

PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO PARA LA PEQUEÑA AGRICULTURA

Patricio Abarca Reyes | *Cristian Aguirre Aguilera*
Luis Silva Rubio | *David Mora López*
Jorge Carrasco Jiménez

En el secano Mediterráneo de la Región de O'Higgins (costa, intermedio e interior), el inicio de la estación de las lluvias se manifiesta normalmente entre abril y mayo, finalizando hacia fines de invierno o inicios de la primavera (septiembre-octubre). La precipitación caída es variable: aumenta de norte a sur (400-800 mm) y disminuye de costa al interior (800-500 mm). Sin embargo, cada vez es más frecuente la ocurrencia de primaveras con bajas a nulas precipitaciones. De hecho, sobre el 80% de la precipitación acumulada anualmente, se concentra entre mediados a fines de otoño (mayo-junio) e invierno (julio-agosto).

Lo anterior se ve agravado por la condición de que en los últimos cinco años las precipitaciones en el área de secano de la región de O'Higgins, han estado por debajo de los 600 mm (ver capítulo 1), lo que ha afectado la acumulación de agua en el perfil de suelo, y con ello la producción de cultivos. Particularmente, se ha visto afectado el crecimiento de las praderas, ocasionando con ello una baja disponibilidad de forraje para el ganado ovino y bovino, siendo crítico en el período estival.

Lo anterior, repercute considerablemente en el costo de producción de los agricultores, obligándolos a la compra de fardos de alfalfa, como una alternativa de alimentación para sus animales.

Bajo condiciones de escasez de agua en el secano, la falta de alimento obliga a buscar otras alternativas de producción, en la cual, haciendo uso de la técnica de la hidroponía, se puede obtener forraje verde hidropónico (FVH), que puede ser una opción apropiada para pequeños agricultores ganaderos.

El término hidroponía, tiene su origen en las palabras griegas “hydro”, que significa agua, y “ponos”, que significa trabajo. Tradicionalmente se ha entendido como el cultivo de plantas en soluciones nutritivas, que contiene todos los elementos minerales necesarios, para el desarrollo y producción de plantas.

El forraje verde hidropónico consiste en la germinación de semillas de especies gramíneas y leguminosas (poáceas y fabáceas) que pueden ser utilizadas como forrajeras, entre ellas, trigo, avena, centeno, cebada, maíz, alfalfa, entre otras. El método, es bastante antiguo, pues se remonta a la época de griegos y romanos, que hacían germinar la semilla para alimentar su ganado.

La principal característica del forraje verde hidropónico, es la de producir forraje verde sin sustrato, usando bandejas de material inerte, la cuales sostienen las semillas con la humedad suficiente para su crecimiento. Distintos especialistas, sostienen que la germinación por sí sola, incrementa el valor nutritivo de la semilla, sin requerir de suelo, con la ventaja adicional que el tiempo utilizado es corto, y con un nivel de intensidad de producción alto.

La posibilidad de producir forraje verde en bandejas plásticas, es una forma sencilla de entregar a los animales un alimento verde con alto contenido de agua y nutrientes, con una masa y volumen considerable y altamente palatable, sirviendo de alimento a variadas especies de animales y zonas donde el agua es un recurso escaso.

1. CARACTERÍSTICAS Y VENTAJAS DEL FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO (FVH)

1.1. Eficiencia en el uso de agua

Bajo condiciones de escasez de agua, donde un productor del secano posee un sistema de captación y acumulación de aguas lluvias, utilizando los techos de las casas, la producción de forraje verde hidropónico, resulta una alternativa interesante para producir alimento complementario, para ovejas en período de gestación o parición, y haciendo uso del agua en forma eficiente.

Trabajos realizados por INIA, con 6 microaspersores de 180° por cada estructura de producción de forraje verde hidropónicos, con 30 bandejas, (0,63 L/min a 2,5 bar), con 4 riegos diarios por un período de 15 días, llegó a establecer que se utilizan sólo 226,8 litros en la producción de las 30 bandejas de forraje de 2,6 kg cada una aproximadamente. Si se considera en promedio 18% de materia seca del forraje, se utiliza 13,2 litros por cada kilogramo producido.

Cuadro 1. Gasto de agua para producción de forraje de distintas especies en condiciones de campo.

Especie	L de agua/kg materia seca (*)
Avena	635
Cebada	521
Trigo	505
Maíz	372
Sorgo	271

(*) Promedio de 5 años

Fuente: Carámbula, M. y Terra, J. 2000, Citado por F.A.O., 2001.

Esta gran eficiencia del uso de agua genera grandes oportunidades productivas a agricultores de zonas de secano, donde la sequía se extiende por varios meses y la falta de forraje verde se hace determinante en la producción ganadera.

1.2. Espacio de producción

El forraje verde hidropónico utilizado para la alimentación animal, logra un crecimiento de 20 a 25 cm de altura aproximadamente, permitiendo su producción en estanterías o repisas que aumentan considerablemente la superficie aprovechable. En estructuras diseñadas y construidas por INIA para la pequeña agricultura, se ha podido cosechar más de 75 kg de FVH en 2 m² de superficie, en un diseño de 3 pisos de bandejas equivalente a un volumen de 4 m³. Para estas estructuras, el aprovechamiento de espacio puede ser mayor aún, si el estanque contenedor de agua se ubica al exterior de la misma (ver apartado de Estructura para producción de FVH).

1.3. Tiempo de producción

El período contemplado entre la siembra y la cosecha no supera los 15 días, si se considera buenas condiciones atmosféricas para su crecimiento, como lo es la temperatura y la humedad relativa, además, el crecimiento óptimo del forraje está sujeto a los tiempos y frecuencia de riego.

Por otra parte, el crecimiento puede acelerarse si se incluye en el riego o de forma manual un fertilizante a base de macro y micro nutrientes.

1.4. Inocuidad del forraje

Al establecer una siembra de una sola especie, bajo condiciones controladas de luminosidad, temperatura, riego, entre otras, se impide que el forraje sea contaminado de fuentes externas, así por ejemplo, no existen malezas o malas hierbas que dañen el organismo de los animales, no hay excrementos de ningún tipo, no está pisoteado, y si se opta por un crecimiento sin fertilizantes químicos, el forraje se transforma en un producto netamente orgánico.

1.5. Bajos costos de producción

Dependiendo del tamaño de la producción de forraje verde hidropónico, dependerá también el costo asociado de insumos, infraestructura y mano de obra disponible para su manejo. No obstante, se considera que la producción de FVH es una alternativa de bajo costo económico, donde las bandejas y módulos de producción serían los de mayor valor, dentro del sistema, más aún si en ellos se considera un riego tecnificado y materiales de mayor durabilidad.

Las estructuras de producción para la pequeña agricultura desarrolladas por INIA, constan de repisas de madera impregnada, una pequeña bomba hidráulica para el funcionamiento del riego y de aspersores de gota fina, el costo no sobrepasa los \$150.000 y su duración se prevé por más de 4 años.

Para el caso de la producción misma, si no se aplican fertilizantes foliares, sólo se considera el costo de la semilla, cloro (para desinfección), agua para riego y electricidad para el funcionamiento de la bomba hidráulica. En base a lo anterior, el costo de la semilla de trigo en el secano de la Región de O'Higgins no supera los \$ 300.- por kilogramo, por lo tanto, con \$ 3.000⁽¹⁾.- se podría producir 30 bandejas y 75 kg de FVH (dosis de 1 kg para 3 bandejas), por otro lado, si el agua es colectada de lluvias, la consideraríamos como un recurso gratis, y por último, el costo eléctrico es mínimo, considerando el funcionamiento de la bomba de riego se realiza sólo 4 minutos por día (un minuto por riego).

1.6. Calidad del forraje

El forraje verde hidropónico cosechado alrededor de los 14 días y una altura entre los 20 a 25 cm es rico en vitaminas A y E espe-

⁽¹⁾ Precios a diciembre de 2015.

cialmente, contiene carotenoides, alto contenido de hierro, calcio y fósforo, además, posee una alta digestibilidad por los animales debido a la baja presencia de lignina y celulosa.

En el **Cuadro 2**, se puede observar que especies como Triticale y Avena, superan el 20% de materia seca.

Cuadro 2. Resultados de laboratorio para diferentes parámetros relacionados a la calidad del forraje verde hidropónico. INIA, 2014.

Determinaciones	Expresión	Avena	Centeno	Triticale	Trigo
Materia seca	%	21,57	19,54	22,36	14,32
<i>Base materia seca</i>					
Proteína cruda	%	17,33	26,17	24,32	26,96
Fibra cruda	%	20,23	18,24	15,87	17,91
Extracto étereo	%	6,06	4,57	4,45	4,80
Cenizas	%	3,69	3,16	3,32	3,23
Extracto no nitrogenado	%	52,69	47,86	52,04	47,10
Calcio	%	0,05	0,05	0,05	0,03
Fósforo	%	0,08	0,09	0,10	0,06
Relación Ca/P	-	0,61	0,57	0,53	0,58
Energía bruta	Mcal/kg	4.832	4.810	4.710	4.784
Energía digestible (rumiantes)	Mcal/kg	3.395	3.558	3.546	3.575
Energía metabolizable (rumiantes)	Mcal/kg	2.784	2.918	2.908	2.932

Nota: La energía metabolizable está calculada según la fórmula EM (Mcal/kg)= 0,82 x ED.

En el Cuadro 2, también se muestran los resultados de análisis para cuatro especies gramíneas producidas y cosechadas bajo producción hidropónica en INIA.

2. SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO

El FVH es una técnica sencilla, dinámica y rápida de producir, es por ello que es recomendable para la agricultura familiar campesina en períodos de escasez hídrica, porque con un bajo consumo de agua, pueden llegar a producir una fuente importante de alimentación para sus animales, y a un bajo costo.

La producción de FVH, se desarrolla en nueve etapas:

2.1. Selección de la semilla

Para este tipo de forraje se utiliza principalmente semillas de gramíneas, como trigo, avena, centeno, triticale, cebada, o maíz (**Figura 1**). El uso de ellas, se debe fundamentalmente a la oferta en zonas de secano, y a su bajo costo durante todo el año. En el caso del trigo, se requiere semilla de trigo corriente, la que normalmente el productor del secano siembra en su predio, y para ello es necesario contar con un porcentaje de germinación de la semilla sobre un 90%, y que además esté libre de semillas de malezas u otras impurezas.



Figura 1. Principales tipos de semillas gramíneas utilizadas para la producción de FVH.

2.2. Dosis de siembra

Para el caso de semillas de Trigo, Avena, Cebada, Centeno y Triticale, referencialmente se utiliza una dosis de 300 a 350 gramos (g) por cada bandeja de dimensiones 35,5 cm x 45 cm, es decir se utiliza un kilo de semilla a ser distribuida en tres bandejas. Para el caso del maíz la dosis se debe aumentar entre 500 a 600 gramos por bandeja, lo que significa utilizar 2 bandejas por kilo de Maíz.

2.3. Remojo o pregerminación de las semillas

Esta etapa es fundamental, para alcanzar el éxito en la producción de forraje verde hidropónico. Se procede a la imbibición de la semilla para activar el proceso de germinación. En esta fase, las semillas se embeben en agua limpia durante un período máximo de veinticuatro (24) horas, considerando a las 12 horas un receso u oreado de 1 hora, para generar oxigenación adecuada a la semilla, lo que se consigue vaciando el recipiente del agua. Transcurrida la hora de receso, se llena de agua limpia el recipiente que contiene las semillas, y se continúa con el proceso de imbibición (**Figura 2**). En esta etapa, es necesario eliminar las impurezas o semillas que no germinaron (inviabiles), que son aquellas que flotan en el agua.



Figura 2. Proceso de remojo o pre-germinación de semillas.

Es recomendable, que el recipiente utilizado para el remojo de la semilla sea de material plástico, y no necesariamente translúcido.

En evaluaciones realizadas por INIA, para las semillas de trigo, centeno y cebada, se ha determinado que con una imbibición de 24 horas, la germinación de la semilla alcanza un porcentaje superior al 90%. Suficiente como para lograr un forraje verde hidropónico de calidad.

Posteriormente al proceso de imbibición o de remojo de la semilla, según la especie, esta puede aumentar entre un 45 a un 60% de su masa (**Cuadro 3**).

Cuadro 3. Aumento de masa (g) de semillas al ser embebidas en agua por 24 horas.

Especie	Tiempo de imbibición (h)	Peso inicial semilla seca (g)	Peso final hidratada (g)	Aumento de masa (%)
Trigo	24	330	503	52,4
Cebada	24	330	494	49,7
Centeno	24	330	549	66,4
Triticale	24	330	526	59,4
Avena	24	330	504	52,7
Maíz	24	500	677	35,4

Esto refleja la importancia de pesar la semilla a utilizar, ante del proceso de imbibición. Por ejemplo 1 kilo de semilla de trigo después de la imbibición, de acuerdo al cuadro 3, pesa 1,5 kilos aproximadamente, lo que significa 0,5 kilos de semilla húmeda por bandeja.

2.4. Desinfección y lavado de semillas

La desinfección de las semillas, tiene como principal objetivo disminuir o anular la proliferación de hongos durante el crecimiento del forraje. Para ello, una forma sencilla y económica de desinfectar la semilla posterior a la etapa de pre-germinación, es sumergir la semilla en una solución de hipoclorito de sodio (Cloro) al 1%, es decir, 10 ml de cloro en 1 litro de agua limpia, y por un tiempo no mayor a los 2 minutos, porque un tiempo mayor podría dañar la viabilidad de la semilla.

Posterior a la desinfección con cloro, se procede a un enjuague con agua limpia, y finalmente se realiza la siembra directa sobre las bandejas.

2.5. Siembra

Una vez que las semillas se encuentran hidratadas y desinfectadas, se procede inmediatamente a la siembra. La dosis indicada para cada especie en el apartado 2.3., permite que una bandeja de dimensiones 45 cm x 35,5 cm y con una superficie aprovechable de 0,124 m² ó 1.240 cm² (40 cm x 31 cm) quede cubierta completamente.

La bandeja utilizada, son de material polietileno, las que usualmente se utilizan en casinos para el servicio de comidas (**Figura 3**). Estas tienen la particularidad de no oxidarse, ser resistentes, fácil de lavar, ser livianas, ser reutilizables, y apilables unas sobre otras.

Antes de la siembra de las semillas, las bandejas deben ser perforadas al menos en uno de sus extremos. Se recomienda realizar entre 3 a 5 perforaciones de 5 mm en uno de los costados de la bandeja (**Figura 4**), para permitir que escurra el exceso de agua de riego, y además evitar que las semillas queden sumergidas, evitando así la pudrición de las mismas.



Figura 3. Bandeja de polietileno sembrada con 330 gramos de semilla seca de trigo, que corresponde a 500 gramos, aproximadamente, de semilla después de la imbibición.

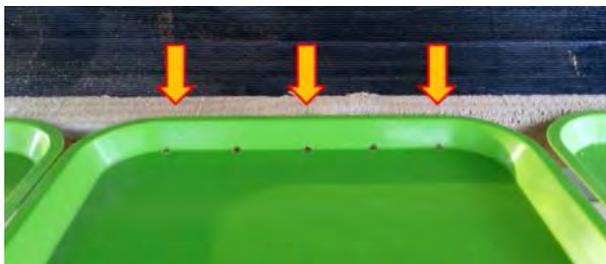


Figura 4. Perforación de bandejas para facilitar el escurrimiento de agua de riego.

2.6. Germinación

Las semillas necesitan de ciertos factores externos para poder desarrollar su proceso de germinación. Entre los más importantes se mencionan temperatura, humedad, oxígeno, y oscuridad. Cuando uno o más factores son deficientes, existe la probabilidad que la germinación y la formación de la planta no llegue a buen término.

Para el caso de la temperatura, aquella que se produce entre los meses de octubre y abril es suficiente para iniciar el proceso de germinación y crecimiento de las plántulas. Para los meses de mayo a septiembre, ésta debe ser suministrada de forma artificial por equipos generadores de calor. Para la humedad, se recomienda realizar dos riegos diarios (en la etapa de germinación) para mantener la semilla hidratada (ver apartado de riego).

Para dar la oscuridad adecuada y suplir la capa de suelo presente en una siembra tradicional, las semillas deben ser ubicadas en una cámara oscura, o se tapan con un plástico color negro. Tanto el material, como el color, otorgarán la temperatura y oscuridad requerida para la germinación de las semillas. El retiro de las semillas germinadas desde la cámara de oscuridad, y traslado a su ubicación final en estanterías o repisas, debe ser hecho cuando el brote alcance un crecimiento de 2 cm aproximadamente (**Figura 5**).



Figura 5. Forraje de 2 a 3 cm aproximadamente. Posterior al proceso en la cámara de oscuridad.

2.7. Ubicación en estructuras de producción de F.V.H, y riego

Una vez que las bandejas se han retirado de la cámara de oscuridad y los brotes del forraje alcanzaron un crecimiento de al menos 2 cm, se procede a ubicar las bandejas en las estanterías

o repisas definitivas de estructuras para la producción del forraje verde hidropónico. El objetivo que se persigue, es conseguir que el forraje quede expuesto a la luz, temperatura, y una alta humedad relativa.

Idealmente, se deben ubicar las estructuras dentro de un invernadero, de manera de proporcionar las condiciones ideales para el crecimiento del forraje. En el caso que no se disponga de invernaderos, si las temperaturas son bajas, la estructura puede ser cubierta con polietileno transparente y generando espacios de ventilación. En ningún caso, el forraje debe quedar expuesto en forma directa al sol, porque se quemará y no logrará crecer. El mismo caso sucederá, si el forraje queda expuesto a temperaturas por sobre los 32° C. Incluso, las especies trigo, avena, cebada, triticale, y maíz no logran crecer con esas temperaturas. Sólo el centeno, puede soportar hasta 36° C de temperatura ambiental.

Idealmente, las estructuras de producción de forraje verde hidropónico, deben contar con un sistema de riego por aspersión de gotas finas, con la finalidad de humedecer el forraje de forma homogénea en todos sus niveles. El agua a aplicar con riego, puede ser realizado con aplicadores manuales, pulverizadores de mochila, o aspersores conectados a una fuente de agua. Los riegos se deben realizar 3 a 5 veces por día, en la etapa de crecimiento, y dependiendo del tamaño del forraje y la temperatura ambiente a la cual esté sometido (ver capítulo 8, sobre construcción de estructuras para producción de forraje verde hidropónico).

2.8. Fertilización

Las semillas de cereales contienen energía suficiente para el crecimiento del forraje en su primera etapa. Cuando las plantas hayan logrado una altura promedio de 5 cm, se suministra un fertilizante foliar a base de macro y micronutrientes, con el objeto de acelerar el crecimiento. Sin embargo, en trabajos realizados

por INIA (**Figura 6**) los forrajes de gramíneas (a excepción del maíz), bajo condiciones climáticas de la Región de O'Higgins, logran un crecimiento promedio de 22 a 25 cm en 16 días de producción, desde el momento de la siembra en las bandejas. Esto refleja que el suministro de agua, a través del riego por aspersión, es suficiente para el crecimiento de forraje, en un período aproximado de dos semanas. Además, el no usar fertilizantes inorgánicos, permite que el forraje verde sea un alimento completamente orgánico e inocuo.



Figura 6. Crecimiento de especies de gramíneas, bajo condiciones de hidroponía.

En Chile, en los últimos años ha surgido una corriente entre los que buscan alimentos sanos, que se ha orientado al consumo de Wheatgrass, que no es más que un germinado de trigo, que se le deja crecer hasta unos 15 cm y se usa la hoja, siendo considerado como un “super alimento” debido a la cantidad de vitaminas y minerales que posee. Además, es un alimento apto para celíacos, porque aunque sea trigo no contiene gluten, ya que este se encuentra en la semilla.

En el caso particular del trigo, y de acuerdo a lo anterior, la producción de forraje verde hidropónico, también puede ser una excelente alternativa como alimento humano, al ser utilizado como Wheatgrass, es decir como un pregerminado de trigo.

2.9. Cosecha

Cuando el forraje haya alcanzado una altura superior a los 20 cm, que se alcanza aproximadamente en 15 días, se encuentra en condiciones de ser cosechado y en condiciones para ser entregado a los animales.

El forraje no requiere de cortes, la entrega a los animales es total incluyendo las raíces, pues la masa vegetativa queda dispuesto como un bloque, el cual es de fácil entrega (**Figura 7 y 8**).



Figura 7. Cosecha de forraje verde hidropónico dispuesto como un bloque, incluyendo raíces, tallos y hojas.

**Figura 8.**

Forraje verde hidropónico utilizado para alimentación avícola.

3. BIBLIOGRAFÍA

- Douglas, J. 1972.** Como cultivar sin tierra. Segunda edición. Buenos Aires, Argentina, Librería El Ateneo Editorial, 156 p.
- F.A.O, 2001.** Manual Técnico. Forraje verde hidropónico. TCP/ECU/066. "Mejoramiento de la disponibilidad de alimentos en los Centros de Desarrollo Infantil del ANNFA". Santiago, Chile. 69p.
- Pérez, N. 1987.** Efecto de la sustitución del concentrado por forraje obtenido en condiciones de hidroponía, en una crianza artificial de terneros Tesis de Grado, para Optar al título de Ingeniero Agrónomo. Departamento de Agronomía, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales. Universidad de Concepción. 58p.
- Resh, H., 1982.** Cultivos hidropónicos, nuevas técnicas de producción. Madrid, España. Ediciones Mundi Prensa. 284p.
- Squella, F., 2014.** Uso de cubiertas vegetales, para la conservación del complejo suelo-agua y la producción animal. Informativo INIA-Rayentué, N° 43, 3ª parte. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Rengo, Chile. 4p.
- Villavicencio P., A. 2014.** Producción de Forraje Hidropónico. Boletín INIA N° 285. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación La Platina, Santiago, Chile. 44p

CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURA DE MADERA PARA PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO

*Patricio Abarca Reyes | Cristian Aguirre Aguilera
Jorge Carrasco Jiménez*

En el Capítulo 7, se definió que la producción de forraje verde hidropónico, requiere, entre otros, de una estructura de madera, riego tecnificado, y bandejas plásticas para producirlo. Estas bandejas deben ir ubicadas sobre una estructura especialmente diseñada para sostener entre 25 a 30 bandejas, permitiendo incorporar sobre ellas riego por aspersión, con tamaño de gota fina, logrando así una gran eficiencia en el uso del agua, y reduciendo la mano de obra para su producción. En el presente Capítulo, se describe la metodología y materiales necesarios para la construcción de una estructura, necesaria para la producción de forraje verde hidropónico, que ha sido diseñada y evaluada por INIA, y que se recomienda para la agricultura familiar campesina.

1. CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA

Se propone una estructura de madera de fácil construcción, que permite la producción de 30 bandejas de forraje verde hidropónico (FVH) en forma simultánea. Es una estructura de fácil construcción, y que además por ser de madera, es de bajo costo. Para la fabricación de ella, se deben seguir las siguientes etapas:

Etapa 1:

Habrán de construirse dos rectángulos con madera de pino de 2" x 2", y cada rectángulo con una dimensión externa de 1 m (100 cm) x 2 m (200 cm) (**Figura 1**). Deben usarse tornillos de 4 pulgadas más cola fría para unir cada segmento.

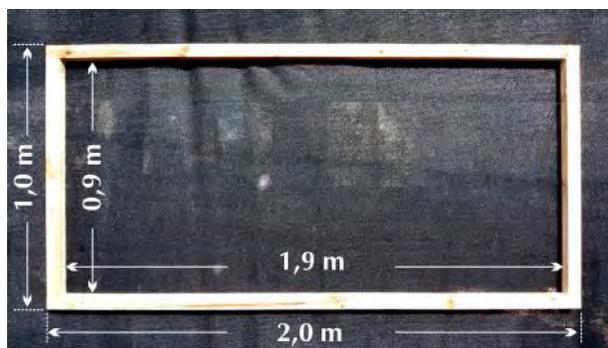


Figura 1. Base rectangular de madera, a ser usada en la parte superior e inferior de la estructura.

Los rectángulos armados serán parte de la base inferior y superior de la estructura (si las dimensiones, tanto de las bandejas como de la madera no coinciden con lo señalado, se debe reacondicionar el diseño de la estructura).

Etapa 2:

Se debe dimensionar 4 pilares de 1,9 m (190 cm) con madera de pino de 2" x 2". Los pilares unen en cada esquina, los rectángulos armados en la Etapa 1. Habrán de utilizarse tornillos de 4 pulgadas y cola fría para unir los segmentos. Una vez que se han fijado los pilares, se ha de reforzar con esquineros de madera de al menos 40 cm en la base de la estructura. Para ello, se debe usar tornillos de 3 pulgadas y cola fría (**Figura 2**).

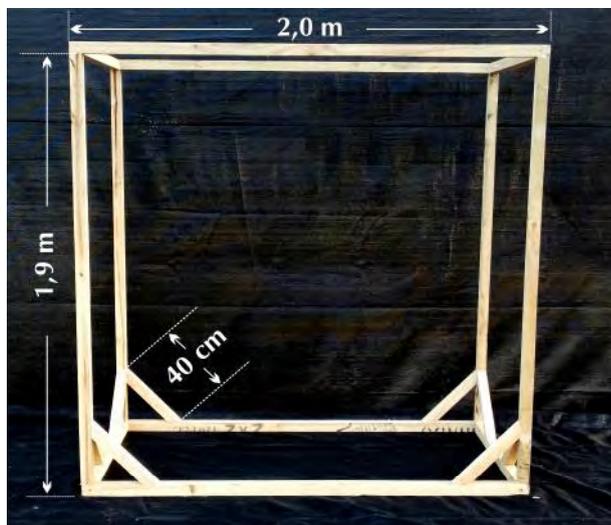


Figura 2. Unión de bases rectangulares a través de pilares y diagonales que permiten la estabilidad de la estructura.

Etapa 3:

Se hace necesario dimensionar con madera de pino de 2" x 2", 6 pilares que se ubicarían por ambos costados de la estructura. Dos de ellos, de 106 centímetros, y cuatro de 79 centímetros. Los primeros se ubicarán en la parte superior de la estructura y centrados, y los cuatro restantes se situarán en la parte inferior, distanciados a diez centímetros desde el centro y a veinte centímetros entre ellos (Figura 3).

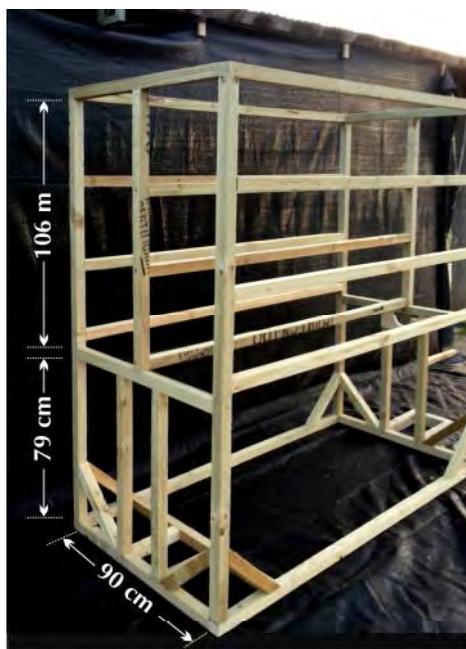


Figura 3. Vista lateral de la estructura, con pilares cortos para fijar el estanque y las repisas horizontales.

Etapa 4:

Entre los pilares ubicados en los extremos, se fijan horizontalmente soportes de madera de pino de 2" x 2" con la finalidad de sostener las bandejas con el forraje. Los soportes externos deben quedar a un desnivel de 2 a 3 cm respecto a los internos, de tal modo que las bandejas inferiores reciban el agua que cae por gravedad desde las bandejas superiores (**Figura 4**). Las bandejas más basales, finalmente depositarán el agua en la canaleta de PVC que va hacia el estanque acumulador.



Figura 4. Vista frontal de la estructura, con soportes horizontales para sostener las bandejas.

Etapa 5:

En un costado de la estructura y por su interior, colóquese una base de madera para fijar el estanque de 60 litros.

Al interior y en la base del estanque, habrá de instalarse un filtro de succión y una salida de estanque para tubería de 32 mm. Esta última llegará hasta la aspiración de la bomba (**Figura 5**).

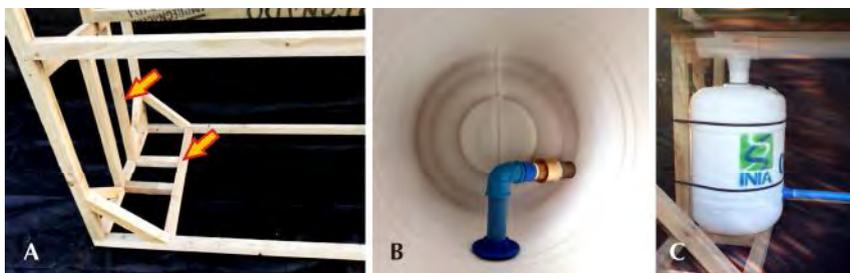


Figura 5. Sistema de acumulación de agua. A) Base de madera para fijación de estanque; B) Vista interna del estanque, con filtro de succión y salida; C) Fijación del estanque a la estructura.

Etapa 6:

En ambos extremos de la estructura, se debe ubicar una sujeción para canaleta de PVC (puede ser una madera de 1"x4", cortando de ella un semicírculo). Debe además dimensionarse una canaleta de PVC de acuerdo al largo de la estructura. Justo sobre el estanque acumulador, se ha de colocar una bajada de PVC para devolver el agua sobrante desde las bandejas y el retorno de la bomba (**Figura 6**). Se debe considerar una pendiente de al menos 2 cm a la canaleta de PVC y cada extremo debe cerrarse con tapas del mismo material. Se recomienda lijar todas las uniones, para facilitar el pegado del PVC.

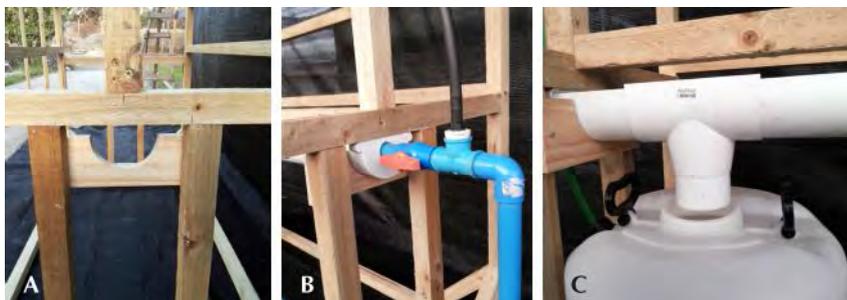


Figura 6. Instalación de canaletas colectora de agua. A) Corte de madera en semicírculo, para ubicación de canaleta; B) Extremo de la canaleta, para recibir retorno de agua de la bomba; C) Instalación de bajada de PVC, para retorno de agua al estanque acumulador.

Etapa 7:

La tubería proveniente desde la base del estanque, debe conectarse a la entrada de succión de la bomba. Se recomienda instalar una válvula de paso con unión americana antes de la entrada.

A la salida de la bomba (impulsión), conectar tubería de PVC de 32 mm en forma de L, de tal manera que el extremo distal llegue hasta la canaleta de PVC y el exceso de agua pueda regresar hasta el estanque.

Inmediatamente a la salida de la bomba, se sugiere instalar una unión americana de 32 mm (sólo para facilidad de traslado), luego una TEE de PVC con salida HI y finalmente una llave de paso de PVC de 32 mm, teniendo esta última la función de válvula reguladora de caudal y presión hacia los aspersores (**Figura 7**). Se recomienda además lijar todas las uniones, para facilitar un buen pegado del PVC.



Figura 7.

Sistema de succión e impulsión de agua.

- A) Válvula de paso con unión americana;
- B) Bomba hidráulica;
- C) Unión americana;
- D) Codo de PVC;
- E) TEE de PVC con salida lateral HI;
- F) Válvula de paso.

Etapa 8:

Desde la TEE de PVC de 32 mm con salida HI, se instalará un buje de reducción de PVC de 1 pulgada a ½ pulgada. Al interior de éste habrá ubicarse un terminal de plansa de ½ pulgada y finalmente la tubería de polietileno (plansa) la cual llevará el agua por el centro y parte superior de la estructura (**Figura 8, izquierda**). La tubería de polietileno finalmente llegará hasta el estanque para devolver el exceso de agua, la cual contendrá otra llave de paso que funcionará como una segunda válvula reguladora de caudal (**Figura 8, derecha**).

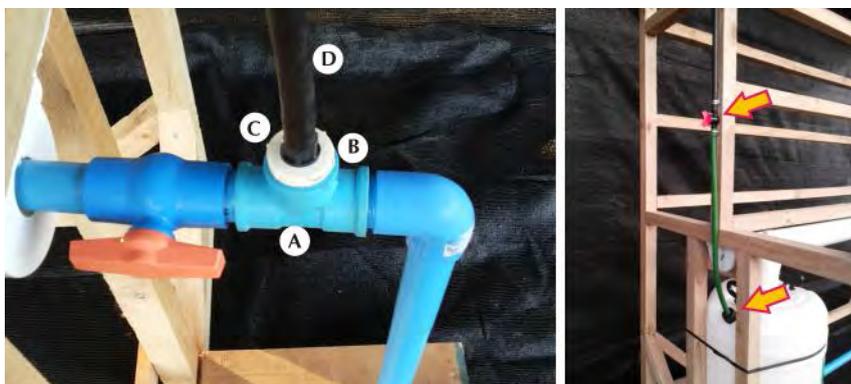


Figura 8. Imagen izquierda: impulsión de agua hacia los aspersores. A) TEE de PVC con salida HI de 1"; B) Buje de reducción de 1" a ½"; C) Terminal de plansa HE de ½"; D) Plansa de polietileno de ½". Imagen derecha: extremo terminal del circuito de agua.

Etapa 9:

Una vez fijada la plansa de polietileno en la parte superior, se debe perforar la tubería por el costado de la estructura con seis orificios de 4 mm, considerando dos orificios para dos aspersores por cada nivel de bandejas. En cada orificio se ubicarán coplas de microtubo unidas a manguera de 4 mm, estas últimas conectadas a un aspersor "microjet" de 180°. Cada micro aspersor se fijará al interior de una tuerca tamaño 5/16" que debe soldarse

a una pletina 12 x 3 mm (**Figura 9**). Se recomienda ubicar dos aspersores opuestos por cada nivel y a 25 cm por sobre el nivel de las bandejas.



Figura 9. Imagen izquierda: sujeción de aspersor en tuerca tamaño 5/16"; Imagen derecha: vista de aspersor microjet para abanico de 180°, conectado a micro tubo de 4 mm.

Etapa 10:

Es necesario ubicar bandejas que se encuentren perforadas y con semillas germinadas, debiendo realizarse riegos cortos y frecuentes, de tal forma que el forraje se mantenga húmedo la mayor parte del tiempo. El forraje puede ser suministrado a los animales cuando haya alcanzado una altura promedio de 20 a 25 cm.

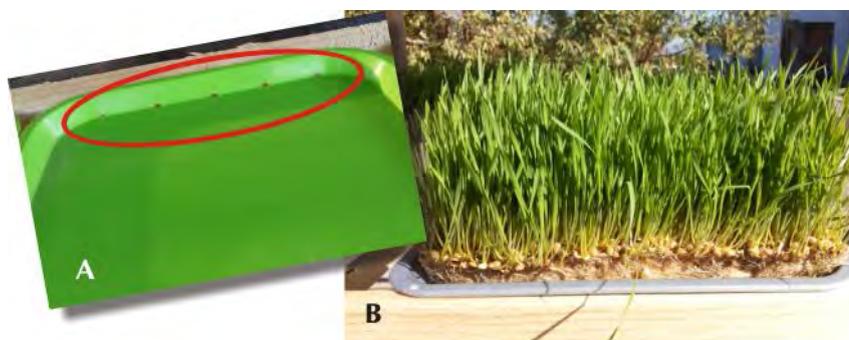


Figura 10. A) Perforaciones hechas en bandejas plásticas, para drenar el exceso de agua. B) Forraje hidropónico de 15 a 20 cm de altura.



Figura 11. Vista frontal de la estructura, terminada, para producción de forraje hidropónico.

3. MATERIALES Y COSTOS

La construcción de una estructura de forraje verde hidropónico para 30 bandejas, requiere de los siguientes materiales y costos:

Cuadro 1. Detalle de materiales y costos para la construcción de una estructura de forraje verde hidropónico para 30 bandejas (valores obtenidos con IVA, al 30 de noviembre de 2015).

Detalle	Cantidad a utilizar	Valor unidad (\$)	Valor Total (\$)
Madera pino impregnada 2 x 2 x 3,2	18	1.560	28.080
Bomba periférica 0,5 hp	1	34.460	34.460
Tornillos 8 x 3"	36	28	1.008
Pegamento para madera (cola fría)	1	640	640
Tornillos para madera de 4"	36	115	4.140
Plansa polietileno 1/2"	5	242	1.210
Codo polietileno 1/2"	2	156	312

Continuación Cuadro 1.

Detalle	Cantidad a utilizar	Valor unidad (\$)	Valor Total (\$)
Terminal polietileno HE 1/2"	1	166	166
Válvula de paso para plana 5/8"	1	1.640	1.640
Tubería PVC 32 mm x 3 m	1	1.790	1.790
Llave PVC SO 32 mm	1	2.578	2.578
Llave PVC unión americana 32 mm	1	2.836	2.836
TEE PVC SO - HI - SO; 32 - 1" - 32 mm	1	922	922
Buje reducción hilo HE - HI; 1" - 1/2"	1	446	446
Filtro de pie 32 mm	1	4.212	4.212
Terminal PVC HE - SO; 1" - 32 mm	4	244	976
Salida de estanque 32 mm	1	1.356	1.356
Codo PVC 32 mm	1	236	236
Aspersor microjet 180°	6	296	1.776
Microtubo 4 mm x 10 m	1	2.078	2.078
Acople microtubo 4 mm	6	82	492
Adhesivo PVC con pincel 250 cc	0,5	2.042	1.021
Teflón	0,5	724	362
Abrazaderas metálicas 5/8"	6	96	576
Roscalata 3/8"	10	32	320
Tuercas 5/16"	6	46	276
Canaleta PVC blanca	0,5	5.145	2.573
Tapa universal PVC	2	932	1.864
Bajada canaleta PVC	1	3.524	3.524
Ángulo doblado 20 x 2 mm x 6 m	0,33	2.532	836
Unión americana 32 mm	1	2.840	2.840
Estanque 60 litros	1	28.520	28.520
Bandejas plásticas 35 cm x 45 cm	30	1.235	37.050
Total \$			171.115
Total U.F del 30 de noviembre de 2015			6,7