

SEGUNDA PARTE

Métodos y factores que influyen en la producción de forraje verde hidropónico

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 (Foto 1) obteniéndose varios pisos de plantación por metro cuadrado; galpones agrícolas (por ejemplo: criaderos de pollos abandonados); 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 descartables (Foto 12); estantes viejos de muebles a los cuales se les forra con plástico (Foto 13); bandejas de fibra de vidrio (Foto 14) , de madera pintada (Foto 15) o forrada de plástico (Foto 16) 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 (Foto 17) .

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.

-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.

-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 o "lejía", 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.

-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 oreado. 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 (Foto 2).



Foto N° 2. Siembra en bandejas de semillas pregerminadas de avena. Fuente: Juan Izquierdo.

Luego de la siembra se coloca por encima de las semillas una capa de papel (diario, 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. El volumen de agua de riego está de acuerdo a los requerimientos del cultivo y a las

condiciones ambientales internas del recinto de producción de FVH. Un indicador práctico que se debe tener en cuenta es no aplicar riego cuando las hojas del cultivo se encuentran levemente húmedas al igual que su respectiva masa radicular (Sánchez, 1997) . 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).

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) el riego se realizará exclusivamente con agua para eliminar todo rastro de sales minerales que pudieran haber quedado sobre las hojas y/o raíces. 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. Este es un detalle importante de recordar como condición de manejo al planificar nuestras cosechas. En el capítulo correspondiente a "Soluciones Nutritivas", se explicarán otras alternativas válidas de nutrición vegetal para el FVH.

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 compatibilizado con la calidad dado que el factor tiempo pasaría a convertirse en un elemento negativo para la eficiencia de la producción (Ñíguez,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 foto 3 ejemplifica los estados de crecimiento a través de los 10 primeros días para un FVH de cebada.

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 (Foto 4).

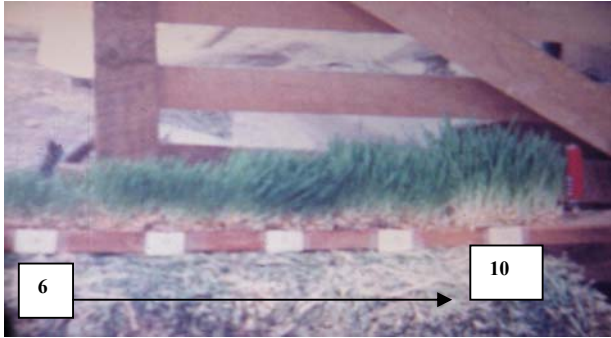


Foto N° 3 . Estados de crecimiento diario durante los 10 primeros días para un FVH de cebada.
Fuente: Juan Izquierdo.

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. En la Foto 4 también puede observarse el excelente estado de germinación de las semillas de maíz, el color blanco del colchón de raíces (el cual no presenta ataque de enfermedades fungosas), una parte aérea en perfectas condiciones sanitarias, de color verde y gran vigor y en general un alimento muy apetecido y apto para nuestros animales (Foto 5).



Foto N° 4 . FVH de maíz (a) y de cebada (b) producidos en buenas condiciones. Fuentes: Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral, Perú; y Juan Izquierdo



Foto N° 5: FVH Listo Para ser Consumido por los Animales.
Fuente: Héctor M. Lomelí Zúñiga.

Ejemplos de utilización del FVH en alimentación animal

Los usos del FVH son diversos pudiéndose utilizar como alimento de vacas lecheras (Fotos 6 y 7) ; caballos (Foto 8); ganado de carne; terneros; gallinas ponedoras (Foto 9); pollos; cerdos; conejos (Fotos 10 y 11) y cuyes. El cuadro 4 brinda información indicativa de las dosis en que puede ser usado el FVH en diversas especies de animales, siendo necesaria aún mayor investigación para ajustar los consumos diarios en función del peso vivo del animal, raza, y estado fisiológico o reproductivo.

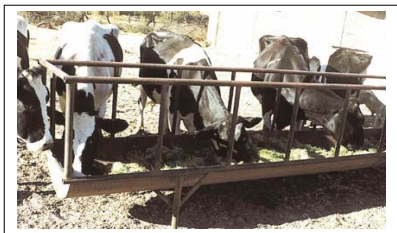


Foto N° 6: Ganado vacuno lechero alimentándose con FVH, México. Fuente: Héctor Lomelí Zúñiga.



Foto N° 7: Consumo de FVH en vacas lecheras, Chile. Fuente: Juan Izquierdo



Foto N° 8: Consumo de FVH por caballos de paso, Perú. Fuente: Juan Izquierdo



Foto N° 9: Uso de FVH en planteles de gallinas ponedoras, Chile. Fuente: Juan Izquierdo



Foto N° 10: Utilización de FVH para la producción de conejo de carne, Uruguay. Fuente: Alvaro Sanchez

En el caso de conejos, ensayos de campo realizados por grupos de productores de la localidad de Rincón de la Bolsa (Uruguay), indicaron que los conejos en etapa de engorde aceptan sin dificultad entre 280 y 400 gramos de FVH/día y obtenían el peso de faena a los 72 o 75 días en forma similar a los conejos alimentados exclusivamente con ración balanceada. Las madres en lactancia y los reproductores pueden llegar a ingerir un promedio de 500 gramos por día lo que indica que en la especie cunícola se puede suministrar hasta un 8 a 10 % de su peso vivo en FVH sin consecuencias negativas.

Cuadro N° 4. Dosis de FVH recomendadas según especie animal

Especie Animal	Dosis de FVH kg por cada 100 kg de Peso Vivo.	Observaciones
Vaca Lechera	1 – 2	Suplementar con paja de cebada y otras fibras.
Vacas Secas	0,5	Suplementar con fibra de buena calidad.
Vacunos de Carne	0,5 – 2	Suplementar con fibra normal.
Cerdos	2	Crece más rápido y se reproducen mejor.
Aves	25 kg de FVH/100 kilos de alimento seco.	Mejoran el factor de conversión.
Caballos	1	Agregar fibra y comida completa. Mejoran performance en caballos de carrera, paso y tiro.
Ovejas	1 – 2	Agregar fibra.
Conejos	0,5 – 2 (*)	Suplementar con fibra y balanceados.

Fuentes: Less, 1983; Pérez, 1987; Bravo, 1988; Sánchez, 1997; Arano, 1998.
 (*=conejos en engorde aceptaron hasta 180-300 g FVH/día (10-12% del peso vivo); ingesta de las madres en lactancia= hasta 500 g FVH/día.)



Foto N° 11: Conejos comiendo FVH.
 Fuente: Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral. UNALM, Perú. 1997.

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 esta; 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 construídas 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). Las instalaciones pueden ser clasificadas según sea su grado de complejidad en:

Populares: Consisten en una estructura artesanal compuesta de palos o cañas (bambú o tacuara), revestida de plástico transparente común. El piso es de tierra y las estanterías para la siembra y producción del FVH son construídas con palos, cañas y restos de madera de envases o desechos de aserraderos. La producción obtenida en este tipo de instalaciones es utilizada en la mayoría de los casos para alimentar los animales existentes dentro del mismo predio. La altura de las estanterías, debido a la calidad de los materiales de construcción, no sobrepasa los 3 pisos. En casos muy particulares se alcanzan cuatro niveles de bandejas.

El material con que están fabricadas las bandejas puede ser de cualquier tipo y origen. Lo más común es que sean recipientes de plástico (Foto 12) de descarte, a los cuales se les corta al medio, se les perforan pequeños drenajes de agua sobre uno de los lados y se usan tal como quedan. También se utilizan estantes de muebles en desuso a los que se le forran con nylon (Foto 13). En este tipo de instalaciones podemos encontrar todo tipo de formas y tamaños de bandejas y tal como promueve la FAO en su manual de la Huerta Hidropónica Popular (Marulanda C. y J. Izquierdo, 1993.), el FVH permite también practicar una agricultura popular del descarte.

Estructuras o recintos en desuso: Hemos denominado así a este segundo tipo de instalaciones de producción de FVH. Comprende instalaciones industriales en desuso, antiguos criaderos de pollos, galpones vacíos, viejas fábricas, casas abandonadas, etc. Estas instalaciones se están volviendo cada vez más comunes en los países de América Latina.



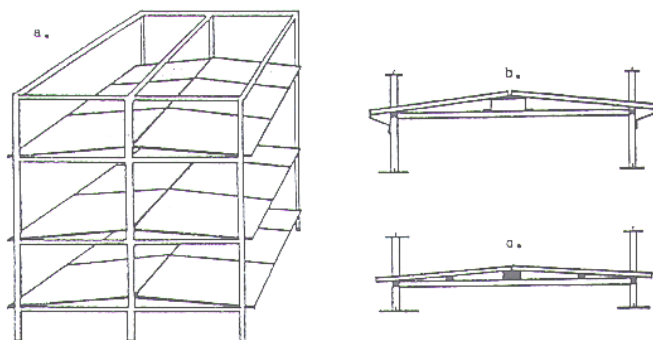
Foto N° 12. Bandejas de plástico de desecho usadas en la producción popular de FVH. Fuente: A. Sanchez



Foto N° 13. Bandejas
construidas con
estantes de muebles
de descarte. Fuente:
A. Sanchez

El ahorro que se obtiene con este tipo de instalaciones surge de la disponibilidad de paredes y techos lo que permite invertir en los otros insumos necesarios para la producción de FVH.

Los rendimientos en este tipo de instalaciones suelen ser superiores a las instalaciones populares por el mejor control ambiental logrado y el mayor número (hasta 7) de pisos de producción (Figura 1). El material utilizado en la construcción de las bandejas puede ser de distintos orígenes tales como fibra de vidrio (Foto 14), madera pintada (Foto 15), madera forrada con plástico (Foto 16) y bandejas de plástico (Foto 17). Lo anterior sumado a un tamaño uniforme de las bandejas y a equipos de riego compuestos por microaspersores o nebulizadores supone una producción mucho más regular y planificada conociéndose casi exactamente cuantos kilos de FVH estarán disponibles para alimentar a los animales en un período determinado (Fotos 18 y 19). Si bien el destino de la producción obtenida es, en la mayoría de los casos, para uso interno al predio, existen interesantes datos de ventas de FVH al exterior del establecimiento.



a: Módulo o estantería de 3 niveles y 18 bandejas individuales.

b y c: Perfil de bandejas con pendiente longitudinal sobre soportes que marcan distintos grados de pendientes.

Figura 1. Diagrama de estructura de producción de FVH. Fuente: Cultivos Hidropónicos COLJAP-Ed.Culturales VER Ltda. (pag.141)



Foto N° 14: Diseño de una estantería con bandejas de fibra de vidrio. Fuente: A. Sanchez

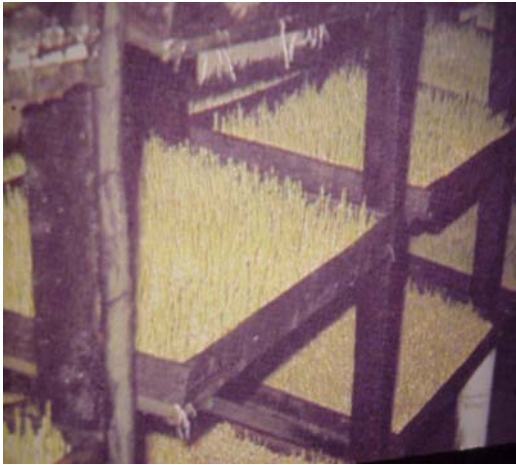


Foto N° 15: Estantería con bandejas de madera pintada. Fuente: J. Izquierdo



Foto N° 16: Estantería con bandejas de madera forradas de plástico. Fuente: J. Izquierdo



Foto N° 17: Estantería con bandejas de plástico preconstruidas.
Fuente: J.Izquierdo



Foto N° 18 . Estanterías de producción con FVH cosechado y listo para consumo animal.
Fuente: Héctor Lomelí Zúñiga.

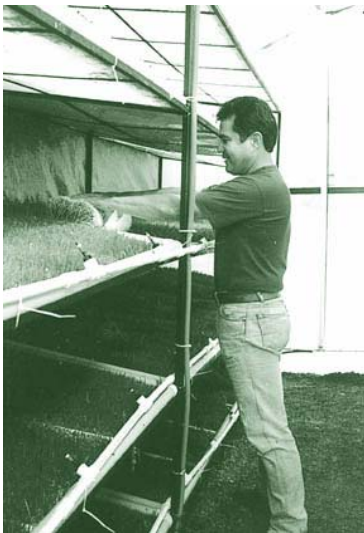
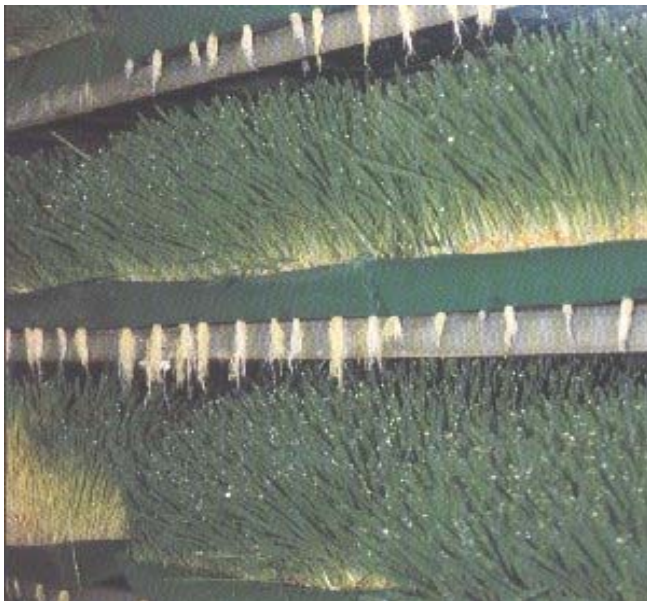


Foto N° 19. Cosecha de FVH. Fuente: Héctor Lomelí Zúñiga.

Modernas o de Alta Tecnología: Las instalaciones de este tipo pueden ser de construcción de albañilería hecha en el lugar, prefabricadas o importadas directamente como unidades de producción o “fábricas de forraje” (Foto 1).

Existen construcciones de albañilería para la producción de FVH que alcanzan un costo de 221 US\$ por metro cuadrado. A modo de ejemplo describiremos un caso de una instalación con un área total de 1.000 metros cuadrados, ocupando la sección de cultivo (Foto 20) un área de 30 por 25 metros (750 m²) y una altura de 3,5 metros. El resto de la estructura (250 m²) es ocupada por los espacios para el lavado, remojo, escurrimiento y germinación de las semillas incluyendo espacio para la oficina y depósitos.



Fotografía N° 20. Área de cultivo de una fábrica de forraje. Obsérvese el crecimiento vigoroso del FVH en las bandejas de producción. Fuente: R.Fox

En estos modelos, la sala de germinación ocupa un área de 50 metros cuadrados, presenta la misma disposición que la sala de producción, cuenta con un sistema de riego por microaspersión, no tiene iluminación ni tampoco requiere de mucha ventilación. Los estantes de esta sala comprenden 10 pisos siendo la capacidad de producción de 10.000 kilos de FVH por día. La fase de producción se realiza sobre bandejas que son colocadas en estantes metálicos dobles de 7 pisos. Las bandejas son de fibra de vidrio que se ubican en 7 líneas de estantes siendo cada una de ellas de 26 metros de largo por 1,8 de ancho. Entre las líneas de estantes se coloca un piso de cemento con canaletas a ambos lados, mientras que el piso bajo las estanterías está recubierto con material inerte que facilite el drenaje y previamente desinfectado (balastro, pedregullo, etc). La instalación cuenta con riego automatizado, estantería por estantería y controlado todo por relojes de tiempo con sus respectivas válvulas solenoides y de flotación. Presenta también ventiladores, extractores de aire, un ozonizador que incorpora ozono al agua de riego para eliminar contaminaciones de bacterias, e iluminación de apoyo basada en 20 tubos fluorescentes.

Los resultados en una unidad como la descrita arriba, señalan que se pueden producir 10.000 kilos de FVH por día (*10 kilos de FVH/m²/día*) en 7 pisos de producción para alimentar con forraje verde a caballos (de carrera, paseo y de tiro), vacunos, porcinos, ovinos, camélidos y animales exóticos. El destino de la producción del FVH no tiene limitaciones en cuanto a las especies animales y la bondad del producto (FVH) es tal que permite su adaptabilidad a cualquier animal.

Otros ejemplos de instalaciones para FVH mencionadas en la literatura técnicas ofrecen diferentes modelos de estructuras. Entre ellas, un modelo "Hydro Harvest" de California, EEUU, basado en túneles de producción automáticos en donde las bandejas se desplazan sobre rieles hasta el final del túnel donde el FVH es cosechado y entregado a la alimentación de los animales. Equipos similares son también fabricados y comercializados en España (Sintierra). Otras empresas dedicadas a la fabricación y exportación de estos paquetes tecnológicos son, entre otras: Magic Meadows (Arizona); Harvest Hydroponics (Ohio); Landsaver (Inglaterra).

Una de las instalaciones más sofisticadas que se han creado para la producción del FVH son las de Othmar Ruthner, Viena, Austria en donde el sistema se basa en una gran cinta continua de producción de FVH. Sin embargo un modelo portátil ofrecido por Australian Manufacturer de 60 metros cuadrado presenta el entre-techo de la unidad forrado de "termopor" o "espuma plast" o "plumavit" para reducir la temperatura interna durante el verano. Toda la construcción tiene un marco de metal galvanizado cubierto por una doble capa de plástico asentado sobre un piso de concreto.

Dentro de la estructura se disponen las estanterías de metal sobre las cuales se ubican las bandejas que son en esta oportunidad de material plástico. Tiene un sistema automatizado que hace todo. El riego automático y periódico es mediante nebulizadores los cuales esparcen uniformemente la solución nutritiva. La unidad es además calentada o enfriada automáticamente según un control ejercido desde un termostato. La temperatura ambiente interna es estable a 21°C. Como resultado tenemos que a los 8 días luego de la siembra, esta unidad produce forraje verde de 20 centímetros de altura con una eficiencia de conversión por kilo de semilla que oscila entre los 6 a 10 kilos de FVH, dependiendo de la calidad de semilla utilizada. La "fábrica" presenta en su interior un total de 768 bandejas y funciona en un ciclo de alrededor de 100 bandejas por día. Cuando esta instalación se encuentra a capacidad plena la producción de FVH es de 1.000 kilos por día con un rendimiento de 16,6 kg de FVH/m²/día. Usualmente este tipo de instalaciones son instaladas para generar forraje verde y fresco para uso en establecimientos lecheros o de carne (Foto 21).



Fotografía N° 21: Detalles Internos de una "Fábrica de Forraje".
Obsérvese la fuente de iluminación, el diseño de los módulos y el sistema de acondicionamiento del aire interior ubicado en el

Factores que Influyen en la Producción

En esta sección veremos 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. La fotografía (Foto 23) muestra un claro ejemplo acerca de la mala calidad de una semilla. El usar semillas más baratas, o cultivares desconocidos, puede constituir una falsa economía y tal como se planteó antes, hacer fracasar totalmente el nuevo emprendimiento. Se deben utilizar semillas de alto porcentaje de germinación (Foto 24).



Foto N° 23: Germinación de semilla de mala calidad. Fuente: A. Sanchez



Foto N° 24: Germinación de semilla de maíz de buena calidad. Fuente: A. Sanchez

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 3^{er}o o 4^{to} día iniciamos el riego con solución nutritiva y exponemos las bandejas a una iluminación bien distribuída 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). La excepción se realiza, cuando la producción de FVH se localiza en recintos cerrados y/o aislados de la luz solar (piezas cerradas, galpones viejos sin muchas ventanas, casa abandonada, etc), 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 bien

distribuidos y encendidos durante 12 a 15 horas como máximo. 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 pre existentes, 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 arrasar 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 calefaccionar 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 de sombra y/o conjuntamente con la instalación de aspersores sobre el techo del invernáculo.

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 de cañerías. 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 el 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 fue 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 de una cañada 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.

-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). Un resumen del potencial de obturación de goteros según la calidad del agua se presenta en el Cuadro 5.

Cuadro N° 5. Calidad del agua de riego en relación a la obturación de goteros

Elemento de obturación	Peligro de Obturación		
	Bajo	Medio	Alto
Sólidos en suspensión (mg/l)	<50	50 - 100	>100
Ph	<7,0	7,0 - 8,0	>8,0
Sólidos disueltos (mg/l)	<500	500 - 2000	>2000
Manganeso (mg/l) ²	<0,1	0,1 - 1,5	>1,5
Hierro total (mg/l) ²	<0,2	0,2 - 2,0	>2,0
Sulfuro de Hidrógeno (mg/l) ²	<0,2	0,2 - 2,0	>2,0
N° de Bacterias/ml	<10.000	10.000 - 50.000	>50.000

Fuente: Tomado de Nakayama y Bucks (1991) según Ramos,C (1999)

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).

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 % (Cuadro 6).

Cuadro N° 6. Fitomasa producida en avena hidropónica en períodos de cosecha y bajo cuatro niveles de fertilización nitrogenada

Nivel de Fertilización en ppm de Nitrógeno	Tiempo de Cosecha (días)	Fitomasa Producida (kg MS * m ⁻²)	Índice de Conversión kg producido / kg sembrado
0	7	3,39	0,93
	11	2,79	0,77
	15	2,66	0,73
100	7	3,26	0,90
	11	2,95	0,81
	15	2,27	0,63
200	7	3,54	0,98
	11	3,43	0,94
	15	2,77	0,76
400	7	3,54	0,98
	11	3,30	0,91
	15	2,32	0,64

Fuente: Adaptado de J.J. Dosal. 1987.

Los resultados anteriores (Cuadro 6) demuestran que el uso de fertilizaciones mayores a las 200 ppm de nitrógeno no resultan en mayor cantidad de producción de fitomasa. También se comprueba que la pérdida de fitomasa resulta inevitable a medida que pasa el tiempo, aunque se recurra a prácticas de fertilización. Esto avala el concepto de que períodos “Siembra – Cosecha” prolongados son desfavorables para la producción de FVH. Un ejemplo de fórmula de fertilización nitrogenada utilizada en el riego del FVH es la que se encuentra en el Cuadro 7.

Cuadro N° 7. Composición de una solución nutritiva apta para FVH

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

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

Otra opción de fórmula de riego para el FVH, es la que se encuentra en el "Manual FAO: La Huerta Hidropónica Popular" (Marulanda e Izquierdo, 1993). La misma contiene todos los elementos que las distintas especies hortícolas y cultivos agrícolas necesitan para su crecimiento. La fórmula FAO viene siendo probada con muy buen éxito, y desde hace años, en varios países de América Latina y el Caribe. Su aporte, en términos generales, se constituye de 13 elementos minerales (macroelementos y microelementos esenciales (Cuadro 8). De acuerdo a esta fórmula para llegar a la solución nutritiva final o solución de riego debemos preparar dos soluciones concentradas denominadas **solución concentrada "A"** (integrada con los elementos minerales mayores o macronutrientes y una **solución concentrada "B"** formada con los elementos minerales menores o micronutrientes.

Cuadro N° 8 . Elementos minerales esenciales para las plantas

Elementos minerales	Símbolo químico
MACRONUTRIENTES	
Nitrógeno	N
Fósforo	P
Potasio	K
Calcio	Ca
Magnesio	Mg
Azufre	S
MICRONUTRIENTES	
Hierro	Fe
Manganeso	Mn
Zinc	Zn
Boro	B
Cobre	Cu
Molibdeno	Mo
Cloro	Cl

Fuente: La Empresa Hidropónica de Mediana Escala.FAO, 1996

Se debe recordar siempre que todas las sales minerales utilizadas para la preparación de la solución nutritiva deben ser de alta solubilidad. El no usar sales minerales de alta solubilidad, nos lleva a la formación de precipitados. Este fenómeno es un factor negativo para nuestro cultivo de FVH dado que a consecuencia de ello, se producen carencias nutricionales de algunos elementos.

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" se observan en el Cuadro 9.

Cuadro N°9. Solución Concentrada "A"

SAL MINERAL	CANTIDAD
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. Sería 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 necesarias para preparar la solución “B” se encuentran en el Cuadro 10.

Cuadro N° 10. Solución Concentrada “B”

SAL MINERAL	CANTIDAD
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, cañada, 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/m^2) 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/m^2 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/m^2) 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. De acuerdo a los resultados expuestos en el Cuadro 12, la fertilización nitrogenada no evitaría las pérdidas en el contenido de proteína verdadera del FVH respecto al grano. Sin embargo, estas pérdidas son significativamente mayores si el cultivo no se fertiliza con nitrógeno. (Dosal, 1987).

Los incrementos de la proteína bruta observadas en algunos tratamientos con fertilización, serían consecuencia de un aumento del nitrógeno no proteico (Cuadro 11) 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.

Cuadro N° 11. Cambios en proteína (g/m²) a través del tiempo en un cultivo de FVH de avena, en tres cosechas y bajo cuatro niveles de fertilización nitrogenada

Nivel de Fertilización (ppm de Nitrógeno)	Tiempo (días)	Total de Proteína el FVH (g/m ²)	
		Bruta	Viva
0	7	312	197
	11	266	177
	15	278	137
100	7	311	227
	11	296	180
	15	289	138
200	7	347	252
	11	357	229
	15	432	219
400	7	360	250
	11	402	213
	15	373	167

Grano: Proteína Bruta (P.B) = 316 g/m² (base Materia Seca)
 Proteína Viva (P.V) = 235 g/m² (base Materia Seca)

Fuente: Adaptado de J.J.Dosal. 1987

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. El Cuadro 12 demuestra lo anterior.

Lignina. Se ha demostrado que en el FVH existe un aumento de la cantidad de lignina (g/m²) 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 (Cuadro 13).

Cuadro N° 12. Cambios en el contenido de pared celular de un cultivo de FVH de avena cosechado en 3 momentos y bajo 4 niveles de fertilización nitrogenada

Nivel de Fertilización (ppm de Nitrógeno)	Tiempo de Cosecha (días)	Pared Celular del FVH (%)
0	7	55,7
	11	56,5
	15	63,6
100	7	54,9
	11	60,8
	15	59,0
200	7	56,0
	11	63,0
	15	58,0
400	7	51,2
	11	61,7

Pared Celular del Grano: 35,7 %

Fuente: Adaptado de J.J.Dosal. 1987.

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.

Cuadro N° 13. Cambios en el contenido de lignina de un cultivo de FVH de avena cosechada en 3 momentos y bajo 4 niveles de fertilización nitrogenada

Nivel de Fertilización (ppm de Nitrógeno)	Tiempo de Cosecha (días)	Lignina del FVH (%)
0	7	6,6
	11	6,7
	15	7,1
100	7	5,0
	11	7,4
	15	7,0
200	7	7,0
	11	8,1
	15	6,6
400	7	6,6
	11	6,8
	15	6,6

Lignina del Grano: 3,6%

Fuente: Adaptado de J.J.Dosal. 1987