que van desde aquellas mas simples construidas artesanalmente con palos y plástico, hasta sofisticados modelos digitalizados en los cuales casi no se utiliza mano de obra para lo posterior producción de FVH. En los últimos años se han desarrollado métodos operativos con modernos instrumentos de medición y de control (relojes, medidores de pH, de conductividad eléctrica y controladores de la tensión de CO₂).

Las instalaciones pueden ser clasificadas según sea su grado de complejidad en:

Populares

La producción obtenida en este tipo de instalaciones es utilizada en al mayoría de los casos para alimentar los animales existentes dentro del mismo predio. Los invernaderos generalmente son de tipo túnel con cubierta de polietileno transparente o semitransparente y con una protección de malla sombra. La altura de las estanterías, debido a la calidad de los

materiales de construcción, no sobrepasa los tres pisos. En casos muy particulares se alcanzan cuatro niveles de bandejas.

El material con que están fabricadas las bandejas puede ser de cualquier tipo y origen. Lo mas común es que sean recipientes de plástico de descarte, a los cuales se les corta el medio, se le perforan pequeños drenajes de agua sobre uno de los lados y se usan tal como quedan. También se utilizan estantes de muebles en desuso a los que se les forran con nylon. En este tipo de instalaciones podemos encontrar todo tipo de formas y tamaños de bandejas (Sánchez, 2001; Quezada, 2004).



Figura 7. Invernadero tipo túnel, con cubierta de polietileno, estantería de tubular galvanizado, charolas de polietileno de alta densidad y sistema de riego por microaspersión.

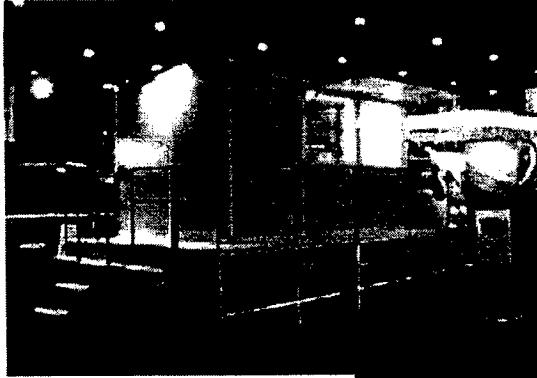


Figura 10. Instalaciones Modernas



Figura 8. Invernadero tipo túnel, estantería de perfil cuadrado, charolas de polietileno de alta densidad y sistema de riego por microaspersión.

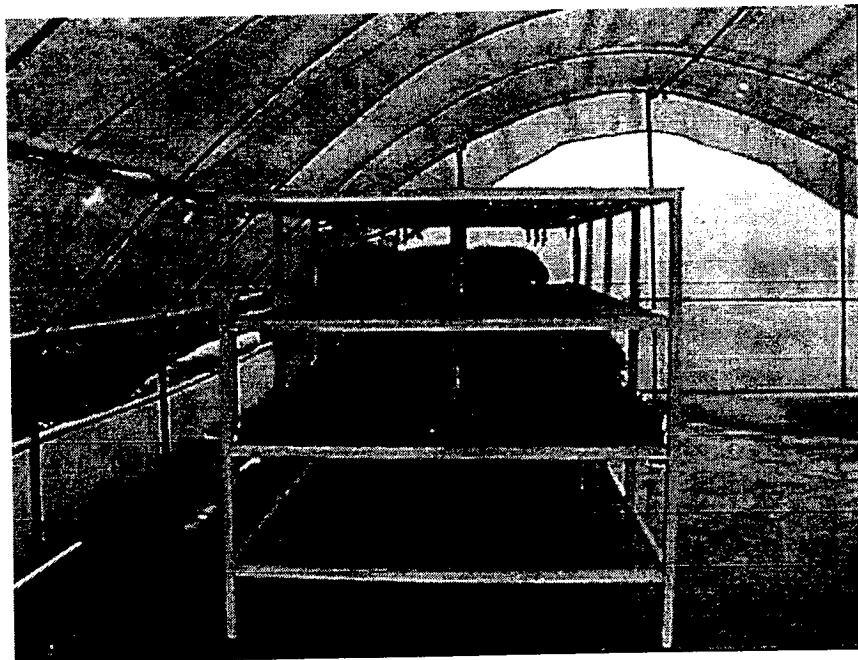


Figura 9. Invernadero tipo túnel, estantería de perfil cuadrado, charolas de polietileno de alta densidad y sistema de riego por microaspersión.

Estructuras o Recintos en Desuso

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

Modernas o de Alta Tecnología

Las instalaciones de este tipo pueden ser prefabricadas o importadas directamente como unidades de producción o "fabricas de forraje".

La instalación cuenta con riego automatizado, estantería por dentro y controlados todos los factores necesarios para una efectiva germinación del FVH. Presenta también ventiladores, extractores de aire, un ozonizador que incorpora ozono al agua de riego para eliminar contaminaciones de bacterias, así como iluminación. Entre ellas, un modelo "Hydro Harvest" de California; basado en túneles de producción automáticos en donde las bandejas se desplazan sobre rieles hasta el final del túnel donde el FVH es cosechado y entregado a la alimentación de los animales. Equipos similares son también fabricados y comercializados en España. Otras empresas dedicadas a la fabricación y exportación de estos paquetes tecnológicos son, entre otras: Magic Meadows (Arizona); Harvest Hydroponics (Ohio); Landsaver (Inglaterra) (Sánchez, 2001).

En este tipo de sistemas de alta tecnología se puede producir en 2 m² de 100 a 120 kg/ día, con lo cual se puede alimentar diariamente a 6 bovinos para carne ó 5 vacas lecheras ó 30 ovejas con corderos ó a 45 cabras con cabritos ó 30 cerdos ó 400 pollos ó 250 gallinas ponedoras, etc.

Hidroforrajes (2006) mencionan que la producción de forraje en estos sistemas equipados es más económico que el forraje convencional, el hecho de que este forraje se obtenga en terrenos reducidos permite su instalación en pequeñas explotaciones, ó pueden sustituir el gran espacio de terreno que se hace imprescindible para obtener forraje, con lo que los costos de instalación en una nueva granja se reduce considerablemente.

Estos equipos o sistemas de producción pueden ser fijos o móviles y los equipos de forraje hidropónico automatizados móviles están compuestos de lo siguiente:

- ❖ Local de cultivo aislado y acondicionado con sus correspondientes puertas y ventanas montadas sobre el contenedor productor.
- ❖ Tablero eléctrico completo, compuesto por un programador lógico, contactores, señalizadores, transformadores, termómetros, presostato, higrómetro, interruptores térmicos, llaves y selectores.
- ❖ Chasis de acero inoxidable y bandejas de acero inoxidable.
- ❖ Instalación hidráulica compuesta por bombas, válvulas selenoides, picos aspersores, picos de neblina, y válvulas de seguridad.
- ❖ Sistema de bomba inversora frío-calor.
- ❖ Sistemas de extractores de aire forzado y calor.
- ❖ Sistemas de iluminación y sistema de UV (para equipos mayores de 200 kg/día).
- ❖ Equipo de limpieza.
- ❖ Manual de funcionamiento.
- ❖ Conjunto de repuestos: bombas, válvulas y aspersores.

Las instalaciones sin el contenedor productor montadas sobre edificaciones, incluyen lo mismo solamente que no tienen el contenedor productor móvil.

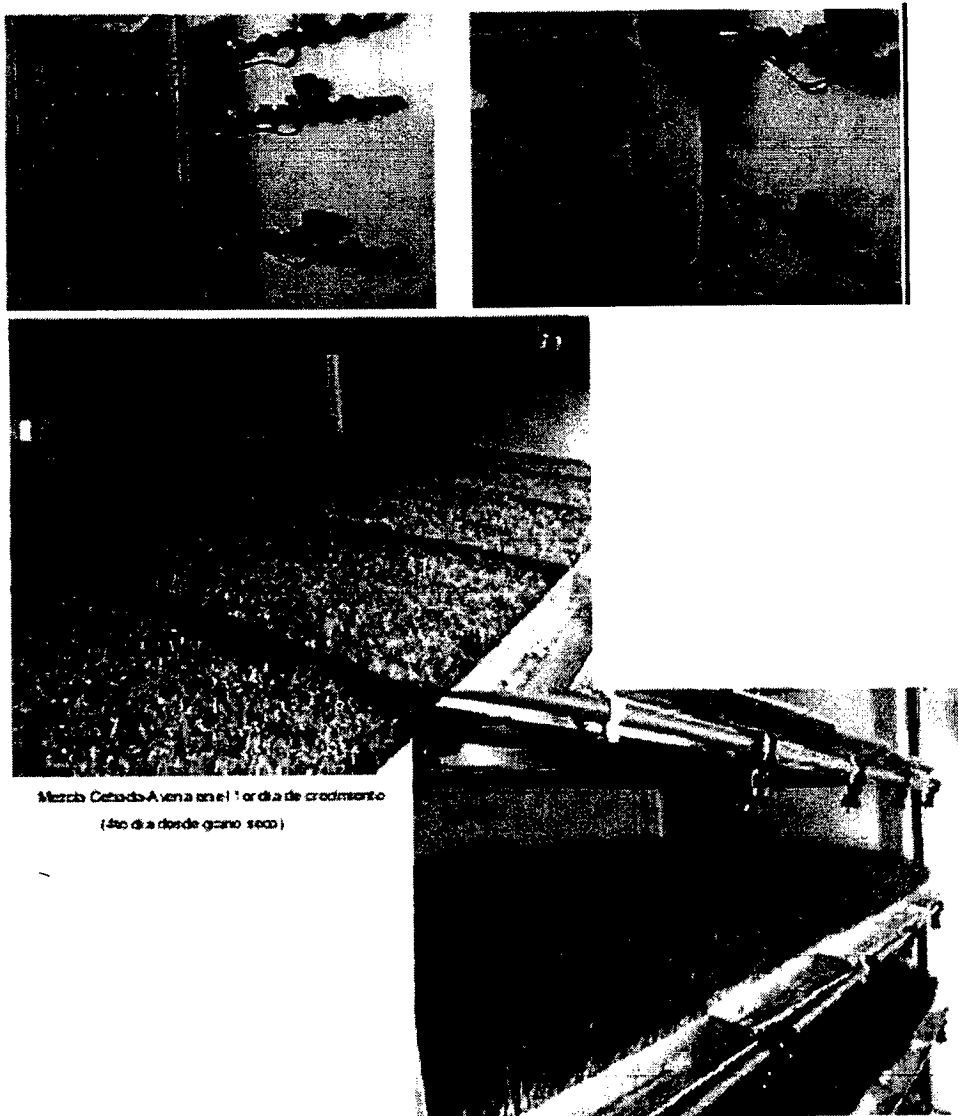


Figura 11. Controles automáticos de riego y temperatura y bandejas de producción de forraje hidropónico

Características Generales del Invernadero para Producción de FVH

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

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. Estas salas constan de estanterías de 4 a 7 pisos cada una.

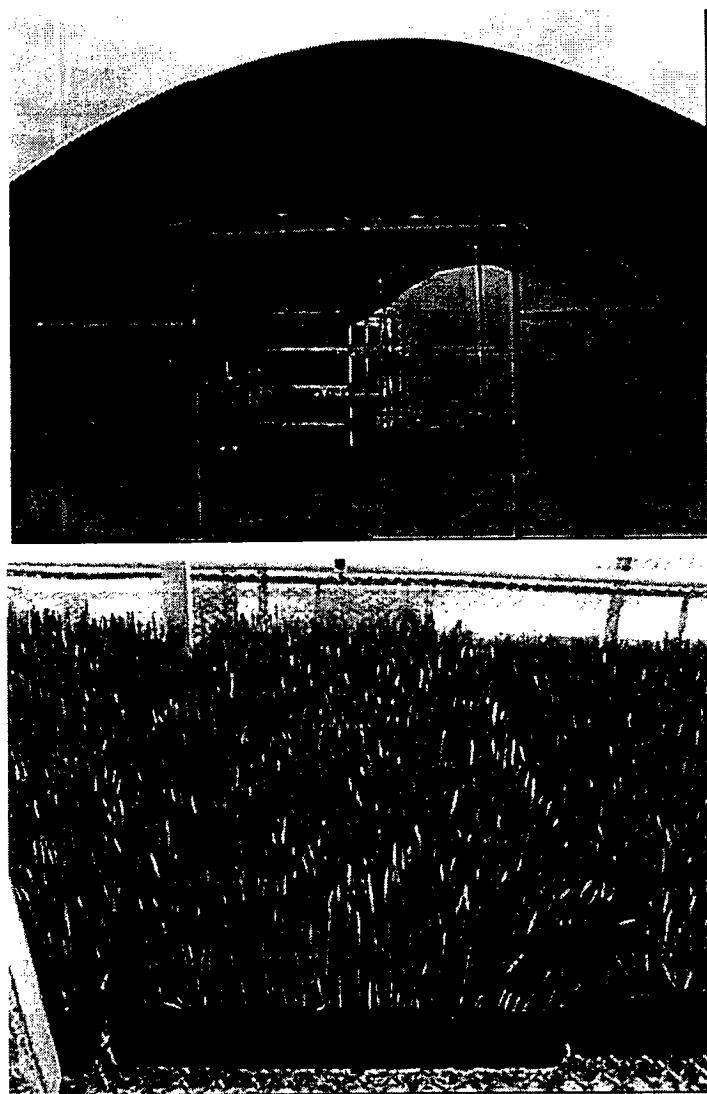


Figura 12. Nave de producción tipo túnel , cubierta de polietileno y malla sombra de polipropileno, con charolas en producción

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.

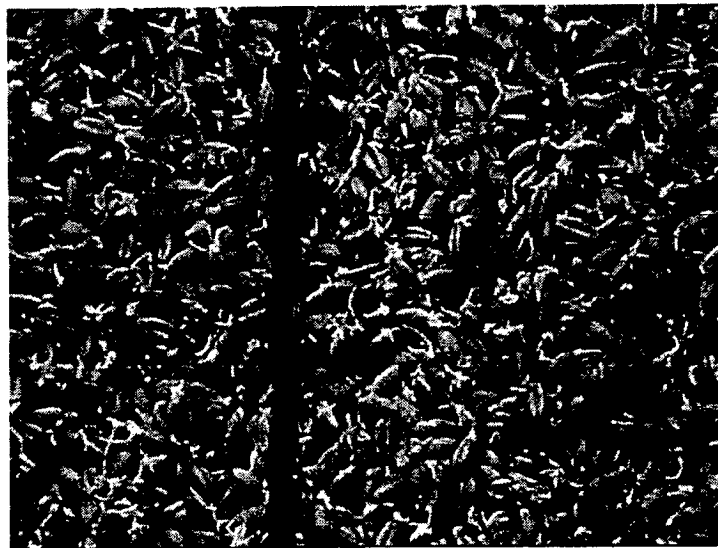
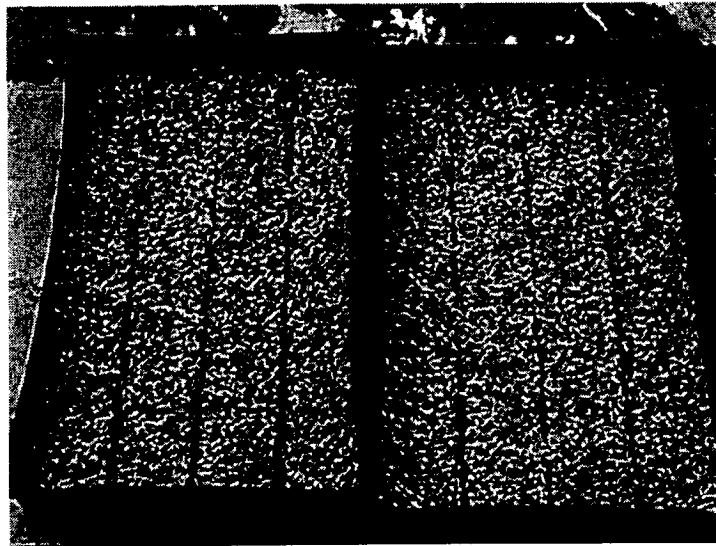


Figura 13. Charolas de producción con semilla en área de germinación.

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.

Zona de Oreo

Es el área que reúne a un conjunto de cajones de madera, plástico o material aparente para oxigenar y orear las semillas después del remojo.

Además requiere de:

- **Sistema de Riego**

El sistema de riego es parte esencial del invernadero o módulo de producción de forraje verde hidropónico, mediante el cual se va a aportar el agua necesaria para el crecimiento y desarrollo del forraje y mantener la humedad relativa y temperatura mas adecuada para cada especie, además a través del sistema de riego se realiza el aporte de los nutrientes necesarios para las plantas.

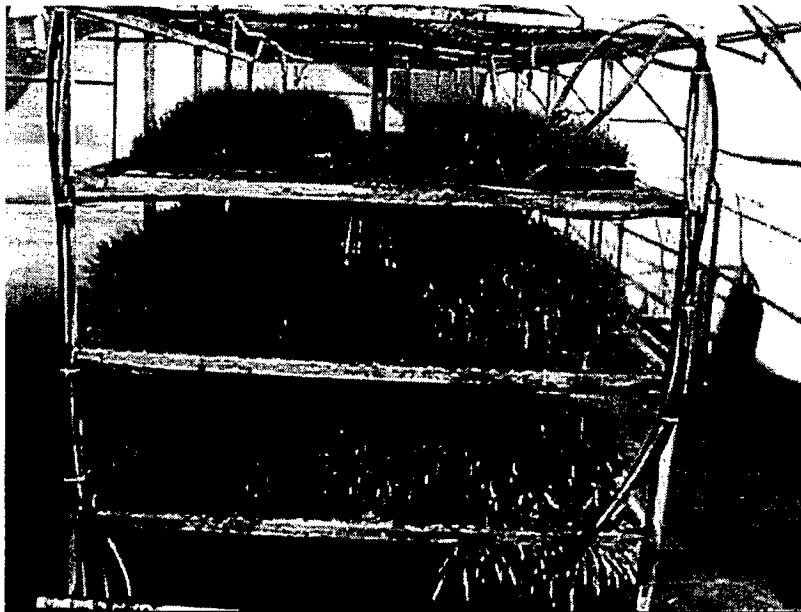


Figura 14. Sistema de riego por microaspersión en cada anaquel de producción.

- **Sistema Eléctrico**

Comprende el sistema eléctrico que controla la apertura y cierre de las bombas y válvulas selenoides del sistema de riego por microaspersión. Y el encendido de las bombas y extractores en aquellos invernaderos que tienen un sistema de enfriamiento mediante panel húmedo.

- **Sistema de Ventilación y Enfriamiento**

El sistema de ventilación y enfriamiento es necesario para poder mantener en lo mas posible las condiciones ambientales adecuadas a las necesidades de crecimiento de los forrajes ahí desarrollados.

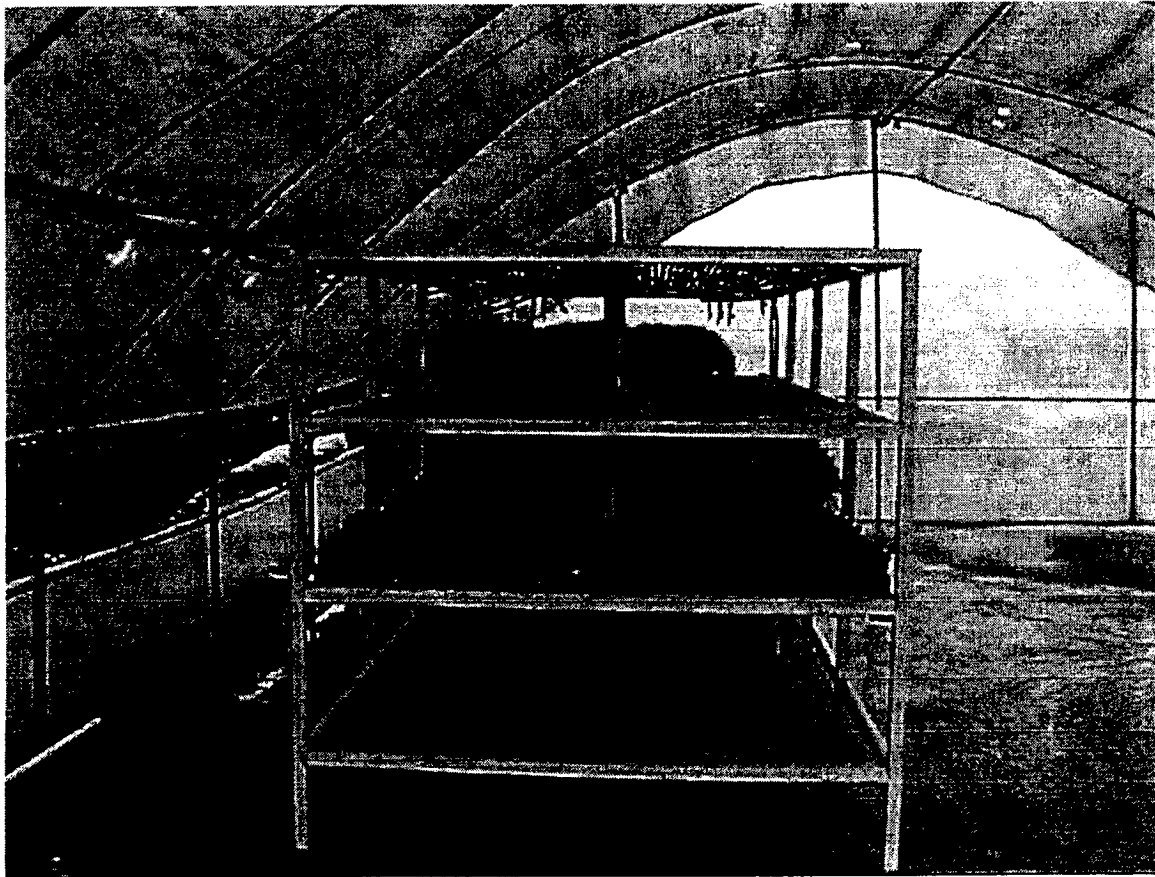


Figura 15. Sistema de ventilación mediante ventanas laterales.

Factores que Influyen en la Producción de FVH

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 tercer o cuarto 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; en 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 la 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 propicia 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, 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 fungosas, 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 fungosas 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 orgánicos.

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 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 (CO₂)

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 CO₂ a cultivos hidropónicos obteniéndose un excelente aumento en la producción de biomasa vegetal (Arano, 1998).

También puede enriquecerse el ambiente introduciendo cantidades adicionales de CO₂, 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 CO₂, 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 CO₂, 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 CO₂ (Rodríguez, 2003).

Importancia del FVH en el Sector Pecuario

El Forraje Verde Hidropónico (FVH) es el resultado del proceso de germinación de semillas de cereales viables (cebada, maíz, sorgo, avena, trigo), principalmente bajo condiciones ambientales óptima de crecimiento y desarrollo para la futura planta y que dicho proceso tendrá una duración aproximada entre los 9 a 15 días alcanzado una altura promedio de 25 cm, en la cual estará captando la energía solar. 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).

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).

Dentro de las principales ventajas que presenta esta técnica son: 1) el ahorro de agua, haciendo más eficiente para su producción, estimándose que un kg de FVH se gasta menos de

2 litros de agua comparada con la región ganadera de Chihuahua, que requieren 800 litros de agua por kg de forraje de maíz forrajero producido (Rodríguez, 1999); 2) eficiencia en el uso de espacio, el cual puede ser instalado en forma modular en la dimensión vertical y que en 100 m² puede llegarse a producir hasta 300 kg de forraje diariamente (FAO, 2001; Rodríguez, 2003); 3) eficiencia en el tiempo de producción, el cual tiene una duración de 9 a 15 días (Hidalgo, 1985); 4) calidad del forraje, es un succulento forraje verde, de alta palatabilidad y calidad nutritiva, ya que suministra proteína de alta calidad y barata (Rodríguez, 2003); 5) inocuidad, es un forraje con una buena calidad sanitaria y además libre de hierbas indeseables que nos puedan provocar daños en el metabolismo de los animales así como de malos olores en la leche (Sánchez, 1996 y 1997); 6) barato, ya que 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); 7) suministro de forraje fresco durante todos los días del año, porque hay un suministro constante y no habrá problema de escasez y este será fresco y limpio; 8) mayor asimilación de vitaminas, brinda todas las vitaminas libres y solubles, haciéndolas muy asimilables, lo que no ocurre con el grano seco (Valdivia, 1997); 9) evita trastornos digestivos, los cuales son provocados por los cambios de composición y procedencia de los alimentos; 10) excelente suplemento alimenticio, porque se logra reducir el tiempo de engorda, ya que existe un mayor incremento de peso diario (Valdivia, 1997); y 11) diversificación e intensificación de las actividades productivas, permitiendo una diversificación en el uso de la tierra (FAO, 2001).

Investigaciones Realizadas en la 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, que se puede obtener una mejor calidad y cantidad del FVH y de esa manera hacer más eficiente esta actividad y por consecuencia una mayor rentabilidad del sector agropecuario:

Estudios realizados en México por Lomeli (2000) con control del volumen de agua a aplicar, luz, nutrientes y CO₂, demostraron que a partir de 22 kg de semilla de trigo es posible obtener en un área de 11.6 m² (1.89 kg semilla/m²) con una óptima producción de 112 kg de FVH por día (9.65 kg FVH/m² /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).

Andrade (2003), comparó la densidad de siembra entre semillas de Cebada, Trigo y Triticale, concluyendo que la mejor densidad de siembra fue la de 1.75 kg., para las variables de peso seco y peso fresco; y para altura de forraje fue la densidad de 1.50 kg., pero recomienda la esta ultima densidad para las variables evaluadas, ya que la menor densidad de siembra presenta resultados similares a la de 1.75 kg.

Por su parte De León (2005), utilizando invernadero con y sin malla sombra concluye que, el sombreado favorece la producción y contenido de proteína en el forraje, es decir, que las plantas que se encontraban en el invernadero con malla sombra tuvieron más proteína que las que no tenían sombreado además que tuvo un efecto sobre el follaje y altura de la planta, las hojas fueron más grandes y delgadas y de mayor altura.

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).

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 partes 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 de gas-oil necesitado 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 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.

III. ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO

En un mundo superpoblado, con suelos erosionados e índices cada vez mayores de contaminación, con climas cambiantes y mayores requerimientos ecológicos por parte de la población, la hidroponía, por sus características especiales, brinda nuevas posibilidades para solucionar los problemas de los cultivos tradicionales, que son básicamente, la baja calidad y bajos rendimientos de los mismos.

El Forraje Verde Hidropónico es una de las nuevas tendencias que el campo agrícola tiene como una medida para solucionar sus problemas y que esta técnica se basa principalmente en producir alimentos libres de productos químicos con una mayor producción en menor espacio así como en un periodo de tiempo muy corto.

Dentro del ámbito de la investigación mundial se tiene, que la FAO ha destinado esfuerzo para el desarrollo de esta técnica que ha contribuido a mitigar los estragos que presentan las comunidades donde el forraje ha sido uno de los problemas que les ha ocasionado pérdidas en sus animales y por ende reducción en el rendimiento de leche y/o carne provocando escasez en la disponibilidad de alimento para la población.

De la misma manera, los países que han estado a la vanguardia en el desarrollo y la sofisticación de esta técnica han sido Australia, Argentina y Perú, donde sus universidades en conjunto con las empresas han logrado desarrollar equipos automatizados, los cuales les han dado buenos resultados a la población que se dedica a la producción pecuario incrementando los rendimientos en sus animales.

En México los estados que han estado implementando esta técnica son: Chihuahua, Culiacán y Coahuila, aunque no se tiene documentado cuanta es el área de invernaderos o cuantos invernaderos de producción de forraje están funcionando, solo en Coahuila se conoce que la Secretaría de Fomento Agropecuario ha implementado nueve módulos con finalidad de producir y evaluar la producción de FVH en los diferentes municipios y así reducir los

impactos ambientales que han tenido sobre la escasez de forraje en estos municipios, y de esta forma estar contribuyendo a dar soluciones y/o alternativas al campo mexicano.

Los métodos de producción del FVH cubren un amplio espectro de posibilidades y oportunidades. Existen casos muy simples que van desde franjas de semillas pre-germinadas y colocadas directamente sobre plásticos y cubierto con túneles o invernaderos hasta métodos sofisticados conocidos como “fabricas de forraje” (estructuras cerradas, totalmente automatizadas y climatizadas por un solo operador).

Sin embargo, en cualquiera de las circunstancias anteriores, el proceso a seguir para una buena producción, debe de considerar los siguientes aspectos: la calidad de la semilla, iluminación, temperatura, humedad y CO₂ del lugar o recinto básicamente, para que los resultados esperados sean los más satisfactorios de lo contrario no serán muy alentadores.

La técnica de producción de FVH es viable, no importa con que tipo de instalaciones se empiece, lo importante es que es útil para productores de todos tipos de tamaños, sobre todo los que practican la ganadería intensiva, pues los suelos se benefician igual que los granjeros. El forraje verde hidropónico se puede obtener los volúmenes que se desee, en un espacio mínimo y con una pequeña inversión.

IV. OPORTUNIDAD PARA LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO

El forraje verde hidropónico será una opción viable para tener alimento todo el año, ya que las temporadas de sequías o inundaciones que se presentan a lo largo del país ocasionan que el forraje se agoste y en su caso esto provoque periodo de escasez ocasionando grandes pérdidas para los productores del campo.

Las unidades hidropónicas para 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).

Pero el sistema hidropónico que se requiere en México es diferente al de los países desarrollados. Aquí no se busca la automatización, sino la facilidad de manejo, la posibilidad de hacerla económicamente factible para nuestras condiciones (tanto en su instalación como en su operación) y de usar materiales y equipo fácilmente accesibles en el país.

La principal ventaja que presenta esta técnica al sector pecuario del país (ganadero, porcino, caprino, etc.), es que los permite incrementar los animales y reducir el costo del forraje, lo que significara que cada día los productores se interesen más y tengan la necesidad de aprender a como utilizar e implementar esta técnica para aprovechar de todas sus ventajas y beneficios de la misma, y en lo que se refiere a la región, el sector pecuario en todas sus actividades les permitirá reducir los grandes problema que tiene los productores principalmente con la escasez de forraje y que cada día la época de sequía se alarga más, esto le proporcionara una solución a su problema, lo cual le permitirá tener forraje fresco para sus animales.

V. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Con la información recabada hasta el momento, se puede llegar a decir con seguridad que la producción de forraje verde hidropónico es una buena alternativa para solucionar la falta de forraje que se presenta a lo largo y ancho del país y que es ocasionada básicamente por las condiciones ambientales que están imperando, trayendo una disminución en el rendimiento del ganado debido a la mala calidad del forraje que se encuentra en ese momento.

La producción de FVH es una tecnología de bajo costo y con muchas ventajas para el productor, ya que la forma de producción es relativamente sencilla, los beneficios para el animal alimentado con FVH son excelentes, permitiendo adecuarse a la infraestructura y material disponible, pone énfasis en el ahorro del agua y la disponibilidad de forraje fresco en cualquier época del año.

De forma muy particular, en este caso de estudio se puso énfasis en los diferentes tipos de invernaderos con sus ventajas y desventajas así como los diferentes tipos de instalaciones que se pueden llegar a tener, actualmente se puede concluir que el tipo de invernadero mas adecuado, por su costo, fácil instalación, facilidad en el manejo y versatilidad es el invernadero tipo túnel con apoyo de malla sombra.

Sin embargo el objetivo principal es que el productor tenga las herramientas necesarias para poner en práctica esta técnica y conozca por el mismo de todas la ventajas que le proporciona el FVH.

Las principales ventajas que tiene el FVH son:

- El ahorro del agua
- Eficiencia en el uso del espacio
- Eficiencia en el tiempo de producción
- Calidad del forraje
- Inocuidad
- Suministro de forraje fresco durante todos los días del año
- Mayor asimilación de vitaminas
- Evita trastornos digestivos
- Excelente suplemento alimenticio, y
- Diversificación e Intensificación de las actividades productivas.

VI. LITERATURA CITADA

- Andrade, A. C. 1981. Tipos de invernaderos en España y materiales utilizados en su construcción. Madrid, España.
- 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.
- 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 vidropónico 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.
- De León P.M. 2005 Influencia del sombreado y la fertilización sobre el crecimiento y la producción del forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* L.). Tesis de Licenciatura para obtener el título de Ing. Agr. en Producción. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro" saltillo, Coahuila México.
- 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.
- Euronovedades Agrícolas. 2001. Invernaderos. In: Diplomado. Creación y desarrollo de empresas florícolas. Guadalajara, Jalisco. México. Universidad de Guadalajara.

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.

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.

<http://www.hidroforraje.com.ar/info.pdf> Hidroforraje S.R.L. Equipos de producción de forraje hidropónico

<http://www.soyentrepreneur>

Lomelí Z. H. 2000. Forraje verde hidropónico. Agrocultura. Edición No. 63. pp.15. México.

Martínez, E. 2001. Comunicación personal a la FAO. Maldonado, Uruguay.

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.

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.

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.

- Quezada M R. 2004. Desarrollo de metodología para producción de forraje verde hidropónico en túneles de bajo costo. Proyecto interno de investigación apoyado por el Centro de Investigación en Química Aplicada. Saltillo, Coah. Méx.
- Quezada M.R.. 2001. Producción en invernadero. Manual del curso de plásticos en la agricultura. Centro de Investigación en Química Aplicada. Saltillo, Coah. México.
- Ramos, C. 1999. El Uso de Aguas Residuales en Riegos Localizados y en Cultivos Hidropónicos. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. Valencia, España.
- Reyes, M. G. 1992. <<http://www.odi.ucr.ac.cr/crisol/invernad.html>>
- Robledo, F. y L. Martín. 1981. Aplicación de los plásticos en la agricultura. Acolchamiento de los suelos con filmes plásticos. Editorial Mundi Prensa. Madrid, España.
- Rodríguez M. 2003. Producción de forraje verde. Literatura pendiente de publicación. Facultad de Zootecnia de la Universidad Autónoma de Chihuahua.
- Rodríguez S. A. C. 2003. Forraje verde hidropónico. Como producir con facilidad, rapidez y optimos resultados. Primera Edición. Editorial DIANA S. A. de C. V. México D. F. febrero de 2003.
- Rodríguez, D. E. 1996. Tipos de invernaderos. In: IV ciclo de conferencias sobre producción de invernaderos. Guadalajara, Jalisco, México.
- Rodríguez, S. 1999. Informe entregado al consejo nacional de ciencia y tecnología, dentro del Proyecto Sevilla. Clave: 9505097
- 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.

- 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, C. A. 2001. Manual técnico “Producción de Forraje Verde Hidropónico”, Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile. (<http://www.rlc.fao.org/prior/segalim/forraje.htm>)
- Schneider, A. 1991. Alternativas para lecheras y engordes: Forraje verde hidropónico. Revista El Campesino (Julio 1991). Santiago, Chile.
- SEP. 1991. Cultivos forrajeros. 2ª Edición. Editorial Trillas. México.
- Sepúlveda, R. 1994. Notas sobre producción de forraje verde hidropónico. Santiago, Chile.
- Serrano, C. Z. 1980. Instalación y manejo de los invernaderos. Madrid, España.
- 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.
- Vigouroux, R. 1999. Charla sobre crianza de plántulas en invernaderos. In. Compendio de conferencias, invernaderos. Guadalajara, Jalisco, México.