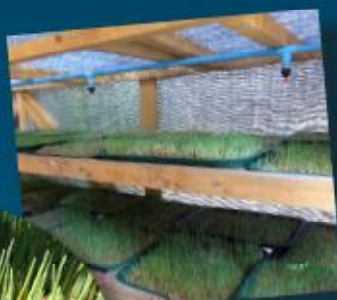


INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

PRODUCCIÓN DE FORRAJE HIDROPÓNICO



Autor:
Abelardo Villavicencio P.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

PRODUCCIÓN DE FORRAJE HIDROPÓNICO



Autor:
Abelardo Villavicencio P.

INIA LA PLATINA
Santiago, Chile, 2014

50
AÑOS INIA
1964-2014

El presente Boletín Técnico recopila información recogida en el marco del Convenio de Colaboración y Transferencia de Recursos entre el Instituto de Desarrollo Agropecuario, INDAP y el Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA, para la producción de forraje hidropónico, ejecutado por INIA La Platina, entre mayo de 2013 y junio de 2014.

Autor:

Abelardo Villavicencio P.

Ingeniero Agrónomo, M. Sc. INIA La Platina

Director Responsable:

Manuel Pinto C.

Ing. Agr. Dr.

Director Regional INIA La Platina

Boletín INIA N° 285

Cita Bibliográfica correcta:

Villavicencio P., A. 2014. Producción de forraje hidropónico. Boletín INIA N° 285. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación La Platina, Santiago, Chile. 44 p.

© 2014. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA. Centro Regional de Investigación La Platina, Avda. Santa Rosa 11.610. Comuna La Pintana. Santiago, Chile. Casilla 439, Correo 3. Santiago de Chile. Teléfono (56-2- 25779100), Fax: (56-2) 25779106.

ISSN 0717-4829

Permitida su reproducción total o parcial citando la fuente y autor

Corrección de textos: Marisol González Y.,

Ing. Agr. M. Phil. INIA La Platina

Corrección técnica: Comité Técnico del proyecto

Diseño y Diagramación: Jorge Berríos V. Diseñador Gráfico

Impresión: Salesianos Impresores S.A.

Cantidad de ejemplares: 300

Santiago, Chile, 2014.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar sus agradecimientos, al Instituto de Desarrollo Agropecuario, INDAP, y a los profesionales que estuvieron ligados a este trabajo, especialmente a:

- Carla Melillo H, contraparte técnica INDAP Central, Carolina Valenzuela, Ariel Zuleta y Carolina Villegas, contrapartes técnicas de las Regiones de Coquimbo, Valparaíso y Maule, respectivamente.
- A los equipos técnicos de PRODESAL representados por:
 - Julio Salinas e Iván Ruz, de Andacollo.
 - Sandra Vera y Melisa Gomila, de Ovalle.
 - David Ardiles y Alejandro Zamora, de Petorca.
 - Germán Bergos y Francisco Silva, de Cabildo.
 - Verónica Guajardo y Juan Pablo Pinochet, de Pelarco.
 - Fernando Aranda y Margarita Ortiz, de San Javier.
- Finalmente a los productores que sin su colaboración y participación este trabajo no hubiera sido posible:
 - Susana del Carmen González y Reinaldo Rivera, de Andacollo.
 - Ana María López y Ana Gallardo, de Ovalle.
 - Nilda González y Audelina Tapia, de Petorca.
 - Teresa Estay Delgado y Olivia Valdivia, de Cabildo.
 - Héctor Pizarro y María Cabrera, de Pelarco.
 - Silvia Villacura y Adelina Acevedo, de San Javier.

ÍNDICE

Prólogo	7
Introducción	9
1. Descripción del sistema de producción	11
2. Aspectos fisiológicos de la germinación de granos	15
2.1 Absorción de agua	16
2.2 Efecto de la temperatura	18
2.3 Presencia de oxígeno	19
2.4 Luz	19
3. Materiales necesarios para el establecimiento del sistema	21
3.1 Estructuras de soporte	21
3.2 Recipientes de cultivo	23
3.3 Sistema de riego	23
3.4 Listado de materiales	25

4. Protocolo de producción de forraje hidropónico _____	27
4.1 Selección de semilla _____	27
4.2 Lavado y desinfección de la semilla _____	28
4.3 Remojo y pre germinación de la semilla _____	28
4.4 Dosis de semilla y siembra _____	29
4.5 Manejo del riego _____	30
4.6 Cosecha _____	31
4.7 Rendimiento _____	32
4.8 Consumo recomendado según especie animal _____	33
5. Costos de producción _____	35
6. Conclusiones _____	41
7. Bibliografía _____	43

PRÓLOGO

Este documento resume los principales aspectos del trabajo desarrollado en el marco del "Convenio de colaboración y transferencia de recursos entre el Instituto de Desarrollo Agropecuario, INDAP y el Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA, para la producción de forraje hidropónico, ejecutado por INIA La Platina, entre mayo de 2013 y junio de 2014. El objetivo principal de dicho convenio consistió en poner a disposición de los productores un sistema de producción de Forraje Hidropónico, con el objeto de mejorar la disponibilidad de forraje verde, de alta calidad y valor nutritivo, para alimentación de ganado menor. Este trabajo se ejecuta como apoyo a pequeños ganaderos de sectores afectados por déficit de precipitaciones y que ha provocado disminución en la disponibilidad de forraje para el ganado ovino y caprino, afectando los ingresos familiares de estas comunidades.

El trabajo se enfocó en la metodología de capacitación de capacitadores. Es decir, se aplicó a los profesionales del servicio de PRODESAL de las comunas de Andacollo, Ovalle, Petorca, Cabildo, Pelarco y San Javier, para introducirlos en el tema y luego de adquiridas las competencias, fueran ellos quienes difundieran los contenidos entre los productores a sus cargo, como parte del plan de trabajo para reforzar la alimentación del ganado en los programas de fomento para animales menores.

Para INIA, la metodología de capacitación a capacitadores permite optimizar sus recursos humanos, físicos y financieros; mientras que para INDAP, resulta en una forma eficiente de apoyo y capacitación para los equipos técnicos de PRODESAL, obteniendo además, como producto, un protocolo de trabajo para aplicar en terreno como apoyo para profesionales y productores, en la producción de forraje hidropónico.

INTRODUCCIÓN

La zona central del país enfrenta un período de déficit de precipitaciones, cuyo comportamiento es recurrente en el tiempo. Esta condición obliga a adoptar medidas de adaptación a este fenómeno mediante la implementación de tecnologías de bajo costo para la producción de forraje de calidad, aumentando su disponibilidad para épocas de mayor demanda del ganado o de eventos de restricción hídrica severa. Durante el año 2012, 108 comunas del país fueron declaradas como zona de emergencia agrícola y 13 como zonas de catástrofe, debido a la escasez de precipitaciones, lo cual obliga a plantear respuestas técnicas a un problema como éste.

La escasez de forraje afecta severamente a los pequeños ganaderos, provocando pérdida de peso de animales y en casos extremos la muerte de ganado, lo que afecta las economías campesinas, donde un componente importante de los ahorros familiares es el ganado. Por ello, la disminución de la disponibilidad de forraje tiene, un doble efecto, uno productivo y otro social, al afectar directamente el capital y las posibilidades de ingreso de las unidades familiares de producción.

Las zonas con mayores problemas se localizan en sectores de secano de la zona central, que presenta bajas productividades de la pradera natural, en torno a 1000 kg MS/ha al año, y donde un fenómeno de restricción hídrica debilita la población de semillas del suelo y deteriora aún más la producción de forraje.

Cabe mencionar la situación de la Región de Coquimbo, donde comunas como Combarbalá, Provincia de Limarí, enfrenta una situación crítica en términos de agua disponible para la población y que además repercute en la productividad de la comuna, complicando la crianza de cabras y la elaboración de productos locales como el queso.

Según datos de la Dirección General de Aguas, durante el año 2012 se registró un 77% de déficit de precipitaciones respecto de un año normal en la hoya del Río Limarí, donde se ubican las comunas de Combarbalá y Monte Patria, reportándose en esta última, la muerte de cerca de 30 mil caprinos y cinco mil personas afectadas sin agua.

Cifras de la ONEMI de 2013, indican que serían 36 mil personas que están sin suministro, principalmente en sectores rurales y que deben ser abastecidas por camiones aljibe del gobierno y los municipios de la zona.

Según la Comisión Nacional de Riego del Ministerio de Agricultura, los embalses de la Región de Coquimbo están solo a la mitad de su capacidad histórica: Puclaro tiene solamente un 16% de su capacidad, La Paloma un 14% y el Cogotí apenas supera el 13%, durante el año 2013.

1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN

El Forraje Hidropónico (FH) es una tecnología de producción de biomasa vegetal de alta sanidad y calidad nutricional, producido muy rápidamente (9 a 16 días), en cualquier época del año y en cualquier localidad geográfica, siempre y cuando se establezcan las condiciones mínimas necesarias para ello. La tecnología FH es complementaria y no competitiva a la producción convencional de forraje a partir de especies aptas para cultivo forrajero convencional.

El forraje hidropónico, se obtiene a partir del crecimiento inicial de semillas de cereales en los estados de germinación y crecimiento temprano de plántulas, a partir de semillas viables y su posterior crecimiento bajo condiciones ambientales controladas (luz, temperatura y humedad) y en ausencia del suelo, para lo cual usualmente se utilizan semillas de avena, cebada, maíz, trigo y sorgo. Constituye un recurso forrajero de alta digestibilidad, calidad nutricional y muy apta para la alimentación animal.

Este sistema puede proporcionar un suministro constante de alimento para el ganado durante épocas críticas de abastecimiento de forrajes (sequía/invierno), siendo apropiado para su producción pequeñas superficies. También ha sido probado con éxito en sistemas intensivos de producción animal para proporcionar un nuevo ingrediente como alimento, suplemento y/o reemplazo de uno o más componentes de la ración diaria, debido a su alta palatabilidad, digestibilidad y por presentar en general niveles óptimos (según requerimiento animal) de energía, vitaminas y minerales.

Algunas de las ventajas del sistema de producción de forraje hidropónico son:

- Ahorro de agua. Se evitan pérdidas por escurrimiento superficial, infiltración y evapotranspiración, comparado con el sistema tradicional.
- Eficiencia en el uso del espacio. El sistema puede ser instalado en módulos verticales que optimizan el espacio útil por metro cuadrado.
- Ciclo de producción corto. La producción de forraje hidropónico tiene un ciclo de 10 a 15 días, aun cuando la cosecha no debería extenderse más allá del día 12, debido a la disminución del valor nutricional del forraje.
- Calidad del forraje. Su valor nutritivo deriva de la germinación de las semillas y es rico en carotenoides, vitaminas, especialmente A y E, hierro, calcio y fósforo. Su digestibilidad es alta debido al bajo contenido de lignina y celulosa.
- Inocuidad. Bajo condiciones adecuadas de manejo es un forraje limpio e inocuo sin plagas ni enfermedades, libre de malezas o hierbas que dificulten o perjudiquen los procesos de metabolismo y absorción.
- Es posible implementarlo en condiciones áridas donde no se puede contar con una fuente permanente de forraje verde.
- Puede efectuarse en áreas no adecuadas para la agricultura debido a la salinidad, pedregosidad o erosión del suelo.
- Se puede realizar en áreas urbanas que no cuentan con un terreno suficiente para producir forraje en forma convencional.
- Se puede producir durante todo el año.

Como desventajas se pueden mencionar las siguientes:

- Dificultad de acceso a la información y capacitación. Desinformación y falta de capacitación en productores y técnicos dificulta la masificación de la tecnología. La producción de forraje es una actividad continua y exigente en cuidados diarios, por lo cual la falta de conocimientos e información pueden representar dificultades para los productores.
- Bajo contenido de materia seca. En general, el FH tiene bajo contenido de materia seca, pero que se resuelve agregando diversos rastrojos o alimento concentrado para complementar la ración en la alimentación del ganado.
- Se requiere de una pequeña inversión en los materiales necesarios para estructuras y sistema de riego.
- En caso de grandes productores es necesario construir invernaderos o cobertizos.

Como se aprecia, al realizar un balance, las ventajas son mayores que las desventajas, especialmente por la posibilidad de producir forraje inocuo en corto tiempo, con menor cantidad de agua y en menor espacio. Dichos aspectos son de gran importancia, debido a que en los últimos años las condiciones climáticas han sido críticas; ejemplificadas en la sequía que ha afectado a la zona centro norte del país. Adicionalmente, diversos escenarios climáticos prevén un aumento de la temperatura en varias regiones de Chile así como mayor incidencia de eventos extremos durante los próximos años, por lo que se considera que la producción de forraje hidropónico podría representar una alternativa para complementar la alimentación del ganado y contrarrestar los efectos de cambio climático en los sectores agrícola y ganadero.

2. ASPECTOS FISIOLÓGICOS DE LA GERMINACIÓN DE GRANOS

Es importante conocer los procesos involucrados en la germinación para establecer criterios de manejo agronómico del sistema que optimicen la producción de forraje. En efecto, la germinación es una secuencia de eventos, que dan como resultado la transformación de un embrión en estado quiescente, en una plántula, donde es posible reconocer en el proceso las siguientes etapas:

- Imbibición como proceso físico de absorción de agua.
- Activación de los procesos bioquímicos de síntesis y degradación.
- División y elongación celular
- Ruptura de la cubierta seminal por el embrión.
- Establecimiento de la plántula como ente autónomo.

Asumiendo que no existen mecanismos de latencia que impidan la germinación, se requiere la concurrencia de varios factores para que el embrión contenido en la semilla reinicie su desarrollo. A continuación se describen algunos factores ambientales y propios de las semillas, relevantes en la germinación de granos que permiten comprender la dinámica de la producción de forraje hidropónico, así como establecer criterios de decisión o medidas a adoptar para la obtención de forraje de óptima calidad, en el menor tiempo posible.

2.1 ABSORCIÓN DE AGUA

La imbibición es un fenómeno de difusión. Se produce por las diferencias de potencial hídrico entre la semilla y la solución de imbibición. Se caracteriza por un aumento de volumen de la sustancia o cuerpo que imbebe y está íntimamente relacionada con las propiedades de los materiales coloidales de la semilla. Cuando el agua penetra en la semilla, una fracción ocupa los espacios libres y otra se une químicamente a las sustancias que componen las semillas. El volumen de las semillas aumenta con la imbibición, pero el volumen final del sistema (semilla + agua) es menor que la suma de los volúmenes individuales iniciales de semillas y agua; esta contracción del sistema es prueba de la ocupación de los espacios libres dentro de la semilla y de la absorción de agua en la matriz coloidal.

La tasa de imbibición se ve afectada por varios factores que pueden determinar la respuesta de germinación de las semillas, entre las cuales se indican las siguientes:

- **Concentración del agua:**

En general, la imbibición es más rápida cuando la semilla está en contacto con agua pura que cuando el agua contiene solutos. El principio que opera es el de presión de difusión del agua, es por esto que las semillas la absorben más lentamente en suelos secos o salinos, no sólo porque existe menos agua, sino que también es causa de una menor presión de difusión del agua.

- **Temperatura:**

El calor es una forma de energía. Cuando se calienta el agua que está en contacto con la semilla, parte de la energía suministrada se invierte en aumentar la difusión de agua, por lo tanto, aumen-

ta la tasa de absorción de agua, dentro de ciertos límites. Se ha encontrado experimentalmente que un aumento de 10°C en la temperatura duplica la tasa de absorción al inicio del proceso de imbibición.

- **Presión hidrostática:**

Conforme el agua penetra en las semillas, ésta provoca un aumento de volumen y presión en las membranas celulares. Igualmente, las membranas celulares oponen resistencia de igual magnitud, la cual resulta en un aumento de la presión de difusión del agua interna, aumentando su difusión hacia afuera y por lo tanto, disminuyendo la tasa de absorción de la semilla.

- **Diferencias entre especies:**

Algunas especies absorben agua más rápidamente que otras, debido a características propias y diferenciales como el grado de impermeabilidad de la cubierta seminal.

- **Contenido de humedad mínimo para que ocurra germinación:**

Cada especie necesita absorber un cierto mínimo de humedad para que ocurra la germinación. Se ha encontrado que las semillas con alto contenido de proteína necesitan un contenido de humedad mayor que semillas con niveles bajos de proteína.

El exceso de agua puede ser tan pernicioso para la semilla como la carencia. Si el nivel de agua llega a excluir o restringir la penetración de oxígeno a la semilla, la germinación se retarda o no ocurre, en un gran número de especies. Es así como la inmersión de semilla de poroto por períodos relativamente cortos puede causar daños severos, sin embargo la germinación de semilla de avena se puede acelerar mediante el manejo de inmersión.

2.2 EFECTO DE LA TEMPERATURA

El proceso de germinación, como todos los procesos fisiológicos está afectado por la temperatura. Para cada clase de semilla existe una temperatura mínima, máxima y óptima en la que ocurre la germinación, valores conocidos como temperaturas cardinales de germinación. (**Cuadro 1**).

Cuadro 1. Temperaturas cardinales de germinación de algunas semillas.

Cultivo	Temperatura (°C)		
	mínima	óptima	máxima
Maíz	8-10	32-35	40-44
Trigo	3-5	15-31	30-43
Avena y cebada	3-4	18-24	35

Fuente: Publicación CIREN N°86.

A menudo el efecto de la temperatura sobre la germinación está íntima mente relacionada con la condición fisiológica de la semilla. En efecto, semillas recién cosechadas presentan requerimientos muy específicos de temperatura para poder germinar. Por ejemplo, semilla de arroz recién colectada germina mejor a 32 °C que a 25 °C, fenómeno que se relaciona con la latencia. Conforme se pierde la latencia, el óptimo de temperatura puede variar hacia temperaturas más altas o más bajas y el rango de temperaturas dentro de las que ocurre la germinación se amplía. Con el deterioro, las semillas tienden a necesitar temperaturas específicas para que ocurra la germinación. Por ello, es importante conocer el origen y condición de la semilla al momento de iniciar el proceso de producción de forraje hidropónico, ya que este aspecto de calidad incidirá directamente en la capacidad germinativa y la productividad del sistema.

2.3 PRESENCIA DE OXÍGENO

Generalmente se asume que la atmósfera suple todas las necesidades de oxígeno para la germinación de las semillas. Sin embargo, no se debe olvidar que entre el oxígeno y el agua se establece un proceso de competencia, originado por la baja solubilidad del oxígeno en agua. De lo anterior se deduce que el exceso de humedad en el sustrato de germinación (o en el suelo), reduce notablemente la disponibilidad de oxígeno a las semillas en germinación. De esto deriva la necesidad de facilitar la aireación de la semilla y no someter a periodos de más de 24 hrs el proceso de imbibición para estimular la germinación, ya que de lo contrario se estará afectando la germinación.

2.4 LUZ

La luz puede desempeñar un papel importante en la propagación de semillas, tanto por su efecto sobre la iniciación de la germinación como por su influencia controladora sobre el crecimiento de las plántulas. La reacción a la luz se asocia principalmente con semillas recién cosechadas y tiende a disminuir con el almacenamiento en condiciones de baja humedad.

De acuerdo a los requerimientos de luz para germinar, es posible clasificar las semillas en tres grupos:

- a) Semillas de fotosensibilidad positiva: germinan preferentemente bajo condiciones de luz.
- b) Semillas de fotosensibilidad negativa: semillas que germina preferentemente en condiciones de oscuridad.
- c) Semillas de fotosensibilidad neutra: indiferentes a las condiciones de iluminación.

Las especies más usadas en producción de forraje hidropónico como avena, maíz y trigo, se reportan como de fotosensibilidad neutra.

3. MATERIALES NECESARIOS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL SISTEMA

Se recomienda ubicar las estructuras que se describen a continuación bajo cubierta de invernadero, bodega o bajo malla de cobertura, para evitar la exposición directa del sol y el ataque de pájaros que consumen semillas. Se sugiere la ubicación cercana a los corrales para facilitar el suministro de forraje a los animales y para manejo, control y supervisión diaria del sistema.

3.1 ESTRUCTURA DE SOPORTE

Corresponde a armazones de madera o metal con cuatro o cinco pisos de alto, donde se ubican las bandejas con las semillas. Las dimensiones deben asegurar un manejo cómodo del sistema, dejando pasillos entre módulos de 1 m. La **Figura 1**, muestra una estantería de madera de 1,75 m de altura y 0,1 m enterrado para dar firmeza a la estructura, considera 4 pisos útiles separados 0,3 m entre sí, construida con listones de madera de 2 x 2", con capacidad para soportar 48 bandejas plásticas de 0,4 x 0,35 m

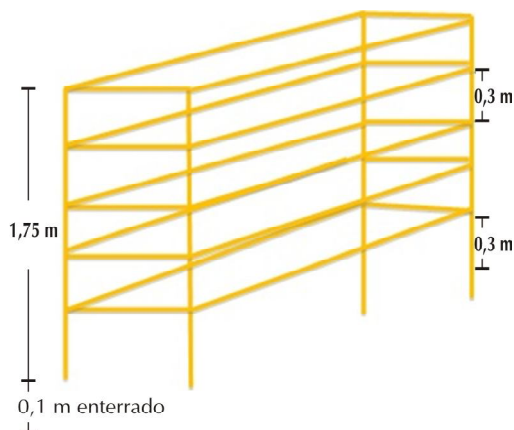


Figura 1. Estante para producción de forraje.

La **Figura 2**, muestra un detalle de cada piso de 2,34 m de largo, y 0,97 m de ancho, con listones de 0,87 m separados a 0,33 m uno de otro para sostener las bandejas sobre las cuales se siembra la semilla.

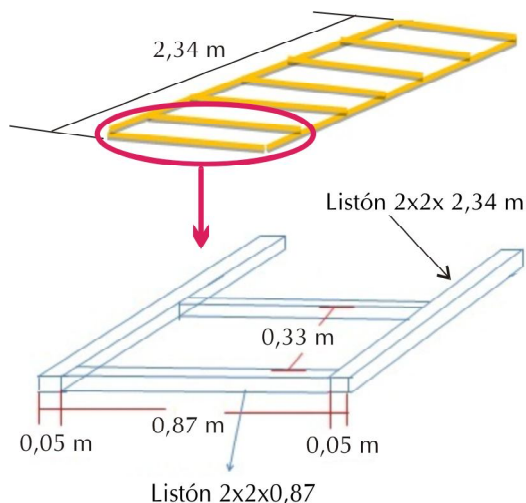


Figura 2. Detalle de piso de estructura de soporte.

Los materiales necesarios y sus dimensiones para esta estructura son los siguientes:

- 24 Listones de 2" x 2" x 3,2 m con las siguientes medidas:
 - 4 listones de 1,85 m.
 - 10 listones de 2,34 m.
 - 35 listones de 0,87 m.
- 2 Tablas de 4 x1 x 1,87 m.
- 3 kg clavos 4".
- 0,5 kg clavos ½".

3.2 RECIPIENTE DE CULTIVO O BANDEJAS

Los recipientes para contener las semillas pueden ser de variados tipos, como bandejas metálicas galvanizadas, bandejas plásticas de casino, cajas plásticas recubiertas con polietileno, etc. El tipo de contenedor dependerá del nivel de capital disponible para la experiencia y de la posibilidad de obtenerlo fácilmente a nivel local. En este trabajo se usaron bandejas plásticas de 0,4 x 0,35 m.

3.3 SISTEMA DE RIEGO

El sistema de riego tiene por objetivo captar el agua desde una fuente y dejarla a disposición de la unidad de producción, lista para la aplicación al cultivo. Se sugiere el uso de un sistema de riego por aspersión y con cantidades controladas de agua, para evitar acumulaciones que predisponen asfixia radicular y desarrollo de hongos.

Esta unidad está compuesta por los sistemas de aspiración, impulsión, distribución y aplicación. El diseño considera una electrobomba, tubería y fittings en pvc de 32 y 20 mm. El detalle de las piezas del sistema de riego es el siguiente:

3.3.1 Sistema de aspiración (pvc 32 mm)



Válvula
de pie



Terminal
HE



Codo
de 90°



Unión americana

3.3.2 Sistema de impulsión (pvc 32 mm)



Terminal
HE



Electrobomba



Terminal
HE



Unión americana



Codo
de 90°



Terminal
HI



Filtro de
anillas



Terminal
HI



Terminal
HE



Válvula de
compuerta



Terminal
HE



Codo
de 90°



Codo
de 90°



Terminal
HE



Válvula de
retención



Terminal
HE

3.3.3 Sistema de distribución

El sistema de distribución está diseñado en 20 mm de Pvc



Reducción
32 x 20 mm



Tee
soldar



Codo
de 90°



Terminal
HE



Tapagorro
HI

3.3.4 Sistema de aplicación

El sistema de aplicación vía microjet está diseñado en 20 mm de pvc. La línea de riego del primer nivel de la estructura de madera, lleva una válvula de bola de pvc, para independizar el riego de los otros tres niveles. Así el primer nivel se puede destinar a cámara de germinación y el resto de los pisos contiene el forraje ya germinado y en proceso de crecimiento. Estos 3 niveles también se pueden regar por separado, instalando una llave de bola en la tubería de entrada a cada piso.



3.4 LISTADO DE MATERIALES PARA UN MÓDULO DE 48 BANDEJAS

El **Cuadro 2**, muestra el detalle y cubicación de materiales para la una estructura de 48 bandejas.

El sistema de riego es capaz de abastecer al menos diez unidades de 48 bandejas, funcionando al mismo tiempo, por lo cual económicamente conviene establecer un sistema de producción con la mayor cantidad de estantes posibles, como forma de optimizar la inversión en riego.

Cuadro 2. Cubicación de materiales.

Materiales estructura de soporte	Cantidad
Bandejas (45 x 35 cm)	48
Listones (2" x 2" x 3,2 m)	24
Tablas (4" x 1" x 1,87 m)	2
Clavos (4") (kg)	3
Clavos (1/2") (kg)	0,2
Materiales sistema de riego	Cantidad
Electrobomba 0,5 HP, 2,3 Amp, 220 V, 1"X1"	1
Válvula de pie con canastillo, 32 mm bronce	1
Terminal HE 32 mm PVC	7
Tubería PVC 32 mm	2
Codo 90° PVC 32 mm	4
Unión Americana 32 mm PVC	2
Filtro de anillas 32 mm	1
Terminales HI, 32 mm PVC	2
Válvula de compuerta, 32 mm, HI/HI, bronce	1
Válvula de retención (chapaleta) bronce, 32 mm	1
Reducción 32 x 20 mm PVC	1
Llave de bola 20 mm PVC	2
Tee PVC 20 mm	6
Codo PVC 20 mm	3
Tubería PVC 20 mm (Tiras)	3
Tapagorro, cementar 20 mm	5
Te HI 20 x 1/2"	12
Niple de 1/2"	12
Porta microjet 1/2"	12
Microjet 360°	12
Abrazadera PVC 20 mm	10
Pegamento PVC 60 cc	1
Teflón 1"	5

4. PROTOCOLO DE PRODUCCIÓN DE FORRAJE HIDROPÓNICO

A continuación, se entrega un protocolo de producción de forraje hidropónico desde la selección de semilla hasta la cosecha, enfatizando en los factores más importantes para el correcto funcionamiento del sistema.

4.1 SELECCIÓN DE SEMILLA

Generalmente se utiliza semillas de cereales y su elección depende de la disponibilidad local y de su precio. Es importante usar semilla de buena calidad, de alta capacidad de germinación, al menos un 75%, limpia, libre de semillas de malezas, de piedras, de paja, de hongos y sin residuos de pesticidas. Es posible usar granos de producción local o del propio agricultor, cuidando las características mencionadas (**Figura 3**).



Figura 3. Semillas aptas para el proceso de producción.

4.2 LAVADO Y DESINFECCIÓN DE LA SEMILLA

El lavado y desinfección tiene por objeto eliminar hongos y bacterias contaminantes, liberarlas de residuos y dejarlas limpias. Se inunda el grano en un tanque o recipiente para retirar todo el material que flote, como lanas, basura, granos partidos y cualquier otro tipo de impurezas. Las semillas deben lavarse y desinfectarse con una solución de hipoclorito de sodio al 1% (diluir dos cucharaditas de té por cada litro de agua). Sumergir las semillas por no más de dos minutos en la solución desinfectante, usar tambor plástico, no metálico y enjuagar abundantemente con agua limpia. Es importante respetar el tiempo de lavado pues más de dos minutos puede afectar la viabilidad de la semilla.

4.3 REMOJO Y PRE GERMINACIÓN DE LA SEMILLA

Esta etapa consiste en la inmersión de las semillas en agua para lograr su completa imbibición y desencadenar los procesos fisiológicos de la germinación. Se colocan las semillas en una bolsa de arpillera o tela delgada y se sumergen en agua por 12 horas, en un tambor plástico, no metálico.

Luego se sacan y deja escurrir el agua y airear las semillas por una hora, para volver a sumergirlas otras 12 horas. Finalmente sacar y orear nuevamente las semillas por una hora. Con ello quedan preparadas para la siembra.



Figura 4. Proceso de remojo de semillas.

4.4 DOSIS DE SEMILLA Y SIEMBRA

El **Cuadro 3** muestra las dosis de siembra recomendadas según especie. Las densidades óptimas por metro cuadrado oscilan entre dos y cuatro kilos de semilla. Luego de embebidas las semillas se siembran en los contenedores o bandejas en capas no superiores a 1,5 cm de espesor, y se cubren con papel de diario para mantener la humedad y temperatura óptimas de germinación. Se debe regar tres veces al día, para mantener humedad, sin aplicar agua en exceso para evitar que se apoce en las bandejas.

Cuadro 3. Dosis de semilla según especie.

Especie	Dosis (kg/m ²)
Avena	2 a 3
Cebada	2 a 3
Trigo	2,2 a 3,3
Maíz	4
Sorgo	2,5

Se sugiere dejar en ambiente oscuro hasta que las semillas emitan la radícula y la mayoría esté germinando. Una vez germinadas todas las semillas, se retira el papel y se sacan las bandejas a la luz difusa, no directamente al sol, porque esto daña los tejidos tiernos del forraje. Para ello, se puede cubrir las estanterías con una malla de sombreadero.

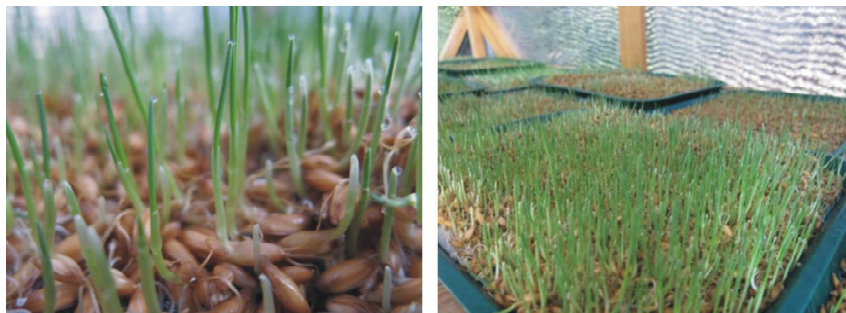


Figura 5. Semillas germinando.

4.5 MANEJO DEL RIEGO

Recomendar una dosis exacta de agua de riego según cada especie resulta muy difícil, dado que dependerá de la época del año durante la que se realice el cultivo y tipo de infraestructura de producción disponible. Sin embargo, es posible entregar algunas recomendaciones generales como:

- Regar por aspersión, mediante sistema especialmente diseñado para ello o utilizando una bomba de espalda o regadera.
- Evitar apozamiento del agua en bandejas (produce asfixia radicular, ataque de hongos).
- No regar cuando se note follaje húmedo o masa de raíces con alta humedad.

- Los primeros tres días no se debe aplicar más de 0,5 litros/m² aproximadamente.
- Luego llegar a aplicar 1 ó 1,5 litros/m² al día.
- Dividir el volumen de agua diaria en cuatro o cinco aplicaciones de corta duración.



Figura 6. Sistema de riego por microjet.

4.6 COSECHA

En general se sugiere cosechar en torno a 12 a 14 días después de la siembra, para no afectar la calidad del forraje, como se aprecia en el **Cuadro 4**.

Cuadro 4. Calidad del forraje hidropónico de avena, según días de cosecha.

Componente	Tiempo de cosecha (días)			
	7	10	13	16
Materia seca(%)	31,72 b	36,86 a	35,52 a	37,86 a
Proteína bruta (%)	12,78 b	14,79 a	14,48 a	14,31 a
Fibra cruda (%)	17,04 b	18,77 a	20,01 a	20,58 a
Grasas (%)	4,86 b	6,65 a	7,76 a	6,30 a
Cenizas (%)	4,59 a	5,11 a	5,39 a	5,75 a

Letras distintas entre columnas indican diferencias significativas prueba Turkey ($p \leq 0,5$).
Fuente: Fuentes, 2011.

Se cosecha el total de la biomasa generada incluyendo raíces, tallos, hojas, semillas germinadas y granos sin germinar. Este colchon de forraje se distribuye a los animales en forma entera o desmenuzada para facilitar su consumo, especialmente a animales que por primera vez acceden a este tipo de forraje. Se recomienda no entregar forraje recién regado o húmedo para evitar posibles problemas de meteorismo.

La **Figura 7** muestra (izquierda, centro y derecha) forraje cosechado a los 30, 16 y 8 días después de siembra, respectivamente.



Figura 7. Cosecha de forraje.

4.7 RENDIMIENTO

En el **Cuadro 5**, se muestra los resultados obtenidos por productores de Cabildo, San Javier y Pelarco, utilizando avena grano, con un rango de dosis de semilla de 1,8 a 2,6 kg/m² y un rendimiento de 9 a 11,8 kg/m² de forraje, con un promedio de 2,1 kg/m² y 10,1 kg/m²

de dosis de semilla y rendimiento, respectivamente. No se reportó ataques de hongos ni insectos, pero sí de pájaros, lo que implica proteger las estructuras con malla para sombreadero o trabajar bajo cobertizo. La cosecha se realizó a los 15 días con 20 cm de altura aproximadamente.

Cuadro 5. Dosis de semilla y rendimientos de forraje hidropónico.

Sitio	Dosis (kg/m ²)	Rendimiento(kg/m ²)
Cabildo	1,8	9,0
Cabildo	2,0	10,5
Cabildo	2,1	9,9
San Javier	2,1	9,4
Pelarco	2,6	11,8
Promedio	2,1	10,1

Con estos valores es posible proyectar la superficie necesaria del sistema para abastecer una dotación de animales según su consumo, cálculo que se realizará en el capítulo de análisis de costo.

4.8 CONSUMO RECOMENDADO SEGÚN ESPECIE ANIMAL

En el **Cuadro 6**, se presenta el consumo recomendado según especie animal. Se sugiere reemplazar no más de un 20 a 30% de la ingesta total de materia seca diaria del animal, con forraje hidropónico.

Cuadro 6. Tabla de consumo según especie animal.

Especie animal	Kg de forraje hidropónico/ 100 kg peso vivo	Observaciones
Vaca lechera	1 a 2	Complementar con pradera o forrajes tosco
Vacas secas	0,5	Complementar con fibra de buena calidad
Vacunos de carne	0,5 a 2	Complementar con fibra normal
Cerdos	2	Complementar con concentrado
Aves	25 kg de forraje hidropónico/100 kg de alimento seco	
Caballos	1	Complementar con fibra y concentrado
Ovejas/Cabras	1 a 2	Agregar fibra
Conejos	0,5 a 2	Complementar con fibra y concentrado

Fuente: FAO, 2001

5. COSTOS DE PRODUCCIÓN

Para determinar el costo de producción, se trabajará a modo de ejemplo, un sistema capaz de abastecer a 52 animales con un consumo promedio diario de 0,37 kg durante 60 días. Se considera una dosis de siembra de 2,1 kg/m² y un rendimiento promedio de 10,1 kg/m², con un ciclo de producción de 15 días. En el **Cuadro 7**, se presenta una ficha técnica con los materiales e insumos requeridos para un sistema de cuatro estantes de cuatro pisos útiles cada uno y su sistema de riego, capaz de cumplir con la demanda de forraje.

Cuadro 7. Costo de inversión módulos de forraje hidropónico.

Materiales estantes de madera	Precio Cantidad	Costo Unitario (\$)	(\$)
Bandejas plásticas (45 x 35 cm)	192	750	144.000
Listones (2" x 2" x 3,2 m)	96	919	88.259
Tablas (4" x1" x 1,87 m)	8	865	6.922
Clavos (4")	12	541	6.490
Malla de sombra (60% cubrimiento) doble 2 m	17	1.200	20.400
Mano de obra (JH)	2	10.000	20.000
Materiales sistema de riego			
Electrobomba 0,5 HP, 2,3 Amp, 220 V, 1"X1"	1	37.388	37.388
Válvula de pie con canastillo, 32 mm bronce	1	5.121	5.121
Terminal HE 32 mm PVC	7	113	788

Continuación Cuadro 7.

Materiales sistema de riego	Precio Cantidad	Costo Unitario (\$)	(\$)
Tubería PVC 32 mm	2	2.224	4.448
Codo 90° PVC 32 mm	4	156	624
Unión Americana 32 mm PVC	2	1.370	2.740
Filtro de anillas 32 mm	1	3.661	3.661
Terminales HI, 32 mm PVC	2	113	226
Válvula de compuerta, 32 mm, HI/HI, bronce	1	4.449	4.449
Válvula de retención, bronce, 32 mm	1	6.448	6.448
Reducción 32 x 20 mm PVC	1	64	64
Llave de bola 20 mm PVC	10	751	7.510
Tee PVC 20 mm	30	101	3.030
Codo PVC 20 mm	15	70	1.050
Tubería PVC 20 mm (Tiras)	15	1.188	17.820
Tapagorro, cementar 20 mm	25	49	1.225
Te HI 20 x 1/2"	60	101	6.060
Niple de 1/2"	60	68	4.080
Porta microjet 1/2"	60	240	14.400
Microjet 360°	60	39	2.340
Abrazaderas PVC 20 mm	50	49	2.450
Adhesivo PVC 60 cc	4	697	2.788
Cinta teflón 1"	10	187	1.870
Total costo inversión (\$)			416.650

El **Cuadro 8** muestra el costo de inversión para cuatro unidades de producción con capacidad para 48 bandejas de forraje cada uno, lo cual totaliza una superficie directamente productiva de 30,24 m² y que es posible usarla durante cuatro ciclos de producción en 60 días, lo que hace una superficie final de 121 m².

Cuadro 8. Costo operación de módulos de forraje hidropónico.

Ítem	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Costo (\$)	Costo (\$/m ²)
Avena grano (kg)	240	250	60.000	496
Mano de obra (JH)	7,5	10.000	75.000	620
Total costo operación			135.000	1.116

Del Cuadro 7, se aprecia que el costo de inversión es de \$ 416.650. Considerando una superficie utilizada de 121 m² por las cuatro estructuras durante cuatro ciclos de producción, se obtiene un costo de inversión por unidad de superficie de \$3.443/m², mientras que el costo de operación es de \$ 1.116/m². Según el nivel de producción de 10,1 kg/m², se obtiene un costo de producción de \$451/kg (**Cuadros 8 y 9**).

Cuadro 9. Costo Total.

Costo inversión (\$/m ²)	3.443
Costo operación (\$/m ²)	1.116
Costo total (\$/m ²)	4.559
Producción de forraje (kg/m ²)	10,1
Costo producción forraje (\$/kg)	451

Un aspecto de importancia de este sistema de producción es su alta eficiencia en el uso del espacio, de acuerdo a las dimensiones recomendadas y para el ejemplo de cálculo analizado, bastan 10 m² de superficie para el emplazamiento de estas estructuras, lo cual genera una superficie directamente productiva de 30,7 m², pues los estantes soportan 48 bandejas de una superficie de 0,16 m². Este as-

pecto es de alta relevancia especialmente para pequeños productores, donde la producción extensiva de forraje en base a praderas es una limitante para su sistema productivo.

A modo de comparación con el sistema tradicional de producción de forraje, el **Cuadro 10**, muestra el costo directo por hectárea, de la siembra de avena como cultivo suplementario de invierno, en un sistema de producción simulado para un pequeño agricultor.

Cuadro 10. Costo directo de establecimiento avena (\$/ha).

	Requerimientos		Total (\$)
	Cantidad	Precio (\$)	
Labores:			
Aradura	1 ha	30.000	30.000
Rastraje	2 ha	23.000	46.000
Desifección de semillas	0,2 JH	10.000	2.000
Siembra voleo	1 JH	10.000	10.000
Aplicación Fertilizante	3 JH	10.000	30.000
Aplicación Herbicidas	1,5 JH	10.000	15.000
Subtotal Labores (a)			\$ 133.000
Insumos:			
Muriato de Potasio	70 Kg	495	34.650
Superfosfato triple	240 Kg	283	67.920
Urea	250 Kg	220	55.000
Bentazon	1,2 Lt	13.231	15.877
Semilla Avena	180 Kg	500	90.000
Flete	1,0 U	40.000	40.000
Subtotal Insumos (b)			\$ 303.447
Total Costo Directo (a+b)			\$ 436.447

El costo directo alcanza a \$436.447/ha, con una producción estimada de forraje verde entre mayo a agosto de 40 ton/ha, lo cual implica un costo de \$10.9 /kg de forraje verde.

Desde este punto de vista, el sistema tradicional y extensivo de producción, prima sobre el sistema hidropónico, sin embargo, éste tiene la gran ventaja de la utilización al máximo del espacio, ya que para el ejemplo en estudio, bastaron aproximadamente 31 m² de superficie útil para producir el forraje requerido por 52 animales.

6. CONCLUSIONES

La metodología para la producción de forraje hidropónico es de fácil y rápida aplicación con resultados en corto plazo, (10 kg de forraje/m² al cabo de 14 a 16 días).

La producción de forraje hidropónico no reemplaza la producción tradicional, sino que se complementa con ésta, especialmente en situaciones de emergencia como escasez de forraje, agricultores con limitaciones en cuanto a superficie disponible para cultivo, o en casos puntuales como último tercio de preñez donde se requiere de forraje de alta calidad.

Es posible reducir el costo del forraje hidropónico, mediante la producción de grano en el predio, apuntando a una integración vertical para la operación del sistema.

7. BIBLIOGRAFÍA

Ciren, 1989. Requerimientos de clima y suelo. Publicación CIREN N°86. 53 p.

Doria, J. 2010. Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. Cultivos Tropicales, 31 (1): 74-85.

FAO. 2001. Manual Técnico Forraje verde hidropónico. Santiago, Chile. 55 p.

Gómez, M. 2007. Evaluación de forraje verde hidropónico de maíz y cebada con diferentes dosis de siembra para la etapa de crecimiento y engorde de cuyes. Tesis de grado Facultad de Ciencias Pecuarias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador. 75 p.

Juárez, P.; Morales, H.; Sandoval, M., et al. 2013. Producción de forraje verde hidropónico. Nueva Época Año 4, N° 13, abril - junio. 16 p.

Rivera, A.; Moronta, M.; González, M.; et al. 2010. Producción de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* L.) en condiciones de iluminación deficiente. Zootecnia Tropical, 28(1):33-41.

Suárez, D.; Melgarejo, L. 2010. Biología y germinación de semillas. Apuntes Laboratorio de fisiología y bioquímica vegetal. Departamento de Biología. Universidad Nacional de Colombia. 12p.

Vargas, C. 2008. Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. *Agronomía Mesoamericana* 19(2): 233-240.

Vásquez, C.; Orozco, A.; Rojas, M.; Sánchez, M. y Cervantes, V. 1997. La reproducción de las plantas: semillas y meristemas. Fondo de Cultura Económica, México, D.F. 170 p.