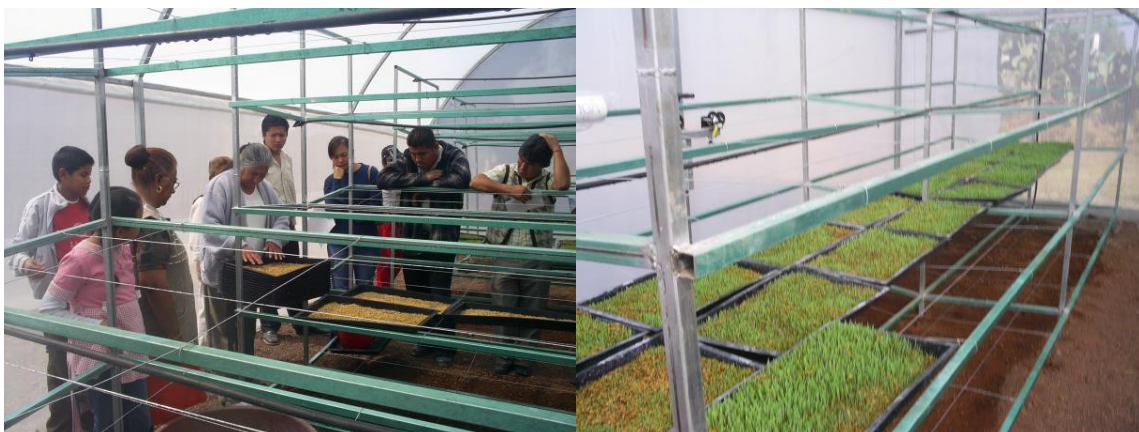


Instalación de módulos demostrativos de producción de forraje verde hidropónico en ambiente semicontrolado.



Programa para el desarrollo productivo, tecnológico y organizativo del Distrito Los Insurgentes, Estado de México.

Informe final

Diciembre de 2007



DIRECTORIO

Comisión Nacional del Agua

Ing. José Luis Luege Tamargo
Director General

Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México

Ing. Efrén Villalón Figaredo
Director General

Gerencia de Organismos del Agua

M. Sc. Guillermo Rentería Delmar
Ing. Miguel Angel Aguayo y Camargo

Supervisión del Proyecto

Ing. Edgard S. M. Roesner García

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Director General
Dr. Polioptro Martínez Austria

Coordinador de Riego y Drenaje
M.C. Fernando Fragoza Díaz

Subcoordinador de Ingeniería de Riego
M.C. Juan Carlos Herrera Ponce

Jefe de proyecto
M.C. Ramiro Vega Nevárez

Responsable de la Componente
M.C. Juan Manuel Angeles Hernández

Resumen

El Distrito de Riego Los Insurgentes, se localiza en el estado de México. Cuenta con una superficie de 30,000 ha brutas y 24,600 ha neta de riego, localizadas en tres extensiones geográficas; 29.000 ha en los valles de Nextlalpan, San Marcos, Tlapanaloya, Apaxco de Ocampo y Santa María Apaxco; 600 ha en Coyotepec y 400 ha en Teoloyucan, teniendo como fuentes de abastecimiento las aguas de los ríos Cuautitlán y de las Avenidas de Pachuca, del Gran Canal de Desagüe y del Vaso del Cristo a través del Interceptor del Poniente y Emisor del Poniente, utilizándose como vaso regulador a la Laguna de Zumpango. La asigación de agua considera un volumen de 100 millones de m³ para la superficie del Distrito que se distribuye en 10 unidades, en las que los cultivos más importantes en la superficie sembrada son alfalfa, maíz forrajero, pastos y cebada forrajera.

Uno de los principales problemas que se ha presentado en el Distrito es la inconsistencia en la disponibilidad de agua en las fuentes de abastecimiento, la dependencia del desalojo de aguas residuales de la ZMCM y la calidad del agua, debido a la sequía recurrente en el Estado de México, problema que se ha agudizado en los últimos años. Por otro lado, se ha acelerado el crecimiento desordenado de las áreas urbanas, con la consecuente pérdida de las áreas verdes (agrícolas) circundantes impactando en el deterioro de los servicios ambientales que proporcionan así como la sobreexplotación del acuífero. El ecosistema en cuestión está siendo amenazado por un continuo proceso de deterioro.

Ante este difícil panorama, la Comisión Nacional de Agua (Conagua), ha venido impulsando entre otras acciones, el uso eficiente del agua y la energía eléctrica, a fin de conservar las áreas agrícolas y de lograr un equilibrio con la zona urbana para preservar el acuífero. Se han emprendido acciones de modernización en su infraestructura mediante la introducción de sistemas de riego modernos y nivelación de terrenos a nivel parcelario, revestimiento de canales, que permitan el ahorro de volúmenes de agua en las Unidades de Riego.

En esta componente del proyecto se realizaron acciones encaminadas al mejoramiento de la productividad agrícola y del agua, mediante la instalación de tres parcelas demostrativas para la producción de forraje verde hidropónico en condiciones de invernadero, incluyendo el sistema de riego y fertirriego, con sistema de estanterías para un total de 500 charolas por módulo, en parcelas de productores cooperantes de las comunidades de Santa María Apaxco y Santa Ana Nextlalpan, Estado de México.

Con la finalidad de mostrar las bondades del sistema de producción de forraje verde hidropónico, se realizaron en los módulos demostrativos cuatro eventos de divulgación para la producción y manejo del cultivo de forraje verde hidropónico en condiciones de invernadero, en donde participaron 25 productores locales. En estos eventos demostrativos se indicó el proceso de producción desde la selección de la semilla hasta la cosecha del forraje verde.

Se elaboró una guía técnica para la producción de forraje verde hidropónico bajo condiciones de invernadero, para la zona de influencia del Distrito "Los Insurgentes", Estado de México.

INDICE

	Pág.
INDICE	4
Índice de Cuadros	5
Índice de Figuras	6
METAS	7
I. REVISIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO.	8
1.1 Información general	8
1.2 Ventajas y Desventajas del FVH	12
1.3 Métodos de Producción	15
1.4 Instalaciones	21
1.5 Factores que Influyen en la Producción	22
1.6 Fertilización en la producción de FVH	26
1.7 Resultados obtenidos en la alimentación animal a partir de FVH	29
1.8 Resumen para un sistema de producción de forraje verde hidropónico para el proceso de producción de forraje verde hidropónico (FVH).	30
II. ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO	34
III. OBTENCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS CLIMATOLÓGICOS DE LA ZONA DE ESTUDIO	36
IV. MÓDULOS DE INVERNADEROS Y EVENTOS DEMOSTRATIVOS	37
4.1 Instalación de los módulos demostrativos	37
4.2 Eventos demostrativos	39
V. CONCLUSIONES	40
VI. LITERATURA CONSULTADA	41
ANEXO. GUIA TÉCNICA PARA LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO PARA LA ZONA DE INFLUENCIA DEL DISTRITO DE RIEGO LOS INSURGENTES, ESTADO DE MÉXICO.	44

INDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1.1. Consumo de agua para producción de forraje en producción convencional (litros de agua/kg materia seca, en un promedio de 5 años.	12
Cuadro 1.2 Concentraciones de elementos esenciales para la producción de forraje verde en condiciones hidropónicas.	31
Cuadro 1.3. Cantidades de fertilizante comercial para preparar 1,000 litros de una solución nutritiva básica para producción de forraje verde hidropónico.	31
Cuadro 1.4 Procedimiento para la producción de forraje verde hidropónico.	33
Cuadro 2.1 Resultados de los análisis de salinidad de los puntos muestreados	35
Cuadro 2.2 Resultados de los análisis de contaminantes de los puntos muestreados	35
Cuadro 3.1 Temperaturas (°C) máximas, mínimas y medias mensuales, evaporación (mm) media mensual de las estaciones meteorológicas de El Tajo Tequixquiac y la estación del Km 46 + 930 Gran Canal. Para los años de 1972 a 1986	36

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Foto 1.1. Módulo de invernadero para producción de forraje verde hidropónico	9
Foto 1.2. Estantería y charolas para el desarrollo del cultivo	10
Foto 1.3. Forrajes verdes también para el consumo de conejos	11
Foto 1.4. Semillas recién germinadas dentro de la charola	16
Foto 1.5. Charolas con diferentes estados de desarrollo del cultivo	17
Foto 1.6. Semilla, raíz y plántula en la producción de FVH	18
Foto 1.7. Sistema de riego por nebulización en FVH	20
Foto 1.8. Módulo de producción de cuatro niveles	22
Foto 1.9. Tanque de agua con la solución nutritiva. Módulo de producción de forraje verde hidropónico del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. De México.	25
Fotos 2.1 y 2.2. Sitios para instalación de módulos demostrativos de forraje verde hidropónico. Con agua de pozo y agua filtrada.	34
Fotos. 4.1 y 4.2 Realización del trazo para la instalación del invernadero en los sitios seleccionados	37
Fotos. 4.3 y 4.4 Instalación y construcción del invernadero en los sitios seleccionados	38
Foto 4.5. Modulo de producción de forraje verde en Santa Ana Nextlalpan, Estado de México	38
Fotos 4.6 y 4.7 Evento demostrativo en la comunidad de Santa Ana Nextlalpan. En el lote de la Profesora Juana Clementina Pacheco Domínguez	39

METAS:

1. Instalar y construir tres módulos demostrativos de sistemas de producción de forraje verde hidropónico en condiciones de invernadero, incluyendo el sistema de riego y fertirriego, en parcelas de productores cooperantes.
2. Desarrollar capacidades en el manejo y operación de sistemas de producción de forraje verde hidropónico en condiciones de invernadero, a 20 productores mediante la realización de 4 eventos demostrativos.
3. Generar una guía de operación del riego y fertirriego, y de manejo del sistema de producción de forraje verde hidropónico en condiciones de invernadero.

I. REVISIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO.

Se obtuvo información internacional del manejo de cultivos forrajeros bajo condiciones de invernadero en condiciones hidropónicas.

1.1 Información general

El *forraje verde hidropónico* (FVH) es una tecnología de producción de biomasa vegetal obtenida a partir del crecimiento inicial de las plantas en los estados de germinación y crecimiento temprano de plántulas a partir de semillas viables. El FVH o “*green fodder hydroponics*” en un forraje vivo, de alta digestibilidad, calidad nutricional y muy apto para la alimentación animal.

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.

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

El proceso se realiza en recipientes planos y por un lapso de tiempo no mayor a los 12 o 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 que tiene por finalidad aportar los elementos químicos necesarios (especialmente el nitrógeno) necesarios para el óptimo crecimiento del forraje, así como también el de otorgarle, entre otras características, su alta palatabilidad, buena digestibilidad y excelente sustituto del alimento concentrado (Less, 1983; Hidalgo, 1985; Morales, 1987). El FVH es un sistema de producción de biomasa vegetal de alta sanidad y calidad nutricional producido muy rápidamente (9 a 15 días), en cualquier época del año y en cualquier localidad geográfica, siempre y cuando se establezcan las condiciones mínimas necesarias para ello. La tecnología FVH es complementaria y no competitiva a la producción convencional de forraje a partir de especies aptas (avena, mezclas de trébol y gramíneas, alfalfa, etc.) para cultivo forrajero convencional.

Dentro del contexto anterior, el FVH representa una alternativa de producción de forraje para la alimentación de corderos, cabras, terneros, vacas lecheras, caballos de carrera; otros

rumiantes; conejos, pollos, gallinas para producción de huevo y patos 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.



Foto 1.1. Módulo de invernadero para producción de forraje verde hidropónico



Foto 1.2. Estantería y charolas para el desarrollo del cultivo.

El FVH es un alimento (forraje vivo en pleno crecimiento) verde, de alta palatabilidad para Cualquier animal y excelente valor nutritivo (Chen, 1975; Less, 1983; Níguez, 1988; Santos, 1987; y Dosal, 1987). 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. El FVH ha demostrado ser una herramienta eficiente y útil en la producción animal. Entre los resultados prácticos más promisorios se ha demostrado:

- Aumento significativo de peso vivo en corderos precozmente destetados al suministrarles dosis crecientes de FVH hasta un máximo comprobado de 300 gramos de materia seca al día (Morales, 1987).
- Aumento de producción en aves domésticas (pollos, gallinas, patos, gansos, etc.) a partir del uso del FVH (Falen y Petersen, 1969 y Bull y Petersen, 1969 citados por Bravo Ruiz, 1988), lográndose sustituir entre un 30 a 40 % de la dosis de ración normal 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 (Sánchez, 1996 y 1997).

- Aumento de producción en vacas lecheras a partir del uso de FVH obtenido de semillas de avena y cebada cervecera existiendo también en este caso antecedentes en el uso del maíz, sorgo, trigo, arroz y triticale. (Sepúlveda, 1994).
- Sustitución en conejos, de hasta el 75% del concentrado por FVH de cebada sin afectar la eficiencia en la ganancia de peso alcanzándose el peso de faena (2,1 a 2,3 kg de peso vivo) a los 72 días. Estos resultados han tenido un alto impacto técnico, económico y social en Uruguay (Rincón de la Bolsa) posibilitando la generación de ingresos, la alimentación familiar y el mantenimiento de la producción a mini productores cunícolas afectados por los altos costos de los concentrados (Sánchez, 1997 y 1998).



Foto 1.3. Forrajes verdes también para el consumo de conejos.

La eficiencia del sistema de producción de FVH es muy alta. Estudios realizados en México (Lomelí 2000), con control del volumen de agua a aplicar, luz, nutrientes y CO₂ (anhídrido carbónico), demostraron que a partir de 22 kg de semillas de trigo es posible obtener en un área de 11,6 m² (1.89 kg semilla/m²) una óptima producción de 112 kg de FVH por día (9.65 kg FVH/m²/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 (Hidalgo, 1985; Morales, 1987; Pérez, 1987; Bravo, 1988; Valdivia, 1996; Sánchez, 1997; Arano, 1998).

1.2 Ventajas y Desventajas del FVH

Ventajas:

-Ahorro de agua. En el sistema de producción de FVH las pérdidas de agua por evapotranspiración, escurrimiento superficial e infiltración son mínimas al comparar con las condiciones de producción convencional en especies forrajeras, cuyas eficiencias varían entre 270 a 635 litros de agua por kg de materia seca (Cuadro 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% (Sánchez, 1997; Lomelí Zúñiga, 2000; Rodríguez, S. 2000). Esto se traduce en un consumo total de 15 a 20 litros de agua por kilogramo de materia seca obtenida en 14 días.

Cuadro 1.1. Consumo de agua para producción de forraje en producción convencional (litros de agua/kg materia seca, en un promedio de 5 años.

Cultivo	l/kg
Avena	635
Cebada	521
Trigo	505
Maíz	372
Sorgo	271

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

Esta alta eficiencia del FVH en el ahorro de agua explica por qué los principales desarrollos de la hidroponía se hallan observado y se observen generalmente en países con zonas desérticas, a la vez que vuelve atractiva la alternativa de producción de FVH por parte de pequeños productores que son afectados por pronunciadas sequías, las cuales llegan a afectar la disponibilidad inclusive, de agua potable para el consumo.

-Eficiencia en el uso del espacio.

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

-Eficiencia en el tiempo de producción.

La producción de FVH apto para alimentación animal tiene un ciclo de 10 a 12 días. En ciertos casos, por estrategia de manejo interno de los establecimientos, la cosecha se realiza a los 14 o 15 días, a pesar que el óptimo definido por varios estudios científicos, no puede extenderse más allá del día 12. Aproximadamente a partir de ese día se inicia un marcado descenso en el valor nutricional del FVH (Bonner y Galston, 1961; Koller, 1962; Simon y Meany, 1965; Fordham et al, 1975, citados todos ellos por Hidalgo, 1985.)

- Calidad del forraje para los animales.

El FVH es un suculento forraje verde de aproximadamente 20 a 30 cm de altura (dependiendo del período de crecimiento) y de plena aptitud comestible para nuestros animales (Less, 1983, citado por Pérez, 1987). Su alto valor nutritivo lo obtiene debido a la

germinación de los granos (Arano, 1976 citado por Resh, 1982; Chen, 1975; Chen, Wells y Fordham, 1975 citados por Bravo, 1988).

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

- *Inocuidad.* El FVH producido de acuerdo a las indicaciones que serán presentadas en este manual, representa un forraje limpio e inocuo sin la presencia de hongos e insectos. Nos asegura la ingesta de un alimento conocido por su valor alimenticio y su calidad sanitaria. A través del uso del FVH los animales no comerán hierbas o pasturas indeseables que dificulten o perjudiquen los procesos de metabolismo y absorción. Tal es el caso de un hongo denominado comúnmente “cornezuelo” que aparece usualmente en el centeno, el cual cuando es ingerido por hembras preñadas induce al aborto inmediato con la trágica consecuencia de la pérdida del feto y hasta de la misma madre. Asimismo en vacas lecheras, muchas veces los animales ingieren malezas que transmiten a la leche sabores no deseables para el consumidor final o no aceptados para la elaboración de quesos, artesanales fundamentalmente (Sánchez, 1997).

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

- *Costos de producción.* Las inversiones necesarias para producir FVH dependerán del nivel y de la escala de producción. El análisis de costos de producción de FVH, que se presenta por su importancia en una sección específica del manual, revela que considerando los riesgos de sequías, otros fenómenos climáticos adversos, las pérdidas de animales y los costos unitarios del insumo básico (semilla) el FVH es una alternativa económicamente viable que merece ser considerada por los pequeños y medianos productores. En el desglose de los costos se aprecia la gran ventaja que tiene este sistema de producción por su significativo bajo nivel 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.

Investigaciones recientes sostienen que la rentabilidad de la producción del FVH es lo suficientemente aceptable como para mejorar las condiciones de calidad de vida del productor con su familia, favoreciendo de este modo su desarrollo e inserción social, a la vez de ir logrando una paulatina reconversión económica – productiva del predio (ejemplo: la producción de conejos alimentados con FVH integrada a horticultura intensiva (Sánchez, 1997y 1998).

-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 ha. de avena de corte que pueden ser destinadas a la producción alternativa en otros rubros o para rotación de largo plazo (opinión de Productor de Melipilla, 1998, Chile) y dentro de programas de intensificación sostenible de la agricultura. 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.

Desventajas

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

-Desinformación y sobrevaloración de la tecnología.

Proyectos de FVH preconcebidos como “llave en mano” son vendidos a productores sin conocer exactamente las exigencias del sistema, la especie forrajera y sus variedades, su comportamiento productivo, plagas, enfermedades, requerimientos de nutrientes y de agua, óptimas condiciones de luz, temperatura, humedad ambiente, y niveles óptimos de concentración de CO₂. Innumerables de estos proyectos han sufrido significativos fracasos por no haberse accedido a una capacitación previa que permita un correcto manejo del sistema. Se debe tener presente que, por ejemplo, para la producción de forraje verde hidropónico sólo precisamos un fertilizante foliar quelatizado el cual contenga, aparte de los macro y micro nutrientes esenciales, un aporte básico de 200 partes por millón de nitrógeno. Asimismo el FVH es una actividad continua y exigente en cuidados lo que implica un compromiso concreto del productor. La falta de conocimientos e información simple y directa, se transforma en desventaja, al igual que en el caso de la tecnología de hidroponía familiar (Marulanda e Izquierdo, 1993).

-Costo de instalación elevado.

Morales (1987), cita que una desventaja que presenta este sistema sería el elevado costo de implementación. Sin embargo, se ha demostrado (Sánchez, 1996, 1997) que utilizando estructuras de invernaderos hortícolas comunes, se logran excelentes resultados. Alternativamente, productores agropecuarios de otros países como Brasil han optado por la producción de FVH directamente colocado a piso sobre plástico negro y bajo microtúneles, con singular éxito. La práctica de esta metodología a piso y en túnel es quizás la más económica y accesible.

1.3 Métodos de Producción

Los métodos de producción de FVH cubren un amplio espectro de posibilidades y oportunidades. Existen casos muy simples en que la producción se realiza en franjas de semillas pre-germinadas colocadas directamente sobre plásticos de 1 m de ancho colocadas en el piso y cubiertas, dependiendo de las condiciones del clima, con túneles de plástico; invernaderos en los cuales se han establecido bandejas en pisos múltiples obteniéndose varios pisos de plantación por metro cuadrado; hasta métodos sofisticados conocido como: “Fábricas de forraje” donde, en estructuras “container” cerradas, totalmente automatizadas y climatizadas, el FVH se produce a partir del trabajo de un operario que sólo se remite a sembrar y cosechar mientras que todos los demás procesos y controles son realizados en forma automática.

El cultivo puede estar instalado en bandejas de plástico provenientes del corte longitudinal de envases desechables; estantes viejos de muebles a los cuales se les forra con plástico; bandejas de fibra de vidrio, de madera pintada o forrada de plástico, las cuales a veces son hechas especialmente para esto; en cajones de desecho provenientes de barcos y/o plantas procesadoras de pescado, a los que se les reduce la altura por ser demasiado altos, o en los más sofisticados sistemas automatizados por computadora que se conocen en el presente.

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

-Selección de las especies de granos utilizados en FVH. Esencialmente se utilizan granos de: cebada, avena, maíz, trigo y sorgo. La elección del grano a utilizar depende de la disponibilidad local y/o del precio a que se logren adquirir. La producción de FVH utilizando semillas de alfalfa no es tan eficiente como con los granos de gramíneas debido a que su manejo es muy delicado y los volúmenes de producción obtenidos son similares a la producción convencional de forraje.



Foto 1.4. Semillas recién germinadas dentro de la charola

-Selección de la Semilla: En términos ideales, se debería usar semilla de buena calidad, de origen conocido, adaptadas a las condiciones locales, disponibles y de probada germinación y rendimiento. Sin embargo, por una razón de eficiencia y costos, el productor puede igualmente producir FVH con simiente de menor calidad pero manteniendo un porcentaje de germinación adecuado. Si los costos son adecuados, se deben utilizar las semillas de los cultivos de grano que se producen a nivel local. Es muy conveniente también que las semillas elegidas para nuestra producción de forraje, se encuentren libres de piedras, paja, tierra, semillas partidas las que son luego fuente de contaminación, semillas de otras plantas y fundamentalmente saber que no hayan sido tratadas con curasemillas, agentes pre emergentes o algún otro pesticida tóxico.



Foto 1.5. Charolas con diferentes estados de desarrollo del cultivo

-Lavado de la semilla: Las semillas deben lavarse y desinfectarse con una solución de hipoclorito de sodio al 1% (“solución de lejía”, preparada diluyendo 10 ml de hipoclorito de sodio por cada litro de agua). El lavado tiene por objeto eliminar hongos y bacterias contaminantes, liberarlas de residuos y dejarlas bien limpias (Rodríguez, Chang, Hoyos, 2000). El desinfectado con el hipoclorito elimina prácticamente los ataques de microorganismos patógenos al cultivo de FVH. El tiempo que dejamos las semillas en la solución de hipoclorito, no debe ser menor a 30 segundos ni exceder de los tres minutos. El dejar las semillas mucho más tiempo puede perjudicar la viabilidad de las mismas causando importantes pérdidas de tiempo y dinero. Finalizado el lavado procedemos a un enjuague riguroso de las semillas con agua limpia.



Foto 1.6. Semilla, raíz y plántula en la producción de FVH

-Remojo y germinación de las semillas. Esta etapa consiste en colocar las semillas dentro de una bolsa de tela y sumergirlas completamente en agua limpia por un período no mayor a las 24 horas para lograr una completa imbibición. Este tiempo lo dividiremos a su vez en 2 períodos de 12 horas cada uno. A las 12 horas de estar las semillas sumergidas procedemos a sacarlas y orearlas (escurrirlas) durante 1 hora. Acto seguido las sumergimos nuevamente por 12 horas para finalmente realizarles el último oreo. Mediante este fácil proceso estamos induciendo la rápida germinación de la semilla a través del estímulo que estamos efectuando a su embrión. Esta pre germinación nos asegura un crecimiento inicial vigoroso del FVH, dado que sobre las bandejas de cultivo estaremos utilizando semillas que ya han brotado y por lo tanto su posterior etapa de crecimiento estará más estimulada. El cambiar el agua cada 12 horas facilita y ayuda a una mejor oxigenación de las semillas.

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

Debemos recordar que la etapa de remojo o pre germinación debe ser realizada con las semillas colocadas dentro de bolsas de arpillera o plastillera, las cuales sumergimos en

bidones o recipientes de material plástico no debiéndose usar recipientes metálicos dado que pueden liberar residuos u óxidos que son tóxicos para las semillas en germinación. Es importante utilizar suficiente cantidad de agua para cubrir completamente las semillas y a razón de un mínimo de 0,8 a 1 litro de agua por cada kilo de semilla.

Dosis de Siembra. Las dosis óptimas de semillas a sembrar por metro cuadrado oscilan entre 2.2 kilos a 3.4 kilos considerando que la disposición de las semillas o "siembra" no debe superar los 1,5 cm de altura en la bandeja.

Siembra en las bandejas e inicio de los Riegos. Realizados los pasos previos, se procederá a la siembra definitiva de las semillas en las bandejas de producción. Para ello se distribuirá una delgada capa de semillas pre-germinadas, la cual no deberá sobrepasar los 1,5 cm de altura o espesor. Luego de la siembra se coloca por encima de las semillas una capa de papel (periódico o revistas) el cual también se moja. Posteriormente tapamos todo con un plástico negro recordando que las semillas deben estar en semi oscuridad en el lapso de tiempo que transcurre desde la siembra hasta su germinación o brotación. Mediante esta técnica le estamos proporcionando a las semillas condiciones de alta humedad y una óptima temperatura para favorecer la completa germinación y crecimiento inicial. Recordemos que el FVH es una biomasa que se consumirá dentro de un período muy reducido de tiempo. Una vez detectada la brotación completa de las semillas retiramos el plástico negro y el papel.

Riego de las bandejas. El riego de las bandejas de crecimiento del FVH debe realizarse sólo a través de microaspersores, nebulizadores y hasta con una sencilla pulverizadora o "mochila" de mano. El riego por inundación no es recomendado dado que causa generalmente excesos de agua que estimulan la asfixia radicular, ataque de hongos y pudriciones que pueden causar inclusive la pérdida total del cultivo. Al comienzo (primeros 4 días) no deben aplicarse más de 0,5 litros de agua por metro cuadrado por día hasta llegar a un promedio de 0,9 a 1,5 litros por metro cuadrado.

Recomendar una dosis exacta de agua de riego según cada especie de FVH resulta muy difícil, dado que dependerá del tipo de infraestructura de producción disponible. Es importante recordar que las cantidades de agua de riego deben ser divididas en varias aplicaciones por día. Lo usual es entregarle el volumen diario dividido en 6 o 9 veces en el transcurso del día, teniendo éste una duración no mayor a 2 minutos. El agua a usar debe estar convenientemente oxigenada y por lo tanto los mejores resultados se obtienen con la pulverización o aspersión sobre el cultivo o en el caso de usar riego por goteo, poseer un sistema de burbujeo en el estanque que cumpla con la función de oxigenación del agua. En los sistemas hidropónicos con control automático, el riego se realiza mediante aspersiones muy reducidas por 10 minutos, cada 6 horas Less (1983) citado por Hidalgo (1985).

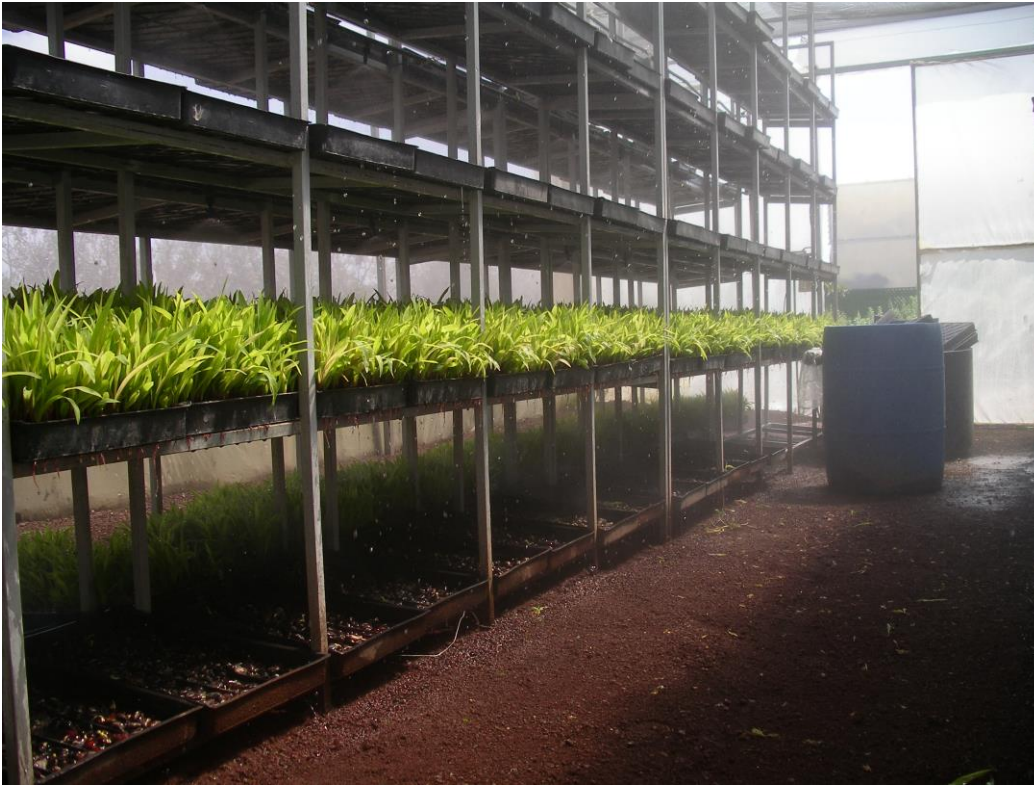


Foto 1.7. Sistema de riego por nebulización en FVH

Riego con Solución Nutritiva. Apenas aparecidas las primeras hojas, entre el 4° y 5° día, se comienza el riego con una solución nutritiva. Recordemos brevemente que el Manual FAO “La Huerta Hidropónica Popular” (Marulanda e Izquierdo, 1993), indica que la solución nutritiva allí expuesta se puede utilizar para la producción de FVH a una concentración de “¼ full”, es decir, por cada litro de agua usamos 1.25 cc de solución concentrada “A” y 0.5 cc de solución concentrada “B”.

Finalmente no debemos olvidar que cuando llegamos a los días finales de crecimiento del FVH (días 12 o 13) se aplicará un sobrieriego con agua (sin fertilizante) para eliminar todo rastro de sales minerales que pudieran haber quedado sobre las hojas y/o raíces. El volumen por aplicar, puede ser el doble del que se venía aplicando, es decir, si estábamos aplicando 1 litro de solución nutritiva por metro cuadrado y por día, el día 12 y 13 aplicaremos 2 litros por metro cuadrado y por día.

Cosecha y rendimientos: En términos generales, entre los días 12 a 14, se realiza la cosecha del FVH. Sin embargo si estamos necesitados de forraje, podemos efectuar una cosecha anticipada a los 8 o 9 días. Trabajos de validación de tecnología sobre FVH realizados en Rincón de la Bolsa, Uruguay en 1996 y 1997, han obtenido cosechas de FVH con una altura promedio de 30 cm y una productividad de 12 a 18 kilos de FVH producidos por cada kilo de semilla utilizada a los 15 días de instalado el cultivo y en una situación climática favorable para el desarrollo del mismo. Asimismo, un máximo de 22 kilos de FVH por cada kilo de semilla de cebada cervecera fueron obtenidos a los 17 días, utilizando riegos con la solución nutritiva de FAO al 50% (2.5 cc de “A” y 1 cc de “B” a partir del 4° día y

hasta el día 15) por productores del mismo grupo. Sin embargo, esta alta productividad de biomasa fue obtenida a costa de una pérdida en la calidad nutricional del FVH.

La mayor riqueza nutricional de un FVH se alcanza entre los días 7° y 8° por lo que un mayor volumen y peso de cosecha debe ser compensado con la calidad dado que el factor tiempo pasaría a convertirse en un elemento negativo para la eficiencia de la producción (Níquez, 1988). Se ha documentado que períodos de tiempo de 7 a 10 días son más que suficientes para completar el ciclo en un cereal sembrado para forraje hidropónico, Less (1983), Peer y Lesson (1985), Santos (1987) y Dosal (1987). Ciclos más largos no serían convenientes debido a la disminución de materia seca y de calidad en general del FVH resultante.

La cosecha del FVH comprende el total de la biomasa que se encuentra en la bandeja o franja de producción. Esta biomasa comprende a las hojas, tallos, el abundante colchón radicular, semillas sin germinar y semillas semi germinadas.

Todo esto forma un sólo bloque alimenticio, el cual es sumamente fácil de sacar y de entregar a los animales en trozos, desmenuzado o picado, para favorecer una fácil ingesta y evitar rechazos y pérdidas de forraje en el suelo. Se recomienda utilizar el FVH recién cosechado, sin embargo, no existen problemas sanitarios de conservación por unos cuantos días (Sánchez, 1997), salvo el asociado a un descenso de la calidad nutricional.

1.4 Instalaciones

La localización de una construcción para producción de FVH no presenta grandes requisitos. Como parte de una buena estrategia, la decisión de iniciar la construcción de instalaciones para FVH debe considerar previamente que la unidad de producción de FVH debe estar ubicada en una zona de producción animal o muy próxima a ésta; y que existan períodos de déficit nutricional a consecuencia de la ocurrencia de condiciones agrometeorológicas desfavorables para la producción normal de forraje (sequías recurrentes, inundaciones) o simplemente suelos malos o empobrecidos.

Para iniciar la construcción se debe nivelar bien el suelo; buscar un sitio que esté protegido de los vientos fuertes; que cuente con disponibilidad de agua de riego de calidad aceptable para abastecer las necesidades del cultivo; y con fácil acceso a energía eléctrica. Existe un amplio rango de posibilidades para las instalaciones que va desde aquellas más simples construidas artesanalmente con palos y plástico, hasta sofisticados modelos digitalizados en los cuales casi no se utiliza mano de obra para la posterior producción de FVH. En los últimos años se han desarrollado métodos operativos con modernos instrumentos de medición y de control (relojes, medidores del pH, de conductividad eléctrica y controladores de la tensión de CO₂).



Foto 1.8. Módulo de producción de cuatro niveles

1.5 Factores que Influyen en la Producción

Se refiere a todas aquellas variables que por su significativa importancia, condicionan en la mayoría de las veces, el éxito o fracaso de un emprendimiento hidropónico.

Calidad de la Semilla. El éxito del FVH comienza con la elección de una buena semilla, tanto en calidad genética como fisiológica. Si bien todo depende del precio y de la disponibilidad, la calidad no debe ser descuidada. La semilla debe presentar como mínimo un porcentaje de germinación no inferior al 75% para evitar pérdidas en los rendimientos de FVH. El usar semillas de mala calidad, o cultivares desconocidos, puede constituir una falsa economía y tal como se planteó antes, hacer fracasar totalmente el nuevo emprendimiento.

En resumen, el productor de FVH deberá tener presente que el porcentaje mínimo de germinación de la semilla debe ser en lo posible mayor o igual a 70 - 75%; que la semilla a utilizar debe estar limpia y tratada con una solución de hipoclorito de sodio al 1% a través de un baño de inmersión, el cual debe durar como máximo 3 minutos; y que el lote de semillas no debería contener semillas partidas ni semillas de otros cultivares comerciales.

Iluminación: Si no existiera luz dentro de los recintos para FVH, la función fotosintética no podría ser cumplida por las células verdes de las hojas y por lo tanto no existiría producción

de biomasa. La radiación solar es por lo tanto básica para el crecimiento vegetal, a la vez que promotora de la síntesis de compuestos (por ejemplo: Vitaminas), los cuales serán de vital importancia para la alimentación animal.

Al comienzo del ciclo de producción de FVH, la presencia de luz durante la germinación de las semillas no es deseable por lo que, hasta el tercer o cuarto día de sembradas, las bandejas, deberán estar en un ambiente de luz muy tenue pero con oportuno riego para favorecer la aparición de los brotes y el posterior desarrollo de las raíces. A partir del 3er ó 4to. día iniciamos el riego con solución nutritiva y exponemos las bandejas a una iluminación bien distribuida pero nunca directa de luz solar. Una exposición directa a la luz del sol puede traer consecuencias negativas (aumento de la evapotranspiración, endurecimiento de las hojas, quemaduras de las hojas), en los dos últimos días del proceso de producción, se exponen las bandejas a la acción de la luz para lograr, como cosa primordial, que el forraje obtenga su color verde intenso característico y por lo tanto complete su riqueza nutricional óptima. Si la opción de producción es exclusivamente en recintos cerrados sin luz natural, tendremos entonces que pensar en una iluminación artificial en base a tubos fluorescentes.

Para el cálculo de la iluminación debe considerarse que el FVH sólo requiere una intensidad lumínica de 1.000 a 1.500 microwatts/cm² en un período de aproximadamente 12 a 14 horas diarias de luz. El uso de la luz solar es siempre la más recomendable, por lo que se debe agudizar el ingenio para lograr un máximo aprovechamiento de la luz solar y por consecuencia lograr menores costos de producción, prioridad básica para cualquier proyecto de producción de FVH. Esto puede estar facilitado con una orientación de las instalaciones de Este a Oeste, favoreciendo de este modo la construcción de aberturas en estructuras preexistentes, etc.

Temperatura: La temperatura es una de las variables más importantes en la producción de FVH. Ello implica efectuar un debido control sobre la regulación de la misma. El rango óptimo para producción de FVH se sitúa siempre entre los 18° C y 26 ° C. La variabilidad de las temperaturas óptimas para la germinación y posterior crecimiento de los granos en FVH es diverso. Es así que los granos de avena, cebada, y trigo, entre otros, requieren de temperaturas bajas para germinar. El rango de ellos oscila entre los 18°C a 21°C. Sin embargo el maíz, muy deseado por el importante volumen de FVH que produce, aparte de su gran riqueza nutricional, necesita de temperaturas óptimas que varían entre los 25°C y 28 °C (Martínez, E. 2001; comunicación personal). Cada especie presenta requerimientos de temperatura óptima para germinación lo que se suma a los cuidados respecto a la humedad. En las condiciones de producción de FVH, la humedad relativa ambiente es generalmente cercana al 100%. A medida que aumenta la temperatura mínima de germinación, el control del drenaje de las bandejas es básico para evitar excesos de humedad y la aparición de enfermedades provocadas por hongos. La presencia de estos microorganismos puede llegar a ser la causa de fracasos de producción por lo que la vigilancia a cualquier tipo de situación anómala, debe constituirse en rutina de nuestra producción. El ataque de los hongos usualmente resulta fulminante y puede en cuestión de horas arrasarse con toda nuestra producción, y quedarnos sin alimento para el ganado. Tener una buena aireación del local, así como riegos bien dosificados son un excelente manejo contra este tipo de problemas.

Una herramienta importante que debe estar instalada en los locales de producción es un termómetro de máxima y mínima que permitirá llevar el control diario de temperaturas y detectar rápidamente posibles problemas debido a variaciones del rango óptimo de la misma.

Lo ideal es mantener siempre en el recinto de producción, condiciones de rango de temperatura constante. Para ello, en el caso de climas o épocas del año muy frías, tendremos que implementar un sistema de calefacción en nuestro ambiente, y viceversa, en climas o estaciones del año de muy altas temperaturas, habrá que ventilarlo al extremo o enfriarlo. Usualmente la calefacción dentro del recinto de producción, viene dada por la inclusión de estufas de aserrín. El número de éstas está en función de la intensidad del frío que exista, y de la temperatura a la cual pretendamos alcanzar. (Schneider, A. 1991). Por su parte el abatimiento de altas temperaturas puede obtenerse a través de la colocación de malla sombra y/o conjuntamente con la instalación de aspersores sobre el techo del invernadero. Si podemos instalar nuestro sistema de producción de FVH en ambientes aislados de los cambios climáticos exteriores, nuestra producción se verá optimizada.

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

Calidad del agua de riego. La calidad de agua de riego es otro de los factores singulares en nuestra ecuación de éxito. La condición básica que debe presentar un agua para ser usada en sistemas hidropónicos es su característica de potabilidad. Su origen puede ser de pozo, de lluvia, o agua corriente del servicio doméstico. Si el agua disponible no es potable, tendremos problemas sanitarios y nutricionales con el FVH.

Para el caso en que la calidad del agua no sea la más conveniente, será imprescindible realizar un detallado análisis químico de la misma, y en base a ello reformular nuestra solución nutritiva, así como evaluar que otro tipo de tratamiento tendría que ser efectuado para asegurar su calidad (filtración, decantación, asoleo, acidificación o alcalinización). La calidad de agua no puede ser descuidada y existen casos donde desconocer su importancia ha sido causa de fracasos y pérdidas de tiempo. Un ejemplo de esto lo constituye una experiencia llevada a cabo en el Departamento de Rocha –Uruguay – donde la utilización de una fuente de agua proveniente del drenaje del lugar, provocó una muy severa aparición de enfermedades fungosas, al igual que una elevada presencia de colibacilos fecales en el cultivo. Ramos (1999), establece criterios en el uso de aguas para cultivos hidropónico respecto a: i) contenido en sales y elementos fitotóxicos (sodio, cloro y boro); ii) contenido de microorganismos patógenos; iii) concentración de metales pesados; y iv) concentración de nutrientes y compuestos orgánicos.



Foto 1.9. Tanque de agua con la solución nutritiva. Módulo de producción de forraje verde hidropónico del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. De México.

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

-Conductividad. La conductividad eléctrica del agua (CE) nos indica cual es la concentración de sales en una solución. En nuestro caso, nos referiremos siempre a la solución nutritiva que se le aplica al cultivo. Su valor se expresa en miliSiemens por centímetro (mS/cm) y se mide con un conductímetro previamente calibrado. En términos físico-químicos la CE de una solución significa una valoración de la velocidad que tiene un flujo de corriente eléctrica en el agua. Un rango óptimo de CE de una solución nutritiva estaría en torno de 1,5 a 2,0 mS/cm. Por lo tanto, aguas con CE menores a 1,0 serían las más aptas para preparar nuestra solución de riego. Debe tenerse presente también que el contenido de sales en el agua no debe superar los 100 miligramos de carbonato de calcio por litro y que la concentración de cloruros debe estar entre 50 – 150 miligramos por litro de agua (Ramos,C; 1999). Uno de los principales problemas que ocurre en el riego localizado (goteo, microaspersión), es la obturación de los emisores por los sólidos en suspensión de las aguas de riego. En general la cloración y un buen filtrado resuelven estos problemas. Se ha encontrado que se puede mantener una operación adecuada de la mayoría de los emisores

ensayados, mediante una cloración diaria durante una hora, o cada 3 días con la aplicación de 1 mg/l de cloro residual combinado con un filtrado a través de filtros de 80 mesh (diámetro de los poros de 120 micras). Tajrishy et al, 1994 citado por Ramos, C. 1999, encontraron que en goteros de 4 litros/hora, una cloración continua a una concentración de 0,4 mg/litro de cloro residual, impidió la formación de obturaciones de origen biológico. Una buena revisión del problema de la obturación de goteros en relación a la calidad del agua es la de Nakayama y Bucks, (1991).

Hay que tener en cuenta que si se utilizan aguas residuales para hidroponía, éstas tendrán muchos sólidos en suspensión, por lo que la frecuencia de limpieza de los filtros es mayor que en el caso de las aguas para consumo humano.

-CO₂. El poder controlar la concentración del anhídrido carbónico dentro del ambiente de producción del FVH, ofrece una excelente oportunidad para aumentar la producción del forraje, a través de un incremento de la fotosíntesis. Se pretende de esta manera provocar un aumento significativo en la cosecha del FVH, a través del control atmosférico dentro del local de producción. El control se ejerce mediante controladores automáticos los cuales enriquecen constantemente el ambiente interno con altos niveles de anhídrido carbónico, promoviendo una mayor fotoasimilación celular y el aumento de la masa vegetal. A título informativo, la NASA ha experimentado con singulares resultados positivos la práctica de suministro de CO₂ a cultivos hidropónicos obteniéndose un excelente aumento en la producción de biomasa vegetal (Arano, 1998).

1.6 Fertilización en la producción de FVH

Según diversos autores, Hidalgo (1985), Dosal (1987), el uso de fertilización en la producción de FVH resulta positiva como para recomendar su uso. Dosal (1987), probando distintas dosis de fertilización en avena, encontró los mejores resultados en volumen de producción y valor nutritivo del FVH cuando se utilizó 200 ppm de nitrógeno en la solución nutritiva. El mismo autor señala que la pérdida de materia seca durante los primeros 11 días es menor en todos los tratamientos con fertilización nitrogenada (100; 200 y 400 de nitrógeno) que en el caso del testigo (sin fertilizar). El tratamiento de 200 ppm presentó a los 11 días un 94 % de materia seca respecto al primer día, mientras que en el día 15, marcó tan solo 76 %.

Preparación de Soluciones Nutritivas:

La solución nutritiva final, comúnmente llamada también solución concentrada de riego se prepara, en el caso de la fórmula utilizada por Hidalgo, en base a los aportes realizados por una única solución madre. Este es un procedimiento sencillo y rápido, lo cual denota que para la producción de FVH no se necesitan grandes y complicados procedimientos. También el uso de un fertilizante multicompuesto (de alto tenor de N), es suficiente para el crecimiento del FVH. Si éste se presenta en forma quelatizada resulta aún mucho más efectivo para el cultivo. La fórmula FAO, se prepara a través de una mezcla de soluciones nutritivas madres o concentradas, llamadas "A" y "B" respectivamente. Las sales y las cantidades necesarias para preparar la Solución "A".

Solución Concentrada "A" Sal mineral

Fosfato Mono Amónico:	340 gramos
Nitrato de Calcio:	2.080 gramos

Nitrato de Potasio: 1.100 gramos

Fuente: Manual "La Huerta Hidropónica Popular". FAO, 1997.

Estas cantidades se diluyen en agua potable, hasta alcanzar los 10 litros. Es muy conveniente que el agua a utilizar se encuentre entre los 21° y 24°C dado que la disolución es mucho más rápida y efectiva. Las sales se van colocando y mezclando en un recipiente de plástico de a una y por su orden para obtener la Solución Concentrada "A". Las sales y cantidades necesarias para preparar la solución "B" se presentan a continuación:

Solución Concentrada "B" Sal mineral

Sulfato de Magnesio:	492 gramos
Sulfato de Cobre:	0,48 gramos
Sulfato de Manganeso:	2,48 gramos
Sulfato de Zinc:	1,20 gramos
Acido Bórico:	6,20 gramos
Molibdato de Amonio:	0,02 gramos
Quelato de Hierro:	50 gramos

Fuente: Manual "La Huerta Hidropónica Popular". FAO, 1996.

La dilución se hace también con agua, pero hasta alcanzar un volumen final de 4 litros de solución. Para el mezclado de las sales usamos las mismas recomendaciones que para el primer caso, no olvidando lo anteriormente mencionado sobre la conductividad eléctrica del agua y el pH. Una vez que tenemos las 2 soluciones, procedemos al tercer paso que es preparar la solución de riego final o solución nutritiva. Debemos recordar la recomendación de no mezclar las soluciones A y B sin la presencia de agua. Esto significa que primero agregamos el agua, luego la Solución "A", revolvemos muy bien, y finalmente agregamos la Solución "B". El no cumplimiento de este simple paso, ha llevado en un número muy grande de casos al fracaso de los cultivos, así como a la generación de grandes problemas técnicos. La persona encargada de preparar la solución tiene que cumplir exactamente con las reglas de elaboración de la misma. El proceso para la elaboración de la solución nutritiva con destino a la producción de FVH finaliza de la siguiente forma:

POR CADA LITRO DE AGUA SE AGREGAN 1,25 cc DE SOLUCIÓN "A" Y 0,5 cc DE SOLUCIÓN "B".

Debemos recordar que las sales a ser utilizadas deben ser altamente solubles. A mayor grado de pureza de la sal, mayor será la solubilidad y por lo tanto mayores serán los beneficios nutricionales hacia nuestros cultivos del FVH. Otro factor a tener muy presente es el hecho que existen iones como el hierro (Fe), los cuales por su propias características y a medida que pasa el tiempo, se vuelven difíciles de absorber por las raíces. Por lo tanto se tendrán que usar en su forma quelatizada para que su asimilación sea eficiente y eficaz. En el mercado existen formulaciones comerciales con hierro quelatizado los cuales ya tienen una riqueza de Fe del 6%. Si el agua con la cual vamos a preparar la solución nutritiva no tiene una calidad conocida, es recomendable su análisis químico para determinar su riqueza mineral, conductividad eléctrica y pH. Aquellas aguas que resulten con valores de más de 2 o

2,5 mS/cm debemos obligatoriamente descartarlas, salvo que las corriamos con agua limpia de lluvia.

Un buen método de corrección de la conductividad eléctrica del agua, es el llamado “curado”. El mismo consiste en colocar el agua de nuestra fuente (pozo manantial, entubado, etc.) en un tanque tratado con pintura “epoxi” o similar (si los volúmenes a utilizar no son muy elevados, podremos usar tanques plásticos). El tamaño del tanque tiene que estar de acuerdo a nuestras necesidades mínimas. Al cabo de 8 a 14 días, el agua ya habrá decantado todos sus excesos de sales. En esta situación, sacamos toda el agua por encima de esa decantación sólida de sales hacia otro tanque de plástico o similar. Estos procedimientos que pueden ser vistos como engorrosos, son necesarios para asegurarnos de la buena calidad del agua de riego para la producción de FVH.

Efectos de la Fertilización Nitrogenada

La fertilización del FVH utilizando agua de riego conteniendo 200 ppm de nitrógeno como mínimo, tiene efectos principales durante el proceso de crecimiento del FVH: *Proteína Bruta (PB)*. El contenido de PB (g/m²) al cabo de 15 días de crecimiento, tiende a aumentar a medida que se incrementa el contenido de N de la solución nutritiva, (hasta valores de 200 ppm). Una concentración mayor, (por ejemplo 400 ppm), no aumenta el aporte proteico, si no que por el contrario, lo disminuyó en aproximadamente 13,6 % respecto del tratamiento anterior. Esto equivale a 59 g/m² de proteína (base materia seca) (Dosal, 1987). La mencionada disminución de proteína, asociada a altos niveles de fertilización nitrogenada, podría indicarnos un posible efecto de toxicidad o desbalance con otros nutrientes, lo que a su vez, sería la causa de una menor producción de fitomasa.

Proteína Verdadera (PV). La proteína verdadera (g/m²) disminuye a través del tiempo, observándose una reducción del aporte proteico del FVH en relación al aporte del grano, independientemente del tipo de solución nutritiva utilizada durante los 15 días en que se desarrolló el cultivo.

Los incrementos de la proteína bruta observadas en algunos tratamientos con fertilización, serían consecuencia de un aumento del nitrógeno no proteico el que sería aportado por la solución nutritiva de riego, y no debido a un aumento en los niveles de la proteína verdadera al cabo de los 15 días del experimento. Esto también nos indica que al cabo de 7 días el cultivo de FVH ya estaría haciendo uso del nitrógeno aportado por la solución nutritiva de riego, el cual además sería utilizado para la síntesis de nuevas proteínas. Sin embargo, el acelerado desarrollo que experimenta el FVH a partir de estas fechas, repercutiría al cabo de la segunda semana en una pérdida proteica debido a un posible balance negativo entre fotosíntesis y respiración.

Los experimentos de Dosal (1987), indican que riegos con dosis de 200 ppm y 400 ppm, presentan al término de la primera semana, un mayor contenido proteico (PB y PV) que el Testigo (grano sin fertilización). Esto estaría confirmando que la mayor proporción de los cambios que originan el aumento del valor nutritivo del FVH, ocurren en los primeros siete días desde la siembra (Koller, 1962; Fordhan et al, 1975; citados por Dosal, 1987).

Pared Celular (P.C). La pared celular tiende a disminuir en el follaje a medida que pasa el tiempo, mientras que en el sistema radicular aumenta (Dosal (1987) e Hidalgo (1985). Analizando los datos totales (pared celular de follaje más sistema radicular), se observa que la P.C. aumenta en términos muy interesantes respecto al grano.

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

Digestibilidad Estimada (D.E). En líneas generales la digestibilidad estimada presenta una disminución en relación al grano luego de dos semanas, independiente del tratamiento nitrogenado e indistintamente de la fórmula empleada para su determinación (Dosal, 1987). Para un FVH de cebada, Less (1983); Peer y Lesson (1985) y Santos (1987), demostraron que los valores de digestibilidad a los 8 días de cultivo, es de aproximadamente un 82 % con respecto al grano.

1.7 Resultados obtenidos en la alimentación animal a partir de FVH

Los resultados más impactantes y significativos que se han obtenido a través de la producción y consumo de FVH se encuentran en los vacunos, especialmente en el ganado lechero. No obstante ello, también encontramos alentadores resultados en:

- ✚ Terneros para engorde;
- ✚ Corderos;
- ✚ Conejos (producción de pelo y carne);
- ✚ Caballos;

Resultados obtenidos en vacas lecheras. Las condiciones del ensayo fueron las siguientes: i) 1ª semana- se determinó la producción en kilos de leche antes del FVH, ii) 2da y 3a semana: se determinó la producción en kilos de leche con cantidades diarias crecientes de FVH y iii) 4a a 8ª Semana: Ensayo propiamente dicho. Como vemos en las dos gráficas siguientes (Figuras 2 y 3) los resultados son aceptables en favor del uso de FVH tanto sea en la producción de leche como en la cantidad de grasa obtenida. El FVH que se utilizó era de cebada.

Ratificando estos resultados (Lomelí Zúñiga, Agroicultura México 2000) ha obtenido resultados de producción lechera que demuestran diferencias notorias a favor del uso de FVH en ganado lechero. En resumen sus ensayos demuestran: a) la producción de leche se incrementó en un 18% y, b) la producción de grasa fue 15,2% mayor que sin el uso del FVH.

Resultados obtenidos en terneros. La experiencia de Pérez (1987), que consistió en evaluar la sustitución del concentrado en una crianza artificial de terneros por FVH de avena, evidenció un significativo incremento en el peso vivo de los terneros cuando el nivel de sustitución de FVH por el concentrado fue de 50%. Esta tasa de aumento fue mayor en las

últimas semanas de dicha experiencia, por el mayor consumo de materia seca y el mayor desarrollo del rumen del ternero. (Roy, 1972; Church, 1974).

De estos resultados debe deducirse que hay niveles críticos de sustitución de FVH por el concentrado, bajo los cuales puede originarnos consecuencias negativas en los resultados del engorde de los terneros. Este experimento muestra también otras características importantes en materia de uso del FVH. Por ejemplo, la diferencia en la conversión de alimentos de los animales alimentados con diferentes niveles de FVH de avena, no fue notoria. Sin embargo, en el tratamiento que incluyó un 50% de FVH, los animales si bien lograron aumentos de peso similares a los obtenidos con concentrado, lo hicieron con una relación kg Materia Seca/ kg de Peso Vivo más baja. Esto marca la existencia de un ahorro de 380 g de Materia Seca por cada kilo de Peso Vivo producido.

De acuerdo a los resultados de estas experiencias, el costo más bajo de producción, medido en base al PV obtenido, es aquel que incluyó un 50% de sustitución de concentrado por FVH de avena.

-Aumento en la Fertilidad: Ensayos han demostrado que las vacas que consumen FVH tienen más de un 60% de probabilidad de quedar preñadas al primer servicio que aquellas que no lo consumen. Esto es inferido como un efecto de la vitamina E, la cual aumenta sus niveles de presencia en el animal, al ingerir esta dosis significativas de FVH. Esta característica del aumento de la probabilidad de quedar preñadas, tiene gran beneficio económico para el empresario lácteo porque reduce de 5 meses a 2 meses el tiempo en que el animal permanece en estado de “seca”. (Valdivia, 1996) Resultados similares también se han verificado en el caso de otras especies tales como conejos, caballos, ganado de carne, ovinos, etc.(Pérez, 1987; Sánchez, 1996; Arano, 1998)

-Disminución de la Incidencia de la Mastitis: Datos de producción indican que los animales que consumen FVH no sólo tienen menos riesgo de sufrir mastitis, sino que además, aquellos que la contraen a pesar de ingerir FVH, se recuperan en menos de la mitad del tiempo que los alimentados en forma convencional.

-Factor anti-deshidratación. En caballos de carrera, de paseo y de resistencia (Valdivia, 1996) se ha constatado que aparte de causar un aumento de la ingesta de proteína y de ser un alimento de alta digestibilidad, les sirve como anti deshidratante luego de un gran esfuerzo físico. Experiencias llevadas a cabo en Perú marcan también buenos resultados en la alimentación de cuyes (Palacios y Nieri, 1995).

1.8 Resumen para un sistema de producción de forraje verde hidropónico para el proceso de producción de forraje verde hidropónico (FVH). A continuación se enlistan algunos puntos importantes a considerar:

✓ Condiciones óptimas

Se recomienda temperatura de 22 a 25 °C y una humedad relativa de 65 a 70 %. No es recomendable una alta temperatura junto a una humedad relativa alta porque esta condición provoca el desarrollo de hongos.

El porcentaje de germinación debe ser por lo menos de 85 % para obtener una buena cobertura en un mínimo de tiempo y evitar la contaminación generada por granos no germinados y fermentados.

- ✓ Tratamiento de pregerminación
- Dos procedimientos para desinfección de la semilla:
 - Aplicación de fungicida
 - Aplicación de Hipoclorito de sodio diluido en agua

Posteriormente el proceso de remojo de la semilla desinfectada

- ✓ Densidad de siembra
Se recomienda de 2.2 a 3.4 kg/m² de charolas o contenedores, o bien, no exceder una capa de 1.5 cm de semillas en la charola.
- ✓ Solución nutritiva
Los elementos esenciales para un adecuado desarrollo de las plantas son solo 7: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe) y boro (B). Debido al corto lapso de tiempo que dura el cultivo, la ausencia de otros elementos químicos no llega a ser detectada.

Diferentes autores manejan diversas concentraciones de los elementos listados más arriba, pero con compuestos que son difíciles de conseguir en nuestro medio, por tal motivo, se sugiere una fórmula propuesta por la Universidad Autónoma de Chapingo, Rojas (1996) y Canal (1997), que se ha empleado con buenos resultados y consiste de los siguientes compuestos y concentraciones:

Cuadro 1.2 Concentraciones de elementos esenciales para la producción de forraje verde en condiciones hidropónicas.

Elemento:	Concentración (ppm):	Fuente:
N	250	Urea
P	40	Superfosfato de calcio triple
K	150	Sulfato de potasio
Ca	140	Nitrato de calcio
Mg	30	Sulfato de magnesio
Fe	5	Sulfato de hierro
B	0.5	Bórax (ácido bórico)

Se recomienda no usar demasiados nitratos porque pueden llegar a ser tóxicos para el ganado.

A continuación se describe una formulación práctica para preparar 1,000 litros de solución nutritiva básica:

Cuadro 1.3. Cantidades de fertilizante comercial para preparar 1,000 litros de una solución nutritiva básica para producción de forraje verde hidropónico.

Fertilizante comercial	Cantidad requerida (gramos)	Nutrientes que aporta
Urea	543	Nitrógeno
Superfosfato de calcio triple	215	Fósforo- Calcio
Sulfato de potasio	334.8	Potasio- Azufre
Nitrato de calcio	548	Nitrógeno- Calcio
Sulfato de magnesio	306	Magnesio- Azufre
Sulfato de fierro	25	Fierro- Azufre
Bórax	4.1	Boro

✓ Aplicaciones de riego

Las charolas o contenedores deben tener una pendiente del 5 al 10 % para facilitar el drenaje y evitar encharcamientos. La solución de agua y fertilizante debe aplicarse durante todo el período de crecimiento, excepto los dos últimos días antes de la cosecha, que se deberá regarse solo con agua para lavar sales y darle mayor dulzura y palatabilidad al forraje. El sistema de riego puede ser con nebulizadores ó bien con microaspersores.

✓ Cosecha

Dependiendo del tipo de cultivo y clima se podrá cosechar desde los 7 hasta los 12 días, o bien, cuando el forraje alcance un tamaño entre los 20 y 25, que es cuando el forraje contiene la mayor cantidad de nutrientes disponibles.

✓ Rendimiento

En condiciones normales se espera un rendimiento entre 15 y 20 kg/m² de cultivo y una conversión de 1:8 a 1:10 en la relación semilla – forraje.

✓ Cultivos

Los principales cultivos forrajeros que se pueden producir bajo este esquema de ambiente semicontrolado son: Maíz, sorgo, avena y cebada

Cuadro 1.4 Procedimiento para la producción de forraje verde hidropónico.

El procedimiento de trabajo es:			
Fecha	Actividad	Esperado	Observaciones
Día 1 Remojo	Limpiar el grano separando basura y granos quebrados. Lavar la semilla con agua e ir cambiándola hasta que quede el agua transparente. Luego desinfectar agregando cloro al agua por 20 minutos y luego volver a poner el grano en agua limpia por 24 horas	Que sólo queden para germinar semillas con vigor.	Cuidado, a veces el comerciante mezcla semilla nueva y rezagada y esto provoca fallas en la germinación.
Días 2 - 3 Reposo	A las 24 horas de estar en remojo, se saca toda el agua y se deja en el recipiente a reposar, durante 48 horas	Que la semilla esté saturada de agua y que emerjan las raíces	Si el recipiente donde está el grano en reposo tiene acumulación de agua, esa parte no germinará.
Día 4 Siembra	A las 48 horas de reposo "sembrar" en bandejas de 40 x 60 cm, usando 1,7 kg de semilla.	Germinación de un 96% de los granos.	Las raíces tendrán una longitud de uno a tres centímetros.
Día 5 Desarrollo de la raíz	Vigilar su desarrollo. Regar 4 a 5 veces al día	Desarrollo de las raíces.	Se riega con manguera hasta que escurre el agua.
Día 6 Las primeras hojas	Regar 4 a 5 veces al día	Desarrollo de raíces.	Empiezan a salir las primeras hojas; se retiene más agua.
Día 7 Los granos tienen hojas	Regar 3 a 4 veces al día	Las hojas cubren las raíces.	Se retiene más agua y se ocupan menos riegos.
Día 8 Crecimiento	Regar 3 a 4 veces al día	No dejar que las plantitas se deshidraten	Ya se nota el tapete verde.
Día 9 Desarrollo	Regar 3 a 4 veces al día	En esta etapa ya se puede dar.	
Días 10 - 15 Crecimiento	Regar 3 a 4 veces al día	El germinado esta adecuado para darlo a los animales. Pesar para saber cuanto rendimiento se obtuvo	Después del día 12 el germinado empieza a mostrar signos de desnutrición. Se debe medir la altura que alcanza y el peso obtenido

II. ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO

Se tiene tres productores cooperantes para implementar en sus parcelas el sistema de producción de FVH.

Santa María Apaxco:

1. Escuela Primaria 20 de Noviembre
2. Potrero de la Olla

Ejido Santa Ana Nextlalpan:

3. Profesora: Juana Clementina Pacheco Domínguez

En los sitios de la Escuela 20 de noviembre y el potrero de la Olla el agua a utilizar es agua residual filtrada.



Fotos 2.1 y 2.2. Sitios para instalación de módulos demostrativos de forraje verde hidropónico. Con agua de pozo y agua filtrada.

Se obtuvo una muestra de agua en cada uno de los tres sitios anteriores, se llevaron para su análisis al laboratorio de Suelos de la Universidad Autónoma Chapingo. Los análisis realizados son de salinidad y contaminantes. En los siguientes cuadros se presentan los resultados de los análisis.

Cuadro 2.1 Resultados de los análisis de salinidad de los puntos muestreados

Parámetro	Ejido Santa Ana Nextlalpan	Escuela Primaria 20 de Nov.	Potrero de la Olla
pH	8.34	8.4	8.0
C.E (dS/m)	1.59	1.97	2.21
Ca (Meq/l)	6.8	7.52	7.76
Mg (Meq/l)	2.68	6.25	6.47
Na (Meq/l)	4.52	3.96	4.48
K (Meq/l)	0.91	0.97	0.82
CO ₃ (Meq/l)	0.67	0.24	ND
HCO ₃ (Meq/l)	9.3	12.32	16.73
Cl (Meq/l)	3.25	3.75	1.35
SO ₄ (Meq/l)	1.92	1.15	2.38
B (Meq/l)	0.13	0.08	0.21

El pH es alcalino y se requerirá la aplicación de algunos ácidos como el fosfórico para reducirlo al pH óptimo que oscila entre valores de 5.5 y 7.0. Igualmente la conductividad eléctrica es ligeramente alta, lo ideal es que sea menor a 1.0 (dS/m).

Cuadro 2.2 Resultados de los análisis de contaminantes de los puntos muestreados

Parámetro	Ejido Santa Ana Nextlalpan	Escuela Primaria 20 de Nov.	Potrero de la Olla
Pb (Meq/l)	0.060	0.060	0.063
Cr (Meq/l)	0.035	0.037	0.028
Cd (Meq/l)	0.022	0.029	0.032
Ni (Meq/l)	0.007	0.006	0.005
Co (Meq/l)	0.012	ND	0.020
Mo (Meq/l)	0.060	0.051	ND

III. OBTENCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS CLIMATOLÓGICOS DE LA ZONA DE ESTUDIO

La información climatológica corresponde a los sitios programados de los módulos de producción de forraje verde hidropónico; quedan comprendidos entre las estaciones meteorológicas de El Tajo Tequixquiac y la estación Km 46 + 930 Gran Canal, los datos de temperatura y evaporación se pueden observar en el cuadro 3.

Cuadro 3.1 Temperaturas (°C) máximas, mínimas y medias mensuales, evaporación (mm) media mensual de las estaciones meteorológicas de El Tajo Tequixquiac y la estación del Km 46 + 930 Gran Canal. Para los años de 1972 a 1986.

ESTACIÓN	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Temperaturas máximas													
El Tajo Tequixquiac	22.50	23.77	26.64	28.14	28.15	25.85	23.92	24.02	23.64	23.75	23.32	22.43	24.70
Km 46 + 930 Gran Canal	21.60	23.05	26.18	27.25	27.00	24.93	23.35	23.75	23.05	22.99	22.76	21.73	23.97
Temperaturas mínimas													
El Tajo Tequixquiac	0.94	1.83	3.83	6.32	8.44	9.84	9.79	9.60	9.42	7.18	3.74	2.38	6.13
Km 46 + 930 Gran Canal	0.26	1.17	3.31	6.18	8.56	9.81	9.41	9.31	9.12	7.09	3.27	1.63	5.76
Temperaturas medias													
El Tajo Tequixquiac	11.70	12.80	15.20	17.20	18.30	17.90	16.90	16.80	16.50	15.40	13.50	12.40	15.4
Km 46 + 930 Gran Canal	11.1	12.4	14.8	16.7	17.6	17.3	16.6	16.6	16.2	14.7	12.7	11.6	14.9
Evaporación (mm)													
El Tajo Tequixquiac	90.00	108.42	167.42	164.67	168.92	142.58	121.33	115.08	100.67	104.67	87.58	75.92	1447.25
Km 46 + 930 Gran Canal	89.00	116.73	177.00	180.40	166.67	133.20	112.71	113.20	95.53	96.07	84.07	75.67	1440.25

Fuente: Extractor rápido de información climatológica (Eric II). IMTA.

Para la zona de riego de Zumpango, Estado de México, con base en la información de temperaturas mínimas, la propuesta es producir maíz o sorgo forrajero en primavera verano y cebada ó avena forrajera en otoño invierno.

IV. MÓDULOS DE INVERNADEROS Y EVENTOS DEMOSTRATIVOS

4.1 Instalación de los módulos demostrativos

En los sitios seleccionados en las comunidades de Santa María Apaxco y en el Ejido Santa Ana Nextlalpan, se instalaron módulos demostrativos para la producción de forraje verde hidropónico, los cuales se indican a continuación:

Santa María Apaxco:

1. Escuela Primaria 20 de Noviembre
2. Potrero de la Olla

Ejido Santa Ana Nextlalpan:

3. Juana Clementina Pacheco Domínguez



Fotos. 4.1 y 4.2 Realización del trazo para la instalación del invernadero en los sitios seleccionados.



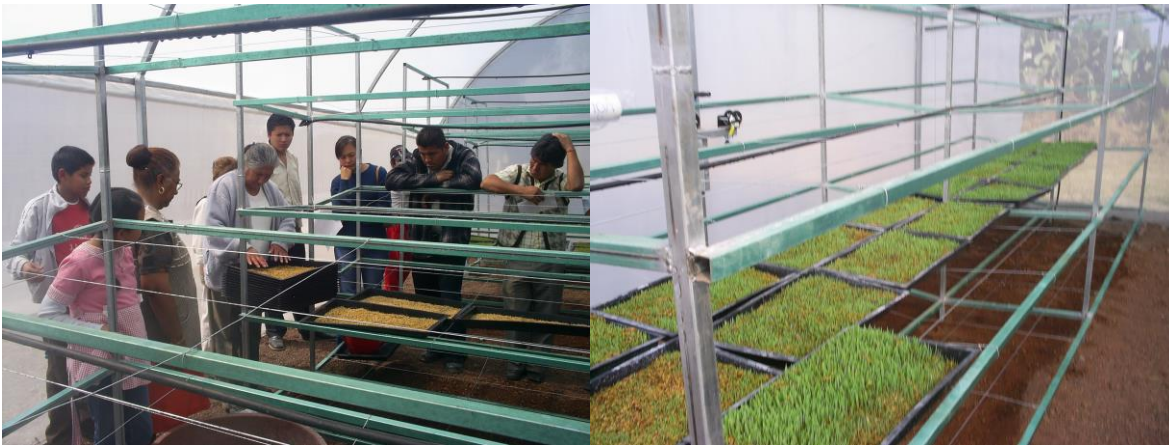
Fotos. 4.3 y 4.4 Instalación y construcción del invernadero en los sitios seleccionados.



Foto 4.5. Modulo de producción de forraje verde en Santa Ana Nextlalpan, Estado de México.

4.2 Eventos demostrativos

Se realizaron eventos demostrativos para el manejo y producción de forraje verde en condiciones de invernadero, en la zona de riego del Distrito de Riego de Zumpango, Estado de México. Impartidos por el Ing. Zamny Hernández González. Se impartieron cuatro eventos demostrativos en la que se entrenaron en el manejo del sistema de producción a un total de 25 participantes.



Fotos 4.6 y 4.7 Evento demostrativo en la comunidad de Santa Ana Nextlalpan. En el lote de la Profesora Juana Clementina Pacheco Domínguez .

V. CONCLUSIONES

Se instalaron y se construyeron tres módulos demostrativos de sistemas de producción de forraje verde hidropónico en condiciones de invernadero, incluyendo el sistema de riego y fertirriego, con sistema de estanterías para un total de 500 charolas por módulo, en parcelas de productores cooperantes de las comunidades de Santa María Apaxco y Santa Ana Nextlalpan, Estado de México.

Se realizaron cuatro eventos demostrativos para la producción y manejo del cultivo de forraje verde hidropónico en condiciones de invernadero, en donde participaron 25 productores locales. En estos eventos demostrativos se indicó el proceso de producción desde la selección de la semilla hasta la cosecha del forraje verde.

Se elaboró una guía técnica para la producción de forraje verde hidropónico bajo condiciones de invernadero, para la zona de influencia del Distrito “Los Insurgentes”, Estado de México.

VI. LITERATURA CONSULTADA

Agustín, M. J. 2007. Producción de forraje verde hidropónico y formulación de dietas para vacas lecheras. Tesis profesional. UACH. México.

Arano, C. R. 1990. Forraje verde hidropónico y otras técnicas de cultivos sin tierra. Universidad de Buenos Aires. Buenos aires, Argentina pp. 147-184.

Canul, C. V. V. 1997. Evaluación de métodos de desinfección de semillas y de duración del ciclo de cultivo de forraje verde hidropónico. Tesis profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México 74 p.

Chihuahua s/a. Producción de forraje verde hidropónico.

Coljap, Industrias Químicas S.A. y Ver, LTDA Ediciones Culturales. Sin fecha. Forraje verde hidropónico. Revista Cultivos Hidropónicos. Bogotá, Colombia 9: 137-152.

Hernández, H. N. J. P. 1981. Estudio de la factibilidad económica para la producción de forrajes en cultivo hidropónico en una cámara comercial. Tesis profesional. División de Ciencias Agropecuarias y Marítimas. Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey. Monterrey, N. L., México 51 p.

Lugo, P. I. 1987. Producción de forraje en hidroponia. Tesis profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México 97 p.

Resh, H. M. 1992. Cultivos Hidropónicos. Nuevas técnicas de producción. Ed. Mundi- Prensa. Madrid, España pp. 174-179.

Risse, J. 1970. La alimentación del ganado. Ed. Blumes. Madrid, España pp. 102-103.

Rojas, E. S. I. 1996. Aportaciones a la generación de un paquete tecnológico para la producción de forraje en hidroponia. Tesis profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 52 p.

Sánchez, del C. F. y E. Escalante R. 1988. Hidroponía. 3ra edición. PATUACH. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México 194 p.

Valdivia, B. E. 1996. Producción de forraje verde hidropónico. Curso taller internacional de hidroponía. Lima, Perú pp. 201-206.

Valdivia, B. E. 1997. Producción de Forraje Verde Hidropónico. Conferencia Internacional de Hidroponía Comercial. Memorias. Universidad Nacional Agraria La Molina. Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral. Lima Perú pp. 91-99.

Acosta, I. 1999. Sugerencias para enfrentar mejor la crisis. Revista del Plan Agropecuario N° 89. Montevideo, Uruguay.

Arano, C. 1998. Forraje Verde Hidropónico y Otras Técnicas de Cultivos sin Tierra. Editado por el propio autor. Prov. de Buenos Aires, Argentina.

Astigarraga, L. 2001. Comunicación Personal. Montevideo, Uruguay.

Bravo Ruiz, M. R. 1988. Niveles de Avena Hidropónica en la Alimentación de Conejos Angora.

Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de Concepción, Sede Chillán. Chile.

Carámbula, M; Terra, J. 2000. Las Sequías: Antes, durante y después. INIA, Treinta y tres. Montevideo, Uruguay.

Carámbula, M. 1977. Producción y manejo de pasturas sembradas. Editorial Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay.

Carámbula, M; Terra, J. 2000. Alternativas de manejo de pasturas post-sequía. Revista Plan Agropecuario N° 91. Montevideo, Uruguay.

Carrasco, G; Izquierdo, J. 1996. La Empresa Hidropónica de Mediana Escala: La Técnica de la Solución Nutritiva Recirculante ("NFT"). FAO- Univ. de Talca. Santiago, Chile.

Chang, M; Hoyos, M; Rodríguez, A., 2000. Producción de Forraje Verde Hidropónico. Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral. Lima, Perú.

Church, D.C., 1974. Fisiología Digestiva y Nutrición de los Rumiantes. Editorial Acribia. Zaragoza, España.

Dosal Aladro, J.J.M. 1987. Efecto de la Dosis de Siembra, Epoca de Cosecha y Fertilización sobre la Calidad y Cantidad de Forraje de Avena Producido Bajo Condiciones de Hidroponía.



Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de Concepción, Sede Chillán. Chile.

Eastin, J; Sullivan, Ch. 1984. Environmental Stress Influences on Plant Persistence, Physiology and Production. Edit M.B. American Society of Agronomy.

Evans, P. 1976. Root Distribution and Water-withdrawald Patterns of Some Crops and Pasture Species. Palmerston North. FAO. 1980. El Conejo, Cría y Patología. Roma, Italia.

Fox, R. 2000. Fábrica de Forraje. Boletín Informativo de la Red Hidroponía N° 8. Lima, Perú.

Gianinetti, R. 1989. Cómo criar los Conejos. Editorial De Vecchi, Barcelona, España.

Harris, W. 1990. Pasture as an ecosystem. Edit. R.H.M. Oxford, University.

Hidalgo Miranda, L. R. 1985. Producción de Forraje en Condiciones de Hidroponía. I. Evaluaciones Preliminares en Avena y Triticale. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de Concepción, Sede Chillán. Chile.

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

Lomelí Zúñiga, H. 2000. Agrocultura. México.

A N E X O

**GUIA TÉCNICA PARA LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE
HIDROPONICO PARA LA ZONA DE INFLUENCIA DEL DISTRITO
LOS INSURGENTES, ESTADO DE MEXICO.**