



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**  
**SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



**Maestría en Ciencias en Ingeniería de Sistemas**

**MODELO DE PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE  
MEDIANTE HIDROPONÍA**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS  
EN INGENIERÍA DE SISTEMAS**

**PRESENTA:**

**ING. FERNANDO GARDUÑO TABOADA**

**DIRECTORA DE TESIS:  
M. EN C. GRACIELA VÁZQUEZ ÁLVAREZ**

**MÉXICO D.F., a 9 de junio de 2011.**



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

SIP-14

*ACTA DE REVISIÓN DE TESIS*

En la Ciudad de México, D.F. siendo las 12:00 horas del día 09 del mes de Diciembre del 2010 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de E.S.I.M.E. ZAC para examinar la tesis de titulada:

**“MODELO DE PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE MEDIANTE HIDROPONÍA”**

Presentada por el alumno:

**GARDUÑO**

Apellido paterno

**TABOADA**

Apellido materno

**FERNANDO**

Nombre(s)

Con registro: 

B	8	4	0	0	7	3
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACIÓN DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Director de tesis

M. en C. GRACIELA VÁZQUEZ ÁLVAREZ

Presidente

DR. IGNACIO ENRIQUE PEÓN ESCALANTE

Segundo Vocal

DR JORGE ARMANDO ROJAS RAMÍREZ

Tercer Vocal

M. EN C. PATRICIA MAYA MARTINEZ

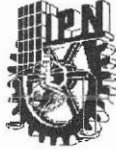
Secretario

M. en C. EFRAÍN JOSÉ MARTÍNEZ ORTÍZ

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

DR. JAIME ROBLES GARCÍA





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA  
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



## CARTA DE SESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México, D. F., el día **09** del mes Diciembre del año 2010, el que suscribe **Fernando Garduño Taboada** alumno del Programa de Maestría en Ciencias con Especialidad en Ingeniería de Sistemas con número de registro **B840073** adscrito a la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la E.S.I.M.E. Unidad Zacatenco, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de tesis, mismo que estuvo bajo la dirección de la Profesora M. en C. Graciela Vázquez Álvarez y cede los derechos del trabajo intitulado: **"Modelo de Producción de Forraje Verde mediante Hidroponía"** al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de Investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o directora del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a siguiente dirección: [fer-tabo@yahoo.com.mx](mailto:fer-tabo@yahoo.com.mx), y/o [chelita0423@yahoo.com.mx](mailto:chelita0423@yahoo.com.mx). Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Ing. Fernando Garduño Taboada

Nombre y Firma

## **Dedicatoria**

EN MEMORIA DE MIS PADRES, LUCHADORES SOCIALES, POR LA EDUCACION DE LA JUVENTUD DE TODOS LOS TIEMPOS.

DE IGUAL FORMA A MIS HERMANOS AUSENTES POR HABER DADO SU TRIBUTO A FAVOR DE LA EDUCACION.

A LA MEMORIA DE MI ESPOSA.

A MIS HIJAS, NIETOS, NIETA, HERMANA. HERMANO Y SOBRINOS. CON LA IDEA, DE SI LLEGASEN A SABER DE ESTE TRABAJO, SE LOS DEJO PARA PONERLO EN PRACTICA Y LO HAGAN UNA REALIDAD.

A TODOS MIS MAESTROS Y MAESTRAS, A LOS CUALES RECUERDO CON MUCHO APRECIO.

PARA TODAS LAS PERSONAS INTEREZADAS EN LA HIDROPONIA TAMBIEN SE LAS DEDICO E INVITO A INCORPORARSE A ESTA FORMA DE PRODUCCION CULTIVANDO SUS PROPIOS JITOMATES, LECHUGAS, FORRAJES ETC, DISFRUTANDOLOS EN SUS MESAS O UTILIZARLO PARA CREAR SU PROPIO NEGOCIO Y ASÍ CONTRIBUIR A LA ECONOMIA FAMILIAR, PRETENDIENDO MEJORAR EL MEDIO AMBIENTE.

## **AGRADECIMIENTOS**

A LA ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA DEL INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL, A NIVEL LICENCIATURA Y MAESTRIA POR HABERME DADO LA OPORTUNIDAD DE FORMARME ACADEMICAMENTE.

A LA M. en C. GRACIELA VAZQUEZ ALVAREZ, POR SU VALIOSA DIRECCION, POR EL ESTIMULO, AMISTAD Y APOYO QUE SIEMPRE ME BRINDO.

AL DR. IGNACIO ENRIQUE PEON ESCALANTE, POR SUS ATINADOS COMENTARIOS PARA EL PRESENTE TRABAJO, ASI COMO LOS CONOCIMIENTOS QUE HA DEJADO EN MÍ CUANDO FUI SU ALUMNO.

AL M. en C. EFRAIN MARTINEZ ORTIZ, POR HABER SIDO MI MAESTRO DEL CUAL GUARDO GRATOS RECUERDOS Y HOY LE AGRADEZCO SU PARTICIPACION EN ESTE TRABAJO.

AL DR. JORGE ARMADO ROJAS RAMIREZ, POR SU COLABORACION EN LA REVISION DE ESTE TRABAJO Y VISITA DE CAMPO.

A LA M. en C. PATRICIA MAYA MARTINEZ, POR EL INTERES DEMOSTRADO EN EL PRESENTE TRABAJO, HACIENDO COMENTARIOS VALIOSOS

A TODAS AQUELLAS PERSONAS QUE DE ALGUNA MANERA PARTICIPARON EN LA REALIZACION DE ESTE TRABAJO.

## Índice

Glosario de Términos .....	8
Índice de Figuras y Tablas.....	13
Resumen .....	14
Abstract .....	15
Introducción .....	16
Descripción del Problema.....	18
Justificación del Problema.....	19
Objetivo General .....	20
Objetivos Específicos .....	20
Hipótesis .....	20
<b>CAPÍTULO 1 MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO.....</b>	<b>21</b>
1. Marco Conceptual.....	22
1.1 La Hidroponía .....	22
1.2. Hidroponía y Contaminación Ambiental .....	23
1.3. Historia de la Hidroponía .....	23
1.4. La Hidroponía Actual.....	25
1.5. Ventajas del Cultivo por Hidroponía. ....	29
1.6. Elementos Utilizados en la Hidroponía.....	29
1.6.1. El Sustrato .....	29
1.6.2. El Riego.....	29
1.6.3. Sistemas de Riego .....	30
1.7. El Forraje Verde Hidropónico (FVH) como Tecnología apta para Pequeños Productores Agropecuarios.....	31
1.8. Justificación del Uso de Forraje Verde Hidropónico.....	32
1.9. Ventajas y Desventajas del Forraje Verde Hidropónico .....	33
2.Marco Metodológico.....	37
2.1 Metodología de Sistemas Suaves .....	38
2.2 Holo .....	41
<b>CAPÍTULO 2 ANTECEDENTES Y ANALISIS DEL CASO DE ESTUDIO.....</b>	<b>43</b>
2.1. Ubicación .....	44
2.2. Antecedentes Históricos.....	45
2.3. Análisis del Caso de Estudio.....	46
<b>CAPÍTULO 3 MODELO DE PRODUCCIÓN .....</b>	<b>47</b>
3.1. Modelo de Producción de Forraje Verde Mediante Hidroponía .....	48
3.2. Construcción del Invernadero .....	49
3.3. Sistema de Riego.....	49
3.4. Proceso de Producción del Forraje Verde.....	50
<b>CAPÍTULO 4. APLICACIÓN DEL MODELO.....</b>	<b>52</b>
4.1 Características y ubicación de las Instalaciones.....	53

4.2	Construcción del Invernadero.....	54
4.2.2.	El Piso .....	57
4.2.3.	Acondicionamiento del Área de Producción. ....	58
4.2.4.	Charolas. ....	60
4.2.5.	Densidad de la Siembra.....	61
4.3.	Experimentos.....	61
4.3.1.	Con 3 centímetros avena. ....	61
4.3.2.	Con 2 centímetros de cebada. ....	62
4.3.3.	Con 1.5 centímetros de avena. ....	62
4.3.4.	Con 1.5 centímetro de espesor de cebada. ....	63
4.3.5.	Con 1 centímetro de cebada.....	63
4.4.	Sistema de riego: .....	64
4.4.1.	Abastecimiento del Agua .....	65
4.4.2.	Sistema de Riego.....	66
4.5.	Metodología de la Producción del Forraje Verde. ....	69
4.5.1.	Selección de la Semilla. ....	69
4.5.2.	Lavado de la Semilla.....	69
4.5.3.	Pre Germinación. ....	70
4.5.4.	Siembra.....	71
4.5.5.	El Germinado. ....	72
4.5.6.	Frecuencia del Riego.....	73
4.5.7.	Horario de riego por la mañana.....	73
4.5.8.	Horario de riego por la Tarde.....	73
4.6.	Crecimiento de las semillas.....	74
4.7.	Ingesta .....	74
4.8.	Reinicio del Proceso.....	74
4.9.	Resultado del Análisis Químico del Forraje Verde Hidropónico. ....	75
4.9.1.	Análisis del Crecimiento:.....	76
4.10.	Resumen en el Proceso para Obtener Forraje Verde Hidropónico (FVH). .....	77
4.11.	Rendimiento de la Cebada por Charola. ....	78
4.12.	Consumo de Agua .....	79
4.13.	Costos de Producción y Operación de la construcción del área de germinado y crecimiento del Forraje Verde Hidropónico (FVH) .....	79
<b>CAPÍTULO 5</b>	<b>RESULTADOS OBTENIDOS .....</b>	<b>82</b>
5.1.	La instalación .....	83
5.2.	Producción de forraje verde hidropónico.....	83
5.3.	Forma de proporcionarlo al ganado (Ingesta). ....	84
<b>CAPÍTULO 6</b>	<b>CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS .....</b>	<b>85</b>
6.1.	Conclusiones .....	86
6.2	Recomendaciones.....	88
6.3.	Trabajos Futuros.....	88
Bibliografía	.....	90
Anexo 1.	.....	94

## Glosario de Términos

### **Abono Orgánico:**

Cualquier sustancia vegetal o animal (estiércol, etcétera), que se utiliza para fertilizar la tierra de labor y aumentar así su rendimiento.

### **Acidez:**

Cualidad ácida de una solución, por el incremento de iones de hidrógeno.

### **Almácigo:**

Lugar o recipiente diseñado especialmente para hacer que las semillas germinen, acondicionado para mantener una determinada humedad, temperatura, etcétera.

### **Almidón:**

Polisacárido que se forma en los órganos verdes de las plantas, por efecto de la función fotosintética. Está compuesto por amilasa y amilopectina, de donde se desprende la glucosa y otros azúcares.

### **Amilasa:**

Polisacárido que forma la parte interna de los granos de algodón.

### **Amilopectina:**

Polisacárido que forma la parte periférica de los granos de algodón.

### **Aminoácidos:**

Ácidos carboxílicos que presentan simultáneamente las propiedades de los ácidos y de las aminas. Son sólidos cristalinos casi insolubles en alcohol, solubles en los ácidos y en las bases. Tienen mucha importancia biológica por ser constituyentes de las proteínas.

### **Arena lavada:**

Piedra pomex, tiene la función de sujetar la raíz de las plantas.

### **Grava o perlita:**

Piedra de Tezontle, sirve para soportar la raíz de las plantas.

### **Caja Negra:**

La caja negra se utiliza para representar a los sistemas cuando no se sabe qué elementos o cosas componen al sistema o proceso, pero se puede deducir que a determinados estímulos, las variables funcionarán en cierto sentido.

### **Carbohidrato:**

Hidrato de carbono. Se llaman así todos los compuestos constituidos por carbono, hidrógeno y oxígeno. Son uno de los elementos esenciales en la nutrición de los seres vivos.



**CIC:**

Capacidad de intercambio Catódico.

**Catalizador:**

Agente o sustancia capaz de acelerar una reacción química. El estado final de una reacción es igual con catalizador o sin él, pues éste no hace más que acelerarla.

**Colchón radicular:**

Conjunto de raíces y follaje que se forma en la charola de producción hidropónica.

**Clorofila:**

Pigmento verde de los vegetales, localizado en los cloroplastos de sus células, cuya función consiste en sintetizar los hidratos de carbono.

**Cloroplasto:**

Diferenciación del protoplasma celular donde se concentra la clorofila.

**Clorosis:**

Enfermedad de las plantas debida a trastornos en su nutrición. Se caracteriza por la presencia de hojas amarillas.

**Concentración:**

Número de átomos, o equivalentes, de una sustancia disuelta, contenidos en una unidad de volumen de la solución.

**Envés:**

Revés de las hojas o pétalos.

**Erosión:**

Proceso por el cual la tierra pierde sus propiedades nutritivas, dándose un desgaste del relieve de la superficie terrestre causado por el agua, el viento o prácticas agrícolas defectuosas.

**Esqueje:**

Partes de una planta (tallo, rama, cogollo, etcétera), que se cortan para volverlas a plantar, con fines reproductores.

**Estolones:**

Brotos que nacen en los tallos de las plantas rastreras. Echan nuevas raíces y dan origen a otras plantas, como la fresa.

**Fenotipo:**

Esquema genético de un organismo que se modifica continuamente desde el nacimiento hasta la muerte, por efecto del medio en que vive.

**Fotosíntesis:**

Es la síntesis de moléculas orgánicas complejas que efectúan, por efecto de la luz solar, las plantas que tienen clorofila, a partir de compuestos inorgánicos simples como el anhídrido carbónico, el agua, los nitratos, etcétera.

**Germinación:**

Conjunto de fenómenos que se dan en una semilla, mediante los cuales ésta pasa a la vida activa para producir una planta semejante a aquella de la que proviene.

**Genotipo:**

Contrariamente al fenotipo, es el esquema genético específico de un organismo, que continúa siendo el mismo durante todo el tiempo de su vida y es transmitido a la descendencia.

**Glúcidos:**

Compuestos químicos que en su mayor parte se forman de carbono, hidrógeno y oxígeno, estando estos dos últimos en la misma proporción que el agua. Son llamados también hidratos de carbono. Abundan sobre todo en los vegetales.

**Glucosa:**

Aldohexosa, llamada también azúcar de uva o dextrosa. Sustancia sólida, blanca, cristalina, de sabor dulce y soluble en el agua.

**Hijuelos:**

Nueva planta producida por una adulta, generalmente en la base.

**Ion:**

Partícula cargada eléctricamente, formada por un átomo o grupo de átomos que han ganado o perdido uno o más electrones.

**Limbo:**

Parte ancha de una hoja o pétalo

**Lipidos:**

Nombre genérico de los cuerpos grasos, que son compuestos formados por hidrocarburos cíclicos y acíclico, y sus derivados.

**Metabolismo:**

Conjunto de procesos químicos efectuados por la materia viva, en el curso de los cuales transforma y libera energía para la degradación y formación de compuestos orgánicos.

**Micelio:**

Masa vegetativa que conforma el cuerpo de muchos hongos.

**Ósmosis:**

Mezcla íntima entre dos disoluciones, de diferente densidad y concentración, a través de una membrana o tabique poroso.

**Proceso:**

El proceso es lo que transforma a una entrada en salida, como tal puede ser una máquina, un individuo, una computadora, un producto químico, una tarea realizada por un miembro de la organización, etc.

En la transformación de entradas a salidas, se debe saber siempre como se efectúa esa transformación. Con frecuencia el procesador puede ser diseñado por el administrador, en tal caso, este proceso se denomina "caja blanca". No obstante, en la mayor parte de las situaciones no se conoce en sus detalles el proceso mediante el cual las entradas se transforman en salidas, porque esta transformación es demasiado compleja. Diferentes combinaciones de entradas o su combinación en diferentes órdenes de secuencia pueden originar diferentes situaciones de salida. En tal caso la función de proceso se denomina una "caja negra".

**pH:**

Magnitud que expresa el grado de acidez ( $\text{pH} < 7$ ) o alcalinidad ( $\text{pH} > 7$ ) de una solución. Es el logaritmo decimal, con signo cambiado, de la concentración de iones de hidrógeno, expresado en iones-gramo por litro.

**Puyón:**

Primera protuberancia de la semilla.

**Proteínas:**

Sustancia orgánicas llamadas también "prótidos" o "albuminoides", de gran magnitud molecular. Se encuentran fundamentalmente en los organismos animales y vegetales, y en cuyas propiedades químicas y físico – químicas peculiares se basan gran parte de los fenómenos fisiológicos de la vida. Contienen siempre carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. Están constituidas principalmente por la unión de muchas moléculas de aminoácidos, restituyentes de los tejidos musculares en los seres vivos.

**Sistema:**

Es un conjunto organizado de cosas o partes interactuantes e interdependientes, que se relacionan formando un todo unitario y complejo.

**Solubilidad:**

Cualidad de los cuerpos que depende de la temperatura, la agitación y la superficie de contacto entre lo soluto y el solvente. Coeficiente de solubilidad es el peso de lo disuelto que satura 100 partes del solvente a una temperatura determinada.

**Trasplante:**

Es la acción de cambiar un vegetal del sitio donde ha sido plantado, a otro lugar.

**Tubérculo:**

Órgano dilatado y carnosos que almacena sustancias nutritivas. El término se aplica sobre todo a los tallos subterráneos, aunque también puede referirse a las raíces o a los tallos aéreos. Los tubérculos permiten sobrevivir a la planta, durante el periodo de letargo o en condiciones adversas.

**Vitaminas:**

Sustancias orgánicas imprescindibles para el organismo humano. Sirven de catalizadores para la realización de determinadas acciones metabólicas, que el organismo no puede sintetizar.

**Xilema:**

Tejido vascular de las plantas superiores que conduce el agua y las sales minerales desde las raíces hasta las hojas. Las paredes de estos vasos se lignifican, por lo que también sirven de órganos de sostén.

**Zanja:**

Excavación larga y angosta que principalmente se hace, para conducir líquidos.

## Índice de Figuras y Tablas

	..... página
Figura 1.1 Invernadero	25
Figura 1.2 Modelo de la Metodología de Sistemas Suaves de Peter Checkland	39
Figura 1.3 La ruta del pensamiento sistémico	40
Figura.1.4 Holo	41
Figura 2.1 Localización	44
Figura 3.1 Modelo para producir forraje verde hidropónico	48
Figura 3.2 Proceso de producción de forraje verde hidropónico (FVH)	50
Figura 4.1 Terreno de Labranza	53
Figura 4.2 Plano arquitectónico del invernadero	54
Figura 4.3 Vista frontal del invernadero	55
Figura 4.4 Vista lateral del invernadero	55
Figura 4.5 Vista posterior del invernadero	56
Figura 4.6 Área de ingesta del ganado ovino	56
Figura 4.7 Área de ingesta de ganado bovino	57
Figura 4.8 Espesor del piso de concreto del invernadero	57
Figura 4.9 Acondicionamiento del Invernadero	58
Figura 4.10 Colocación de maya ciclónica	58
Figura 4.11 Colocación y separación de los módulos	59
Figura 4.12 Charolas para sembrar la semilla forrajera	60
Figura 4.13 Charolas recomendadas por SAGARPA	60
Figura 4.14 Experimento 1	61
Figura 4.15 Experimento 2	62
Figura 4.16 Experimento 3	62
Figura 4.17 Experimento 4	63
Figura 4.18 Experimento 5 con dos tipos de charolas	63
Figura 4.19 Producción en charola redonda	64
Figura 4.20 Producción en charola rectangular	64
Figura 4.21 Sistemas de Riego en charolas	65
Figura 4.22 Planta de la instalación del sistema de riego	66
Figura 4.23 Ubicación de los tanques de almacenamiento de agua	67
Figura 4.24 Instalación de la bomba y el generador de corriente eléctrica	67
Figura 4.25 Aljibes para recolección de agua de lluvia	68
Figura 4.26 Bomba de gasolina para extraer el agua de los aljibes	68
Figura 4.27 Lavado de la semilla	69
Figura 4.28 Pre – germinación	70
Figura 4.29 Siembra del Forraje en las charolas	71
Figura 4.30 Germinado	72
Figura 4.31 Frecuencia del riego	73
Figura 4.32 Crecimiento del forraje verde	74
Tabla 1.1.Gasto de agua para la producción de forraje en condiciones de campo	34
Tabla 1.2 Análisis comparativo del valor nutricional del grano de avena	34
Tabla 1.3 Comparación entre las características del FVH (Cebada y otras fuentes alimenticias)	35
Tabla 3.1 Densidad de la siembra	61
Tabla 3.2 Análisis bromatológico	75
Tabla 3.3 Análisis nutricional	75
Tabla 3.4 Análisis del crecimiento	76
Tabla 3.5 Contenido de proteína	76
Tabla 3.6 Resumen del proceso	77
Tabla 3.7 Costos de producción y operación del FVH	79

## Resumen

El presente trabajo de tesis propone un modelo de producción de forraje verde hidropónico, aplicado al caso de estudio: El rancho Los Remedios ubicado en Santiago Tulantepec, Hidalgo.

La finalidad del modelo de producción de forraje verde hidropónico es satisfacer las necesidades alimenticias del ganado bovino y ovino de dicho rancho.

El cultivo sin suelo mejor conocido como Hidroponía, es justamente un conjunto de técnicas recomendables cuando no hay suelos con características agrícolas disponibles. El esquema consiste en: una fuente de agua que es impulsada por bombeo a través de un sistema de riego, un invernadero, y de recipientes con semillas los cuales al interactuar convenientemente producen el cultivo de casi cualquier planta.

La posibilidad de cosechar plantas sin tierra fue considerada desde la segunda mitad del siglo pasado y en la actualidad es uno de los sistemas más empleados en los países del primer mundo. En Europa, los productos hidropónicos son los más aceptados por ser 100% orgánicos. Con esta técnica, que no arremete ni altera el medio ambiente, se pueden cultivar: verduras, frutas, flores, plantas aromáticas y ornamentales de excelente calidad en un reducido espacio. Al no depender del clima natural, el producto puede estar en el mercado en cualquier época del año, lo cual es una gran ventaja frente a los cultivados de manera tradicional.

Los elementos empleados en el modelo propuesto son: la Metodología de Sistemas Suaves de Peter Checkland para efectuar el análisis, y para la implementación del modelo, se emplean las diferentes técnicas propuestas por los conocedores de la hidroponía para la producción del forraje verde hidropónico. El presente trabajo describe paso a paso la forma en que se fueron adaptando dichas técnicas a las condiciones particulares del caso de estudio.

Como resultado de éste trabajo, se obtuvo un modelo de producción de forraje verde hidropónico, el cual consiste a grandes rasgos de tres partes:

1. Diseño y construcción de un invernadero.
2. Establecimiento de un Sistema de Riego y,
3. El método de producción, mismo que se inicia con el acondicionamiento del medio ambiente para la germinación para así llegar a la producción y cultivo del forraje verde.

Al final se muestran los resultados generados mediante imágenes fotográficas que evidencian paso a paso lo que se realizó para producir el forraje verde.

## Abstract

This thesis proposes a model of hydroponic forage production, applied to the case study: The ranch is located in Santiago Remedies Tulantepec, Hidalgo.

The purpose of the model hydroponic forage production is to meet the nutritional needs of cattle and sheep on the ranch.

The soilless culture best known as hydroponics, is just a set of recommended techniques when there is no agricultural land available features. The scheme consists of: a water pump is driven through an irrigation system, a greenhouse, and containers with which to interact seed crop produced from almost any plant.

The possibility of harvesting plants without soil was considered from the second half of last century and today is one of the most used in first world countries. In Europe, hydroponic products are more acceptable to be 100% organic. With this technique, no blasts or altering the environment can grow vegetables, fruits, flowers, herbs and ornamentals of excellent quality in a small space. Not depend on the natural environment, the product may be on the market at any time of year, which is a great advantage over traditionally grown.

The elements used in the proposed model are: Soft Systems Methodology by Peter Checkland for the analysis, and implementation of the model used different techniques proposed by connoisseurs of hydroponics for the production of hydroponic forage. This paper describes step by step how these techniques were adapted to the particular conditions of the case study.

As a result of this work, we obtained a model of hydroponic forage production, which is roughly three parts:

1. Design and construction of a greenhouse.
2. Establishment of an Irrigation System and
3. The production method that starts with the same conditioning environment for germination and reach the production and cultivation of green fodder.

At the end are the results generated by photographic images that show step by step what was done to produce forage.

## Introducción

La **hidroponía** o **agricultura hidropónica** es un método utilizado para cultivar plantas usando soluciones minerales en vez de suelo agrícola. La palabra hidroponía proviene del griego, *hydro* = agua y *ponos* = trabajo, lo cual significa literalmente trabajo en agua.

La hidroponía no es una técnica moderna, sino una técnica ancestral; en la antigüedad hubo culturas y civilizaciones que la usaron como medio de subsistencia. Hoy en día esta actividad está tomando mucho auge en donde las condiciones para la agricultura resultan adversas, combinando la hidroponía con un buen manejo de invernadero se llegan a obtener rendimientos muy superiores a los que se obtienen en cultivos a cielo abierto.

Puede decirse que la hidroponía o cultivo sin suelo ha conseguido estándares comerciales y que algunos alimentos, plantas ornamentales y jóvenes plantas de tabaco se hacen de esta manera y esto se da, por diversas razones que tienen que ver con la falta de suelos adecuados; por suelos contaminados por microorganismos que producen enfermedades a las plantas o por usar aguas subterráneas que degradaron la calidad de esos suelos. El cultivo hidropónico requiere conocimientos avanzados para quien se proponga realizar un cultivo comercial. La clasificación de los cultivos hidropónicos ha evolucionado más recientemente hacia formas *abiertas o cerradas* dependiendo de si vuelcan el efluente o reutilizan la solución nutritiva como forma de protección ambiental y una mayor economía en su utilización.

La hidroponía es una forma sencilla, limpia y de bajo costo, para producir vegetales de rápido crecimiento y generalmente ricos en elementos nutritivos. Con esta técnica de agricultura a pequeña escala se utilizan los recursos que las personas tienen a la mano, como materiales de desecho, espacios sin utilizar y tiempo libre.

Con esta técnica las raíces reciben una solución nutritiva equilibrada disuelta en agua con todos los elementos químicos esenciales para el desarrollo de la planta. Y pueden crecer en una solución mineral únicamente o bien en un medio inerte como arena lavada, grava o perlita.

Los investigadores en fisiología vegetal, descubrieron en el siglo XIX que las plantas absorben los minerales esenciales por medio de iones inorgánicos disueltos en el agua. En condiciones naturales, el suelo actúa como reserva de nutrientes minerales; pero este en sí, no es esencial para que la planta crezca. Cuando los nutrientes minerales de la tierra se disuelven en agua, las raíces de la planta son capaces de absorberlos. Cuando los nutrientes minerales son introducidos dentro del suministro de agua de la planta, ya no se requiere el suelo para que la planta prospere. Casi cualquier planta terrestre puede crecer con hidroponía, pero algunas pueden hacerlo mejor que otras. La hidroponía es también una técnica estándar en la investigación biológica, en la educación y un popular entretenimiento.



El cultivo sin suelo es justamente un conjunto de técnicas recomendables cuando no hay suelos con aptitudes agrícolas disponibles. El esquema consiste en: una fuente de agua que se impulsa por bombeo a través del sistema, recipientes con soluciones madre -nutrientes concentrados, cabezales de riego y canales construidos donde están los sustratos, las plantas, los conductos para aplicación del fertirriego y el receptor del efluente.

Este trabajo de investigación está estructurado de la siguiente manera:

🕒 **Capítulo 1. Marco conceptual y Metodológico.** Este capítulo trata de los conceptos principales que se manejan en el desarrollo de la tesis. Se trabaja un marco conceptual que incluye conceptos de hidroponía, así como también la parte sistémica o integral y la parte metodológica utilizada.



**Capítulo 2. Antecedentes y Análisis del Caso de Estudio.** Este capítulo, contiene los antecedentes de la hidroponía y se describe el lugar y las condiciones en que se pondrá en práctica la hidroponía.



**Capítulo 3. Modelo Producción de Forraje verde Hidropónico (FVH).** Este capítulo contiene el modelo utilizado para establecer la forma en que se propone producir el forraje verde hidropónico para alimentar ganado.



**Capítulo 4. Aplicación del Modelo.** Este capítulo describe la forma en que se logra implementar “La fabrica de Alimentos” la cual es el modelo propuesto en el capítulo 3.



**Capítulo 5. Resultados Obtenidos.** En este capítulo se muestran los resultados obtenidos en la aplicación del modelo.

**Conclusiones, Recomendaciones y Trabajos Futuros.** En este capítulo, se encuentran las conclusiones las cuales tienen que ver con el cumplimiento de los objetivos, las recomendaciones para utilizar el modelo y algunas actividades que deben hacerse posteriores a la terminación de esta tesis considerados como Trabajos Futuros.

## Descripción del Problema

En los últimos tiempos se ha demostrado que uno de los problemas principales a los que se enfrenta la población mexicana, es la de poder autoabastecerse de su propia alimentación, razón por la cual se tiene que importar algunos alimentos ya que por políticas inadecuadas al campo este se ha olvidado y, no se puede producir casi ningún alimento para abastecer de manera propia sus alimentos. En el campo, sin contar que ahí vive más de la cuarta parte de la población; no producen los alimentos que México necesita.

Aunado a esto el cansancio de los suelos y la escases de agua, ha empujado a muchos productores a dejar el campo, sin tener en cuenta factores desfavorables que acompañan a este tipo de cultivos.

La producción de Forraje Verde Hidropónico (FVH), objeto de esta tesis, se inicia con la idea de autoabastecer el ganado ovino y bobino en la zona de Santiago Tulantepec, Hgo., con forraje adecuado a sus condiciones alimentarias en virtud de no contar con suficiente forraje para que el ganado se alimente.

Por lo general, la producción anual de forraje verde de manera tradicional es muy precaria, ya que desde antes de sembrar se sabe del bajo rendimiento o nulo de la siembra de temporal, ya sea por falta o por exceso de lluvia, fuera o dentro de la temporada.

Esto hace que el abasto requerido no se logre, lo cual obliga a los criadores del ganado a comprar el forraje en otros lugares que por lo general se encuentran retirados y de alto costo.

Todo esto sin contar con que no se conoce a detalle la calidad del forraje. Siendo estas las principales causas que dan origen para tratar este problema, el cual tiene como objetivo producir en forma sostenible y sustentable, el forraje mediante hidroponía para satisfacer las necesidades de alimentación del ganado existente en el Rancho los Remedios ubicado en Santiago Tulantepec, Hidalgo.

## Justificación del Problema

Con base en la descripción del problema formulado en el punto anterior, se propone en este trabajo, la producción de forraje haciendo uso de la Hidroponía, por ser un sistema de producción agrícola que se aplica con éxito en condiciones y ambientes diversos. La hidroponía es la ciencia que estudia los cultivos sin tierra. La posibilidad de cosechar plantas sin tierra fue considerada en la segunda mitad del siglo pasado; en la actualidad es uno de los sistemas más empleados en países del primer mundo. En Europa, los productos hidropónicos son los más aceptados por ser 100 por ciento orgánicos. Con esta técnica, que no arremete ni altera el medio ambiente, se pueden cultivar verduras, frutas, flores, plantas aromáticas y ornamentales de excelente calidad en un reducido espacio. Al no depender del clima, el producto puede estar en el mercado en cualquier época del año, lo cual es una gran ventaja frente a los cultivados de manera tradicional.

El cansancio de los suelos por alta carga de patógenos tras cultivos repetidos o la acumulación de iones que conllevan alcalinidad y/o elevación del tenor de sodio ha empujado a muchos productores a realizar cultivos hidropónicos o sin suelo, sin tener en cuenta factores ambientales desfavorables que acompañan este tipo de cultivos. Los cultivos hidropónicos o sin suelo requieren mucha atención respecto de que se hace con el líquido efluente, ya que las soluciones nutritivas son contaminantes del ambiente, pues tienen nitratos, nitritos, fosfatos, iones metálicos como cobre, manganeso, molibdeno y otros, que son contaminantes y los métodos de cultivo sin suelo se hacen en medios generalmente de baja CIC -capacidad de intercambio catiónico- y poca capacidad de almacenamiento para retener los iones que las raíces de las plantas no usan en el momento. En cultivos comerciales -en cuanto a su superficie- se hace obligatorio seguir normas ambientales amigables con el ambiente y emplear métodos de recirculación de las soluciones volviéndolas al cultivo tras equilibrarlas y desinfectarlas o buscándoles un lugar de descarga que evite la llegada de los nutrientes efluentes al suelo, cursos de agua y a los acuíferos.

Trabajos científicos han tratado de buscar las formas de reconvertir el efluente de los sistemas abiertos a través de un segundo uso que fije los iones liberados antes que lleguen al ambiente. Ya existen métodos en sistemas abiertos que permiten un segundo cultivo, fijación por plantas que crecen en pequeñas lagunas de fondo impermeabilizado y otros ensayándose. Las recomendaciones de realizar cultivos hidropónicos o sin suelo son altas tan solo por considerar su alta productividad y rendimiento económico, ya que no toman en cuenta los aspectos ambientales perniciosos. El abastecimiento de agua que se tiene en este Rancho es sólo por las lluvias, la cual se retiene a través de aljibes hechos para su almacenamiento, razón por la cual se considero factible esta forma de cultivo para producir el forraje necesario para abastecer las necesidades alimentarias del ganado del Rancho Los Remedios. Los cultivos que son aptos para hacer uso de este método son además: el tomate, la lechuga, la col, el pimiento y el pepino.

## **Objetivos**

### **General**

Producir en forma sostenible y sustentable, forraje (cebada y avena), aplicando la técnica de la hidroponía para satisfacer las necesidades de alimentación de ganado ovino y bovino en la zona de Tulancingo y Santiago Tulantepec, Hidalgo

### **Específicos**

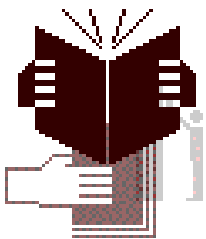
1. Estudiar la hidroponía.
2. Analizar el tipo de alimentación de mayor beneficio para el ganado bovino y ovino.
3. Investigar la producción de forraje con semilla de avena y cebada.
4. Construir un invernadero.
5. Proponer un sistema de riego.
6. Documentar los resultados de la investigación

### **Hipótesis**

Es posible producir forraje verde hidropónico (FVH) de forma sostenible y sustentable para ser autosuficiente en la alimentación de ganado ovino y bovino.

# CAPÍTULO 1

## MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO



## 1. MARCO CONCEPTUAL

### 1.1. La Hidroponía

La Hidroponía es una técnica que permite cultivar en pequeña o gran escala, sin necesidad de suelo como sustrato. Incorporando los nutrientes que la planta necesita para crecer a través del riego (mediante soluciones nutritivas) se puede efectivizar el cultivo.

Las raíces reciben una solución nutritiva equilibrada disuelta en agua; con todos los elementos químicos esenciales para el desarrollo de la planta. Y pueden crecer en una solución mineral únicamente, o bien, en un medio inerte como arena lavada, grava o perlita.

Los investigadores en fisiología vegetal descubrieron en el siglo XIX que las plantas absorben los minerales esenciales por medio de iones inorgánicos disueltos en el agua. En condiciones naturales, el suelo actúa como reserva de nutrientes minerales, pero el suelo no es esencial para que la planta crezca. Cuando los nutrientes minerales de la tierra se disuelven en agua, las raíces de la planta son capaces de absorberlos.

Casi cualquier planta terrestre puede crecer con hidroponía, pero algunas pueden hacerlo mejor que otras. La hidroponía es también una técnica estándar en la investigación biológica, en la educación y un popular hobby.

Hoy en día esta actividad está tomando mucho auge en los países donde las condiciones para la agricultura resultan adversas, combinando la hidroponía con un buen manejo de invernadero se llegan a obtener rendimientos muy superiores a los que se obtienen en cultivos a cielo abierto.

Es una forma sencilla, limpia y de bajo costo, para producir vegetales de rápido crecimiento y generalmente ricos en elementos nutritivos. Con esta técnica de agricultura a pequeña escala se utilizan los recursos que las personas tienen a la mano, como materiales de desecho, espacios sin utilizar, tiempo libre.

Hoy puede decirse que la hidroponía o cultivo sin suelo, ha conseguido estándares comerciales y que algunos alimentos, plantas ornamentales y jóvenes plantas de tabaco se hacen de esta manera; esto ocurre por diversas razones que tienen que ver con la falta de suelos adecuados; por suelos contaminados por microorganismos que producen enfermedades a las plantas o por usar aguas subterráneas que degradaron la calidad de esos suelos.

La clasificación de los cultivos hidropónicos ha evolucionado más recientemente hacia formas *abiertas o cerradas* dependiendo de si vuelcan el efluente o reutilizan la solución nutritiva como forma de protección ambiental y una mayor economía en su utilización.

## 1.2. Hidroponía y Contaminación Ambiental

El cultivo sin suelo es justamente un conjunto de técnicas recomendables cuando no hay suelos con aptitudes agrícolas disponibles. El cansancio de los suelos por alta carga de patógenos tras cultivos repetidos o la acumulación de iones que conllevan alcalinidad y/o elevación del tenor de sodio ha empujado a muchos productores a realizar cultivos hidropónicos o sin suelo, sin tener en cuenta factores ambientales desfavorables que acompañan este tipo de cultivos. Los cultivos hidropónicos o sin suelo requieren mucha atención respecto de que se hace con el líquido efluente, ya que las soluciones nutritivas son contaminantes del ambiente, pues tienen nitratos, nitritos, fosfatos, iones metálicos como cobre, manganeso, molibdeno y otros, que son contaminantes y los métodos de cultivo sin suelo se hacen en medios generalmente de baja CIC -capacidad de intercambio catódico y poca capacidad buffer para retener los iones que las raíces de las plantas no usan en el momento. En cultivos comerciales -en cuanto a su superficie- se hace obligatorio seguir normas ambientales amigables con el ambiente y emplear métodos de recirculación de las soluciones volviéndolas al cultivo tras equilibrarlas y desinfectarlas o buscándoles un lugar de descarga que evite la llegada de los nutrientes efluentes al suelo, cursos de agua y a los acuíferos.

La hidroponía es un sistema de producción agrícola que se aplica con éxito en condiciones y ambientes diversos. Es la ciencia que estudia los cultivos sin tierra. La posibilidad de cosechar plantas sin tierra fue considerada en la segunda mitad del siglo pasado; en la actualidad es uno de los sistemas más empleados en países del primer mundo. Con esta técnica, que no agrede ni altera el medio ambiente, se pueden cultivar verduras, frutas, flores, plantas aromáticas y ornamentales de excelente calidad en un reducido espacio y a bajo costo.

## 1.3 Historia de la Hidroponía

La palabra Hidroponía deriva del griego *Hydro* (agua) y *Ponos* (labor o trabajo) lo cual significa literalmente trabajo en agua. La hidroponía no es una técnica moderna, sino una técnica ancestral; en la antigüedad hubo culturas y civilizaciones que la usaron como medio de subsistencia. Los aztecas construyeron una ciudad en el lago de Texcoco (la ciudad de México se encuentra ubicada sobre un lago que se está hundiendo), y cultivaban su maíz en barcos o barcasas con un entramado de pajas, y de ahí se abastecían. Hay muchos ejemplos como éste; los Jardines Colgantes de Babilonia eran hidropónicos porque se alimentaban de agua que fluía por unos canales. Esta técnica existía en la antigua China, India, Egipto, también la cultura Maya la utilizaba, y hoy en día tenemos como referencia a una tribu asentada en el lago Titicaca; es igualmente utilizada comercialmente, desarrollándose a niveles muy elevados, en países con limitaciones serias de suelo y agua.

Hoy en día las naves espaciales viajan seis meses o un año. Los tripulantes durante ese tiempo comen productos vegetales cultivados por medio de la hidroponía, en el espacio.

Muchos de los métodos hidropónicos actuales emplean algún tipo de sustrato como grava, arena, piedra pómez, aserrines, arcillas expansivas, carbones, cascarilla de arroz, etc., a los cuales se les añade una solución nutritiva que contiene todos los elementos esenciales necesarios para el normal crecimiento y desarrollo de la planta.

Hidroponía, el crecimiento de plantas sin tierra, debe su desarrollo a los hallazgos de experimentos llevados a cabo para determinar qué sustancias hacen crecer las plantas y su composición. El proceso hidropónico que causa el crecimiento de plantas en nuestros océanos data aproximadamente desde el tiempo que la tierra fue creada.

Los aztecas, una tribu nómada forzada a ubicarse hacia la orilla pantanosa del Lago Tenochtitlán, localizado en el gran valle central de lo que es ahora México, y tratados bruscamente por sus vecinos más poderosos que les negaron cualquier tierra cultivable, sobrevivieron desarrollando notables cualidades de invención. Ellos aprendieron a construir balsas de caña, dragaban la tierra del fondo poco profundo del lago y la amontonaban en las balsas. Debido a que la tierra venía del fondo del lago, era rica en una variedad de restos orgánicos y material descompuesto que aportaba grandes cantidades de nutrientes. Estas balsas, llamadas chinampas, permitían cosechas abundantes de verduras, flores e incluso árboles eran plantados en ellas. Las raíces de estas plantas presionaban hacia abajo y traspasaban el suelo de la balsa hasta el agua. En oportunidades se unían algunas de estas balsas que nunca se hundieron para formar islas flotantes de hasta sesenta metros de largo.

Con su fuerza armada, los aztecas derrotaron y conquistaron a quienes una vez los habían oprimido. A pesar del gran tamaño de su imperio, ellos nunca abandonaron el sitio en el lago; el que alguna vez fuera un pueblo primitivo se convirtió en la enorme y magnífica ciudad de México. Las chinampas continuaron siendo usadas en el lago hasta el siglo XIX, aunque en números grandemente disminuidos. Así que, se puede apreciar, la hidroponía no es un concepto nuevo.

El arroz ha sido cultivado de esta manera desde tiempos inmemoriales. Los jardines flotantes de China son otro ejemplo de "Cultivo Hidropónico"

Archivos jeroglíficos de egipcios antiguos, de varios cientos años A.C. describen el crecimiento de plantas en agua a lo largo del Nilo.

Los investigadores determinaron que los granos de cereal podrían cultivarse muy rápidamente de esta manera. Usando granos como cebada, ellos demostraron que 2.3 Kgs. de semilla pueden convertirse en 15.87 kgs. de alimento verde en 7 días. Cuando se utilizó como suplemento a las raciones normales, este alimento verde era extremadamente beneficioso para todo tipo de animales. En animales productores de leche, aumentó el flujo de ella. En las porciones de alimento, la conversión fue mejor y se lograron ganancias a menos costo por kilo de grano. La potencia de machos para engendrado y la concepción en hembras aumentó rápidamente. La avicultura también se benefició de muchas maneras, la producción de huevos aumentó mientras el canibalismo, un problema constante para el avicultor, cesó.



## 1.4 La Hidroponía Actual

Hoy en día la práctica de esta técnica va en aumento, haciéndose más popular y se espera una acción importante por parte de la clase social desvalida, de escasos recursos, la clase llamada popular; misma que históricamente, ha marcado siempre el desarrollo cultural y de productividad en el País, mediante una preparación académica, como se ha dado en otros tiempos históricos.

Al continuar con la divulgación de estas técnicas de hidroponía no debe pasar mucho tiempo en que las personas, hombres y mujeres se interesen en cultivar en sus hogares, en jardines, acondicionando azoteas, en los interiores, colocando cerca de ventanas sus pequeñas unidades de cultivo, con las diferentes técnicas de la hidroponía.

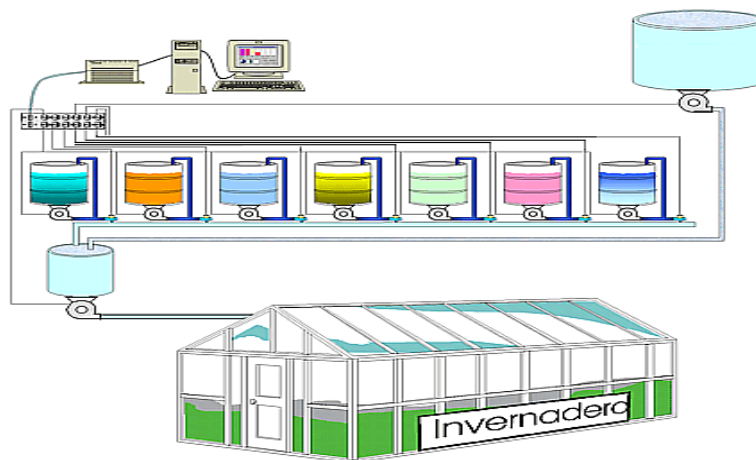


Figura 1.1 Invernadero. Fuente (Monografía, 05)

Con el desarrollo del plástico, la hidroponía dio otro paso grande hacia adelante. Si hay un factor al que podría acreditársele el éxito de la industria hidropónica de hoy, ese factor es el plástico.

Como ya se mencionó, uno de los problemas más urgentes encontrado en todos los sistemas era la constante contaminación de la solución con elementos perjudiciales del concreto, medios de enraizado y otros materiales. Con el advenimiento de la fibra de vidrio y los plásticos, los tipos diferentes de vinilo, los polietilenos y muchos otros, este problema fue virtualmente eliminado. En los sistemas de producción que se construyen actualmente en el mundo, se utiliza frecuentemente el plástico; esto incluye el reemplazo de válvulas de bronce, lográndose eliminar el contacto del metal con la solución, incluso las bombas son recubiertas. Usando este tipo de materiales, junto con un material inerte como un medio de enraizado, el cultivador está bien encaminado al éxito.

Los plásticos libraron a los cultivadores de construcciones costosas como las "camas de concreto" y tanques usados anteriormente. Las camas se aíslan del sustrato cubriéndolas con una lámina de plástico, luego se llenan con sustrato u otro medio de crecimiento. Al desarrollarse las bombas, relojes de tiempo, tuberías de plástico, válvulas solenoides y otros equipos, el sistema hidropónico entero se puede automatizar, e incluso informatizar con el consecuente ahorro de capital y de costos operativos.

Una premisa básica para tener presente sobre la hidroponía es su simplicidad. Otro descubrimiento importante en hidroponía fue el desarrollo de un alimento para la planta completamente equilibrado. La investigación en esta área aún continúa, pero están disponibles muchas fórmulas listas para usar, la mayoría de ellas son completas, pero muy pocas, trabajan de forma consistente sin necesidad de adaptarlas para las diferentes fases de la cosecha. Hay también muchas fórmulas disponibles que pueden ser mezcladas por cualquier persona, pero el cultivador promedio prefiere descartar las fórmulas comerciales.

Además del progreso logrado con el uso del plástico y el definitivo aumento de la producción por las mezclas nutrientes mejoradas, otro factor de gran importancia para el futuro de la industria es el desarrollo de hardware para el control ambiental de los invernaderos.

Inicialmente, la mayoría de los invernaderos usaban vapor para aumentar la temperatura; pero el costo del equipo requerido para su aplicación, no permitía en gran parte que pequeño productor entrara en este campo. Con el desarrollo de calentadores de aceite o gasolina, sin embargo, fue posible construir unidades más pequeñas, y el advenimiento de gases como butano y propano, han hecho posible la construcción de invernaderos en casi cualquier lugar. O donde sea adecuado, también se pueden construir digestores, para obtener gas metano, producido por los desechos del ganado y así proporcionar a las instalaciones de otro medio de calefacción.

Mejoras constantes en estos sistemas caloríficos, particularmente la introducción de ventiladores de alta velocidad y nuevos métodos para hacer circular aire caluroso a lo largo de un edificio, permitieron un mayor control al cultivador de la temperatura en el invernadero. Para instalaciones comerciales, en invernaderos más grandes, sin embargo, un sistema de caldera que use vapor o agua caliente sigue siendo el más barato. Ha habido también mejoras continuas en las técnicas y equipo para refrescar invernaderos de diferentes tamaños.

Además de un mejor y mayor control medioambiental, el uso de nuevos materiales como polietileno, películas de polivinilo, y láminas de fibra de vidrio translúcidos introdujeron métodos completamente nuevos de construcción de invernaderos a bajo costo. Éstos dan una amplia gama de opciones al constructor para cubrir unidades de diferentes longitudes y han hecho posible muchas nuevas formas, tamaños, y configuraciones.

La combinación de control medioambiental y los sistemas hidropónicos mejorados han sido los principales responsables del crecimiento de la industria durante los últimos veinte años, y no hay duda que la hidroponía tendrá gran importancia en la alimentación del mundo en el futuro.

Como ejemplo de la necesidad de la hidroponía en 1950 había un total de 1500 hectáreas de tierra cultivada en los Estados Unidos. En ese momento la población en los Estados Unidos era de 150.718.000. En 1970 la extensión cultivada total en hectáreas cayó a 1300 hectáreas y la población había crecido a 204.000.000. En los próximos 20 años, se estima que la población de los Estados Unidos crecerá a 278.570.000 un aumento de 79.000.000 de habitantes. Es difícil proyectar cuántas hectáreas para producción se perderán durante ese tiempo

La hidroponía se ha vuelto una realidad para cultivar bajo invernaderos en todos los climas. Grandes instalaciones hidropónicas existen a lo largo del mundo para el cultivo de flores y verduras. Por ejemplo, hay grandes complejos de invernaderos hidropónicos en funcionamiento en Tucson, Arizona (4.5 hectáreas); Phoenix, Arizona (aproximadamente 6 hectáreas); y Abu Dhabi (más de 10 hectáreas), esta instalación usa agua desalinizada del Golfo Pérsico. Los tomates y pepinos han demostrado ser las cosechas más exitosas. Las coles, rábanos, y frijoles instantáneos también han funcionado muy bien.

El valle de Salt River que rodea a Phoenix, Arizona, ilustra lo que sucede cuando la población crece en un área. El modelo de crecimiento del Valle de Salt River no sólo es característico de muchas áreas en los Estados Unidos, sino de todo el mundo. Los primeros colonos que entraron en esta área estaban buscando tierra buena y agua. Ambos estaban presentes allí. Después de la Segunda Guerra Mundial, el excelente clima causó un auge poblacional. En 1950, dentro de los límites del Proyecto Salt River, había 97 hectáreas de las que se evaluaron 91.11 hectáreas como tierras agrícolas. Entre 1950 y 1960, estas tierras agrícolas disminuyeron en 15.29 hectáreas. Hubo una disminución de 14.33 hectáreas entre 1960 y 1970. Entre 1971 y 1973, ocurrió una pérdida adicional de 7.75 hectáreas. En 23 años un total de 37.38 hectáreas de tierra apta para la producción de cosechas se perdieron para siempre.

Con hidroponía no hay necesidad de tierra y sólo se requiere una quinta parte del agua de un cultivo convencional. Los productores hidropónicos del futuro usarán el techo de almacenes y otros edificios grandes para instalar sistemas comerciales. Un sistema así ha sido diseñado por los Deutschmann's Hydroponic Centers of St. Louis, y entró en funcionamiento en 1986. Allí se cosechan plantas de follaje tropical, usando hidroponía. Sin embargo, los invernaderos de azoteas se usan solamente para la producción de verduras.

El proyecto se volvió una realidad en el otoño de 1986. A finales del verano de 1988, se tenía un total de 7 invernaderos en la azotea en producción completa en el área de San Luis. Las ventas de la compañía de plantas de follaje tropical habían superado las expectativas con 433 plantas diarias vendidas en 1994. La sección de producción de verdura utiliza los invernaderos de azoteas e igualmente estaba en crecimiento cuando un evento infortunado, no relacionado con el negocio, obligó a la compañía suspender su funcionamiento temporalmente.

Hay amplio espacio en casi cualquier azotea. Lo que se necesita además de este espacio es electricidad, combustible y agua. Sistemas construidos de esta manera tendrán la ventaja agregada de estar cerca del mercado, eliminando la necesidad de transportar el producto por

largas distancias. Como el ambiente dentro de las instalaciones hidropónicas puede controlarse, estos sistemas pueden producir verduras todo el año casi en cualquier clima.

El sistema diseñado y construido en San Luis demuestra que no hay duda alguna que ya existe la tecnología para construir tales sistemas haciéndolos económicamente factibles. Hay, sin embargo, otros sistemas caseros construidos o diseñados para tal fin que requieren espacios muy pequeños.

Hoy, la hidroponía es una rama establecida de ciencia agronómica, que ayuda a la alimentación de millones de personas; estas unidades pueden encontrarse floreciendo en los desiertos de Israel, Líbano y Kuwait, en las islas de Sri Lanka, las Filipinas, en las azoteas de Calcuta y en los pueblos desérticos de Bengala Oriental.

En las Islas Canarias, hay cientos de acres de tierra cubierta con polietileno apoyado por postes para formar una sola estructura continua que aloja tomates cultivados hidropónicamente. La estructura tiene paredes abiertas para que el viento prevaleciente pase y refresque las plantas. La estructura ayuda a reducir la pérdida de agua de las plantas por transpiración y las protege de tormentas súbitas. Estructuras como estas pueden usarse también en áreas como el Caribe y Hawái.

Casi cada estado en los Estados Unidos tiene una industria de invernaderos hidropónicos sustancial. Canadá también usa extensivamente la hidroponía en el cultivo de cosechas de verduras en invernadero. Aproximadamente 90% de la industria de invernaderos en Columbia Británica, Canadá, usa la cultura del aserrín para superar los problemas relacionados con la estructura de la tierra y de pestes asociadas a la misma. La mitad del tomate en la Isla de Vancouver y un quinto del de Moscú son producidos hidropónicamente. Hay sistemas hidropónicos en Submarinos Nucleares Norteamericanos, en Estaciones Espaciales rusas y en plataformas de perforación en mar abierto. Los parques zoológicos grandes mantienen sus animales saludables con alimentos hidropónicos, y muchos caballos de raza se mantienen con césped producido de esta manera.

Hay sistemas grandes y pequeños usados por compañías e individuos en sitios tan lejanos como la Isla Baffin y Eskimo Point en el Ártico de Canadá. Los cultivadores comerciales están usando esta técnica maravillosa para producir comida a gran escala de Israel a India, y de Armenia al Sahara. En las regiones áridas del mundo, como México y el Medio Oeste, donde el suministro de agua fresca está limitado, están desarrollándose complejos hidropónicos combinados con unidades de desalinización para usar agua del mar como una fuente alternativa. Los complejos se localizan cerca del océano y las plantas son cultivadas en arena de playa. En otras áreas del mundo, como el Medio Oeste, hay poca tierra apta para cultivar debido al desarrollo de la industria del petróleo y el flujo subsecuente de riqueza, la construcción de instalaciones hidropónicas grandes para cultivar y alimentar a la población en estas naciones resulta muy valiosa.

## 1.5 Ventajas del Cultivo por Hidroponía.

A continuación se listan las ventajas del cultivo por medio de la hidroponía:

- Cultivos libres de parásitos, bacterias, hongos y contaminación.
- Reducción de costos de producción.
- Permite la producción de semilla certificada.
- Independencia de los fenómenos meteorológicos.
- Permite producir cosechas en contra estación
- Menos espacio y capital para una mayor producción.
- Ahorro de agua, que se puede reciclar.
- Ahorro de fertilizantes e insecticidas.
- Se evita la maquinaria agrícola (tractores, rastras, etcétera).
- Limpieza e higiene en el manejo del cultivo.
- Mayor precocidad de los cultivos.
- Alto porcentaje de automatización.

## 1.6 Elementos Utilizados en la Hidroponía

### 1.6.1 El Sustrato

Se denomina sustrato a un medio sólido inerte que cumple 2 funciones esenciales:

- a) Anclar y aferrar las raíces protegiéndolas de la luz y permitiéndoles respirar.
- b) Contener el agua y los nutrientes que las plantas necesitan.

Los gránulos componentes del sustrato deben permitir la circulación del aire y de la solución nutritiva. Se consideran buenos aquellos que permiten la presencia entre 15% y 35% de aire y entre 20% y 60% de agua en relación con el volumen total. Muchas veces es útil mezclar sustratos buscando que unos aporten lo que les falta a otros, teniendo en cuenta los aspectos siguientes:

- Retención de humedad.
- Alto porcentaje de aireación
- Físicamente estable
- Químicamente inerte
- Biológicamente inerte.
- Excelente drenaje
- Poseer capilaridad
- Liviano.
- De bajo costo
- Alta disponibilidad.

Los sustratos más utilizados son los siguientes: cascarilla de arroz, arena, grava, residuos de hornos y calderas, piedra pómez, aserrines y virutas, ladrillos y tejas molidas (libres de elementos calcáreos o cemento), espuma de poliestireno (utilizada casi únicamente para aligerar el peso de otros sustratos.), turba rubia, vermiculita.

### **1.6.2 El Riego**

En los cultivos hidropónicos 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. (Monografía, 05)

Un sistema de riego consta de un tanque para el agua y nutrientes, tuberías de conducción de agua y goteros, aspersores (emisores) y nebulizadores.

El tanque debe ser inerte con respecto a la solución nutritiva y de fácil limpieza, mantenimiento y desinfección. El criterio para seleccionar el tamaño puede variar según el cultivo, localidad, método de control de la solución nutritiva, etc. Cuanto más pequeño sea, más frecuente será la necesidad de controlar su volumen y composición.

La ubicación del tanque dependerá de la situación del cultivo. En caso de regar por gravedad, deberá tener suficiente altura para lograr buena presión en los goteros, si se riega utilizando una bomba, el tanque puede ser a nivel o subterráneo.

Las tuberías de PVC y mangueras de polietileno son las más económicas. El diámetro dependerá del caudal y longitud del tramo.

### **1.6.3 Sistemas de Riego**

La elección de una u otra técnica de riego depende de numerosos factores como las propiedades físicas del sustrato, los elementos de control disponibles, las características de la explotación, etc.

Desde el punto de vista del movimiento de agua en el sustrato, los sistemas de riego se pueden clasificar en dos grandes grupos, aporte de agua de arriba hacia abajo (goteo y aspersión) o de abajo hacia arriba (subirrigación).

En el primer caso, el movimiento del agua durante el riego está regido principalmente por la gravedad. En el segundo caso, este movimiento está regido por las fuerzas capilares.

El sistema de riego y las características físicas del sustrato están estrechamente relacionados entre sí, y debe tenerse en cuenta uno cuando se elija el otro.

Abajo se especifican las características de los riegos más utilizados actualmente en cultivo en contenedor. Básicamente el principio de funcionamiento y su uso son los siguientes:

a) Riego localizado o por goteo:

El riego localizado consiste en aplicar agua a cada maceta mediante un micro tubo provisto de una salida de bajo caudal. Es uno de los métodos más utilizados.

b) Riego por aspersión:

En este sistema el agua es aportada a una cierta altura sobre el cultivo y cae sobre el follaje. Es un sistema que se ha utilizado mucho pero que actualmente está en recesión.

c) Riego por subirrigación

La subirrigación es una técnica de riego que consiste en suministrar el agua a la base de la maceta. Este aporte se realiza mediante el llenado de agua de una bandeja donde están colocadas las macetas. El llenado se puede realizar bien por elevación de la lámina de agua de la bandeja (Flujo-reflujo) o haciendo fluir agua por unos canalones. Es el método que se está implantando en los últimos tiempos.

Uno de los sistemas más ventajosos es el riego por goteo mediante el cual el agua es conducida hasta el pie de la planta por medio de mangueras y vertida con goteros que la deja salir con un caudal determinado. Mediante este sistema se aumenta la producción de los cultivos, se disminuyen los daños por salinidad, se acorta el período de crecimiento (cosechas más tempranas) y se mejoran las condiciones fitosanitarias.

En el riego por aspersión el agua es llevada a presión por medio de tuberías y emitida mediante aspersores que simulan la lluvia.

## **1.7 El Forraje Verde Hidropónico (FVH) como Tecnología apta para Pequeños Productores Agropecuarios**

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

El proceso se realiza en recipientes planos y por un lapso de tiempo no mayor a los 12 ó 15 días, realizándose riegos con agua hasta que los brotes alcancen un largo de 3 a 4 centímetros. A partir de ese momento se continúan los riegos con una solución nutritiva la cual tiene por finalidad aportar los elementos químicos (especialmente el nitrógeno) necesarios para el óptimo crecimiento del forraje, así como también el de otorgarle, entre otras características, su alta palatabilidad, buena digestibilidad y excelente sustituto del alimento concentrado (Morales, 1987).

Dentro del contexto anterior, el FVH representa una alternativa de producción de forraje para la alimentación de corderos, cabras, terneros, vacas en ordeña, caballos de carrera; otros rumiantes; conejos, pollos, gallinas ponedoras, patos, cuyes y chinchillas entre otros animales domésticos y es especialmente útil durante períodos de escasez de forraje verde.

En innumerables ocasiones han ocurrido pérdidas importantes de ganado y de animales menores como consecuencia de déficits alimentarios o faltas de forraje, henos, ensilajes o granos para alimentación animal. Estos fenómenos climatológicos adversos, tales como las sequías prolongadas, nevadas, inundaciones y las lluvias de cenizas volcánicas, vienen incrementando significativamente su frecuencia en estos últimos años, afectando negativamente la producción o limitando el acceso al forraje producido en forma convencional para alimentación de los animales.

Estos fenómenos naturales adversos, cada vez más comunes, producto de la alta variabilidad climática, ocurren sin que se cuenten muchas veces con suficientes reservas de pasturas, henos o ensilados. Ello redundaría en la necesidad de contar con alternativas de producción de forraje que permitan paliar o prevenir pérdidas productivas (abortos, pérdida de peso, escaso volumen de leche, demoras y/o problemas de fertilidad, etc.) especialmente a nivel de los pequeños y medianos productores ganaderos o de animales menores. Frente a estas circunstancias de déficit alimentario, surge como una alternativa válida, la implementación de un sistema de producción de FVH.

## **1.8 Justificación del Uso 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. Como será expuesto en detalle en capítulos posteriores, el FVH ha demostrado ser una herramienta eficiente y útil en la producción animal. Brevemente, entre los resultados prácticos más promisorios se ha demostrado:

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

- Aumento de producción en aves domésticas (pollos, gallinas, patos, gansos, etc.) a partir del uso del FVH, 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.
- Ganancia de peso en cerdos con una alimentación en base a FVH.



- 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.

La eficiencia del sistema de producción de FVH es muy alta. Estudios realizados en México (Lomelli, 2000), con control del volumen de agua a aplicar, luz, nutrientes y CO<sub>2</sub> (anhídrido carbónico), demostraron que a partir de 22 kg de semillas de trigo es posible obtener en un área de 11,6 m<sup>2</sup> (1.89 kg semilla/m.c.) una óptima producción de 112 kg de FVH por día (9.65 kg FVH/m<sup>2</sup>/día). En todos los resultados mencionados anteriormente el sistema de producción de FVH ha posibilitado obtener mayor calidad de carne; aumento del peso vivo a la fecha de faena; aumento en la proporción de pelo de primera en el vellón de conejos; mayores volúmenes de leche; aumento de la fertilidad; disminución de los costos de producción por sustitución parcial de la ración por FVH.

## 1.9 Ventajas y Desventajas del Forraje Verde Hidropónico

- **Ventajas:**

-Ahorro de agua. En el sistema de producción de FVH las pérdidas de agua por evapotranspiración, escurrimiento superficial e infiltración son mínimas al comparar con las condiciones de producción convencional en especies forrajeras, cuyas eficiencias varían entre 270 a 635 litros de agua por kg de materia seca (tabla 1.1). Alternativamente, “la producción de 1 kilo de FVH requiere de 2 a 3 litros de agua con un porcentaje de materia seca que oscila, dependiendo de la especie forrajera, entre un 12% a 18% (Lomelli, 2000). Esto se traduce en un consumo total de 15 a 20 litros de agua por kilogramo de materia seca obtenida en 14 días.

**Tabla 1.1. Gasto de agua para producción de forraje en condiciones de campo**

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

Fuente: Carámbula, M. y Terra, J. 2000.

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

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

- Calidad del forraje para los animales. El FVH es un succulento forraje verde de aproximadamente 20 a 30 cm de altura (dependiendo del período de crecimiento) y de plena aptitud comestible para nuestros animales. A continuación se muestra en la tabla 1.2 un análisis comparativo del valor nutricional de la semilla de avena a los 13 días de crecimiento.

**Tabla 1.2. Análisis comparativo del valor nutricional del grano de avena y el FVH obtenido de las semillas de avena a los 10 cm de altura y 13 días de crecimiento.**

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

Fuente: Dosal, Juan José, 1987.

En general el grano contiene una energía digestible algo superior (3.300 kcal/kg) que el FVH (3.200 kcal/kg) (Pérez, 1987). Sin embargo los valores reportados de energía digestible en FVH son ampliamente variables. En el caso particular de la cebada como se muestra en la tabla 1.3 el FVH se aproxima a los valores encontrados para el Concentrado especialmente por su alto valor energético y apropiado nivel de digestibilidad.

**Tabla 1.3. Comparación entre las características del FVH (cebada y otras fuentes alimenticias) alimenticias.**

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

Fuente: Sepúlveda, Raymundo. 1994.

Inocuidad. El FVH producido de acuerdo a las indicaciones que serán presentadas en este manual, representa un forraje limpio e inocuo sin la presencia de hongos e insectos. Asegura la ingesta de un alimento conocido por su valor alimenticio y su calidad sanitaria. A través del uso del FVH los animales no comerán hierbas o pasturas indeseables que dificulten o perjudiquen los procesos de metabolismo y absorción. Tal es el caso de un hongo denominado comúnmente “cornezuelo” que aparece usualmente en el centeno, el cual cuando es ingerido por hembras preñadas induce al aborto inmediato con la trágica consecuencia de la pérdida del feto y hasta de la misma madre. Asimismo en vacas lecheras, muchas veces los animales ingieren malezas que transmiten a la leche sabores no deseables para el consumidor final o no aceptados para la elaboración de quesos, artesanales fundamentalmente.

Costos de producción. Las inversiones necesarias para producir FVH dependerán del nivel y de la escala de producción. El análisis de costos de producción de FVH, que se presenta por su importancia en una sección específica del manual, revela que considerando los riesgos de sequías, otros fenómenos climáticos adversos, las pérdidas de animales y los costos unitarios del insumo básico (semilla) el FVH es una alternativa económicamente viable que merece ser considerada por los pequeños y medianos productores. En el desglose de los costos se aprecia la gran ventaja que tiene este sistema de producción por su significativo nivel bajo de Costos Fijos en relación a las formas convencionales de producción de forrajes. Al no requerir de maquinaria agrícola para su siembra y cosecha, el descenso de la inversión resulta evidente.

Diversificación e intensificación de las actividades productivas. El uso del FVH posibilita intensificar y diversificar el uso de la tierra. Productores en Chile han estimado que 170 metros cuadrados de instalaciones con bandejas modulares en 4 pisos para FVH de avena, equivalen a la producción convencional de 5 Has. de avena de corte que pueden ser

destinadas a la producción alternativa en otros rubros o para rotación de largo plazo y dentro de programas de intensificación sostenible de la agricultura. De igual forma, el sistema FVH permite regularizar la entrega de forraje a los animales possibilitando almacenar FVH para asistir a exposiciones, remates o ferias ganaderas. El FVH no intenta competir con los sistemas tradicionales de producción de pasturas, pero sí complementarla especialmente durante períodos de déficit.

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

- **Desventajas.**

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

-Desinformación y sobrevaloración de la tecnología. Proyectos de FVH preconcebidos como “llave en mano” son vendidos a productores sin conocer exactamente las exigencias del sistema, la especie forrajera y sus variedades, su comportamiento productivo, plagas, enfermedades, requerimientos de nutrientes y de agua, óptimas condiciones de luz, temperatura, humedad ambiente, y niveles óptimos de concentración de CO<sub>2</sub>. Innumerables de estos proyectos han sufrido significativos fracasos por no haberse accedido a una capacitación previa que permita un correcto manejo del sistema. Se debe tener presente que, por ejemplo, para la producción de forraje verde hidropónico sólo precisamos un fertilizante foliar quelatizado el cual contenga, aparte de los macro y micro nutrientes esenciales, un aporte básico de 200 partes por millón de nitrógeno. Asimismo el FVH es una actividad continua y exigente en cuidados lo que implica un compromiso concreto del productor. La falta de conocimientos e información simple y directa, se transforma en desventaja, al igual que en el caso de la tecnología de hidroponía familiar. (Marulanda e Izquierdo, 1993).

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

## 2. Marco Metodológico

Como ya se mencionó, la producción de forraje verde hidropónico (FVH) generalmente cuenta con pocos elementos para enfrentar la problemática. Básicamente su producción es reactiva, es decir, reacciona a las necesidades que debe cubrir para dar alimento al ganado y resuelve problemas cuando se le van presentando. Esto provoca que la mayor parte del tiempo destinado a la producción, se consume en conocer las necesidades y buscar satisfacerlas de manera inmediata, quedando imposibilitado o, por lo menos, disminuido, para hacer planeación de largo plazo que le permita implementar estrategias de crecimiento para darle sustentabilidad a su producción.

No es difícil entender ésta situación ya que para poder establecer estrategias, necesita dedicar tiempo a analizar todos los elementos, internos y externos, que influyen en este proceso productivo. Necesita implementar acciones que aumenten sus fortalezas, le permitan aprovechar las oportunidades, contrarrestar las amenazas y disminuir o eliminar sus debilidades.

Los grandes productores cuentan con las áreas y el personal necesarios para realizar éstas funciones. El pequeño productor generalmente no cuenta con los recursos para establecer una organización con éstos elementos. Es por esto que debe apoyarse de herramientas que generen la posibilidad de lograr una mejor satisfacción de su producción con menor esfuerzo.

Concretamente, un productor de alimento debe cambiar a una actitud proactiva, es decir, que tome acciones para prevenir problemas y establecer estrategias, lo que redundará en un mejor aprovechamiento de los recursos con los que cuenta. En pocas palabras, necesita aprender a prevenir y resolver problemas y utilizar elementos para hacerlo de una manera más eficiente.

Como ya se mencionó anteriormente, el objetivo de ésta tesis es producir, en forma sostenible y sustentable, forraje (cebada y avena), aplicando la técnica de la hidroponía para satisfacer las necesidades de alimentación de ganado ovino y bovino en la zona de Tulancingo y Santiago Tulantepec, Hidalgo

Para poder cumplir éste objetivo es necesario primero conocer cómo funciona el cultivo hidropónico visualizándolo desde los ámbitos externo e interno. En el ámbito externo se encuentran los elementos con los que se establece contacto para tener la posibilidad de producir forraje en el que se encuentran los trabajadores, invernadero, ganado ovino y bovino. En el ámbito interno se encuentran el productor y la infraestructura que permiten establecer las condiciones de producción.

La manera de establecer ésta visualización se desarrollará utilizando elementos de la MSS – Metodología de Sistemas Suaves de Peter Checkland, ésta metodología auxiliará

para realizar un estudio general del supra sistema y su relación con el sistema. En el punto 1.2.1 se muestra una breve definición de ésta metodología.

## 2.1 Metodología de Sistemas Suaves

Es una metodología basada en un proceso heurístico, es decir, es un ciclo de planeación, acción y retroalimentación que permite aprender a resolver problemas haciendo una liga entre la teoría y la práctica para obtener un conocimiento interno o del sistema y uno del entorno. Establece una retroalimentación entre todos sus pasos.

Sirve para resolver problemas “Suaves”, aquellos que tienen un fuerte componente social y/o político. Más que problemas, se denominan situaciones problema, es decir cuando las cosas no funcionan como se desea y se quiere investigar si hay algo por hacer para mejorar la situación. La situación, más que considerarse un problema, se considera una oportunidad.

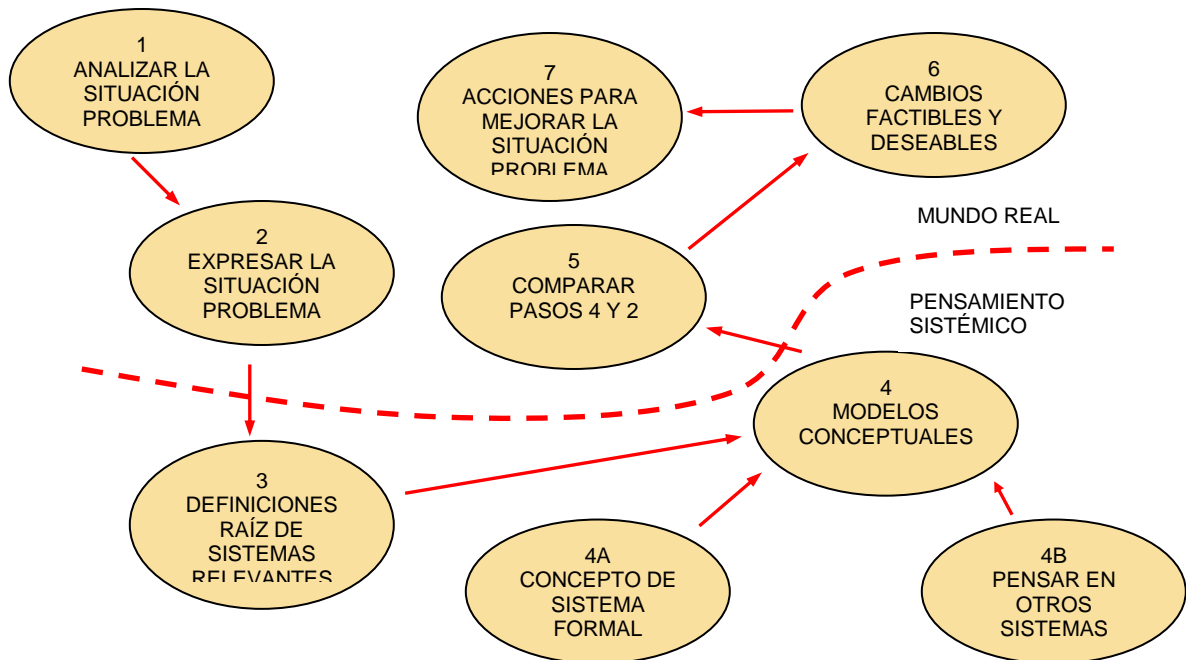
Ésta metodología fue desarrollada por Peter Checkland expresamente para tratar con situaciones de éste tipo. Checkland trabajó en la industria por varios años con varias metodologías “duras”, que son las que se refieren a problemas técnicos, en los que es más fácil definir el “qué” y el “cómo”. Se dio cuenta de que estas metodologías no funcionaban en situaciones con un componente social. En los años 60’s empezó a trabajar con situaciones “suaves” en la Universidad de Lancaster en el Reino Unido y fue en 1981 cuando se publicó la versión que actualmente se conoce.

La Metodología de Sistemas Suaves (Soft Systems Methodology - SSM por sus siglas en inglés) consta de 7 pasos:

1. Analizar la situación problema. Determinar quiénes son los involucrados y cómo funciona el proceso que se analiza.
2. Expresar la situación mediante diagramas para poder representarla gráficamente.
3. Seleccionar la manera de ver la situación y producir definiciones raíz, las cuales dicen el “qué”. Determinar las diferentes perspectivas desde las que se puede ver.
4. Construir un modelo conceptual sobre lo que el sistema debe hacer para cada situación raíz. Se empiezan a definir los “cómo”.
5. Comparar los modelos conceptuales con el mundo real. Se comparan los resultados de los pasos 4 y 2 para encontrar similitudes y diferencias.

6. Identificar cambios deseables y factibles, es decir, se buscan maneras de mejorar la situación.
7. Recomendaciones para tomar acción para mejorar la situación problema, es decir, definir las formas de implementar los cambios propuestos en el paso 6.

Estos pasos pueden representarse gráficamente como se muestra en el siguiente diagrama:



**Figura 1.2. Modelo de la Metodología de Sistemas Suaves de Peter Checkland**

En algunas situaciones es necesario hacer iteraciones de éstos 7 pasos para obtener mejores resultados.

Es necesario poner atención en la formulación de los nombres de los sistemas relevantes y escribirlos de tal manera en que sus

modelos se construyan basados en éstos nombres. Estos nombres se conocen como definiciones raíz.

Las definiciones raíz tienen como propósito expresar la finalidad de las actividades del sistema. Se expresan como procesos de transformación que toman alguna entidad como entrada y produce una nueva forma de la entidad como salida. Es importante vigilar la cardinalidad de la definición raíz, es decir, que una salida corresponda solamente a una entrada y viceversa.

Hay 6 elementos que indican una buena formulación de la definición raíz, que se representan con el nemónico CATWOE por su significado en inglés:

**C** Customer – es el cliente del sistema o la persona o personas que esperan recibir algún beneficio del sistema o que puede ser afectada por él.

**A** Actor – los actores ejecutan las actividades definidas en el sistema.

**T** Transformation process - es la conversión de las entradas en salidas.

**W** Weltanschauung – expresión alemana que significa visión del mundo. Esta visión del mundo hace significativo el proceso de transformación dentro del contexto del sistema.

**O** Owner – es el que tiene el poder de iniciar o detener el sistema.

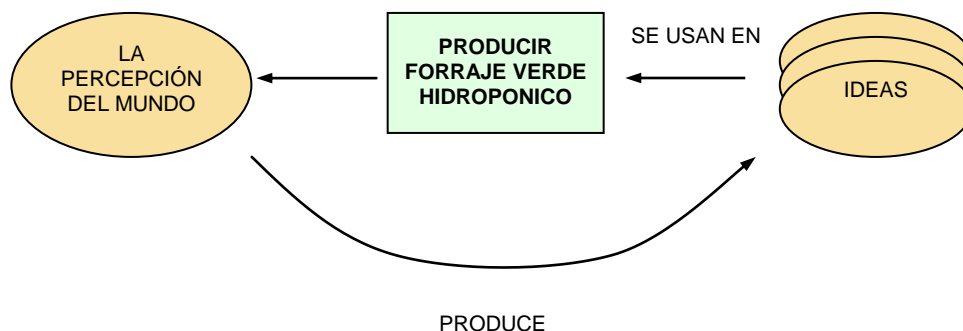
**E** Environmental Constraints – existen elementos externos al sistema en los que éste puede influir o ser influido por ellos. Las restricciones dicen hasta que grado se puede interactuar con estos elementos.

Una vez concluidas las definiciones raíz, puede hacerse el modelo conceptual. El pensamiento sistémico se aplica en éste desarrollo.

El pensamiento sistémico es un proceso iterativo que combina 3 conceptos:

- La percepción del mundo – cada persona tiene su propia visión del mundo.
- Ideas – El mundo se percibe en base a la estructura de ideas de cada persona.
- Metodología – Existen muchas para pensar acerca del mundo. MSS es una de ellas.

La figura 1.3 muestra un diagrama de la ruta que sigue el pensamiento sistémico.



**Figura 1.3 La ruta del Pensamiento Sistémico**

El Modelo de Sistema Formal que se genera en el paso 4 debe cumplir los siguientes criterios:

- Debe tener una misión
- Debe tener una medida de rendimiento
- Debe tener un proceso de toma de decisiones



- Debe tener componentes que interactúan entre sí para que los efectos y acciones se transmitan en el sistema
- Debe ser parte de un sistema mayor con el que interactúa
- Debe estar limitado del sistema mayor, basado en el área de influencia de sus procesos de toma de decisiones
- Debe tener los recursos inherentes a su proceso de toma de decisiones
- Debe tener estabilidad de largo plazo o la facultad de recuperarla cuando tiene disturbios
- Los componentes del Sistema deben cumplir con éstos mismos criterios

## 2.2. Holos.

En este punto se representa un Holo que muestra los elementos que interactúan generando la sinergia requerida para percibir los procesos de manera sistémica.

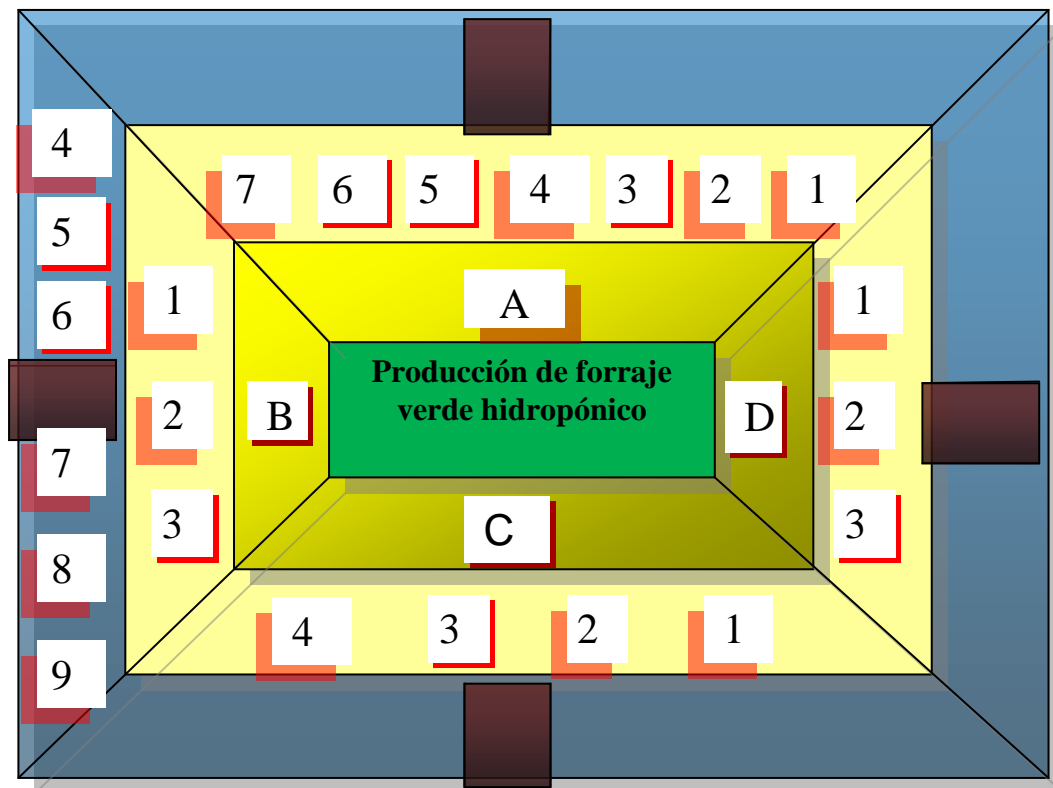


Figura 1.4 Holos

A.- Metodología de Sistemas Suaves de Peter Checkland.

1. Analizar la situación problema. Determinar quiénes son los involucrados y cómo funciona el proceso que se analiza.
2. Expresar la situación mediante diagramas para poder representarla gráficamente.
3. Seleccionar la manera de ver la situación y producir definiciones raíz, las cuales dicen el "qué". Determinar las diferentes perspectivas desde las que se puede ver.

4. Construir un modelo conceptual sobre lo que el sistema debe hacer para cada situación raíz. Se empiezan a definir los “cómo”.
5. Comparar los modelos conceptuales con el mundo real. Se comparan los resultados de los pasos 4 y 2 para encontrar similitudes y diferencias.
6. Identificar cambios deseables y factibles, es decir, se buscan maneras de mejorar la situación.
7. Recomendaciones para tomar acción para mejorar la situación problema, es decir, definir las formas de implementar los cambios propuestos en el paso 6.

#### B.- Pensamiento Sistémico.

1. Debe tener una misión
2. Debe tener una medida de rendimiento
3. Debe tener un proceso de toma de decisiones
4. Debe tener componentes que interactúan entre sí para que los efectos y acciones se transmitan en el sistema
5. Debe ser parte de un sistema mayor con el que interactúa
6. Debe estar limitado del sistema mayor, basado en el área de influencia de sus procesos de toma de decisiones
7. Debe tener los recursos inherentes a su proceso de toma de decisiones
8. Debe tener estabilidad de largo plazo o la facultad de recuperarla cuando tiene disturbios
9. Los componentes del Sistema deben cumplir con éstos mismos criterios

#### C.- Hidroponía.

1. Considerar que la hidroponía puede ser con sustrato
2. Considerar que la hidroponía puede ser sin sustrato
3. La producción de la hidroponía puede ser con Flujo laminar
4. La producción de la hidroponía puede ser de Raíz Flotante

#### D.- Cultivo de Forraje Verde

1. Proponer la metodología para la producción de forraje verde a través de las diferentes estrategias que hay para su establecimiento, dependiendo de las condiciones del lugar donde se decida producir el forraje.
2. Realizar el diseño y construcción del invernadero donde se realizará el cultivo.
3. Proponer el sistema de riego mediante las estrategias existentes en el lugar para su aplicación.

## CAPÍTULO 2

# ANTECEDENTES Y ANÁLISIS DEL CASO DE ESTUDIO



## 2.1 Ubicación

El terreno donde está ubicada La Fabrica de Alimentos se encuentra a; 37.60 Km. Al Oeste de la ciudad de Pachuca, a 10.59 Km. al Este de Coatepec y a 5.85 Km. al Noroeste de la ciudad de Tulancingo, del Estado de Hidalgo. La altura sobre el nivel del mar es de 2243 metros y su posición geográfica es; al Norte  $20^{\circ} 02' 05''$  y al Oeste es de  $98^{\circ} 24' 08''$ . La localización se tomó en la entrada de la instalación para producir el forraje verde hidropónico, (FVH). La localización se efectuó con un geoposicionador satelital (GPS), marca GARMIN.



Figura 2.1. Localización

## 2.2 Antecedentes Históricos

Las soluciones minerales para el aporte de nutrientes requeridas para cultivos hidropónicos no fueron desarrolladas hasta el siglo XIX. Los jardines flotantes de los Aztecas (chinampas) utilizaban tierra. Los Jardines Colgantes de Babilonia eran jardines supuestamente irrigados desde la azotea pero no hay evidencias de que utilizaran hidroponía.

El primer trabajo publicado sobre crecimiento de plantas terrestres sin suelo era, *Sylva Sylvarum* (1627) de sir Francis Bacon. Después de eso, la técnica del agua se popularizó en la investigación. En 1699, John Woodward publicó sus experimentos de esta técnica con la mente verde. Él observó que las plantas crecían peor en agua destilada que en fuentes de agua no tan purificadas. Los primeros en perfeccionar las soluciones nutrientes minerales para el cultivo sin suelo fueron los botánicos alemanes Julius von Sachs y Wilhelm Knop en la década de los 1860. El crecimiento de plantas terrestres sin suelo en soluciones minerales (solution culture) se convirtió rápidamente en una técnica estándar de la investigación y de la enseñanza y sigue siendo ampliamente utilizada hoy. Esta técnica ahora se considera un tipo de hidroponía donde no hay medio inerte.

En 1928, el profesor William Frederick Gericke de la Universidad de Berkeley, en California fue el primero en sugerir que los cultivos en solución se utilizaran para la producción vegetal agrícola. Gericke causó sensación al hacer crecer tomates y otras plantas y consiguiendo que alcanzaran un tamaño notable en su patio trasero en soluciones minerales, mayores que las cultivadas en tierra. Por analogía con el término geopónica (que significa agricultura en griego antiguo) llamó a esta nueva ciencia hidroponía en 1937, aunque él afirma que el término fue sugerido por el Dr. W.A. Setchell, de la Universidad de California de *hydros* (regar) y *ponos* (trabajo). En 1940, escribió el libro, *Complete Guide to Soilless Gardening* (Guía Completa del Cultivo sin Suelo).

En los años 60, Alen Cooper en Inglaterra desarrollo la Nutrient Film Technique (**NFT**). El Pabellón de la Tierra, en el Centro Epcot de Disney, abierto en 1982, puso de relieve diversas técnicas de hidroponía. También en los 80 varias compañías empezaron a comercializar sistemas hidropónicos. Las técnicas de cultivo sin suelo CSS son utilizadas a gran escala en los circuitos comerciales de producción de plantas de tabaco, (floating) eliminando así los almácigos en suelo que precisan bromuro de metilo para desinfectar el suelo de malezas, patógenos e insectos.

La mayoría de los cultivos comerciales hidropónicos utilizan sustratos sólidos para el sostén de las plantas y que las mismas estén bien asentadas. Son cultivos sin suelo, en lo que respecta a no contener suelo natural. Perlita agrícola, fibras de coco, turba, rockwool o lana de roca, son sustratos de gran uso en lo que se denominan cultivos hidropónicos.

Al tener en cuenta la economía y el posible impacto ambiental se desarrollaron los sistemas cerrados o recirculantes. El manejo de estos nuevos sistemas requiere una tecnología más compleja. Como hemos citado más arriba que existe una serie de desarrollos en el ámbito de los sustratos, existe asimismo una cantidad de automatismos desarrollados para facilitar

el control de las soluciones y que éstas no varíen sus parámetros químicos. Tanto la hidroponía y la fertirrigación han dado pie al desarrollo de instrumental de control como peachimetros y conductivímetros en línea, así como a procesadores que mantienen el control mediante válvulas solenoides o hidráulicas, para que la solución pueda ser equilibrada mediante programas de computadoras que determinan el agregado de ácidos cuando sube el pH, la dilución cuando se eleva la conductividad eléctrica y otros procesos de control que llegan a interactuar con el ambiente en que las plantas están evolucionando en tamaño y en su desarrollo.

Gericke originalmente definió la hidroponía como un crecimiento de cultivos en soluciones minerales, sin ningún medio sólido para las raíces. "Cultivos sin suelo" es un término más amplio que hidroponía; tan sólo requiere que no haya suelos con arcilla o cieno.

### **2.3 Análisis del caso de estudio.**

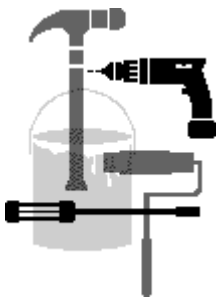
El proceso para producir Forraje Verde Hidropónico (FVH) objeto de esta investigación, se inicio con la idea de abastecer al ganado con un forraje adecuado a sus condiciones alimentarias y en virtud de no tener suficiente forraje para su alimentación, por la razón de que a pesar de tener terreno para el cultivo de forraje o pastoreo, por lo general, la producción anual es muy precaria y sabiendo desde antes de sembrar del bajo rendimiento o nulo de la siembra, ya sea por la falta de lluvia en los tiempos adecuados o excesos de la misma, fuera o dentro de la temporada lo cual obliga a comprar forraje de otros lugares y que por lo retirado, el costo es alto.

Entonces se tuvo que proponer un modelo para producir el forraje verde hidropónico, acompañado de una metodología como alternativa para su producción como se puede observar gráficamente en la figura 1, esto es para obtener el forraje verde hidropónico para alimentar ganado vacuno y ovino, agregando, la oportunidad de poder fabricarlo a bajo costo, en el lugar de consumo, sin tener que buscarlo en otros lugares relativamente lejanos, corriendo riesgos por transporte y por todo lo que implica buscar este tipo de insumos fuera de la zona de influencia.

Teniendo el problema de abastecer de alimento al ganado, en todo el año, se procedió a construir un área, a la cual se llama "Fábrica de Alimento", adecuándola como una instalación para producir forraje verde hidropónico. Esta se inicia con los trabajos de construcción de un invernadero, su acondicionamiento, luego la instalación de un sistema de riego y posteriormente continuar con la capacitación del personal operativo para posteriormente iniciar la producción. Esta en realidad de inicia con la compra de la semilla que es la materia prima, la cual se tuvieron que hacer diferentes gestiones para su ubicación y compra, posteriormente se seleccionan las semillas de avena y cebada para iniciar el proceso de la germinación; observando y determinando después de una exhaustiva investigación y análisis considerar el uso de la cebada por ser fácil su adquisición debido a la cercanía de un lugar llamado Singuilucan, Hidalgo, lugar donde se produce esta semilla e inclusive ellos comercializan semilla certificada para siembra o como forraje y es de donde se ha abastecido para producir forraje verde hidropónico, como para sembrarlo, en las áreas disponibles para este objetivo.

## CAPÍTULO 3

# MODELO DE PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO



### 3.1 Modelo de Producción de Forraje Verde Mediante Hidroponía.

Como se menciona en el capítulo anterior después de realizar una investigación y análisis de la situación en la que se pretendía producir forraje verde mediante hidroponía, este dio como resultado la identificación del lugar exacto donde se construiría la Fabrica de alimentos, la ubicación y propuesta del sistema de riego, y posteriormente como sería la producción de forraje, también se encontró que la mejor alternativa a considerar para producir forraje verde hidropónico sería la cebada y la avena.

A continuación en la figura 3.1, se muestra el modelo “Fabrica de Alimento” el cual describe la forma en que se propone producir forraje verde hidropónico.

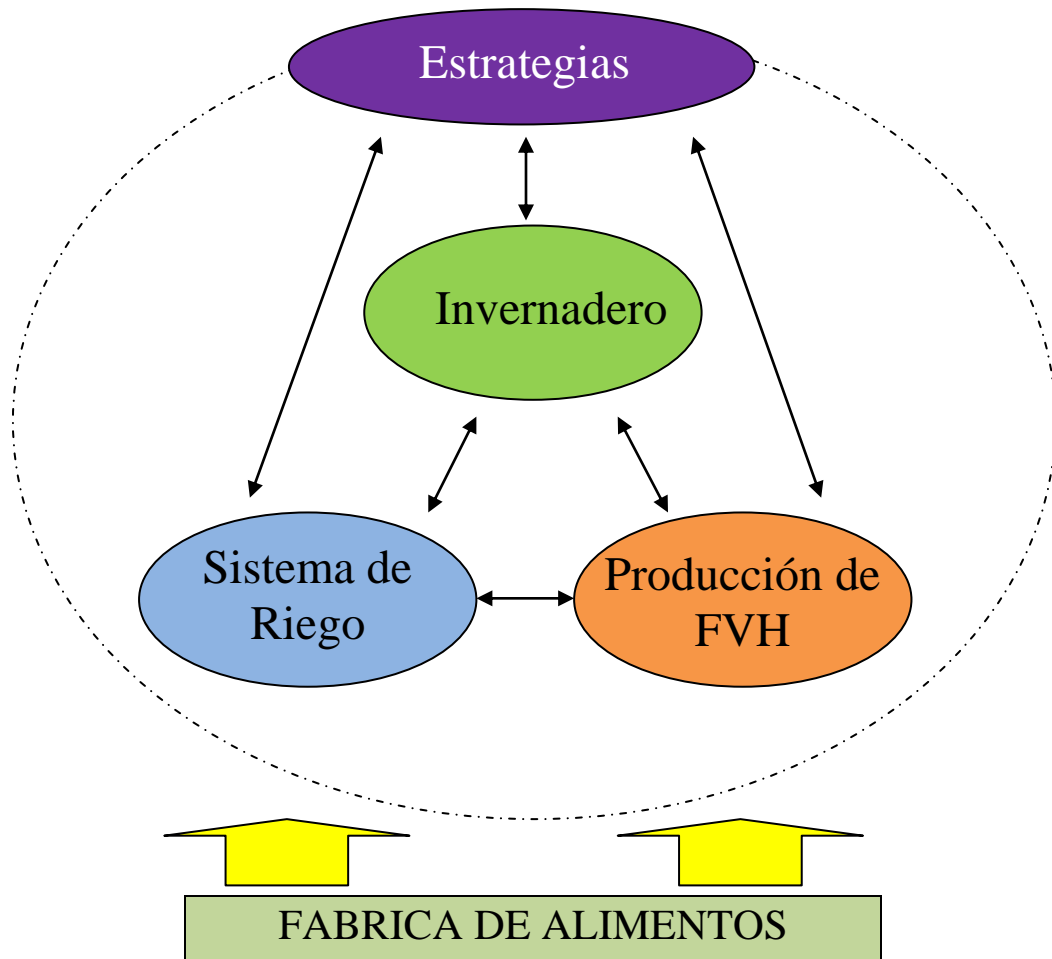


Fig. 3.1 Modelo para producir Forraje Verde Hidropónico



El modelo de producción de forraje verde hidropónico, el cual como se ve consta de tres partes reguladas por un conjunto de estrategias:

- 1) Construcción de un Invernadero,
- 2) Sistema de Riego,
- 3) Producción del Forraje.

Este modelo se inicia con la visión y planeación mental de un invernadero, hasta concretar el resultado final como es, producir forraje verde para ofrecerlo como alimento al ganado vacuno y ovino.

### **3.2 Construcción del Invernadero.**

En primer lugar como se indica, se planea la construcción de un invernadero, cuya instalación se considero llamar “Fábrica de Alimento”, la cual como cualquier espacio físico que se ubica para tal fin, se inicia al realizar un estudio de localización para su ubicación, y una vez identificado el lugar, se realizan los planos para su posterior construcción utilizando diferentes elementos en la primera etapa con arena, grava cemento cal, para fabricar blocks de diez por veinte por cuarenta centímetros con una máquina manual construida para ese fin.

Enseguida se elaboran los elementos de acero para armar los contenedores con dimensiones de doce metros de largo por ochenta centímetros de ancho y dos metros de altura con cinco niveles para depositar las charolas con la semilla en proceso de crecimiento. De igual forma, se construyeron arcos de acero para soportar la cubierta de plástico que debe dar al área un 50% de sombra

### **3.3 Sistema de Riego.**

Posteriormente se proyecta el sistema de riego para abastecer a las semillas de agua en la cantidad requerida, para tal fin; se pensó en utilizar mangueras de diferentes diámetros, válvulas de paso, abrazaderas, bomba, diferentes tipos de tanques para almacenar el agua, un generador eléctrico para darle funcionamiento a la bomba eléctrica, bomba con motor de gasolina para bombear el agua desde los aljibes, hasta los nebulizadores para atomizar el agua y aplicársela, al forraje verde hidropónico (FVH).

Este sistema de riego, para este modelo se abastece de los aljibes y tanques de almacenamiento y mediante las bombas, llaves, conectores, y nebulizadores para aplicar los riegos de agua programados al forraje verde hidropónico hasta el tiempo en que llega al desarrollo óptimo para su ingesta.

### 3.4 Proceso de Producción del Forraje Verde.

La siguiente figura 1.2, muestra como se realiza el proceso de producción del forraje verde hidropónico.

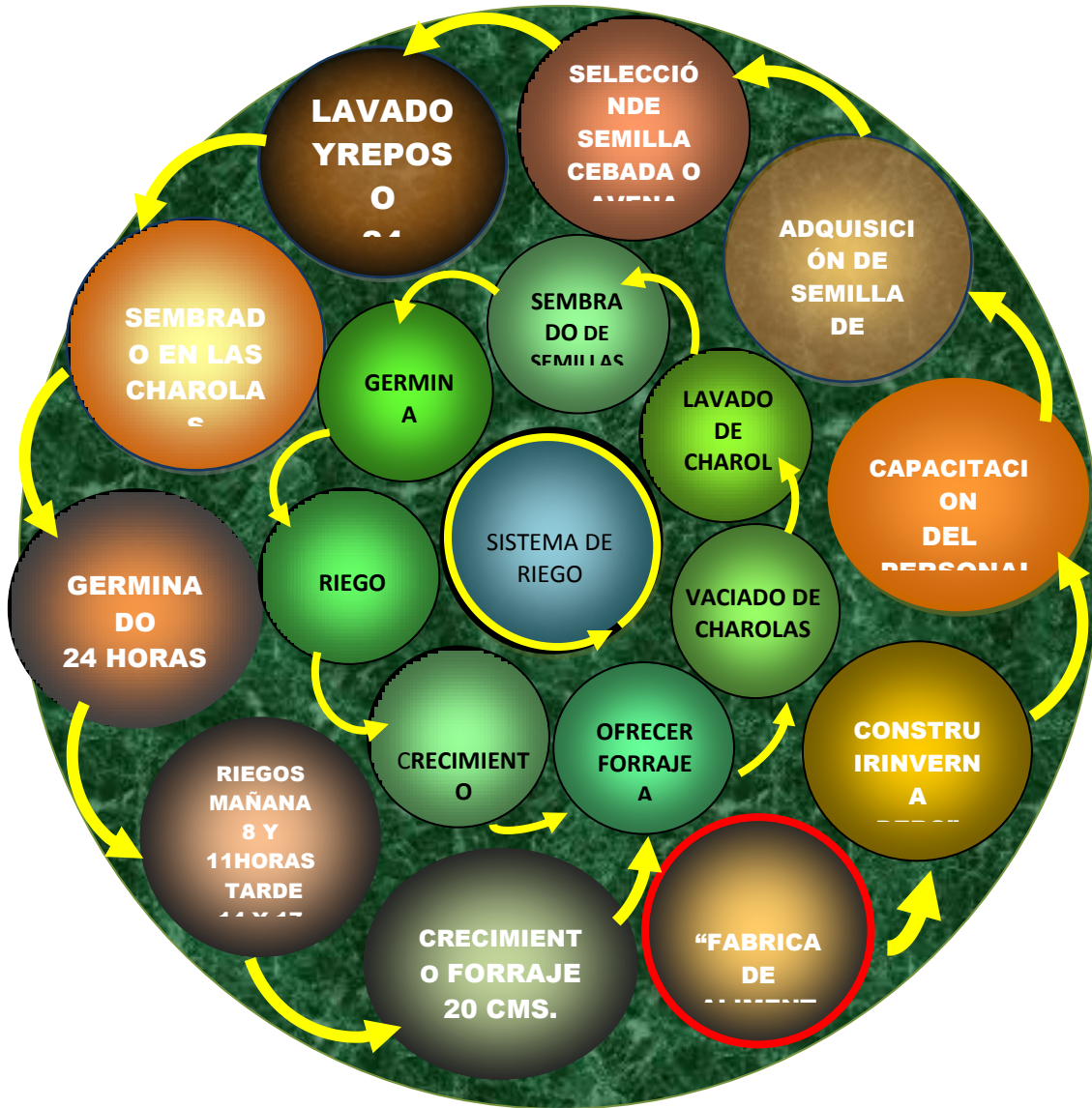


Figura 3.2 –Proceso de Producción de Forraje Verde Hidropónico (FVH)

Al iniciar el proceso de producción de forraje verde hidropónico, se establece un periodo de capacitación para el personal, por medio de cursos proporcionando la información adecuada para el manejo y cuidado en los procesos para el buen manejo de la producción.

Como primer paso para la producción del forraje, se realiza la adquisición de semilla la cual puede ser básicamente cualquier semilla de cebada, trigo, avena etc. Para tal fin se sugiere dependiendo del lugar donde se encuentre ubicada la “Fabrica de Alimentos”, adquirir la semilla en lugares cercanos, esto es de preferencia donde se produce la semilla y la comercializan, esta debe ser de buena calidad, procurando sean de la cosecha reciente, este limpia, sin basura, porque de eso depende se logre un alto porcentaje de germinación, considerándose del 95 al 100 %. Es decir, ésta debe estar certificada para siembra o como forraje.

Una vez adquirida la semilla se procede a su selección ya que para lograr un buen germinado es necesario limpiar y/o lavar la semilla, para retirar todas las impurezas o cuerpos no deseados, retirando todo el material flotante, las impurezas y arenillas que contengan, después del lavado, permanecerán en reposo por veinte y cuatro horas.

Después de este tiempo se hace el sembrado de las semillas reposadas en las charolas circulares adquiridas para tal fin, todas ellas con ceja de uno o dos centímetros de altura para permitir la circulación de aire para proveer a la semilla de oxígeno. Una vez así se cubren para estar en la obscuridad por otras veinticuatro horas más y luego se colocan en los módulos construidos para su crecimiento en ese lugar se inician los brotes de raíces y puyones, iniciándose así el proceso de germinación y crecimiento de las zonas verdes.

Cuando ya están colocadas las charolas en los módulos de crecimiento se deben aplicar riegos con horarios establecidos, por la mañana, a las ocho y once horas y por la tarde a las catorce y diez y siete horas, cada riego se aplica por un tiempo de un minuto por sección, utilizando un consumo de mil litros de agua por semana en toda la instalación.

Al pasar las charolas al área de crecimiento, se establece el horario para riego el cual se ha establecido debe ser cuatro veces al día cuidando no hacerlo antes de las ocho horas ni después de las diecisiete horas.

Todos los días, se tiene que observar y medir el desarrollo del forraje verde hidropónico y cuando se llega a una altura de veinte centímetros, se ofrece al ganado ovino y bovino.

Una vez terminado este proceso, se vuelve a reiniciar éste para lo cual, se vacían las charolas, se lavan con agua y jabón, y se da inicio al nuevo proceso de producción del forraje.

Cabe mencionar que estos tres elementos están regidos por una serie de estrategias las cuales establecerán de inicio las condiciones en que se tiene que trabajar cada uno de los elementos que conforman el modelo, ya que este al ser de carácter general cambia en función del lugar en donde se quiera establecer una “Fabrica de Alimentos”.

## CAPÍTULO 4

# APLICACIÓN DEL MODELO



## 4.1 Aplicación del Modelo de Producción del Forraje Verde Hidropónico.

Todas las instalaciones de hidroponía cumplen con las características que identifican modelos de producción, pues el proceso se inicia con la idea de satisfacer una necesidad, como es el caso de todos los productos alimenticios necesarios para proveer satisfactoriamente los requerimientos de los seres humanos, como también del ganado; buscando siempre alternativas para disminuir los costos de producción. En el campo, como se ve en la figura 4.1, en las comunidades, en los pueblos, en las ciudades, en fin, en cualquier lugar, desde los hogares se pueden construir instalaciones pequeñas, medianas y a gran escala, de acuerdo al interés y a la capacidad económica disponible y es de desear e invitar a todas las personas, se interesen en este tema para contribuir con sus recursos a aminorar el deterioro ecológico ó a producir alimentos frescos y sanos, o producir forrajes verdes hidropónicos para el ganado, a bajo costo, como es el tema a tratar, construyendo o adecuando instalaciones, como la que se describirá a continuación y que podría llamarse **“La Fábrica de Alimento”** para producir forraje verde hidropónico (FVH), con irrigación, sin sustrato y sin agregar nutrientes; únicamente, aplicando agua por medio de nebulizadores.



Figura 4.1 Terreno de labranza (Fuente Propia)

## 4.2. Construcción del Invernadero.

Para la fabricación de forraje verde hidropónico (FVH) se acondicionó una instalación donde se guardaba ganado caballar, sus medidas son de siete metros con setenta centímetros de ancho, por quince metros con cincuenta centímetros de largo (7.70 por 15.50 metros), dando un área de ciento diecinueve metros con treinta y cinco centímetros cuadrados, (119.35 metros cuadrados). El techo era de teja y en su lugar se instaló una estructura con solera, de fierro estructural, formando arcos para soportar el polietileno tratado contra rayos ultravioleta. En los costados se abrieron ventanas para permitir una buena ventilación, para proporcionar el oxígeno necesario o suficiente para el desarrollo adecuado del Forraje Verde Hidropónico (FVH). El área descubierta en los extremos, queda protegida con malla mosquitera (anti trips). La estructura soporta cargas de  $25\text{Kg}/\text{m}^2$  y velocidades del viento de  $150\text{ Km}/\text{Hr.}$  como se muestra en la figura 4.2; plano estructural del invernadero.

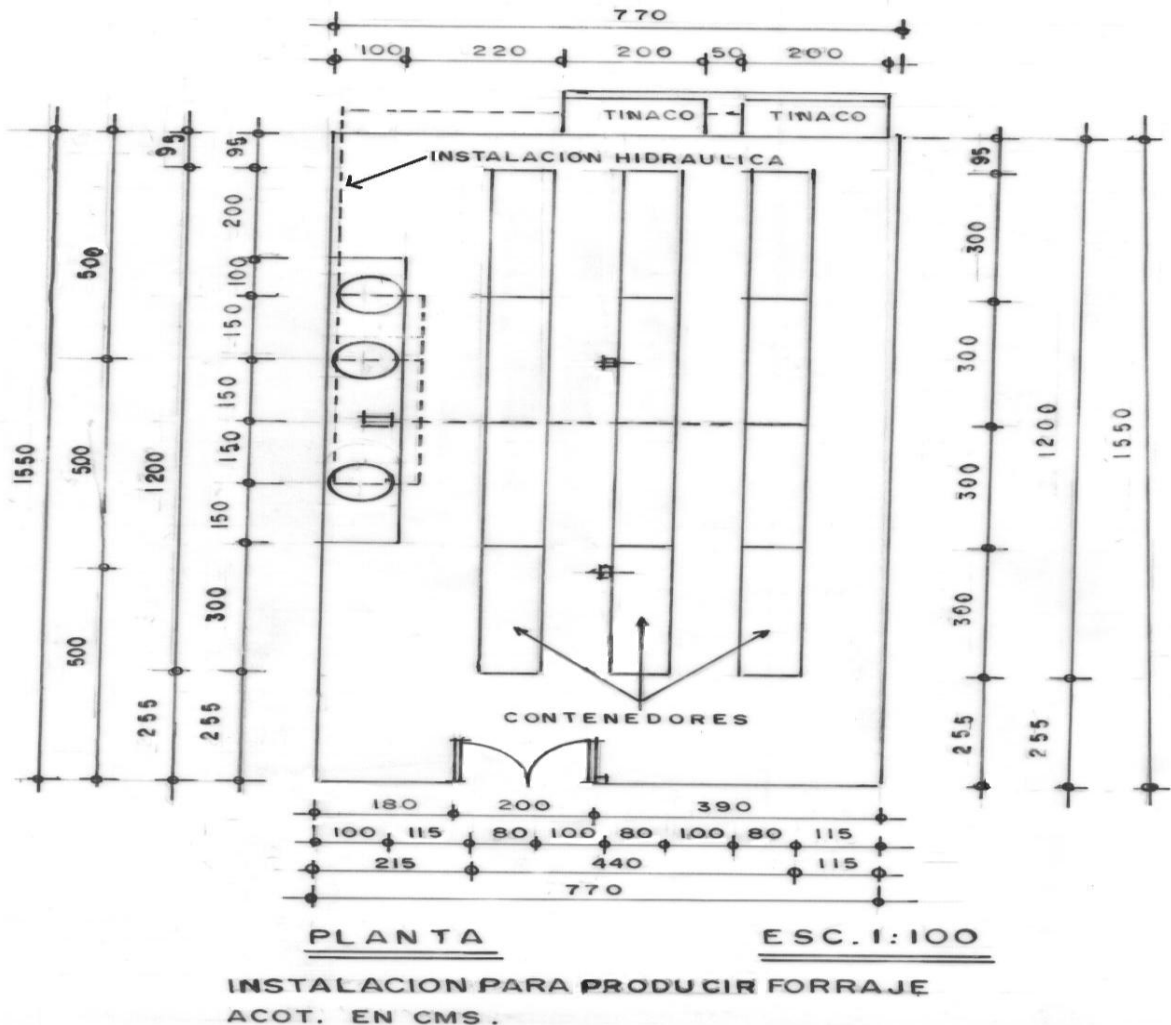


Figura 4.2 Plano arquitectónico del invernadero. (Elaboración Propia)



Para la construcción de los muros, se cuenta con una máquina manual para hacer los blocks con dimensiones de veinte por cuarenta por diez centímetros; utilizando granzón, arena, cemento y calidra, para su fabricación. Los blocks se muestran en la parte frontal del invernadero como se observa en la figura 4.3 y vistas laterales de las figuras 4.4 y 4.5.



**Figura 4.3. Vista frontal del invernadero (Fuente Propia)**



**Figura 4.4 Vista lateral del invernadero (Fuente propia)**



**Figura 4.5 Vista posterior del invernadero (Fuente propia)**

La instalación de forraje verde hidropónico (FVH) se encuentra cerca del área de ingesta y aceptación del alimento, por parte del ganado ovino y vacuno, como se puede ver en las figuras 4.6 y 4.7.



**Figura 4.6 Área de ingesta del ganado ovino (Fuente Propia)**





Figura 4.7 Área de ingesta del ganado bovino (Fuente propia)

#### 4.2.2. El Piso.

El piso es de concreto con un espesor de diez centímetros, para soportar el uso rudo al que estará expuesto y tener un manejo adecuado de la producción, como se puede ver en la figura 4.8.



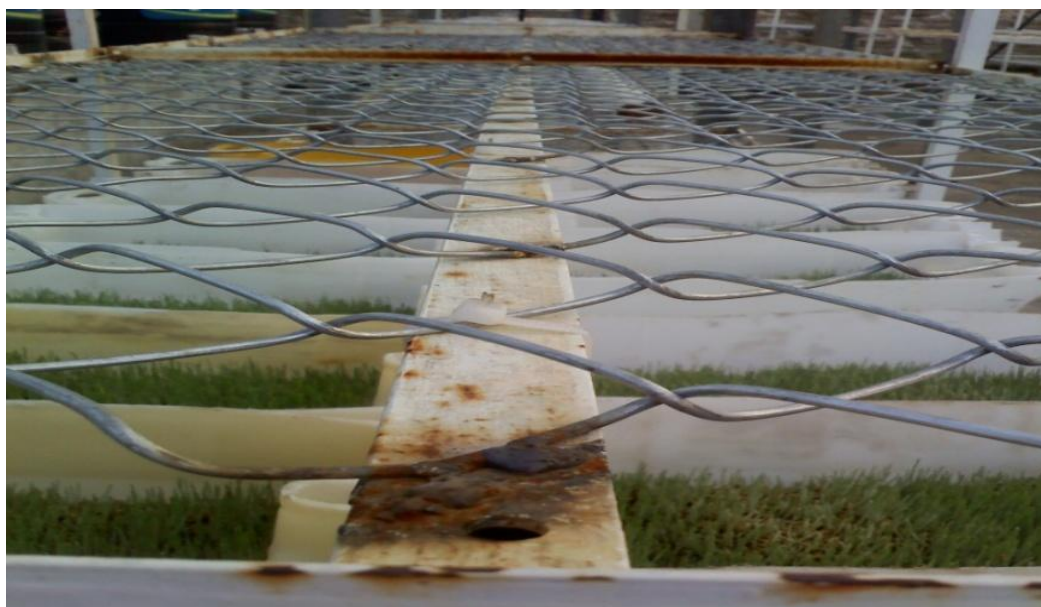
Figura 4.8. Espesor del piso de concreto del invernadero (Fuente propia)

### 4.2.3. Acondicionamiento del Área de Producción.

En el interior del invernadero, se instalaron tres módulos de 0.80 metros de ancho por 12 metros de largo y 2 metros de altura y cinco niveles, utilizando ángulos de fierro estructural de diferentes medidas, armados con tornillos de diferentes diámetros en cada nivel; también, se colocó maya ciclón de 5 por 5 centímetros (dos por dos pulgadas) soldada con soldadura de arco eléctrico, para soportar las charolas. Esto se puede observar en las figuras 4.9 y 4.10.



**Figura 4.9 Acondicionamiento del invernadero (Fuente propia)**



**Figura 4.10 Colocación de maya ciclónica (Fuente propia)**



Los módulos están separados entre sí por corredores de un metro de ancho para facilitar las labores de siembra, cosecha y aseo.

Los módulos tienen cinco niveles separados entre sí, de cuarenta centímetros; el primer nivel, dista del suelo, también, cuarenta centímetros. En cada nivel y a lo largo del invernadero se acomodan 120 charolas. De esta forma, para cada uno de los módulos la capacidad es de 600 charolas. Teniéndose una capacidad total de 1800 charolas en todo el invernadero. Como se muestra en la figura 4.11.



**Figura 4.11 Colocación y Separación de los módulos (Fuente propia)**

#### 4.2.4 Charolas.

Inicialmente por recomendación, se adquirieron recipientes de plástico con capacidad de 20 litros, con medidas de 20 por 40 centímetros, para cortarlas longitudinalmente y obtener dos charolas por cada uno de los recipientes, con profundidad de 10 centímetros cada una. Esa recomendación fue con la idea de abatir los costos de las charolas, porque en el mercado especializado para producir forraje se obtienen a 60 pesos cada una. De igual forma la recomendación fue la de sembrar 300 gramos por charola, ya fuera cebada, avena o maíz. Lo anterior se puede ver en la figura 4.12.



**Figura 4.12 Charolas para sembrar la semilla forrajera(Fuente propia)**

Posteriormente en la visita efectuada por personal de la SAGARPA recomendó utilizar otro tipo de charola circular mucho más barata de la obtenida y con mayor eficiencia para proveer a la planta de una mayor cantidad de oxígeno, lo cual lograría; con ello, un mayor crecimiento del forraje verde hidropónico. Ver figura 4.13.



**Figura 4.13 Charolas recomendadas por SAGARPA (Fuente propia)**

#### 4.2.5 Densidad de la Siembra.

De acuerdo a la información obtenida de los diferentes productores y de tratados en la materia se obtuvieron diferentes informaciones en lo referente a las cantidades de semillas a sembrar en cada una de las charolas, con las cuales se hicieron pruebas, únicamente, a la avena y a la cebada.

En la tabla 4.1.se muestran las diferentes densidades recomendadas para la siembra de forraje verde hidropónico, (FVH).

Tabla 4.1 Densidad de la siembra (Fuente propia)

<b>DENSIDAD DE LA SIEMBRA DE FORRAJE VERDE HIDROPONICO</b>		
<b>Semilla</b>	<b>Densidad</b>	<b>Profundidad</b>
<b>Cebada</b>	<b>20 gramos/decímetro<sup>2</sup></b>	<b>2 cm.</b>
<b>Avena</b>	<b>20 gramos/decímetro<sup>2</sup></b>	<b>2 cm.</b>
<b>Maíz</b>	<b>40 gramos/decímetro<sup>2</sup></b>	<b>3 a 4 cm.</b>
<b>Sorgo</b>	<b>25 gramos/decímetro<sup>2</sup></b>	<b>1.5 cm.</b>

### 4.3. Experimentos

#### 4.3.1. Con 3 centímetros avena.

Los experimentos se iniciaron con 3 centímetros de avena y se observó un aumento de volumen, lo cual no permitió la germinación de las semillas más profundas, dando por resultado, un germinado escaso y muy defectuoso. Ver fig. 4.14.



Figura 4.14 Experimento 1. (Fuente propia)



#### 4.3.2 Con 2 centímetros de cebada.

El experimento se realizó con 2 centímetros de espesor y se mejoró la germinación, pero todavía no en lo deseado, se encontró una mayor germinación y el forraje tuvo mejor desarrollo como se muestra en la siguiente figura 4.15, en donde el tapete se nota escaso.



Figura 4.15 Experimento 2. (Fuente propia)

#### 4.3.3. Con 1.5 centímetros de avena.

Con 1.5 centímetros los resultados obtenidos fueron mejores; para algunos productores esta densidad les ha dado buenos resultados. Nuestro experimento todavía no muestra los resultados deseados, ya que se notan algunas semillas sin germinar, como se muestra en las figuras siguientes. Ver Fig. 4.16.



Figura 4.16 Experimento 3. (Fuente propia)

#### 4.3.4. Con 1.5 centímetro de espesor de cebada.

Después de experimentar con 1.5 cms. se notó que la germinación no fue la adecuada, llegando inclusive a tener un grado de putrefacción, notándose esto en el tapete que forman las raíces. Tal como se ve en las siguientes figuras.4.17.



Figura 4.17 Experimento 4. (Fuente propia)

#### 4.3.5. Con 1 centímetro de cebada

Posteriormente, al experimentar con 1 centímetro y utilizando charolas rectangulares y circulares, con altura en las pestañas de tres centímetros, se obtuvo un mejor desarrollo y no se observaron raíces oscuras o de color amarillo; con el uso de éstas charolas, los resultados se manifiestan en las siguientes figuras 4.18.

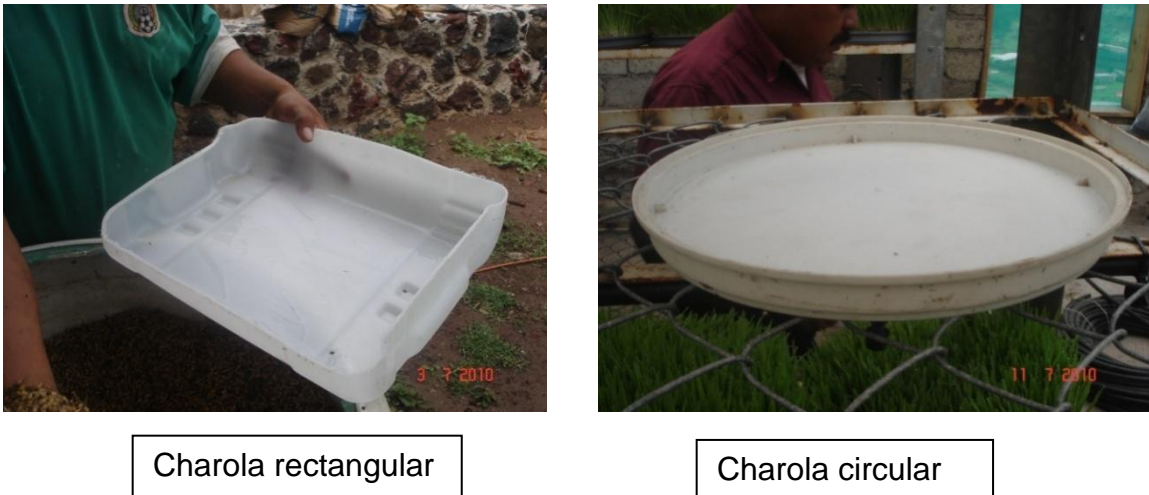


Figura 4.18 Experimento 5. (Fuente propia)



En la investigación realizada se utilizaron bandejas o charolas rectangulares y circulares para una capacidad de siembra de 150 gramos, en ambas charolas. Ver figuras 4.19 y 4.20.



**Figura 4.19 Producción en Charola redonda (Fuente propia)**



**Figura 4.20 Producción en Charola rectangular (Fuente propia)**

#### **4.4 Sistema de riego:**

Después de haber obtenido los anteriores resultados se procedió a implementar los elementos necesarios, obteniendo las partes indispensables para contar con un buen sistema de riego, para lo cual; se obtuvieron; mangueras de diferentes diámetros, válvulas de paso, abrazaderas, bomba, diferentes tipos de tanques para almacenar el agua, generador eléctrico para darle funcionamiento a la bomba eléctrica, bomba con motor de gasolina para



bombear el agua desde los aljibes, hasta los nebulizadores para atomizar el agua y aplicársela, al forraje verde hidropónico (FVH). Ver figura 4.21.



**Figura 4.21 Sistema de Riego en charolas (Fuente propia)**

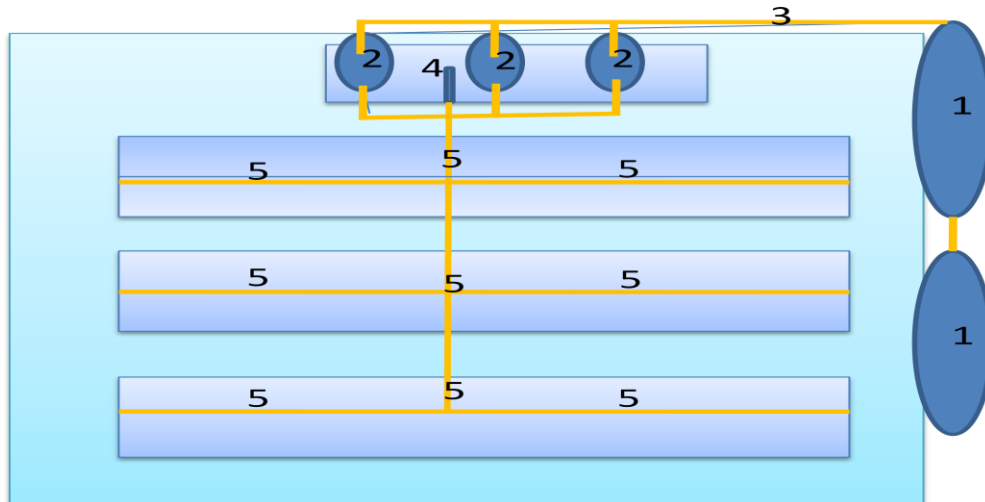
#### **4.4.1 Abastecimiento del Agua**

El agua se obtiene de un pozo profundo, controlado y administrado por el Municipio de Santiago Tulantepec, Hidalgo, la toma de agua es domiciliaria de media pulgada, la cual, para su almacenamiento, llega a dos cisternas localizadas en la parte alta de la propiedad cuando se carece del suministro por este medio, se tiene la necesidad de obtenerla por medio de camiones acondicionados con tanques de 8000 litros, de capacidad, esta agua es traída de un lugar cercano, llamado Ventoquipa, perteneciente al municipio de Santiago Tulantepec, del estado de Hidalgo. Y cuando es tiempo de lluvias, el agua se almacena en aljibes y por medio de una moto bomba con consumo de gasolina, de dos pulgadas, se hace llegar a dos tinacos de 1700 litros cada uno, de ahí pasa el agua a otros tres tinacos de 1100 litros; cada uno. A estos tinacos se tiene acoplada una bomba de un caballo, esta bomba abastece al sistema de riego, de los módulos, mediante mangueras de media pulgada, de cédula 40, localizadas en la parte media superior de cada nivel y en cada módulo, con 39 nebulizadores por nivel.

#### 4.4.2 Sistema de Riego.

El sistema de riego se elaboró con la colaboración de los fabricantes de los nebulizadores, para distribuir el agua en los módulos propuestos para producir forraje tal y como se indica en la figura 4.22.

INSTALACION PARA PRODUCIR FORRAJE VERDE HIDROPONICO (FVH)



PLANTA

ESCALA  
1:100

- 1.- TANQUES DE 1700 LTS. ,CADA UNO.
- 2.- TANQUE S DE 1200 LTS., CADA UNO.
- 3.- TUBERIA DE SUMIINISTRO DE AGUA 25 mm. (1 PULGADA)
- 4.- BOMBA
- 5.- TUBERIA DE DISTRIBUCION A NEBULIZADORES 12.5 mm. ( media pulgada)

Figura 4.22 Planta de la instalación del Sistema de Riego (Elaboración propia)

Una parte fundamental para el sistema de riego es la localización y ubicación adecuada de los tanques de almacenamiento de agua, como se ve en la figura 4.23.



**Figura 4.23 Ubicación de los tanques de almacenamiento de agua (Fuente propia)**

Para garantizar el llenado de los tanques se utilizaron una bomba eléctrica y un generador de corriente eléctrica como se muestra en la figura 4.24.



**Figura 4.24 Instalación de la bomba y el generador de corriente eléctrica (Fuente propia)**



La captación de agua, se decidió tomarla de dos aljibes ubicados dentro del terreno donde se construyó el invernadero, los cuales se encuentran a poca distancia del mismo, estos se pueden observar en la figura 4.25 siguiente.



**ALJIBE 1**



**ALJIBE 2**

**Figura 4.25 Aljibes para la recolección de agua de lluvia (Fuente propia)**

A continuación en la figura 4.26 se muestra la ubicación de una bomba de gasolina utilizada para la extracción de agua del aljibe a los tanques de almacenamiento.



**Figura 4.26 Bomba de gasolina para extraer el agua de los aljibes (Fuente propia)**

## 4.5. Metodología de la Producción.

### 4.5.1 Selección de la Semilla.

Atendiendo a las recomendaciones de uso, en lo referente a utilizar semillas de cereales o leguminosas sin malezas, libres de plagas y enfermedades, **evitando los transgénicos**, así como lotes tratados con insecticidas o fungicidas, se ha tenido especial cuidado para no incurrir en estos errores y se está obteniendo semillas de resientes cosechas. La humedad relativa más deseable de la semilla es de un 12% y debe de haber tenido un reposo para que se cumpla con los requisitos de madurez fisiológica. La semilla está siendo adquirida de la siembra del ciclo de producción resiente, en el Municipio de Singuilucan, Hidalgo. Se espera, si la temporada de lluvias es favorable, producir la semilla de avena, cebada y maíz, para ser autosuficiente y no depender de otros productores de este insumo.

### 4.5.2 Lavado de la Semilla.

La semilla se debe de lavar, como se muestra en la figura 4.27, sumergiéndola en agua, con el fin de eliminar todo material que flote, se drena y se cambia el agua, cuantas veces sea necesario, al final se recomienda dar un lavado con un 2% de hipoclorito de sodio, por quince minutos, después de este periodo se drena de nuevo, se le da un lavado rápido y se pasa a la pre germinación.



4.27 Lavado de la semilla (Fuente propia)

### 4.5.3. Pre Germinación.

La semilla después de haber sido lavada con agua limpia, se deja en reposo, en el contenedor durante 24 horas con agua aireada (conviene en algunos casos cambiar el agua), una vez cumplido éste tiempo se drena el agua para que la **semilla pueda respirar y se deja así durante 48 horas en recipientes adecuados** para mantener una humedad ambiental alta. Una vez que hayan despuntados los brotes se colocarán las semillas en las charolas con un espesor de 1 cm, permanecerán en el germinador hasta que el brote alcance 0.5 cm. Si el brote alcanza ya 0.5 cm. se pasa a la sala o nave de producción, donde las charolas serán humedecidas con agua, constantemente, de acuerdo a su horario de aplicación. Ver figura 4.28.



Figura 4.28 Pre Germinación (Fuente propia)



#### 4.5.4 Siembra

La siembra como se ejemplifica en la figura 4.29, se hace en las charolas de manera muy cuidadosa para evitar daños al grano que ya debe de tener cuatro raicillas; la densidad de siembra será de acuerdo al grano a sembrar.

Una vez sembradas, las charolas se colocan en el sitio permanente con la solución nutritiva. En nuestro caso y de acuerdo con la experiencia de otros productores y la propia se llegó a la conclusión de no necesitarse los nutrientes por la razón siguiente: La semilla trae en su corteza y fécula los nutrientes suficientes y necesarios para la germinación, desarrollo y madurez del forraje verde hidropónico, como son:

#### NUTRIENTES

- a) Nitrógeno
- b) Fósforo
- c) Potasio
- d) Calcio
- e) Manganeso
- f) Cobre
- g) Zinc

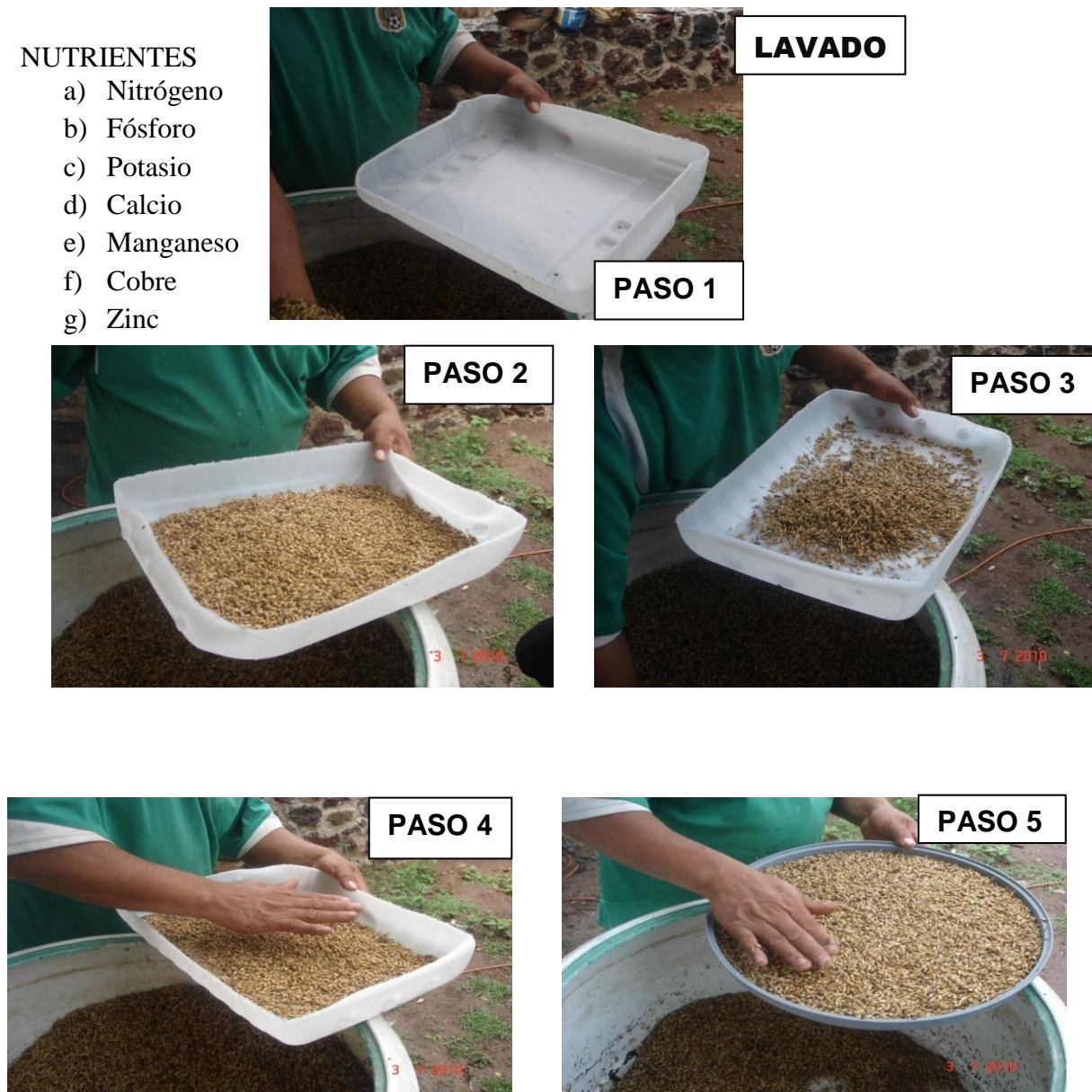


Figura 4.29 Siembra del Forraje en las charolas (Fuente propia)

En la secuencia anterior se muestran, los pasos de cómo debe ser depositada la semilla en las charolas, después de haberse cumplido el tiempo de reposo, en este lapso de tiempo los puyones se empiezan a notar como un punto blanco lo cual indica ser el momento de efectuar la siembra, dando el espesor adecuado, de un centímetro, de acuerdo a lo experimentado anteriormente.

#### 4.5.5 El Germinado.

Después de haberse sembrado la semilla en las charolas, se colocan en los estantes de la sala de germinación, donde permanecen por un tiempo de dos días, lapso en que brotan las raicillas y se inicia el crecimiento de la parte verde del forraje. Posteriormente, se traslada a la sala de desarrollo para continuar con el proceso de crecimiento del forraje verde hidropónico (FVH). Esto se ilustra en la figura 4.30.



**Figura 4.30 Germinado (Fuente propia)**



#### 4.5.6 Frecuencia del Riego.

La frecuencia del riego, ver figura 4.31, se aplica en muchos de los casos por observación, aplicando el criterio de ver y sentir la humedad del grano, evitando encharcamientos en las charolas. Es mejor proporcionar el mínimo de humedad que una cantidad relativamente alta. El mejor procedimiento para establecer la frecuencia de riego es observar a las plantas. El crecimiento se retarda tanto por el exceso como por la falta de humedad en las raíces; se puede presentar clorosis o color verde oscuro en ambos casos; la principal diferencia estriba en que, tan pronto como la humedad es deficiente, las plantas muestran síntomas de marchitamiento. Por las condiciones del lugar; seco, árido y frío en las tardes y noches, se ha determinado hacer cuatro riegos, evitando regar antes de las 8 de la mañana y después de las 5 de la tarde. Por las razones anteriores, los riegos se aplican en las horas siguientes:



Figura 4.31 Frecuencia del riego (Fuente propia)

#### 4.5.7 Horario de riego por la mañana.

Primer riego	8 Horas.
Segundo riego	11 Horas

#### 4.5.8 Horario de riego por la Tarde.

Tercer riego	14 Horas
Cuarto riego	17 Horas.

Como el cultivo de forraje hidropónico es un cultivo de raíz desnuda, es decir sin sustrato, se deberá de establecer un ambiente con alta humedad relativa, mayor del 85%. Esa humedad se consigue con la frecuencia de los riegos y la evaporo transpiración de las plantas. A la vez, es necesaria una buena aireación para obtener el intercambio gaseoso.

## 4.6 Crecimiento de las semillas.

Los factores ambientales que ejercen mayor influencia en la producción de forraje verde hidropónico (FVH) son: la luz, temperatura, humedad, oxigenación y gas carbónico. La duración del día o foto período influye sobre el desarrollo vegetativo. La luz solar no debe ser excesiva porque causa quemaduras sobre las charolas superiores. Por esta razón, se cubre el techo con polietileno tratado contra rayos ultravioleta, con 50% de sombra. La temperatura ideal debe ser de 21<sup>0</sup>.

El período de crecimiento dura de 15 a 20 días, dependiendo de las condiciones climáticas para obtener el forraje verde hidropónico (FVH) con una altura promedio de 20 a 25 centímetros, como se muestra en la figura 4.32.



Figura 4.32 Crecimiento del forraje verde (Fuente propia)

## 4.7 Ingesta.

Una vez logrado el crecimiento anterior, el forraje se retira de la charola y se almacena por un lapso de tiempo, para el escurrimiento del agua excedente, esto es, lo que se llama “achicalamiento” del forraje y posteriormente se ofrece al ganado para su consumo.

## 4.8 Reinicio del Proceso

Después de retirar la cosecha, las charolas se deben de sumergir en una solución de hipoclorito de sodio al 0.5% por 10 minutos, se retiran y se dejan secar sin enjuagar y estarán en condiciones para ser utilizadas nuevamente, para iniciar un nuevo proceso.

## 4.9 Resultado del Análisis Químico del Forraje Verde Hidropónico.

En la investigación realizada se utilizaron bandejas o charolas rectangulares y circulares para una capacidad de siembra de 150 gramos, observándose y obteniéndose los mismos resultados, ó el equivalente, si la siembra se hubiera efectuado en bandejas de 1000 gramos. El detalle se muestra en la tabla 4.2 siguiente.

Tabla 4.2 Análisis Bromatológico (Fuente...)

<b>Análisis Bromatológico de una planta completa de Cebada</b>		
<b>Cantidad sembrada por bandeja</b>	<b>Análisis Químico</b>	<b>Porcentajes</b>
<b>1000 gr.</b>	<b>Proteína Total</b>	<b>20.23</b>
	<b>Materia Seca</b>	<b>17.77</b>
	<b>Solubilidad de proteína</b>	<b>77.49</b>
	<b>Fibra detergente negro</b>	<b>51.79</b>
	<b>Digestibilidad en vivo</b>	<b>63.58</b>

La composición del análisis nutricional es el que se muestra en la tabla 4.3.

Tabla 4.3. Análisis Nutricional (Fuente ...)

<b>Composición - Análisis Nutricional</b>		
	<b>Materia seca</b>	<b>= 18.6 %</b>
	<b>Proteína</b>	<b>= 16.8 %</b>
	<b>Energía</b>	<b>= 3.216</b>
	<b>Metabolizable</b>	<b>= Kcal/Kg. M.S.</b>
	<b>Digestibilidad</b>	<b>= 81 - 90 %</b>
<b>Vitaminas</b>	<b>Caroteno</b>	<b>= 25.1 ul/Kg.</b>
	<b>Vitamina E</b>	<b>= 26.3 ul/Kg.</b>
	<b>Vitamina C</b>	<b>= 45.1 Mg/Kg.</b>
<b>Minerales</b>	<b>Calcio</b>	<b>= 104 %</b>
	<b>Fósforo</b>	<b>= 47 %</b>
	<b>Magnesio</b>	<b>= 14 %</b>
	<b>Hierro</b>	<b>= 200 ppm</b>
	<b>Manganeso</b>	<b>= 300 ppm</b>
	<b>Zinc</b>	<b>= 34.ppm</b>
	<b>Cobre</b>	<b>= 8 ppm</b>

#### 4.9.1 Análisis del Crecimiento:

En el período del crecimiento, se observó un importante desarrollo entre el décimo y catorceavo día, lapso de tiempo, en donde se manifiestan, sus características de humedad y proteína como se muestra en la tabla 4.4.

**Tabla 4.4 Análisis del Crecimiento (Fuente. Sepúlveda, Raymundo 1994.)**

<b>ANALISIS DE PROTEINA DE UNA PLANTA COMPLETA CON DIFERENTES DIAS DE SIEMBRA</b>			
<b>Cantidad sembrada por bandeja (gr.)</b>	<b>Días de siembra</b>	<b>Humedad</b>	<b>Proteína Total (%)</b>
<b>1000</b>	<b>14</b>	<b>84.9</b>	<b>13.4</b>
	<b>13</b>	<b>81.0</b>	<b>13.3</b>
	<b>12</b>	<b>82.1</b>	<b>17.4</b>
	<b>11</b>	<b>85.0</b>	<b>16.8</b>
	<b>10</b>	<b>91.1</b>	<b>13.8</b>

En este estado la planta, tanto en su parte aérea como en su zona radicular, está en un crecimiento acelerado; posee poco contenido de fibra y un alto contenido de proteína, parte de la cual se encuentra en formación, por lo que gran cantidad de aminoácidos están libres y son fácilmente aprovechados por los animales que las consumen. Como se manifiesta en la Tabla 4.5.

**Tabla 4.5 Contenido de proteína (Fuente Sepúlveda, Raymundo 1994)**

<b>CUADRO COMPARATIVO DEL FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO</b>				
	<b>F.V.H.</b>	<b>CONCENTRADO</b>	<b>HENO</b>	<b>PAJA</b>
<b>Energía(Kcal/Kg.MS)</b>	<b>3.216</b>	<b>3.000</b>	<b>1.680</b>	<b>1.392</b>
<b>Proteína cebada(%)</b>	<b>25</b>	<b>30.0</b>	<b>9.2</b>	<b>3.7</b>
<b>Digestibilidad (%)</b>	<b>81.6</b>	<b>80.0</b>	<b>47.0</b>	<b>30.0</b>
<b>Kcal digestible/Kg.</b>	<b>488</b>	<b>2.160</b>	<b>400</b>	<b>466</b>
<b>Kg. Proteína digestible/Tm.</b>	<b>46.5</b>	<b>216</b>	<b>35.75</b>	<b>12.8</b>
<b>Mcal= 1.000x Kcal                      F.V.H.= forraje verde hidropónico</b>				

#### 4.10 Resumen en el Proceso para Obtener Forraje Verde Hidropónico (FVH).

A continuación se muestra en la tabla 4.6 la secuencia de actividades realizadas en el proceso de obtener (FVH).

**Tabla 4.6 Resumen del Proceso(Elaboración propia)**

FECHA	ACTIVIDAD	ESPERADO	OBSERVACIONES
DÍA 1 Remojo	a.-Lavar la semilla y retirar todo lo que flote. b.-Desinfectar con cal hidratada, 20 gramos por litro de agua.	Dejar germinar solo las semillas con vigor, procurando que el agua tape a la semilla 2 cm.	Es frecuente obtener mezcla de semilla nueva y vieja, provocando fallas en la germinación.
Día 2 y 3 Reposo	Dejar en remojo 24 horas, quitar el agua y poner en reposo	La semilla debe estar saturada de agua. A los tres días ya brotó la cebada	Si el recipiente donde está el grano en reposo tiene acumulación de agua, esa parte no germinará.
Día 3 Siembra	A las 48 horas de reposo, "sembrar" en las charolas y colocarlas en el área de desarrollo.	Germinación de 96 % en las semillas. Los puyones del germinado están creciendo.	En este lapso de tiempo, las raíces tienen una longitud de uno a tres centímetros.
Día 4 Desarrollo de las raíces	Se riega 3 veces al día, por un tiempo aproximado de un minuto por sección con agua de cal hidratada en proporción de 1 gramo por litro.	Las plántulas verdes, ya se observan en 3 centímetros.	Se utiliza el sistema de riego por medio de nebulizadores. Vigilar el desarrollo.
Día 5 Las primeras plántulas.	Regar con Solución Nutritiva, un cuarto de urea en un litro de agua, 4 veces al día, más un cuarto de gramo de Fosfato de amonio en un litro de agua. Solución Salina un cuarto de gramo de sal de cocina en un litro de agua.	Las plántulas tienen un crecimiento de 7 centímetros. Se riega la Solución Nutritiva en la mañana y la Salina a medio día. A partir de este día se riega con la Solución Nutritiva y con la Solución Salina, como quedo indicado.	Las raíces forman un tejido entre sí, llamado "tapete", de 3 centímetros de espesor. Para lograr mayor aceptación se agregan las soluciones nutritivas y salinas

Día 6 Continúa el crecimiento de las plántulas.	Las plántulas continúan creciendo. Regar 4 veces al día. Con la mismas Soluciones Nutritiva y Salinas	Las plántula cubren las raíces	Para lograr mayor aceptación se agregan las soluciones nutritivas y salinas
Día 7	Se continúa con el riego de 4 veces al día, con las mismas soluciones	Las plántulas tienen 10 centímetros de altura	El crecimiento en el tapete y raíces es notable.
Día 9	Se continúa con el riego de 4 veces al día, con las mismas soluciones.	Se observa un crecimiento de 13 centímetros	El tapete y la plántula continúan en su crecimiento
Día 11	Se continúa con el riego de 4 veces al día, con las mismas soluciones.	Se registra 15 centímetros de crecimiento.	El tapete y la plántula llenan totalmente la charola
Días del 12 al 15	Se continúa con el riego de 4 veces al día, con las mismas soluciones.	Se registra 18 centímetros de crecimiento	La plántula cubre a todo el tapete.
Días del 16 al 20	Se continúa con el riego de 4 veces al día, con las mismas soluciones	Se registran de 20 a 25 centímetros de crecimiento	Se les ofrece a los ovinos y bovinos. Si se deja más de 20 días entra en descomposición.

#### 4.11 Rendimiento de la Cebada por Charola.

Se coloco en cada charola 150 gramos de cebada, dando un espesor de un centímetro y se produjeron de 2500 a 3000 gramos de forraje verde hidropónico, siendo para el primer caso:

2500/150 da un rendimiento de 16.67 veces lo sembrado de cebada y para:

3000/150 da un rendimiento de 20 veces lo sembrado de cebada.

Lo anterior indica que por cada 1000 kilogramos se tendrá una producción de forraje verde hidropónico del orden de:

Para el primer caso: 1000 Kilogramos por 16.67 da 16670 kilogramos o sea 16.670 Ton.

Para el segundo caso: 1000 Kilogramos por 20 da 20000 kilogramos o sea 20 Ton.

Si se deja achicarla, el rendimiento baja considerablemente a un valor de 1500 gramos o sea:

1500/150 da un rendimiento 10 veces lo sembrado de cebada, lo cual indica que se puede almacenar en el caso de haber mayor producción de la requerida.

## 4.12 Consumo de Agua

En la producción de forraje verde hidropónico se ha estado utilizando 1200 litros de agua por 200 charolas, por semana; lo cual indica un consumo de 1200/200 es igual a 6 litros por charola y si se considera dos semanas de riego, entonces, el agua requerida para producir de 2.5 a 3.00 kilogramos es de 12 litros de agua, desde el inicio hasta el final de la producción. Por lo tanto si tenemos una capacidad de charolas del orden de 1800 se requieren una cantidad de agua de 1800 por 12 dando un requerimiento de agua del orden de 21600 litros o lo que es igual a 21.6 metros cúbicos de agua, cantidad abastecida por medio de los aljibes, el agua proporcionada por el Municipio y en caso necesario se abastecerá por medio de la compra del agua en pipas con capacidad de 8000 litros o de 8 metros cúbicos.

## 4.13 Costos de Producción y Operación de la construcción del área de germinado y crecimiento del Forraje Verde Hidropónico (FVH)

Los costos de producción del forraje son calculados en una base real de todo lo adquirido para su construcción y operación, como se puede ver en la tabla 4.7.

**Tabla 4.7 Costos de producción y Operación del FVH (Elaboración propia)**

	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.	PRECIO UNITARIO	IMPORTE
	<b>ALBAÑILERIA</b>				
1	Excavación	m3.	13	\$ 50.00	\$ 650.00
2	Plantilla de pedacería de tabique	m2.	16	\$ 25.00	\$ 400.00
3	Mampostería de piedra	m3	9	\$ 250.00	\$ 2,250.00
4	Dala de concreto armado de 20x20 cms.	ml.	25	\$ 50.00	\$ 1,250.00
5	Block ligero de 20x20x40 cms.	mil.	1	\$ 5,000.00	\$ 5,000.00
6	Castillos deconcreto de 15x25 cms.	ml.	20	\$ 50.00	\$ 2,000.00
7	Dala de concreto armado de 20x15 cms.	ml.	25	\$ 30.00	\$ 750.00
8	Losa de concreto armado de 5x5 mts.	m2.	25	\$ 200.00	\$ 5,000.00
9	Firme de cemento en sala de germinado	m2.	25	\$ 50.00	\$ 1,250.00
10	Piso de pedacería de marmol.	m2.	25	\$ 200.00	\$ 5,000.00
11	Aplanado de cemento arena en plafón.	m2.	25	\$ 80.00	\$ 2,000.00
12	Aplanado de cemento arena en muros.	m2.	50	\$ 50.00	\$ 2,500.00
13	Emboquillado en puerta y ventanas.	ml.	26	\$ 20.00	\$ 520.00
	SUMA.				\$ 28,570.00

	<b>HERRERIA</b>				
1	Columna de fierro estructural de 4x 4x3/8 pulg.	Pza.	4	\$ 500.00	\$ 2,000.00
2	Poste de fierro estructural de 4x4x 3/8 pulg. X 2 m.	Pza.	30	\$ 250.00	\$ 7,500.00

3	Angulo de fierro estructural 1x1/8 pulg. X 3 m.	Metro	540	\$ 14.50	\$ 7,830.00
4	Angulo de fierro estructural 1x1/8 pulg. X 1.6 m.	Metro	39	\$ 14.50	\$ 565.50
5	Angulo de fierro estructural 1x1/8 pulg. X o.80 m.	Metro	108	\$ 14.50	\$ 1,566.00
6	Solera de fierro estructural de 2"x3/8x	Pza.	10	\$ 500.00	\$ 5,000.00
7	Solera de fierro estructural de 1"x1/4x	Pza.	20	\$ 100.00	\$ 2,000.00
8	Malla ciclón galvanizada de 2x2 pulg.	Rollo	4	\$ 1,999.00	\$ 7,996.00
9	Tornillos galvanizados de 1/4" x 2"	Pza.	400	\$ 5.00	\$ 2,000.00
10	Roldanas de presión de 1/4" Ø	Kg.	1	\$ 70.00	\$ 70.00
11	Roldanas planas 1/4" x 2 pulg.	Kg.	1	\$ 100.00	\$ 100.00
12	Ventana de fierro estructural	Pza.	3	\$ 500.00	\$ 1,500.00
13	Puerta de fierro estructural	Pza.	1	\$ 5,000.00	\$ 5,000.00
14	Soldar malla de tela ciclón y trabajos varios	Lote	1	\$ 5,000.00	\$ 5,000.00
SUMA					\$ 48,127.50

<b>SISTEMA DE RIEGO</b>					
1	Tanques de acero para almacenar agua de 700 Lts.	Pza.	2	\$ 5,000.00	\$ 10,000.00
2	Tanques de polivinilo para agua de 1100 Lts.	Pza.	3	\$ 1,250.00	\$ 3,750.00
3	Planta de Luz	Pza.	1	\$ 7,000.00	\$ 7,000.00
4	Bomba eléctrica de 1 HP.	Pza.	1	\$ 1,000.00	\$ 1,000.00
5	Manguera de polivinilo 3 pulg, de diámetro.	Metro	100	\$ 15.00	\$ 1,500.00
6	Manguera de polivinilo 1 pulg, de diámetro.	Metro	100	\$ 10.00	\$ 1,000.00
7	Manguera de polivinilo de 1/2 pulg, de diámetro.	Rollo	4	\$ 265.00	\$ 1,060.00
8	Crucetas de polivnilo de 1 pulg, de diámetro.	Pza.	12	\$ 55.00	\$ 660.00
9	Tees de polivinilo de 1 pulg, de diámetro.	Pza.	10	\$ 20.00	\$ 200.00
10	Codos de polivinilo de 1 pulg, de diámetro.	Pza.	10	\$ 15.00	\$ 150.00
11	conexiones de espiga de 1/2 pulg. De diámetro	Pza.	70	\$ 15.00	\$ 1,050.00
12	Crucetas de polivnilo de 1/2 pulg, de diámetro.	Pza.	20	\$ 15.00	\$ 300.00
13	Tees de polivinilo de 1/2 pulg, de diámetro.	Pza.	32	\$ 11.00	\$ 352.00
14	Codos de polivinilo de 1/2 pulg, de diámetro.	Pza.	20	\$ 5.00	\$ 100.00
15	Llaves de paso de 1 pulg, de diámetro.	Pza.	5	\$ 70.00	\$ 350.00
16	Llaves de paso de 1/2 pulg, de diámetro.	Pza.	35	\$ 40.00	\$ 1,400.00
17	Nebulizador tornado azul	Pza.	400	\$ 10.00	\$ 4,000.00
18	Antigoteo wwsde 3/8 de diámetro.	Pza.	400	\$ 32.00	\$ 12,800.00
19	Plástico con 50% de iluminación de 10x50 mts,	Metro	50	\$ 30.00	\$ 1,500.00
20	Tela de mosquitero	Metro	20	\$ 15.00	\$ 300.00
21	Abrazaderas	Pza.	50	\$ 3.00	\$ 150.00
22	Tapones	Pza.	20	\$ 3.00	\$ 60.00
23	Adaptadores	Pza.	30	\$ 5.00	\$ 150.00
24	Charolas rectangulares	Pza.	560	\$ 5.00	\$ 2,800.00
25	Charolas circulares	Pza.	952	\$ 2.00	\$ 1,904.00



Modelo de Producción de Forraje Verde Mediante Hidroponía

26	Cople inserción de 1/2 pulg. de diámetro	Pza.	40	\$ 5.00	\$ 200.00
27	Válvula de esfera de 1 pulg. de diámetro	Pza.	5	\$ 79.00	\$ 395.00
28	Válvula de esfera de 1/2 pulg. de diámetro	Pza.	30	\$ 31.00	\$ 930.00
29	Cinchos Truper C/50 cv 300	Pza.	5	\$ 28.00	\$ 140.00
SUMA					\$ 55,201.00
					<b>TOTAL</b> \$ 131,898.50

<b>COSTOS DE OPERACIÓN</b>					
1	Semilla de avena	Kg.	300	\$ 4.00	\$ 1,200.00
2	Semilla de cebada	Kg.	1500	\$ 5.00	\$ 7,500.00
3	Gasolina	Lt.	520	\$ 8.00	\$ 4,160.00
4	Salario 1	Semana	26	\$ 1,400.00	\$ 36,400.00
5	Salario 2	Semana	26	\$ 1,100.00	\$ 28,600.00
6	Varios	Semana	26	\$ 1,000.00	\$ 26,000.00
7	Capacitación	Curso	4	\$ 1,500.00	\$ 6,000.00
SUMA					\$ 109,860.00

<b>RESUMEN DE COSTOS</b>	
ALBAÑILERIA	\$ 28,570.00
HERRERIA	\$ 48,127.50
SISTEMA DE RIEGO	\$ 55,201.00
COSTOS DE OPERACIÓN	\$ 109,860.00
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>\$ 241,758.50</b>

# CAPÍTULO 5

## RESULTADOS OBTENIDOS



## 5.1 La instalación

Como lo menciona G.D. Huterwald, **“Casi todos los investigadores están de acuerdo en que no puede haber ninguna solución cuya composición sea notablemente superior a la otra”**.

Y es el caso, se tomó en cuenta las experiencias de investigadores de diferentes latitudes. En nuestro país, con los diferentes asentamientos de los pobladores del altiplano, como fueron los aztecas, con su producción de vegetales, yerbas aromáticas frutales y medicinales; así también, los Teotihuacanos, los mayas y tantos otros. En los Estados Unidos de Norte América, Centro y Sud América, Argentina, Perú, Brasil, Chile, etc. Sin dejar de mencionar a los grandes productores de Europa, Francia, Alemania, etcétera, La India, Asia, China, Japón, muchos de ellos con experiencia milenaria.

Sin embargo en este experimento se cumplieron las expectativas planeadas, logrando el objetivo de producir el forraje verde hidropónico con las características de crecimiento, tiempo y de buena calidad, y el haber logrado la producción sin utilizar nutrientes químicos, lo cual significa ahorro en tiempo y dinero, evitando la problemática de conseguir los químicos, mismos como se anoto, estos elementos los trae de forma natural la semilla y el agua utilizada en los riegos.

Los tiempos estimados para dar un crecimiento de 20 a 25 centímetros de altura fueron de 15 a 20 días, lo cual se logró, después de lavar y desinfectar la semilla, dejándola en reposo por 24 horas, para su germinación, en un lugar oscuro y después depositarla en charolas circulares y rectangulares la cantidad de 150 gramos por otras 24 horas y a continuación colocarlas en el área de desarrollo hasta la etapa final registrando un peso de dos y medio a tres kilos de forraje verde hidropónico, listo para ofrecerlo al ganado vacuno y bobino. Si se tuvieran demasías, se puede achicalar y almacenar para posteriormente darlo al ganado.

## 5.2 Producción de forraje verde hidropónico.

En segundo lugar, de acuerdo a lo planeado se cumplió con el objetivo de producir forraje verde hidropónico (FVH) en los tiempos estimados los cuales se fueron desarrollando paso a paso, cuidando el desarrollo sistemático desde la obtención de la semilla de buena calidad, para después lavarla, dejarla en reposo, sembrarla en las charolas rectangulares y circulares, depositarlas en los contenedores, vigilando su desarrollo y proporcionando los riegos en tiempo y forma hasta lograr el crecimiento de 20 a 25 centímetros de longitud, para posteriormente ofrecerlo al ganado ovino y bovino; sin embargo, se continuará con algunas medidas y estudios para mejorar o para optimizar, aún más, la fabricación de forraje verde hidropónico (FVH).

### 5.3 Forma de proporcionarlo al ganado (Ingesta).

**Ovinos:** voltear las charolas rectangulares y circulares, sacando el forraje verde hidropónico, cortar en cuadros de 3 cm. x 5 cm. y depositarlo en sus comederos.

**Vacunos:** Usando el mismo procedimiento anterior, pero ahora cortar en cuadros de 10 cm. x 15 cm. y ofrecerlo en los pesebres.

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede concluir, haciendo mención de los logros alcanzados en este trabajo de investigación; en primer lugar, se acondiciono una área destinada a albergar ganado, con la intención de aprovechar lo construido para abatir los costos en este rubro. El acondicionamiento se realizo por etapas, una de ellas es lo referente a lo correspondiente a la albañilería, lo cual consistió, en la construcción de muros con blocks fabricados en el lugar, con una máquina manual, se localizaron las ventanas para tener aireado el invernadero y posteriormente construir los pisos de concreto

La segunda etapa consistió en todo lo referente a la herrería tanto para hacer los contenedores de las charolas como la herrería para sostener la cubierta de polivinilo con 50% de sombra.

La tercera etapa fue la de habilitar el sistema de riego con dos tanques de acero, de 1700 litros cada uno, tres tanques de plástico de 1150 litros, cada uno, se adquirieron, un generador de electricidad a base de gasolina para proporcionarle energía eléctrica a una bomba de agua, diferentes tipos de mangueras, llaves, nebulizadores, etcétera.

## CAPÍTULO 6

# CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

## 6.1. Conclusiones

En este trabajo de tesis se cumplieron las expectativas planeadas, logrando el objetivo de producir el forraje verde hidropónico con las características de crecimiento, tiempo y de buena calidad, y el haber logrado la producción sin utilizar nutrientes químicos, lo cual significa ahorro en tiempo y dinero, evitando la problemática de conseguir los químicos, mismos como se anoto, estos elementos los trae de forma natural la semilla y el agua utilizada en los riegos.

Adicionalmente se logro la instalación de un invernadero para producir el forraje verde hidropónico, y desarrollar una metodología para su producción. Además, con este sistema se obtiene, lo siguiente:

- El FVH es un alimento vivo, de alta digestibilidad y calidad nutricional, excepcionalmente apto para la alimentación animal.
- El FVH representa una herramienta alimentaría de alternativa, cierta y rápida, con la cual se puede hacer frente a los clásicos y repetitivos problemas que enfrenta hoy la producción animal (sequia, inundaciones suelos empobrecidos y /o deteriorados, etc.
- El FVH presenta una capacidad de sustitución del concentrado y/o ración balanceada muy importante, la cual puede llegar en algunas especies hasta el 70%. Tal condición de riqueza nutricional, trae aparejada una muy significativa disminución en los costos de alimentación animal.
- A través de la implementación de esta técnica se obtiene un significativo ahorro de agua, recurso éste cada vez más limitante y clave en nuestro desarrollo productivo.
- El uso del FVH nos ofrece una seguridad alimentaria en cuanto al suministro constante de alimentos y nutrientes al animal si contamos con reservas de semillas a costos aceptables. Con el FVH se logra independizarse de las adversas condiciones agroclimatológicas.
- La producción de FVH puede ser modular para aumentar los volúmenes a obtenerse según los requerimientos alimentarios de los animales, sin variar significativamente los costos unitarios.
- Dado que el FVH se entrega en estado fresco, no es necesario disponer de bodegas, suprimiéndose de esta forma los costos de construcción de las mismas, así como su mantenimiento.
- En el sistema de producción de FVH se fertiliza con una solución nutritiva que al menos aporte 200 ppm de nitrógeno, mas algunos elementos en forma quelatizada.

- Practicar la fertilización en el FVH, lleva a que se obtengan los mejores resultados tanto en producción como en el valor nutritivo del forraje producido.
- El uso de FVH favorece importantes ganancias en el peso vivo de los animales.
- La sustitución de parte de la ración por FVH en vacas lecheras, produce un aumento en el volumen de leche cercano al 10%.
- Mediante el suministro de FVH el periodo de “vientre vacío” en vacas, pasa de 4 – 5 meses a poco más de 2 meses. Esto es por el aumento en el consumo de Vitaminas E originado por el FVH.
- El FVH provoca un aumento en la fertilidad de los animales.
- El FVH es un alimento muy apetecible por parte del animal, presentando un buen sabor y una agradable textura.
- Contiene además enzimas digestivas que ayudan a una mejor asimilación del resto de la ración.
- Tiene un importante aporte de vitaminas al animal, como por ejemplo: Vitamina E; complejo B. A la vez, el FVH es generador de vitaminas esenciales como Vitamina A y la Vitamina C.
- La utilización de espacio para la producción de FVH es muy reducido, por lo tanto libera lugar para llevar a cabo otro tipo de actividades.
- El consumo de FVH tiene un efecto de en salivación por parte del animal lo cual le permite digerir con mayor facilidad el resto del alimento.

### **Finalmente:**

Existen situaciones como las siguientes, que merecen especial atención por parte de los pequeños productores pecuarios:

1. ¿Si viene una sequía, cual es el estado actual de mis pasturas?
2. ¿Qué nivel de reservas forrajeras dispongo en este momento? ¿Me alcanzarán para resistir una situación negativa?
3. ¿Si no me alcanza, que forrajes y/o suplementos puedo conseguir en el mercado? ¿Cuál es su valor alimenticio? ¿Cuánto cuesta su traslado a mi establecimiento?

4. ¿Cuánto valdrían mis animales si de sobrevenir a una sequía no tengo suficiente alimento para suministrarles? ¿Cuántos litros de leche perdería de producir? ¿Cuántos meses estará el animal seco?.
5. ¿Tengo el suficiente personal, así como las facilidades debidas para enfrentar el aumento de trabajo que sería el movilizar el ganado entre las escasas y racionadas pasturas del lugar de pastoreo?, ¿Darle reservas forrajera y/o suplementar con concentrados?

El productor debe ser realista y objetivo en sus respuestas, incluyendo el ahora y ¿cuánto me costaría adoptar y adaptar a mis necesidades la técnica del forraje verde hidropónico (FVH)?.Lo cual podría contestar de una forma muy sencilla:

Si se requiere de una instalación para producir forraje verde hidropónico, **si se inicia hoy**, seguro nos tardaremos menos tiempo, si se inicia mañana, en una semana, o el mes siguiente, etc. Por ello, se recomienda de inmediato poner todos los esfuerzos para iniciar la producción de forraje verde hidropónico (FVH).

## 6.2. Recomendaciones

Este trabajo fue producto de la experiencia de haber usado la hidroponía, razón por la cual se recomienda este tipo de cultivo, como alternativa para producir alimento ya sea para animales o bien se puede extender a otros productos(lechuga, jitomate, rábano, nopal vegetal, entre otros), los cuales pueden ser consumidos por personas.

## 6.3. Trabajos Futuros

### B. Digestor:

Continuar con la construcción, terminación y poner en operación el proyecto de un digestor iniciado ya hace algún tiempo, para utilizar los desechos del ganado bovino, caprino y caballar para producir gas metano y ser utilizado en la calefacción de la unidad de producción de forraje verde hidropónico (fvh), en la época invernal y para uso doméstico, así como, en futuras instalaciones para realizar otros procesos hidropónicos.

### C. Lombricultura

Se ha obtenido por vía internet información con respecto a la “Lombricultura” y se han estado visitando instalaciones en la ciudad de Querétaro, Estado de Puebla, varias instalaciones del Estado de México, con la idea de producir abono orgánico o HUMUS DE LOMBRIZ, para incorporarse a la práctica de ésta biotecnología, desarrollando innovaciones y adaptaciones de acuerdo al medio que nos rodea permitiendo así colaborar a



la protección del medio ambiente, obtener mayores y mejores rendimientos de producción, reduciendo los costos y minimizando los riesgos productivos, utilizando el estiércol producido por el ganado para la siembra de la lombriz **EISENIA FOETIDA**. Es una lombriz, extraordinariamente prolifera, muy vivaz, trabajadora, resistente al estrés, tal vez como ninguna otra y que se ha logrado hacer trabajar en densidades de 50 000 a 60 000 lombrices por metro cuadrado, cifra que ninguna lombriz salvaje está en condiciones de resistir.

### **C.- Otros Procesos**

Continuar con la aplicación del proceso de hidroponía en la producción de jitomate y lechuga, proceso iniciado e implementado a nivel Bachillerato, participando en la “Semana de Ciencia y Tecnología”, en el CETIS 76, dando conferencias y taller de la siembra, de lechuga con el procedimiento de raíz flotante, así como, la siembra de jitomate con la tecnología de siembra en sustrato.

### **D.- Siembra de cebada**

Se cuenta con el área suficiente para sembrar cebada y pastoreo del ganado, en la temporada de lluvias y ser autosuficiente en la producción de semilla, para abastecer de este insumo a la producción de forraje verde hidropónico. Sin embargo, para este ciclo no fue posible producir la semilla por la razón, primero no llover a tiempo y después por exceso de agua se hizo demasiado tarde la siembra y posteriormente se retiraron las lluvias, dándose luego las heladas, perdiéndose la posibilidad de ser autosuficiente en la producción de la semilla, misma que ahora se tiene la necesidad de obtenerla al precio que corra en el mercado.

### **E.- Árboles frutales**

En la propiedad están sembrados árboles frutales, como son, la manzana, la pera, el durazno, el membrillo, el capulín, el piñón y el tejocote. Una de las aplicaciones de la producción del abono orgánico será para fertilizar esta pequeña huerta y hacerla más productiva, con el humus que se produzca.

## Bibliografía

- [Aldrich,94] Aldrich A. R. y J. W. Bartok, Greenhouse Engineering, Northeast Regional Agriculture Engineering Service, Ithaca (N.Y.), 1994.
- [Alvarez,76] Alvarez Sánchez, J. , Diccionario Botánico, Rioduero, Madrid, 1976.
- [Anderlini,89] Anderlini, M., El cultivo del tomate, Ediciones CEAC, Barcelona,1989.
- [Ansorena,94] Ansorena, J., Mundi, Sustratos. Propiedades y Caracterización- Prensa, Madrid, 1994.
- [Arnon ,39] Arnon, D.I. & D.R.A., Comparison of Water Culture and Soil for Crop Production, Agritech Press, Hoagland,1939.
- [Attowe,92] Attowe, E.H.B., Handbook of Natural Insect and Diseases, Rodale Press, Emmaus, Pensilvania, 1992.
- [Benton,97] Benton Jr., Jones, Plant Nutrition Manual CRC Press, Nueva York, 1997.
- [Bravo,88] Bravo Ruiz, M. R. 1988. Niveles de Avena Hidropónica en la Alimentación de Conejos Angora.
- [Bold,73] Bold, H.C., Morphology of plants, Harper & Row, Nueva York. 1973.
- [Cadahia,98] Cadahia L., Carlos, Fertirrigación. Cultivos hortícolas y ornamentales. Mundi-Prensa, Madrid, 1998.
- [Cánovas,93] Cánovas, F. y J.R. Díaz., Cultivos sin suelo. Curso Superior de Especialización. Instituto de Estudios Almerienses, Fundación para La investigación agrária, Almeria, 1993.
- [Cooper,79] Cooper, A., The A.B.C. of Nutrient Film Technique, Casper Publications Pty Ltd. Narrabeen, 1979.
- [Carámbula,00] Carámbula, M; Terra, J. 2000. Alternativas de manejo de pasturas post-sequía. Revista Plan
- [Daintith,97] Daintith, J.B. Sc., Diccionario de biología, Editorial Educativa, Medellín, 1997.
- [Dalton,99] Dalton, L.& R. Smith, Hidroponics Crop Production, Hidroponics International Ltd, Queensland, 1999.

- [Delfín,00] Delfín, A., Manual práctico de hidroponia, Universidad Agraria La Molina, Lima, 2000.
- [Díaz,93] Díaz C., Fernando, Curso superior de especialización sobre cultivos sin suelo, Instituto de Estudios Almerienses – Fundación para la Investigación Agraria, Almería, 1993.
- [Diccionario,69] Diccionario Enciclopèdico Salvat Universal, voz Hidroponia, tomo 12, Barcelona, 1969, pàgina 468.
- [Diccionario,01] Diccionario especializado de biologia, Norma, México, 2001.
- [Documentos,69] Documentos del Congreso Mundial de Hidroponía, Las Palmas e Gran Canaria, 1969.
- [Dosal,87] Dosal Aladro, J.J.M. 1987. Efecto de la Dosis de Siembra, Epoca de Cosecha y Fertilización
- [Douglas,59] Douglas S., Hydroponics, Oxford University Press, Londres 1959.
- [Durany,84] Durany U. Cultivo de plantas sin tierra, Sintesis, Barcelona, 1984.
- [Ellis,63] Ellis C. y Swaney M.W., Growth of Plants, Reinhold, Nueva York, 1963.
- [Enciclopedia,96] Enciclopedia universal, Santillana, Madrid, 1996.
- [Fitcher,93] Fitcher, S.G., Plagas de Insectos, Trillas, México. 1993.
- [Grass,93] Grass de La Fuente J., Hidroponia, cultivo sin tierra, Texido, Santiago de Chile, 1993.
- [Hespenheide,97] Hespenheide, G., All About Vegetables, Orto Books Inc., Michigan, 1997.
- [Howard,98] Howard, R.M., Hydroponics. Questions & Answers, Woodbridge Press, Santa Barbara, 1998.
- [Lomelí ,00] Lomelí Zúñiga, H. 2000. Agroicultura. México.
- [Martinez,93] Martinez, G.E., Cultivo sin suelo de hortalizas en clima mediterráneo, Ediciones de Horticultura, Reus, 1993.
- [Marulanda,93] Marulanda, C; y Izquierdo, J. 1993. Manual Técnico "La Huerta Hidropónica Popular". FAOPNUD.

- [Marulanda,99] Marulanda, Cesar, Hidroponia familiar, Programa para El Desarrollo de las Naciones Unidas- Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador, San Salvador, 1999.
- [Mason,99] Mason, John, Commercial Hydroponics, Kangaroo Press, Sidney, 1999.
- [Mertens,83] Mertens, Stevenson, Ciclos de vida de las plantas, Limusa, México, 1983.
- [Microsoft,00] Microsoft, Enciclopedia Encarta 2000.
- [Molyneux,96] Molyneux, C.J. , A Practical Guide To N.F.T. , Nutrient Ltd., Mawdesley, 1996.
- [Monografía, 05] Departamentos de Agricultura y Comercio de los Estados Unidos, 2005
- [Morales,87] Morales Orueta, A. F. 1987. Forraje Hidropónico y su Utilización en la Alimentación de Corderos
- [Moreno,96] Moreno, C., Patricia, Vida y obra de granos y semillas, SEP-FCE-Conacyt, México, 1996.
- [Morgan,96] Morgan, L., El cultivo hidropónico de las lechugas, Casper Publications Pty Ltd., Narrabeen, 1996.
- [Muckle,94] Muckle, M., Hydroponics Nutrients Easy Ways to Make your Own, Growers Press Inc., Princeton, British Columbia, 1994.
- [National,68] National Academy of Sciences, Control de nematodos parasitos de plantas, Limusa, México, 1968.
- [Pennigfield,75] Pennigfield F. y P.Kurzann. Cultivos Hidropónicos en turba, Mundi-Prensa, Madrid1975.
- [Pérez,87] Pérez Lagos, 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.
- [Presley,82] Presley,D. & Tony Cooke, Diseases of Vegetables Crops, National Library of Australia, Queensland, 1982.

- [Rodriguez,96] Rodriguez D.A., Hidroponia, un nuevo campo para la agricultura, Universidad Agraria La Molina,Lima, 1996.
- [Rodriguez,97] Rodriguez R., R., J. Tabares R., J., Cultivo Moderno del tomate, Mundi Prensa,Madrid,1997.
- [Samperio,97] Samperio Ruiz, Gloria, Hidroponia Básica, Editorial Diana S.A de C.V. 1997
- [Samperio,09] Samperio Ruiz, Gloria, Un paso más en La HIDROPONIA, Editorial Diana S. A. de C. V. 2009.
- [Sánchez,81] Sanchez Escalante F., Hidroponia. Principios y métodos de cultivo, Universidad Autonoma de Chapingo, México, 1981.
- [Sepúlveda,94] Sepúlveda, R. 1994. Notas Sobre Producción de Forraje Hidropónico. Santiago, Chile.
- [Savage96] Savage, J., Planning a Profitable Hydroponic Greenhouse Business, Sovering Publishing House, Channel Island Shark, 1996.
- [Sholto,94] Sholto D.J., Hidroponia. Cómo cultivar sin tierra, Ateneo, Buenos Aires, 1994.
- [Turner,52] Turner W. y V. M. Henry, Growing Plants in Nutrition Solution, John Wiley, Nueva York, 1952.
- [Urrestarazu,00] Urrestarazu G., Miguel, Manual de cultivo sin suelo, Universidad de Almería, 2000.
- [Walker,94] Walker,J.C., Enfermedades de las hortalizas, Salvat, Barcelona, 1994.
- [Willard,96] Willard H., Garman, Manual de fertilizantes, Limusa, México, 1996.
- [Wittwer,79] Wittwer S., H., Greenhouse Tomatoes, Lettuces& Cucumbers, Michigan State University Press, Detroit, 1979.

# Anexo 1

# Construcción de un Invernadero

**Octavio Barrios Capdeville**  
**Ingeniero agrónomo FUCOA**





# Presentación

**E**n varias ediciones de la revista Nuestra Tierra publicamos una serie de artículos técnicos destinados a la construcción de invernaderos, como una forma de colaborar con los agricultores de nuestro país, ya que estas técnicas tienen cada día que pasa una mayor relevancia. Para ello, el ingeniero agrónomo Octavio Barrios C., profesional de larga trayectoria en el agro nacional, puso toda su experiencia teórica y práctica al servicio de este proyecto.

Sin embargo, en la medida que los artículos técnicos aparecían en nuestra revista, fuimos recibiendo peticiones de distintas partes del país, que deseaban contar con un texto refundido. De esta forma, cuando se terminó de publicar la serie, comenzamos a revisar y complementar lo que ya habíamos

editado, y hoy estamos entregando este manual que estamos seguros contribuirá al perfeccionamiento de la agricultura.

Sabemos, por la experiencia recogida en el terreno, que son muchos los productos que pueden ser cultivados en invernaderos, a los que se han agregado con singular éxito las flores, y no son pocas las persona y empresas que están exportando las flores producidas en los invernaderos que han construido. Del mismo modo, el invernadero es un gran aliado de la economía familiar campesina, ya que las pequeñas producciones obtenidas bajo este sistema contribuyen notablemente a la alimentación sana de muchas familias.

Palabras aparte merece la experiencia resultante de las

producciones hortofrutícolas obtenidas en regiones con climas muy duros, como Magallanes, por ejemplo. En Punta Arenas, muchos pequeños agricultores, con el aporte de INDAP, han desarrollado estos cultivos con gran éxito, hasta el punto de satisfacer prácticamente las necesidades de hortalizas y frutas de esa importante capital regional, que además han logrado algo im- pensable hace algunos años: bajar los precios de las lechugas, tomates, limones y otros, colaborando con el ahorro y con la salud de la población al entregar productos frescos al mercado, recién cosechados, ya que antes de esta verdadera revolución agrícola, todos estos productos debían ser "importados" desde el norte del país.

En la actualidad, estos agricultores se han transformado en prósperos pequeños empresarios y ya están haciendo planes para aumentar sus producciones y exportarlas a la zona sur argentina, que también debe adquirirlos del norte, pagando altos precios por productos que no siempre llegan frescos.

Para la Fundación de Comunicaciones, Capacitación y Cultura del Agro, FUCOA, la concreción de este proyecto representa un paso más en el aporte que, con legítimo orgullo, siente que está realizando al sector silvoagropecuario y que hoy pone a disposición del agro nacional.

Santiago, abril de 2004.

Francisco Larenas Bouquot  
Vicepresidente Ejecutivo

**L**a diversificación productiva, tan necesaria en los tiempos actuales, nos indica la necesidad de mejorar nuestros sistemas de producción de hortalizas y flores. Un invernadero es una herramienta muy útil para producirlas fuera de temporada, conseguir mayor precocidad, aumentar los rendimientos, acortar los ciclos vegetativos de las plantas, mejorar la calidad de los cultivos mediante una atmósfera interior artificial y controlada.

Sus beneficios han masificado su uso en la agricultura porque permiten obtener una producción limpia, trabajar en su interior durante los días lluviosos, desarrollar cultivos que necesitan otras condiciones climáticas y evitar los daños de roedores, pájaros, lluvia o el viento. También produce una

economía en el riego por la menor evapotranspiración, que es la pérdida de agua por la evaporación del suelo y la transpiración de las plantas, al estar protegidas del viento.

Su construcción es simple. Basta una estructura de soporte de madera o metal y una cubierta que puede ser polietileno transparente, policarbonato o vidrios, que lo cubrirá por los cuatro costados y el techo. Así retiene y mantiene en su interior una buena parte de la temperatura que se produce por el calor del sol o por estufas.

Los invernaderos requieren un sistema para regular la ventilación, la humedad y la temperatura interior.

Precisan, asimismo, de una mayor especialización en el

manejo de las plantaciones, debido a que las plagas y enfermedades encuentran mejores condiciones para su desarrollo, debido a la humedad y la temperatura. Esto se soluciona con un control adecuado de ellas.

En climas fríos es necesario que el invernadero cuente con una doble cubierta de polietileno, con las láminas separadas entre sí por 7 a 10 centímetros. Esto permitirá que la cámara de aire que se produce entre ellas actúe como aislante para conservar el calor. La cubierta exterior requiere de un material más grueso (0,15 ó 0,20 mm) y con protección Anti UV (Rayos Ultravioletas); polietileno de dos temporadas. En cambio, para los interiores basta con uno delgado (0,06 mm).

### **Altura del Invernadero**

La que ha dado mejores resultados es aquella que permite alcanzar 3 metros cúbicos por cada metro cuadrado de superficie. En estas condiciones se logra un mejor desarrollo de los cultivos altos (como tomates, porotos verdes).

Si bien se va a necesitar una mayor calefacción interior, el calor se conservará por más tiempo.

### **Para tener en cuenta**

En zonas con corrientes de aire muy fríos es recomendable instalar cortinas cortavientos, con mallas Rashel o maderas, para proteger el polietileno y evitar que el aire frío haga descender la temperatura de las paredes del invernadero y enfríe el interior de éste.

Para asegurar que no haya entradas de aire frío y evitar fugas de la temperatura interior, además de cerrar bien puertas, lucarnas y los polietilenos de los lados, revisar que las cubiertas de plástico del techo y de los costados no estén rotos. En el caso que se rompan en algún punto, parchar de inmediato usando cintas adhesivas especiales, que siempre conviene tener a mano.

Las estructuras deben ser construidas con materiales que no produzcan mucha sombra dentro de los invernaderos, especialmente si están en la Zona Sur donde hay menos luminosidad. Pintadas de color blanco reflejan la luz mientras que las oscuras (maderas ennegrecidas) la absorben. La pintura además permite una mejor conservación de la madera.

Los invernaderos de más de 30 metros de largo conviene construirlos con lucarna (abertura cenital), que tenga un sistema

para abrirla y cerrarla fácilmente y favorecer la aireación. En estos casos, la abertura de la lucarna debe estar orientada en sentido contrario a la dirección del viento



En cambio, en aquellos de menor longitud, la ventilación se puede efectuar a través de ventanas ubicadas en la parte alta del frente y del fondo, las que también deben contar con un mecanismo de abertura y cierre.

Los polietilenos de los costados deben estar fijos sólo en la parte superior para poder levantarlos desde abajo en las horas de calor y provocar así una corriente de aire hacia la lucarna o las ventanas altas. Para mantenerlos cerrados en la parte inferior, se fijan con tierra.

Forma de levantar el polietileno en los costados en horas de mayor calor. Se produce una corriente de aire hacia la lucarna



Al techo de los invernaderos se les da bastante pendiente (30%) para facilitar que las gotas de agua, producto de la condensación de la transpiración de las plantas y la evaporación del suelo caigan hacia los lados y no sobre los cultivos. Así se evita el desarrollo de enfermedades en los vegetales.

Si desea lograr buenos manejos es fundamental contar con una instalación de riego por goteo que incluya un mecanismo para incorporar los fertilizantes.



## Estructura

Puede ser metálica con perfiles angulares o de tubos redondos. Hay de madera sola, o de ésta y alambre. También de tubos de PVC o de concreto.

La decisión de cuál será el tipo de invernadero a construir, dependerá del presupuesto disponible.

Las formas son variables. Dependen de las necesidades del usuario y de los materiales que se disponga. Los hay con techos de dos aguas, con estructuras semicirculares y semienterrados. En los primeros, puede considerarse una sola nave o juntar varias para ahorrar el polietileno en los costados y aprovechar mejor el espacio interior. Así se facilitan las labores con animales, motocultivadores o tractores.

La forma del techo influye en la cantidad de luz que entra al invernadero. La redonda es la más efectiva. Sin embargo, el sistema más difundido es la estructura de madera a dos aguas, por su construcción más fácil. Aquí lo explicamos.



## Materiales para la construcción de un invernadero con estructura de madera y cubierta de polietileno

### Madera

**1. Postes.** Los más empleados son los de eucalipto "tratados". Su duración se puede incrementar al pintarlos con alquitrán líquido en los 60 cm que se enterrarán y en los 20 cm que quedan sobre el suelo.

El diámetro apropiado es de 3 a 4 pulgadas. Medidas inferiores no son recomendables por presentar menor resistencia a los vientos fuertes, lluvias y, en algunos casos, al peso de la producción.

Los postes de los costados deben ser de 3 metros de alto. Al enterrarlos 60 cm dan una altura de 2,40 metros sobre el suelo. Los postes centrales medirán 4,20 metros de largo y una vez enterrados quedarán de una altura de 3,60 metros.

Otra posibilidad es emplear postes de 3 m y "suplementarlos" (alargarlos) con tablas de 2 m de largo por 4 y 1,5 pulgadas de ancho y espesor, respectivamente, para darles la altura necesaria.

**2. Tablas.** Las más utilizadas son de pino de 3,20 ó 4 metros de largo, con 5 pulgadas de ancho y 1 de espesor. Deben estar bien secas para evitar su deformación. Cuando están recién cortadas o muy frescas exudan resinas que dañan el polietileno, disminuyendo su duración en los puntos de contacto.

Elegir las con menos nudos, por su mayor resistencia. Sus bordes (cantos) deben estar bien cepillados y parejos, sin astillas en la parte que estará en contacto con el polietileno,

para evitar que lo dañen. Da buenos resultados forrar estas partes con tiras del mismo plástico.

En zonas con bajas temperaturas, donde es necesaria una doble cubierta de polietileno, las tablas deberán tener los dos cantos cepillados.

Comprar listones de 1 pulgada de ancho por media pulgada de espesor (los llaman charlatas), para fijar el polietileno a las tablas con clavos de una y media pulgada.

Las maderas no deben ser tratadas con creosota ni otro producto derivado del petróleo, debido a que dañan el polietileno.

**3. Alambre.** Existen diferentes espesores, según dónde y para qué se usen.

Para sostener las cintas que amarran las plantas, se usa alambre del N° 12 ó el 14 que debe ser lo suficientemente resistente para soportar el peso de las plantas y sus frutos. Para las cortinas y el techo se usa un alambre del 14 y para el anclaje del invernadero se requiere uno más grueso, del N° 8 ó el 10.

**4. Cubierta.** La más empleada es la de polietileno de baja densidad. En el comercio se encuentran anchos de 6 a 12

metros. Es necesario considerar estas medidas al diseñar las estructuras.

**Polietileno.** El más usado es de 0,15 a 0,20 milímetros de espesor, con tratamiento anti UV . Generalmente, dura dos temporadas y tiene una mayor resistencia a los climas adversos. En el caso de usar doble cubierta, la interior será de polietileno más delgado, de 0,06 milímetros.

Se encuentra en el comercio en tres tipos:

**a. Normal.** Su espesor más común es de 100 micras (0,10 mm).

Tiene una duración promedio de 8 a 10 meses. Es de color transparente y muy permeable a los rayos infrarrojos de onda larga, lo que provoca pérdida de calor por las noches, con el consiguiente peligro de inversión térmica (menor temperatura dentro del invernadero en noches despejadas, frías y sin viento).

Difunde poco la luz solar, lo que puede ocasionar daños por golpes de sol. Se produce gran condensación de la humedad generada al interior del invernadero (producto de la evapotranspiración).

**b. Larga duración.** Se mantiene en buenas condiciones por

dos temporadas agrícolas. Presenta un color amarillo transparente y lleva aditivos en su composición para protegerlo de los rayos ultravioleta. El espesor más usado es entre 150 y 200 micras (0,15 a 0,20 mm).

Difunde mejor la luz que el polietileno normal, pero no tiene efecto térmico y presenta el mismo peligro de inversión térmica.

**c. Térmico.** Dura de 2 a 3 temporadas. Su color es amarillo o transparente, con un espesor generalizado de 200 micras (0,20 mm). Tiene aditivos contra los rayos infrarrojos de onda larga que, durante la noche, permiten retener más o menos el 85% del calor almacenado en el día. Eso disminuye el peligro de heladas por inversión térmica.

Produce gran dispersión de la luz, con lo que se evitan los golpes de sol. A la vez, requiere un buen sistema de ventilación para evitar temperaturas muy altas, ya que en los invernaderos cubiertos con este tipo de polietileno se acumula más calor.

La condensación se produce como gotas de menor tamaño, lo que reduce el daño en las plantas.

## Mayor o menor duración

Además del espesor y del clima hay otros factores que influyen en la duración de los polietilenos. Los más conocidos son:

\* La radiación ultravioleta y la temperatura a que está sometido el polietileno.

\* También influye la calidad de la madera. Maderas muy frescas de pino "cortan" el polietileno en los puntos de contacto, debido a la resina que exudan.

## Ubicación

Para elegir el terreno donde se van a levantar uno o varios invernaderos, es conveniente tener en cuenta aspectos como:

a. La disponibilidad de agua de riego en cantidad y calidad.

b. Elegir suelos nivelados, con buen drenaje, libres de posibles anegamientos por aguas lluvias o desbordes de canales.

c. Que existan caminos de acceso todo el año para la salida de los productos. En lo posible, lejos de los caminos y zonas polvorientos, debido a que el polvo se deposita en los techos disminuyendo el paso de luz al interior, además de contaminar las hojas y frutos.

- d. Que se cuente con mano de obra en la vecindad.
- e. Fácil conexión a la energía eléctrica para el bombeo del agua de riego y la iluminación.
- f. Evitar zonas de mucha neblina por su menor luminosidad.
- g. Que esté cerca de la persona encargada, para que dé solución rápida a cualquier problema.
- h. No ubicarlo junto a la sombra de árboles muy altos, ni donde lleguen sus raíces.
- i. Cuidarse también de los suelos bajos donde existan napas freáticas altas.
- j. Que estén protegidos de vientos fuertes que puedan dañar la cubierta de polietileno.

### Orientación

Muchas veces la pendiente del terreno (topografía) decide la orientación de la nave o caseta. En los suelos planos es importante considerar la dirección de los vientos predominantes, debiendo orientarla hacia aquella que presente menos resistencia.

Cuando las naves se construyan con lucarna, ésta debe quedar orientada a favor de la brisa suave, para facilitar la ventilación. La más usual es norte-sur para aprovechar mejor la luz solar.

### Detalles a considerar

Con el invernadero aún en el papel, es bueno conocer las condiciones que exige su instalación, las diversas estructuras y los plásticos para la cubierta.

El tipo y estado de la estructura. Por ejemplo, las de fierro necesitan estar pintadas de color blanco para evitar que se calienten demasiado y corten el polietileno. Además se protegen del óxido.

El estado de la madera. Debe ser seca para que no se doble y, en el caso del pino, evitar que las resinas afecten al polietileno.

Que los cantos de las piezas de madera sean suaves, sin asperezas, en las zonas de contacto con la lámina de polietileno, para que no la rompan. En otras palabras, que estén bien cepillados al igual que las tablas que lo fijan sobre la estructura.

Que el polietileno no quede suelto ni excesivamente tirante, al momento de su colocación y fijación sobre la estructura. Proteger el invernadero con cortinas cortavientos, en las zonas de fuertes vientos.

Evitar el contacto de los productos fitosanitarios con el polietileno.

Vigilar permanentemente el estado del plástico. Si se detecta alguna rotura, parchar de inmediato con una cinta especial, para evitar que se siga rasgando (rompiendo).

### La temperatura

Es uno de los factores más importantes en el desarrollo de las plantas. Por eso, una de las principales ventajas de los invernaderos es la posibilidad de crear las condiciones climáticas que más acomoda a los cultivos, previniendo los daños por bajas temperaturas.

Cuando hay heladas se producen daños en los tejidos de las plantas. Para prevenirlas, es conveniente que el invernadero tenga doble cubierta y pueda quedar perfectamente cerrado para evitar el frío durante las noches.

Lo mismo ocurre cuando el rocío sobre las plantas se evapora muy rápido, a la salida del sol, y la temperatura ha bajado de 0° C. Esto se previene cuidando que no se moje la parte aérea de la planta al regar, y con una buena ventilación del invernadero. Así se evita que la evapotranspiración sature la atmósfera interior y se humedezca el follaje.

Pérdida del calor por irradiación. La temperatura del interior

del invernadero, almacenada durante el día, baja en la noche. Este tipo de heladas se presenta en noches despejadas, sin vientos y con baja humedad relativa en el aire. Se evita utilizando polietileno térmico en la cubierta. Este conserva algunos grados más de temperatura por ser menos permeable a los rayos infrarrojos de onda larga.

Cuando el costo de los cultivos y cosechas lo justifique es conveniente, además, contar con equipos calefactores que produzcan una buena distribución del calor y que no provoquen contaminación por acumulación de gases.

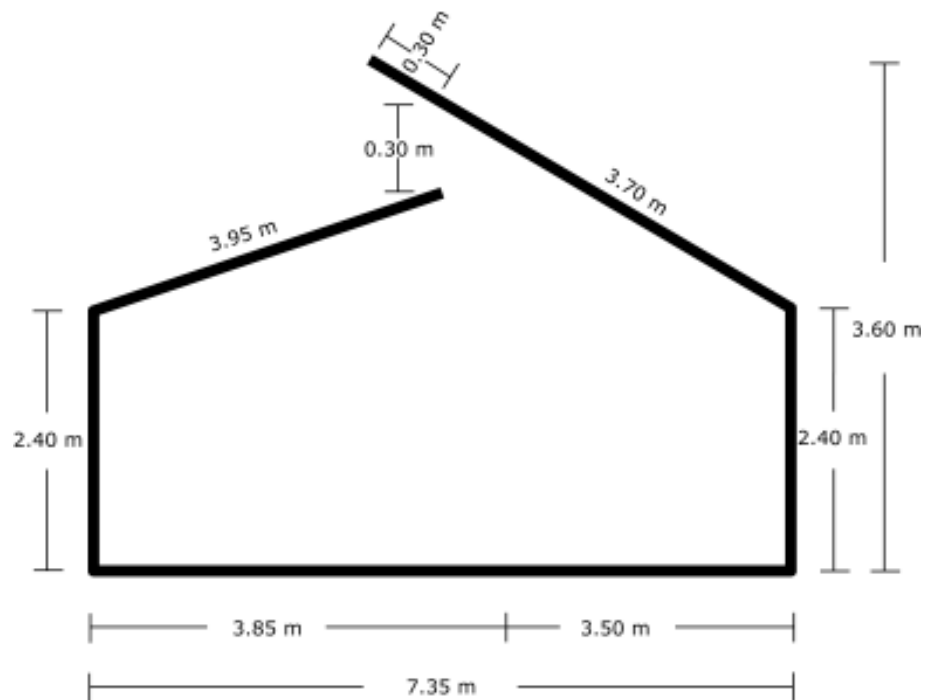




# Construcción del Invernadero

Consideramos la construcción de una nave de estructura de madera de 7,35 metros de ancho y 30,40 metros de largo, con cubierta de polietileno.

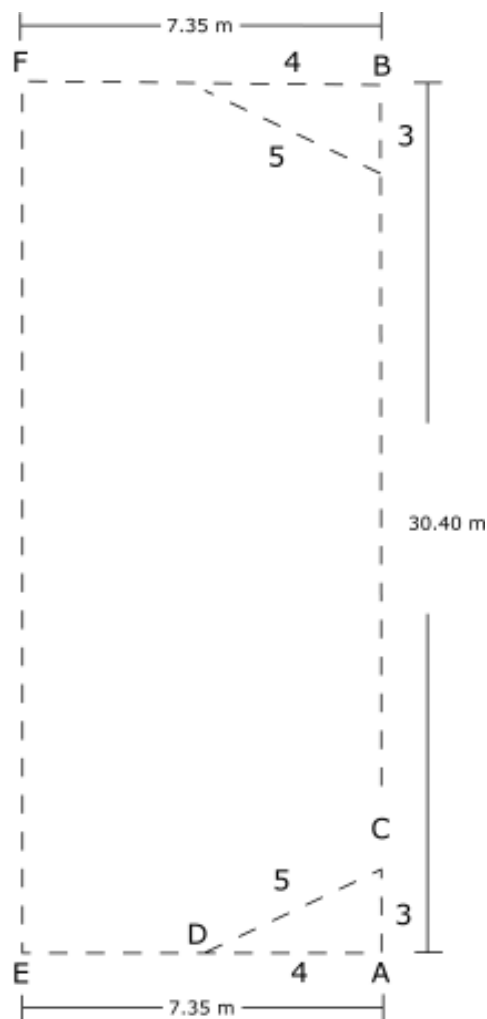
Modelo y medidas del invernadero que se propone.



## Cuadrar el terreno

Para que la base del invernadero esté bien medida, lo primero es cuadrar el terreno. Esta operación es muy importante ya que da más resistencia a la estructura y facilita la colocación de la cubierta. Se puede usar el práctico método del 3 - 4 y 5 m, que es muy preciso. Consiste en determinar con lienzas y una huincha de medir el ángulo recto en las esquinas.

Diagrama del método para cuadrar el terreno donde se instalará el invernadero



### Se hace así:

Tomar como referencia uno de los lados largos de 30,40 m que tendrá el invernadero y se marca con las estacas A-B, en cada punta y se unen con una lienza, bien estirada. Sobre ésta y partiendo desde la estaca A se miden 3 m y se señala con la estaca C.

→ A partir de la misma estaca A se coloca una lienza de 4 m en ángulo recto (hacia el lado) y desde la estaca C se amarra otro cordel de 5 m hacia el mismo lado. Se estiran las dos lienzas y en el punto donde se juntan (los 4 y los 5 metros), se clava la estaca D. El ángulo recto del punto A está preciso.

→ A partir de A se estira una lienza que pase por D y se prolonga hasta medir los 7,35 m, donde se entierra la estaca E. Esta operación se repite en la estaca B para obtener el punto donde irá la estaca F, en ángulo recto.

→ Finalmente, se unen con una lienza los puntos E y F y el terreno está cuadrado

Con este sistema tenemos las cuatro esquinas para el invernadero.

Para corroborar que el trabajo está exacto se miden las distancias entre las estacas B y E y entre F y A. Si tienen su largo igual, la cuadratura del terreno está bien hecha.



## Método práctico para la construcción del invernadero

Una vez marcado el terreno con las estacas, se traza una línea central a todo el largo del invernadero, separada a 3,50 metros del costado donde quedará la parte más alta de la lucarna, cuya abertura tiene que quedar en sentido contrario a la dirección del viento predominante, para favorecer la salida del aire húmedo desde el interior. Si está ubicada en la dirección del viento, éste entrará y someterá al polietileno a un esfuerzo extra y lo dañará. Además, costará controlar la temperatura interior.

### Instalación de postes

Luego, en cada línea (la central y las de los lados) a una distancia de 1,60 m se marcan los puntos donde irán los postes laterales y los centrales. Los hoyos se cavan de 60 centímetros de profundidad, para ente-

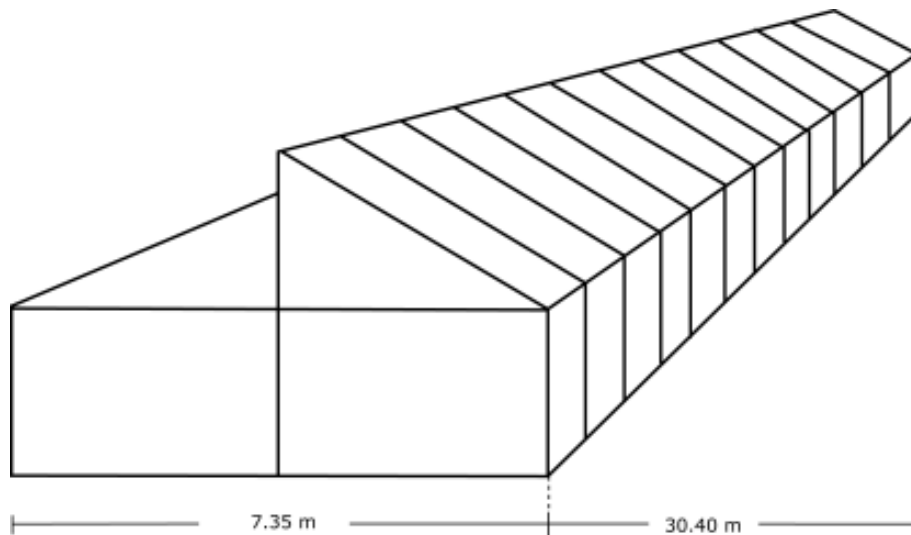
rrar los postes, que deben ser afirmados con piedras y tierra bien apisonadas, humedeciendo con agua, si el suelo está reseco, para lograr que queden más firmes.

Se empieza colocando los cuatro postes de las esquinas que servirán de guía para todos los demás postes laterales, tanto en la ubicación como en la altura.

Luego se entierran los que van en la línea central en línea con los laterales. Primero los que irán en los extremos y con una lienza se alinean los demás a lo largo. Importante es controlar que los postes queden verticales con un "hilo a plomo" o un nivel, especialmente los primeros que servirán de guía para los demás.

Una vez enterrados los postes, se clavan las tablas. Primero, las que van en la parte superior de los postes de los costados, uniéndolos entre sí; a continuación, las correspondientes a los palos centrales. Posteriormente, se colocan las cerchas (tablas que unen los postes centrales con los laterales en el techo). En este caso, las de un costado se instalan en la parte superior del poste central; y las del otro costado, 30 centímetros más abajo para formar la lucarna, la que termina con tablas en sus extremos.

Es importante que todas las tablas queden bien clavadas a los postes o entre sí para dar firmeza a la estructura y además estén bien "cuadradas" para facilitar la colocación del polietileno. Los clavos no deben presentar puntas que puedan dañar el plástico.

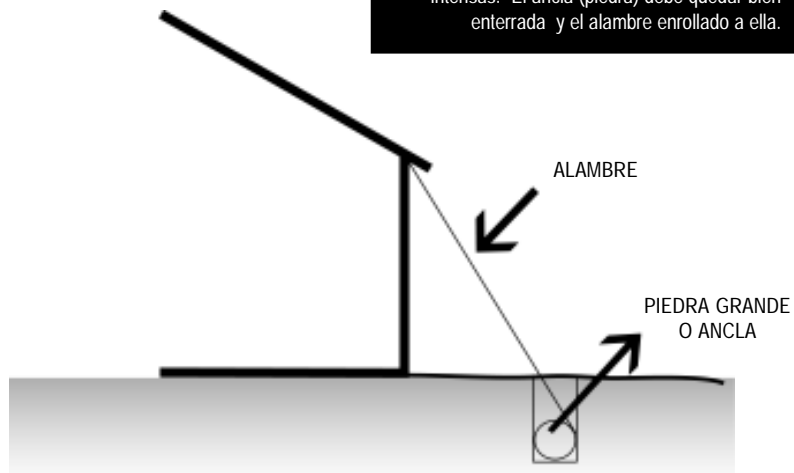


Detalles de la ubicación de todos los postes y de las cerchas a lo largo de la estructura

## Alambre

Como tirantes se utiliza el galvanizado para reforzar la estructura por los costados y contrarrestar la fuerza del viento. Van en cada poste, desde la parte alta al suelo, en ángulo. En el suelo, se entierran amarrados a piedras grandes o a anclas de concreto y fierro (se encuentran en el comercio y las usan en la construcción de los parronales).

Los tirantes de alambre permiten reforzar la resistencia a los vientos fuertes o lluvias intensas. El ancla (piedra) debe quedar bien enterrada y el alambre enrollado a ella.



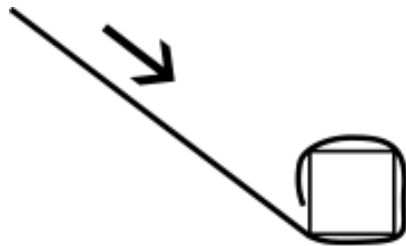
En climas con fuertes vientos y lluvias es conveniente colocar, entre las cerchas y paralelos a ellas, unos alambres para que una vez puesto el polietileno se mantenga estirado y no forme "bolsas" de agua.

### Colocación del polietileno

Si ha usado pintura acrílica blanca en las superficies que estarán en contacto con el polietileno, conviene esperar a que esté totalmente seca, antes de colocar el polietileno.

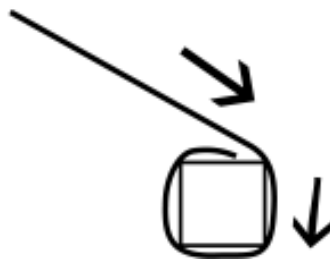
Iniciar la fijación del polietileno cuando la temperatura ambien-

te sea suficiente para entibiárla y adquiera flexibilidad. Para estirar la lámina de los extremos, fijarla a la estructura y darle tensión, use listones de 2 por 2 pulgadas donde enrolle dos vueltas del polietileno como base al tomarlo. No lo sobreestire para no reducir su duración. Se fija a los extremos del invernadero con los listones en los cuales se enrolló, cuidando que, una vez colocado el polietileno, el agua de la lluvia escurra sobre él y no entre hacia el listón, apozándola. A continuación, el plástico se fija a las cerchas con tablas de 2 por 1/2 pulgada y clavos de 1,5 pulgada.



Forma correcta de enrollar el polietileno al listón de 2 x 2 pulgadas para que la lluvia escurra bien y no se apoce.

INCORRECTO



CORRECTO



Si va a colocar una doble cubierta de polietileno, la del interior deberá seguir la misma pendiente de las cerchas, a las que se fija con tablas de 2 por 1/2 pulgada, tal como la que va por fuera.

Una vez fijado el polietileno del techo, en la lucarna se instalan las ventanas recomendadas para poder cerrarlas.

El polietileno del frente y de los costados se clava solamente en la parte superior y se mantiene afirmado a los postes con lienzas verticales. Para ello, sirven cintas de riego por goteo dadas de baja. En el suelo se afirma con tierra. Esto permite levantarlo cuando se necesite una mayor ventilación, ya que produce una corriente de aire

desde la parte inferior a la lucarna y ventanas cenitales.

La parte inferior de todos los costados de los invernaderos se cierra por dentro con una lámina de polietileno de unos 60 cm de alto para evitar la entrada de animales y proteger las plantas nuevas de corrientes de aire frío cuando se levantan los laterales. Ésta se afirma en la parte superior con un alambre colocado entre los postes de los lados. La parte inferior se entierra en el suelo y se tapa con tierra.

El invernadero está listo. La estructura de madera puede durar hasta ocho años y el polietileno dos temporadas. Los materiales a usar y sus costos están en el cuadro anexo.

**COSTOS DE MATERIALES PARA UN INVERNADERO DE MADERA Y POLIETILENO**

MATERIALES	Cantidad (unidades)	Precio unitario \$ s/IVA	Precio total \$ s/IVA
Postes de eucalipto sulfatado 3" x 3 m	40	1.300	52.000
Postes de eucalipto sulfatado 4" x 4,20 m	20	2.500	50.000
Tablas de pino, 5" x 1" x 4 m	45	1.750	78.750
Tablas de pino, 5" x 1" x 3,20 m	42	1.250	52.500
Tablas de pino de 2" x 1/2" x 3,20 m	50	250	12.500
Tablas de pino de 2"x 5" x 3.20	20	460	9.200
Listones de pino de 2" x 2" x 3,20 m	50	1.000	50.000
Polietileno de 0,15 mm anti UV 6 m de ancho	78 kgs.	1.240	96.720
Polietileno de 0,15 mm anti UV 4 m de ancho	42"	1.240	52.080
Clavos 3"	10"	460	4.600
Clavos 1,5"	3"	483	1.450
Alambre galvanizado del N° 8,	50 "	474	23.700
Alquitrán líquido	1 galón	3.200	3.200
Esmalte al agua	1 galón	8.600	8.600
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 495.300</b>

Precios en Santiago, enero de 2004.

No incluyen flete ni mano de obra de dos personas por 7 días.



## Manejo ambiental de los invernaderos

**Métodos para regular la humedad y la temperatura en su interior, factores importantes para alcanzar un desarrollo óptimo de los cultivos. Importancia de las horas-luz disponibles. Aprovechar la temperatura**

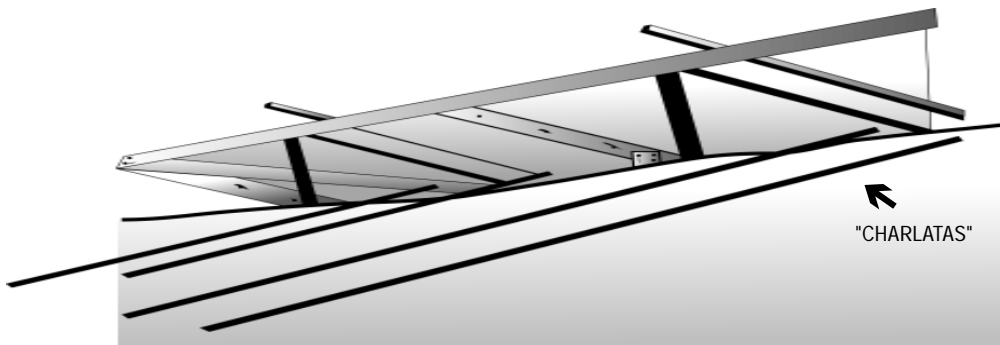
Las plantas necesitan una temperatura adecuada para su crecimiento, de lo contrario éste se detiene. Si ésta desciende a cero grados o menos, los cultivos se pueden dañar seriamente, como ocurre con los al aire libre, por las heladas. En este sentido, hay que aprovechar el efecto favorable del invernadero de mantener la temperatura tanto del aire como del suelo, y favorecer el desarrollo de las raíces y de la parte aérea de las plantas.

Aberturas o roturas en la cubierta plástica hacen perder

calor en un invernadero al dejar salir el aire tibio y entrar el frío. Como el aire caliente es más liviano sube a la parte alta del invernadero y el frío, que es más pesado, se mantiene en la parte baja lo que daña aún más las plantas.

Para evitar esto, el invernadero debe permanecer perfectamente cerrado durante las horas de menor temperatura ambiental para mantener la temperatura en su interior.

En lugares donde hay mucho frío, conviene usar la doble cubierta de polietileno. Basta con colocar una lámina de polietileno delgado en la parte interior del invernadero, separada de la exterior por el ancho de la madera de la estructura (alrededor de 10 centímetros). La capa de aire que queda entre las dos cubiertas, servirá de aislante y reducirá la pérdida de calor.



El polietileno va apoyado sobre el canto liso de la tabla. Para fijarlo a ella, se usan listones de madera de 1 pulgada de ancho por media de espesor y 3,20 metros de largo, llamados "charlata" que se clavan sobre el polietileno y la estructura.

En las noches o durante días muy helados es recomendable el uso de estufas con el fin de mantener la temperatura adecuada para el desarrollo de los cultivos, instaladas de modo que no dejen gases nocivos dentro del invernadero. Éstas pueden ser eléctricas, a gas, aserrín, leña o parafina.

De todas maneras, cualquiera sea el sistema de calefacción a usar es muy importante inducir la circulación del aire dentro del invernadero mediante ventiladores. Con esto se obtendrá una mejor distribución del calor para favorecer a todas las plantas, no sólo las ubicadas cerca de los calefactores.

En zonas con corrientes de aire muy frías es conveniente instalar cortinas cortavientos junto

al invernadero, como las de malla Raschel. Así evitará que el aire helado entre en contacto con las cubiertas laterales de los invernaderos, las enfríe y reduzca la temperatura interior en éstos.

Para asegurar que el invernadero no tendrá entradas de aire frío, además de cerrar bien puertas, lucarna y los polietilenos de los costados, se debe revisar que no haya una rotura del polietileno y por si se produce alguna siempre se debe tener a mano una cinta especial para estas reparaciones (es una cinta que viene con un pegamento adecuado)

### Para evitar que la temperatura suba demasiado

Al contrario, cuando la temperatura aumenta demasiado en los invernaderos, también se producen retrasos en el desarrollo de las plantas o disminución de su rendimiento (aborto de flores). Por esta razón, en las épocas de calor debe controlarse el exceso de temperatura en su interior.

Para ello, existen dos mecanismos. Una buena ventilación y evitar el exceso de sol mediante sombreaderos. La malla Raschel ha dado buenos resultados y se

coloca con un sistema de alambres que permitan correrla, para que el invernadero reciba la radiación solar en los días de menor temperatura.

La ventilación interior será controlada según las características y estado de desarrollo de los cultivos y la temperatura interna se mide con termómetros de máxima y de mínima, que registran las temperaturas extremas habidas. Nunca debe faltar uno dentro del invernadero.

En zonas con corrientes de aire frío es conveniente instalar cortinas cortaviento como protección, a los costados del invernadero por el lado que sopla el viento.



Para ventilar se hace circular el aire. Como se dijo, al calentarse el aire tibio se pone liviano, pierde peso y sube a la parte alta del invernadero. Para facilitar esta corriente de aire, abrir la lucarna (las ventanas de la parte alta) y se levantan un poco las cortinas laterales.

Se recomienda hacerlo en las mañanas para eliminar el exceso de humedad producido por la condensación en las cubiertas de polietileno. A medida que aumenta la temperatura interior se debe abrir cada vez más el invernadero. Cuando alcanza los 24 grados Celsius levante las cortinas del lado contrario al viento y parte de la lucarna. Si asciende a los 26 y 28 grados abra las cortinas del lado por donde sopla el viento, toda la lucarna y las ventanas, para evitar que la temperatura interior suba de 29 grados Celsius.

Al bajar la temperatura ambiente, cerrar las cortinas y ventanas con el fin de acumular calor para la noche.

## La humedad y la luz

Mantener un estricto control sobre la humedad al interior de los invernaderos, es un factor importante. Ésta varía según los requerimientos del cultivo. Si bien es cierto que ayuda al desarrollo de las plantas, un

exceso de ella les resulta perjudicial por favorecer el desarrollo de enfermedades causadas por hongos y bacterias.

Como los polietilenos son impermeables al agua, la humedad se eleva al interior de los invernaderos cuando no se ventilan, por no poder salir. Esto es consecuencia de la evapotranspiración, o sea, la pérdida de humedad del suelo más la transpiración de las plantas.

Otro factor a considerar siempre es la luz. De acuerdo a las horas-luz que haya en la zona donde se instaló el invernadero, es necesario elegir el cultivo que mejor se adapte al lugar, sabiendo cuántas de éstas requiere éste.

Otra idea es completar las horas-luz que faltan, mediante luz artificial, como la eléctrica, siempre que el costo lo permita.

## Sistema de riego tecnificado para el invernadero estudiado

Hoy no se piensa en un cultivo en invernadero sin un sistema de riego por goteo, debido a sus ventajas y comodidades.

Instalación cinta de riego



Antes de instalar este sistema se debe tener claro cuál será la fuente de agua, es decir, río, canal, vertiente, embalse, noria o pozo profundo. Eso determinará el sistema de filtros.

La distancia desde la fuente de agua al cultivo, y la diferencia de nivel desde el espejo (nivel) de agua y la superficie a regar, más el tipo de cultivo, son los datos necesarios para calcular la capacidad de la bomba (litros por minuto o por hora) y la potencia o presión que se necesita expresada en metros columna de agua.

El riego automático es un método moderno que funciona a través de un programador eléctrico. Permite programar la frecuencia y el tiempo de riego por sectores de acuerdo a la necesidad del cultivo. El equipo envía una señal eléctrica a la válvula selenoide correspondiente, para que inicie o termine el riego.

Existen varios tipos de válvulas que ejercen distintas operaciones, entre ellas tenemos:

Las de retención, llamadas "sapito", que se instalan en la parte inferior de la tubería de succión de la bomba para mantenerla llena de agua y evitar "cebarla" cada vez que se ponga en funcionamiento. Las de aire (ventosas) regulan la cantidad de éste en las tube-

ría evitando bolsones de aire que dificultan la circulación normal del agua.

Otras, regulan la presión manteniéndola constante dentro del circuito. También existen válvulas de no retorno, que se instalan a la salida de la bomba, que impiden que el agua se devuelva a ella cuando ésta deja de funcionar.

Las destinadas a abrir o cerrar los circuitos pueden ser manuales o eléctricas (selenoides). Las manuales (llaves de paso) pueden ser de espejo o de bola.

Para asegurar el buen resultado de estas instalaciones existen otros instrumentos, como:

Manómetros, que miden la presión de circulación del agua dentro del circuito y que permiten detectar filtros tapados o pérdidas de presión por filtraciones.

Equipos de fertilización que inyectan en forma regulada los fertilizantes a la red para distribuirlos uniformemente al cultivo.

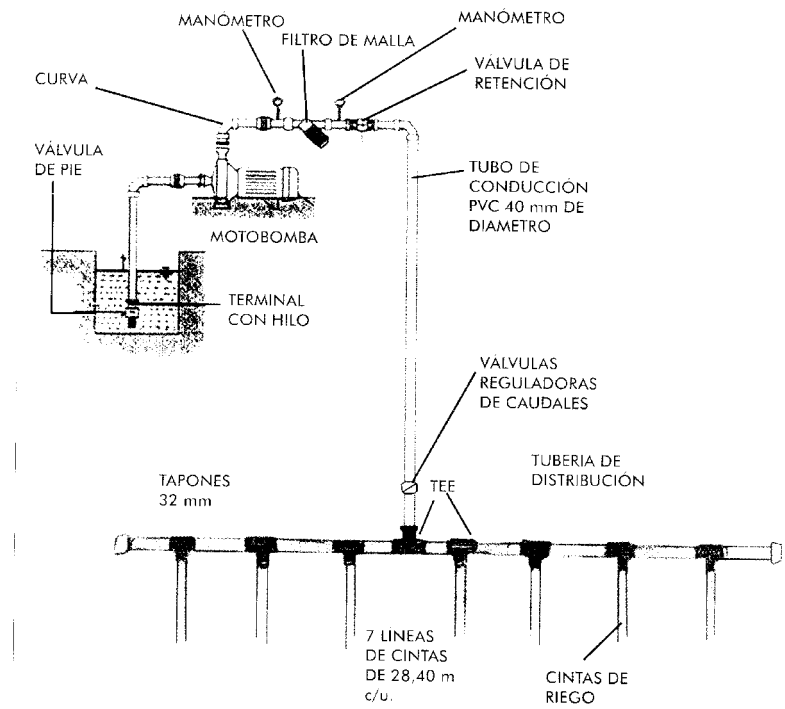
La red hidráulica está formada por las tuberías y los fittings (codos, curvas, tees, terminales con hilo interior y exterior, reducciones, etc) diseñados para una correcta instalación del circuito.



Los goteros o emisores permiten la salida regulada del agua en forma de gotas. Existen los de tipo en línea, los de botón y los autocompensados (el caudal se mantiene con diferentes presiones). Vienen calibrados para entregar una cierta cantidad de agua (2, 4, 6, 8 litros por hora).

Las cintas de riego son tubos de polietileno delgado que traen los emisores incorporados. La distancia entre éstos varía de 20, 30, 40 centímetros. El caudal que emiten se expresa en litros por hora y por metro de largo (l/h/m). Generalmente son del orden 2, 4 ó 6 litros l/h/m.

Modelo de instalación de un sistema de riego por goteo



## Costos estimados

ítem	Cantidad	Valor total Con IVA
Bomba de riego eléctrica (40 litros por minuto)	1	\$ 40.000
Tubería PVC hidráulica 32 mm tiras de 6 metros	11	26.865
Filtro de malla autolimpiable	1	50.000
Manómetros	2	14.000
Cinta de riego (4 l/h/m)	200 m	16.000
Regulador de presión 32 mm	1	14.000
Instalación eléctrica tablero, caja protección, cables, etc.	Global	30.000
Tee 32 mm	1	2.000
Uniones americanas 32 mm	2	4.800
Terminales HE 32 mm	6	1.320
Codo 90 ° 32 mm	2	400
Gromets con conectores	11	1.540
Curva 32 mm	1	400
Válvula de pie (sapito) 32 mm	1	2.600
Tapones terminales 32 mm	2	300
Lija pliego	1	200
Pegamento PVC 250 cc	1	1.800
<b>TOTAL</b>		<b>\$ 206.225</b>