

Agosto 2023

PROYECTO FIC REGION O'HIGGINS

IICA   Programa de
Competitividad Turística

CULTIVO DE FORRAJE VERDE SUPLEMENTARIO UNIDAD DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICA (UFVH), EXPERIENCIA DEMOSTRATIVA

Roberto Castro Ríos - Hernán Chiriboga Pareja, IICA Chile
Gonzalo Pérez Espinoza, UTEM

**CULTIVO DE FORRAJE VERDE SUPLEMENTARIO
UNIDAD DE FORRAJE VERDE HIDROPONICA (UFVH), EXPERIENCIA
DEMOSTRATIVA**

Roberto Castro Ríos
Hernán Chiriboga Pareja
IICA CHILE
Gonzalo Pérez Espinoza
UTEM

IICA. Santiago, agosto 2023

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	4
1. ESTRUCTURA UNIDAD DE FVH PARA GANADEROS	6
1.3 Materiales que Constituyen la UFV.....	10
1.4 Espacio de instalación y Requerimientos.....	12
2. PRODUCCION DE FORRAJE	15
2.1 Selección de Especies y Semillas.....	15
2.2 Dosis de Siembra y Pregerminación.....	16
2.3 Siembra	17
2.4 Riego y Agua Consumida.....	19
2.5 Fertilización.....	20
2.6 Seguimiento y Mantención.	20
2.7 Cosecha y Postcosecha	48
2.8 Repetición del Ciclo Productivo	55
2.9 Destino de Forraje, Suplemento Alimenticio de Equinos.....	57
2.10 Características del FVH	58
BIBLIOGRAFÍA	61
ANEXO	63
Ficha de Seguimiento.....	63
Instructivo TIMER.....	63

INTRODUCCIÓN

En el marco de la colaboración que IICA entrega al proyecto FIC “Adaptación al Cambio Climático de Arrieros y Ganaderos de la Región de O’Higgins”, que lidera la Escuela de Turismo de la Universidad Tecnológica Metropolitana (UTEM), con base en la experiencia del IICA, implementó una unidad de producción de forraje verde hidropónico (FVH) como experiencia demostrativa en función de los objetivos del proyecto que dicen relación con instrumentos de adaptación y al mismo tiempo, transferir dicho conocimiento a los arrieros y ganaderos que integran las comunas en estudio del proyecto, comprendidas en la Precordillera y Cordillera Andina del territorio regional.

En el contexto de cambio climático y de cara a aportar al ODS 6 de las Naciones Unidas (2015), impulsar iniciativas productivas alternativas a las tradicionales que minimicen la utilización del agua resultan ser significativas, en este caso la producción de forraje para el ganado mediante el proceso hidropónico permite un ahorro de 50 veces la reducción de agua para obtener un kilo de materia seca, respecto del mismo kilo, producido por métodos tradicionales de campo (FAO, 2001).

El FVH en la actualidad se extiende como una técnica de producción tanto a escala industrial como a la escala productiva de la agricultura familiar, respondiendo especialmente a la demanda de forraje de pequeños ganaderos y arrieros y en el caso de la región de O’Higgins a las familias crianceras que practican la trashumancia y que han visto en los últimos 14 años disminuir la disponibilidad de forraje, tanto en las veranadas como en las invernadas, debido a la mega sequía que existe en la mayor parte del territorio de Chile.

La demanda actual de forraje es relevante, a pesar que los datos del proyecto indican que en la región de O’Higgins en los últimos 10 años la masa ganadera ha

disminuido cerca de 10 veces, disminución que es evidenciada directamente por los arrieros de las comunas en estudio, los arrieros y ganaderos requieren, por lo tanto, alternativas productivas de forraje que les permita no seguir disminuyendo sus animales, con el riesgo de llegar a terminar con los ingresos que mantienen y perder la tradición ganadera de trashumancia.

Se demuestra, a partir de esta experiencia, que la producción de FVH es una alternativa válida para apoyar la problemática de disponibilidad de forraje para el ganado de pequeños arrieros y ganaderos, con costos accesibles y sustentable, con impacto directo, tanto en los animales como en la adaptación de la actividad al cambio climático.

1. ESTRUCTURA UNIDAD DE FVH PARA GANADEROS

1.1 Estructura

La experiencia en utilización de estructuras para la producción de FVH es variada y va desde estructuras simples como reutilización de material como lata o madera para la confección de bandejas dispuestas en estructuras de madera, a sistemas altamente tecnificados e industrializados. En este caso se construyó una unidad con perfiles de fierro y bandejas de “casino”, considerando tener una mayor durabilidad, fácilmente construible y obtener una producción para pequeños ganaderos.

La unidad consiste en una estructura de fierro, cuyas mediciones son 1,85 m de frente, 90 cm de lado (ancho) y 1,75 m de alto, dividida en cuatro secciones, la primera de 27 cm, la segunda y la tercera de 31 cm y una cuarta para la ubicación de bidón y sistema de captura de agua del sistema de riego, de 64 cm, complementada con un apoyo exterior a nivel del suelo para ubicar la bomba de agua (Figura 1).



Figura 1. Estructura UFWH

La estructura queda, de esta manera, adecuada para incluir 10 bandejas de 34,5 x 43,5 cm en cada nivel, en total 30 bandejas. La superficie útil de cada bandeja es

de 0,128 m² (32 x 40 cm), por consiguiente, se cuenta con una superficie productiva de 3,84 metros cuadrados.



Figura 2. Detalle de estructura, zonas de bandejas.

La estructura está fabricada con perfiles de hierro con las siguientes dimensiones: perfil tabular de 5 x 2 cm x 2 mm y perfil angular de 25x25 cm x 2mm (Figura 3).



Figura 3. Perfiles para la construcción.

Los perfiles rectangulares configuran el marco de la estructura, mientras que los angulares dan sustento y fijación a las bandejas. La siguiente figura indica las dimensiones de la estructura (Figura 4).

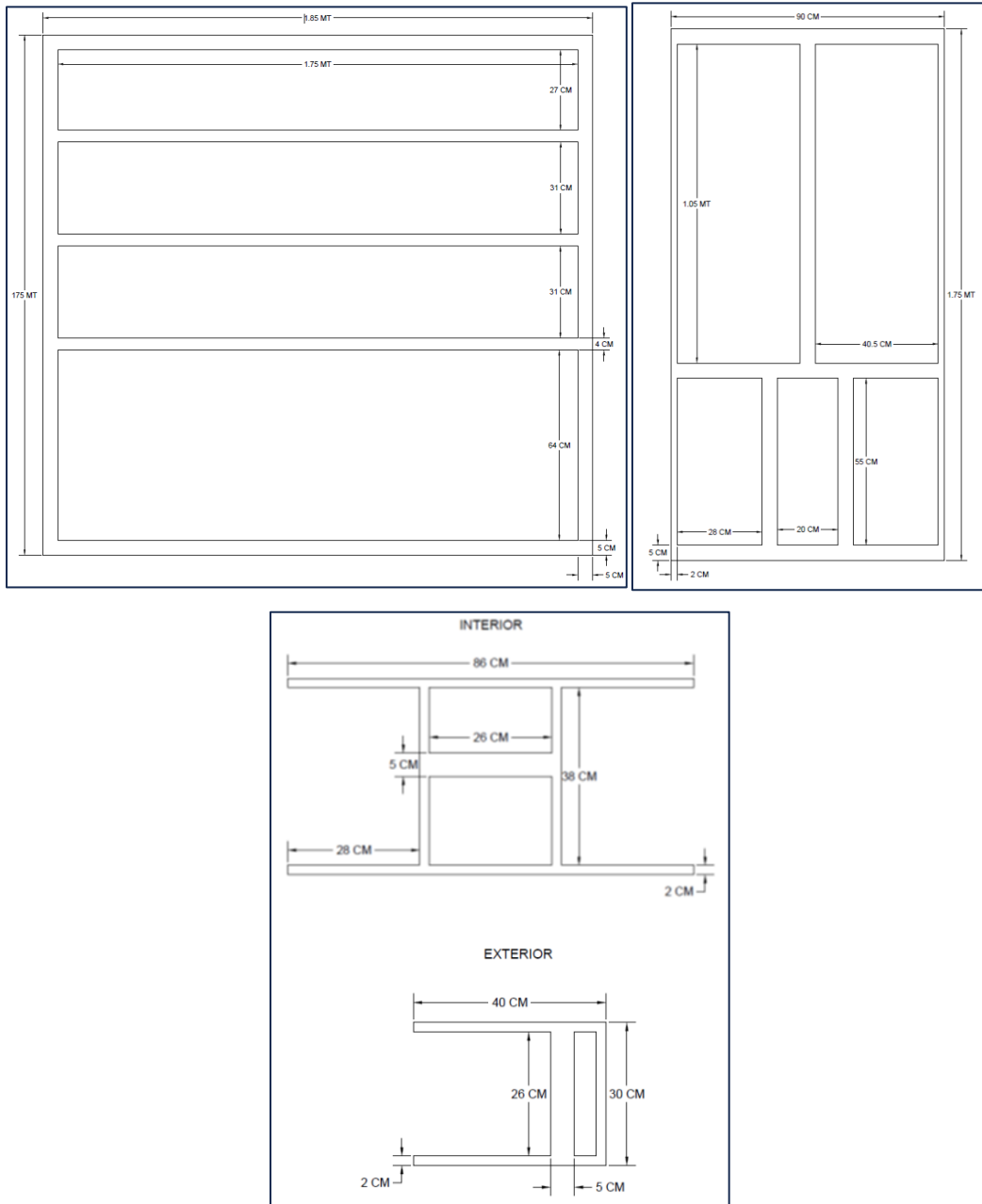


Figura 4. Dimensiones de la vista de frente y de lado de la estructura, detalle interior y exterior.

1.2 Sistema de riego

El riego de la UFBH se puede realizar en forma manual valiéndose de bombas de espalda o directamente esparciendo agua en forma fina mediante una maguera, lo

que se requiere, sin embargo, es humedecer la semilla y el posterior forraje en forma homogénea en todos los niveles de la Unidad mediante gotas finas, por ello resulta más adecuado realizarlo mediante aspersores como parte de un sistema automatizado que permita recuperar parte del agua y volver a ocuparla en los distintos riegos diarios (normalmente tres al día). En este caso, el sistema cuenta con aspersores microjet de 180°, de capacidad de 0,6 L/s, conectados por tubos a un bidón y a una bomba de agua, que se acciona en forma automática, mediante un Timer, tres veces al día (previa programación). Se agrega un sistema de recolección del agua que escurre, mediante una canaleta que drena a un bidón de 25 L de capacidad (Figura 5).



Figura 5. Sistema de riego

La figura 5 muestra la instalación de la bomba de $\frac{1}{2}$ HP periférica, ubicada en el detalle exterior de la estructura que se muestra en figura 4, la cual toma agua del bidón de 25 litros, instalado en el detalle interior de la estructura que se muestra en la figura 4, vía tubo PVC con llave y filtro de anillo, luego se ubica tubería de salida, también de PVC, con unión americana que conduce el agua mediante microtubos

de 4 mm hacía los tres niveles, con salidas a dos aspersores microjet por ambos lados de cada nivel, en total 4 aspersores por nivel.

El agua que suministran los aspersores permite el riego homogéneo de todas las bandejas de cada nivel y dada la inclinación de las bandejas y el drenaje (orificios) en la parte inferior de éstas, el agua se deposita y escurre y en el nivel inferior y finalmente es recogida por la canaleta que se muestra en la figura 5, para ser conducida al bidón de agua, cerrando el ciclo.

El bidón tiene capacidad de 25 litros, al cual se sugiere añadir otro bidón del mismo volumen para tener mayor autonomía y disponibilidad de agua (a lo menos 2 días), necesario por la pérdida de agua de los aspersores en la dirección horizontal.

El sistema consta, además, de un TIMER que permite programar los riegos por horarios (9 h, 13,30 h y 17,30 h) y el tiempo de riego (un minuto). El cual puede ser programado dependiendo la cantidad de riegos a dar, según estación del año.

1.3 Materiales que Constituyen la UFV

La estructura y el sistema de riego descrito requiere para su desarrollo de la adquisición de los materiales que se indican en la tabla 1.

Tabla 1. Materiales de UFVH

Material	N° Unidades	Unidad
Plansa polietileno ½ 6 metros	1	unidad
Codo polietileno 1/2"	4	unidad
Terminal polietileno HE 1/2"	3	unidad
Válvula de paso para plansa 5/8"	4	unidad
Tee Polietileno 1/2"	1	unidad
Tapa gorro PVC HI 1/2"	2	unidad
Tubería PVC 32 mm x 3 m	1	unidad
Llave PVC SO 32mm	1	unidad
Unión americana 32 mm	2	unidad
Tee Cem/HI 32 mm x 1 HID	1	unidad
Buje reducción HE - HI; 1" - 1/2"	1	unidad
Filtro de pie 32 mm	1	unidad
Terminal PVC HE - SO; 1" - 32mm	4	unidad
Salida de estanque 32 mm	1	unidad
Codo PVC 32 mm	2	unidad
Aspersor microjet 180°	12	unidad
Microtubo 4 mm	20	metros
Copla microtubo 4mm	12	unidad
Codo microtubo 4 mm	12	unidad
Filtro azud malla 32 mm	1	unidad
Terminal HI 1" a 32 mm	2	unidad
Bomba ½ HP periférica	1	unidad
Estanque 30 Litros	1	unidad
Válvula de bola PVC soldable 1 UA 32 mm	1	unidad
Amarras plásticas	2	paquet
Tornillos Punta broca Sujeción Bomba 1"	6	unidad
Canaleta PVC blanca 2,2 m	1	unidad
Tapa canaleta PVC	2	Unidad
Bajada de canaleta	1	unidad
Copla para canaleta	1	unidad
Timer Programación semanal/enc-apag	1	unidad
Cable eléctrico 15 metros	1	unidad
Enchufe macho 10A 2P+T	1	unidad
Tornillo volcánita autoperf 1" 5/8	8	unidad
Perfil rectangular de fierro	3	unidad
Perfil angular de fierro	4	unidad

El costo aproximado de los materiales que se indican es del orden de 520.000 pesos chilenos (a junio del 2023). En el caso de los perfiles de fierro, cada unidad es de 6 m. de largo.

1.4 Espacio de instalación y Requerimientos

Los espacios para la producción de FVH son variados, van desde espacios con túneles de plástico, invernaderos donde se instalan las UFVH con bandejas en distintos pisos, como es el caso del presente desarrollo, galpones agrícolas, hasta los espacios conocidos como “Fábricas de forraje” que son climatizadas y automatizadas. Todo, dependerá de los recursos que se tengan y de las demandas de forraje que son necesarias de cubrir, según la cantidad y tipo de animal que se requiera alimentar.

Cualquier espacio, sin embargo, debe ser definido considerando los siguientes factores:

- i) Acceso a luz solar indirecta, de no existir luz o escasa, la fotosíntesis no será posible o no suficiente para obtener ciclos productivos adecuados y materia verde y seca en cantidad suficiente en relación con lo esperado, considerando que, en los primeros cuatro días, hasta la aparición de brotes, se requiere luz moderada y también la no exposición del cultivo a luz directa del sol, que produce alta evapotranspiración, endurecimiento de las hojas e incluso quemaduras.
- ii) Control y regulación de la temperatura, variable que es importante para una producción óptima, las experiencias indican que el rango debe estar entre 18 y 21°C, ajustado según especies, dicho rango puede alcanzar hasta 28°C, es el caso del maíz.
- iii) Regulación de la humedad relativa del espacio, la cual en lo posible no puede ser inferior, en promedio, a 85%, pero al mismo tiempo, valores sobre el 85% y sitios sin aireación pueden dar paso a infección por hongos, por consiguiente, es necesario un recinto con buena ventilación, pero no excesiva, para asegurar intercambio gaseoso. Relacionado a lo mismo, se debe evitar tener en las cercanías de la UFVH focos de

fermentación de comida u otra materia orgánica que sean focos de proliferación de insectos.

- iv) Existencia de fuente de agua cercana, que asegure la cantidad (a lo menos tres riegos al día) calidad del agua, para evitar problemas sanitarios, se recomienda un pH entre 5,2 a 7 y evitar la utilización de agua con exceso de sal. Finalmente se sugiere la instalación de las UFVH cercanas a las zonas de pastoreo de los animales, de tal forma de evitar pérdida por transporte y tener acceso a conexión de energía eléctrica u otra fuente de energía.

En el caso de utilización de invernaderos, como es el desarrollo del presente caso, el invernadero debe ser adecuado al tamaño de la UFVH que se desee implementar, en esta experiencia se optó por un invernadero tipo túnel, de 24 metros cuadrados de superficie (8 x 3 x 2 m de alto), con facilidad para regular la aireación tanto en invierno como en verano y permitir las labores de riego, mantención y seguimiento de la producción (Figura 6 y 7).



Figura 6. Invernadero. Espacio de producción de FVH, con ventanas para permitir regular la aireación en invierno - verano, la humedad relativa y la temperatura.



Figura 7. UFV interior invernadero.

En estos invernaderos es posible gestionar una unidad como la que se muestra en la foto 7 de 1,85 m de largo y 90 cm de ancho y alto de 1,75 metros, compuesta de tres niveles y 10 bandejas por cada nivel de 30x40 cm de superficie útil, en total 3,6 metros cuadrados productivos.

2. PRODUCCION DE FORRAJE

La producción de FVH, en general, considera un primer paso de selección de la especie a cultivar, luego la determinación y peso de la dosis de semilla a sembrar, el lavado de la semilla, selección o separación de semilla “vana”, pregerminación, dosis de siembra, siembra, riego, fertilización, seguimiento y mantención de la UFV. A lo que suma labores de postcosecha como secado y ensilaje de ser necesario.

2.1 Selección de Especies y Semillas.

La elección del grano a utilizar para la producción de FVH depende, principalmente, de la disponibilidad de la semilla en la zona y también del precio de mercado, el cual varía según la especie y temporada. Las especies vegetales más empleadas son gramíneas, principalmente los cereales, entre las cuales se destacan el maíz (*Zea mays*), la avena (*Avena sativa*), la cebada (*Hordeum Vulgare L.*), el sorgo (*Sorghum bicolor L.*), el trigo (*Triticum aestivum L.*), y los pastos como el raigrás (*Lolium multiflorum Lam.*). En cuanto a las especies vegetales leguminosas, son consideradas la alfalfa (*Medicago sativa L.*), y vicia (*Vicia sativa*). Las gramíneas y leguminosas tienen rendimientos anuales que oscilan entre las 7 y 20 toneladas (T) de materia seca (MS) por hectárea por año, por ejemplo, la alfalfa puede producir de 16 a 20 T MS/ha/año y el maíz de 12 a 24 T MS/ha/año. Ensayos realizados por INIA (Hidango) (2016) indican que las especies más adecuadas y con mayor rendimiento son la avena y el trigo.

En esta producción, realizada en el marco del proyecto de “Adaptación al Cambio Climático de Arrieros” (UTEM), IICA en la implementación de la Unidad Demostrativa seleccionó la avena, para lo cual adquirió la semilla en el propio INIA Hidango, la cual de acuerdo a los estudios del propio INIA (Boletín 321), cuyos estudios que comparativamente con centeno, triticale y el trigo, indican que la avena tiene una mayor conversión a materia seca, del orden de 21,6% por kg de materia verde producida como FVH.

La semilla, en este caso, reunía las características adecuadas, en primer lugar se trata de semillas certificadas y con viabilidad de germinación del orden de 90%, con morfología adecuada en función del tamaño, forma y color de la cáscara del grano.

2.2 Dosis de Siembra y Pregerminación

Cada bandeja se cubre aproximadamente con 330 gramos de semilla, de tal forma que 30 bandejas requieren un total de 10 kg aproximadamente para un ciclo de cosecha de FV, cantidad que debe ser pesada y llevada a un contenedor de capacidad a lo menos de 30 kg, donde se aplica agua limpia hasta lograr un nivel de unos 5 cm sobre la semilla, después de unos 10 minutos la semilla “vana o inviable se separa por flotación y se procede a retirarlas, así como las impurezas. Las semillas retiradas se apartan y pueden ser utilizadas siguiendo el mismo proceso que las viables.

Las semillas viables se lavan y se deja en remojo por 4 horas, luego se vuelve a lavar y a retirar el resto de las semillas que siguen flotando, para dejarlas con agua 3 horas más. Al cabo de las 7 horas se procede a vaciar el agua y las semillas sin agua se trasladan a un nuevo contenedor con orificios en la base para permitir el escurrimiento del agua, tapando el contenedor con otro, de tal forma que la semilla quede a oscuras, permaneciendo así por un total de 72 horas, logrando de esta manera un porcentaje mayor al 95% de germinación (Figura 8 y 9).



Figura 8. Separación de semillas



Figura 9. Disposición de semillas en contenedores y tapadas para la germinación en oscuro.

Las semillas después de este proceso de imbibición aumentan su masa entre 50 a 60%, un kilo de semilla antes del proceso puede pesar 1,5 kg después.

Finalmente, en este paso, para prevenir proliferación de hongos se aconseja agregar cloro al 1% y luego lavar la semilla.

2.3 Siembra

Una vez que las semillas se hidratan y se les aplica cloro, las semillas presentan, además de aumento de masa, pequeñas raíces de color blanco (Figura 10), se procede directamente a la siembra, trasladándolas a las bandejas a razón de 330 g aproximadamente por bandejas (Figura 11 y 12)



Figura 10. Semillas no viables y viables.



Figura 11. Disposición de semillas en bandejas.

Las semillas (330 gramos secas, 500 g pregerminadas) son dispuestas en forma homogénea en la superficie útil de la bandeja que es de 30 x 40 cm (0,12 m²), dejando una capa de no más de 2 semillas de altura. Hay que recordar que las bandejas deben ser perforadas en ambos costados con unos 5 orificios, para que escurra el agua de los riegos y se puedan girar de ser necesario.



Figura 12. Semillas puestas en bandejas, 10 bandejas por cada nivel. Día 1.

Las bandejas tienen un peso de 520 gramos, más los 500 g de las semillas después de la imbibición, cada bandeja parte el día 1, antes del primer riego, con un peso del orden de 1020 gramos, peso a confirmar para realizar el seguimiento del peso del forraje en la etapa de desarrollo y al final de la cosecha, considerar hacer seguimiento, a lo menos, a tres bandejas, una por cada nivel (siempre las mismas). Para dicho seguimiento se sugiere aplicar la ficha que se indica en el anexo.

2.4 Riego y Agua Consumida

Con las semillas en las bandejas se procede a dar un primer riego inicial de un minuto y posteriormente otros dos riegos cada tres horas de intervalo entre riegos, de tal forma que se dan tres riegos diarios de un minuto (Figura 13) (riegos a las 9 h, 13,30 h y 17,30 h), programados mediante TIMER.



Figura 13. Riego por aspersión (12 aspersores, 4 por nivel, riego un minuto, tres veces al día)

Si se considera que cada aspersor aporta 0,63 L/min, en el ciclo de producción de 16 días que se desarrolló los 12 aspersores aplicaron 362,9 L de agua, no obstante, el agua provista mediante el bidón fue de 200 litros en los 16 días, lo que implicó un reciclaje total de 163 litros. Si se considera el agua efectiva utilizada (200 litros) con la cual se logró producir 80,5 Kg de materia verde, se realizó un gasto de 2,28 litros

por kilo de forraje verde producido, equivalente a 13,8 litros por kilo de materia seca, considerando un factor de conversión de 18% para la avena. Si se considera que el gasto de agua para producir un kilo de materia seca de avena en condiciones de campo es de 635 litros (FAO, 2001), la producción mediante el sistema hidropónico resulta altamente eficiente.

2.5 Fertilización.

En las experiencias de INIA y de FAO, entre otras, se recomienda aplicación de fertilizantes, cuando los brotes hayan alcanzado los 5 cm promedio, pero biofertilizantes, de tal forma de asegurar la inocuidad del forraje. La experiencia del IICA indica que en la práctica la fertilización no es necesaria, dado que las reservas del grano son suficiente para el logro de producciones de relación 1 a 8 o 1: 10 (1 kg de grano por 8 o 10 kg de FVH) y también se produce una alteración del sabor y de la palatabilidad.

2.6 Seguimiento y Mantenimiento.

El seguimiento, en la experiencia desarrollada, se realizó diariamente, considerando riegos a las 9 h, 13 h y 17,30 horas, de tal manera de dejar tiempos intermedios que permitieran el escurrimiento del agua en los tres niveles de la Unidad, evitando así la acumulación de agua en las bandejas de los niveles inferiores respecto a los superiores.

Las variables de seguimiento fueron básicamente tres, el largo de raíces en los primeros días y de la hoja a partir del día 3 o 4, dependiendo de las condiciones ambientales de crecimiento (humedad relativa y temperatura), el peso diario por bandeja y el porcentaje de cobertura, así como la observación sanitaria (presencia de hongos e insectos), todas las mediciones fueron realizadas por niveles (superior, intermedio e inferior).

El largo de raíces y brotes se realizó obteniendo una muestra aleatoria de tres bandejas por nivel y de tres zonas por bandejas, procediendo a medirlas y obtener el largo promedio (cm), se suma a lo anterior el seguimiento de la bandeja con semilla inviable (vana), la cual al final del ciclo también aporta materia verde. El peso de materia por bandeja, en este caso se parte conociendo el peso de la bandeja (en nuestro caso 520 g) y se procedió a seleccionar tres bandejas, una por cada nivel, correspondiente a la bandeja central de cada nivel, midiendo el peso mediante balanza con precisión de 1 gramo, considerar que se miden las mismas bandejas en forma diaria con la finalidad de obtener las tasas de evolución del peso por día.

Estimación de porcentaje de cobertura, para ello se procedió a tomar fotografías verticales de las mismas bandejas a las que se les midió el peso y en base a ellas estimar la cobertura, utilizando una grilla de 5 cm x 5 cm, dispuesta sobre la imagen de la zona productiva de la bandeja. Otra alternativa desarrollada fue la cuantificación digital del porcentaje de cobertura mediante la aplicación del índice de verdor foliar, método válido para comparar principalmente las bandejas del primer nivel, debido que el crecimiento de las hojas en los niveles inferiores tiende a buscar la luz indirecta que les llega por los costados, inclinándose en dicha dirección produciendo un efecto de sobre estimación.

Las observaciones sanitarias, se realizaron mediante observaciones directas, para ello se procedió a revisar en forma aleatoria dos bandejas por nivel, en forma diaria. Las observaciones de insectos se realizaron a partir del día 5, especialmente en el nivel superior.

Finalmente, se realizó el seguimiento de las variables de temperatura y humedad relativa al interior del invernadero, mediante instrumento digital con lecturas de ambas variables en forma continua, formado parte de los datos diarios de la ficha de captura de los datos(se adjunta en anexo).

Mantenición, comprende algunas actividades básicas, como llenado de agua al bidón del sistema de riego cada dos días, siendo relevante mantener el abastecimiento de agua para asegurar el correcto funcionamiento del riego. Otra actividad, corresponde a la revisión de los aspersores, cuidando que se encuentre verticales, de tal forma que la aspersion se entregue en forma horizontal, al mismo tiempo en horario de riego revisar la aspersion homogénea del agua, aspersores no se encuentre tapados. También, se debe revisar que el crecimiento de brotes sea homogéneo en cada bandeja, girando las bandejas de ser necesario, especialmente de los niveles inferiores, por cuanto en ellas se deposita más agua y la radiación solar indirecta es menor, lo que puede inhibir el crecimiento de las plantas y favorecer la presencia de hongos. Finalmente, de acuerdo con el monitoreo de la humedad relativa y la temperatura, se debe dar mayor o menor aireación al interior del invernadero, de tal forma de mantener niveles de CO₂ adecuados para la realización de la fotosíntesis.

DÍA 1. 4 JULIO. Corresponde al día de la siembra.

La figura siguiente 14 a y b, dan cuenta del largo de las raíces al primer día y la cobertura de éstas respecto del total de semillas dispuestas en la bandeja.



Figura 14 a. Largo raíces.



Figura 14 b. Semillas al día 1 (4 de julio), 1 raíz por semilla. 1% de materia verde

Mediciones:

Largo promedio de raíces, en los tres niveles: 1,6 cm.

Estimación de cobertura: 1%

Numero de raíces por semilla: 1

DÍA 2. 5 DE JULIO

La figura 15 muestra el crecimiento de del largo y número de raíces.



Figura 15. Semillas al día 2. Aumento materia de raíces a 3%

Mediciones:

Largo promedio de raíces, en los tres niveles: 1,9 cm.

Estimación de cobertura: 3%

Numero promedio de raíces por semilla: 2

DÍA 3. 6 JULIO.

En la figura 16 se tiene el avance al día 3.



Figura 16. Inicio de aparición de brotes verdes

Mediciones:

Largo promedio de raíces, en los tres niveles: 2,5 cm.

Estimación de cobertura: 5%

Numero promedio de raíces por semilla: 3.

Aparición de brotes verdes.

DIA 4. 6 DE JULIO.

La situación al día 4 se aprecia en las fotos de las figuras 17 y 18.



Figura 17. Cubrimiento de raíces día 4.



Figura 18. Aumento del largo de brote

Mediciones:

Largo promedio de raíces, en los tres niveles: 3,3 cm.

Largo promedio de brotes verdes, en los tres niveles: 1,5 cm

Estimación de cobertura: 8%

Numero promedio de raíces por semilla: 3

Los brotes verdes aumentan y crecen, pero tanto en número de brotes como el largo es menor en las bandejas de los niveles intermedio e inferior.

DIA 7. 10 DE JULIO

Los días 5 y 6 (sábado y domingo, no se realizaron observaciones), el día 7 la situación de crecimiento se muestra, para los tres niveles, en las fotografías correspondientes a las figuras 21 a 23.



Figura 20. Vista general y detalle de la cobertura verde día 7, nivel superior.



Figura 21. Vista general nivel medio y detalle de cobertura

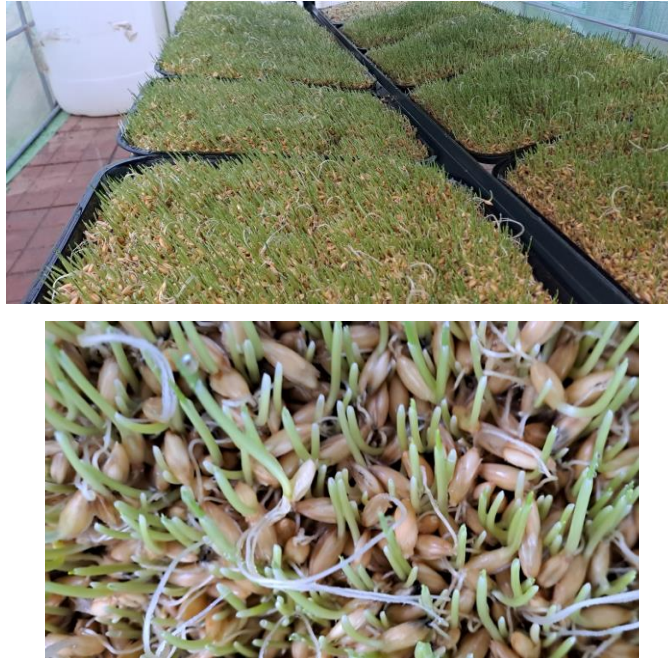


Figura 22. Vista general nivel inferior y detalle de cobertura de brotes verdes



Figura 23. Vista general de crecimiento de semilla vana.

Tabla 2. Mediciones día 7.

DIA		FECHA	Hora medición	BROTOS cm	PESO (g)	T°C	HR %	OBSERVACIONES
7	Nivel superior	10-jul	11:30	3,2		12	99	
	Nivel intermedio			2,9				
	Nivel inferior			2,1				

El promedio del largo del brote para la bandeja con semilla vana es de 1,6 cm.

La cobertura verde estimada para cada nivel fue de 12, 9 y 7 % de los niveles superior, intermedio e inferior respectivamente, mientras que la semilla vana obtuvo una cobertura de 3%.

DIA 8. 11 DE JULIO.

En este día el crecimiento y cobertura para los tres niveles se muestran en la fotografías de las figuras 24,



Figura 24. Día 8, vista general de las bandejas y largo de crecimiento de brotes en el orden de los niveles (superior a inferior).



Figura 25. Cobertura de brotes verdes, nivel superior a inferior de izquierda a derecha.

Las bandejas del nivel intermedio y bajo, los brotes verdes crecen buscando la luz en forma diagonal, mientras que los del nivel superior se encuentran casi en la totalidad rectos, lo que entrega una apariencia de mayor cobertura para el nivel intermedio e inferior.

Tabla 3. Mediciones día 8.

DIA		FECHA	Hora medición	BROTOS cm	PESO (g)	T°C	HR %	OBSERVACIONES
7	Nivel superior	10-jul	11:30	3,2		12	99	
	Nivel intermedio			2,9				
	Nivel inferior			2,1				
8	Nivel superior	11-jul	12:00	4,5	1.956	14	80	
	Nivel intermedio			4,4	2.050			
	Nivel inferior			3,5	2.680			

Los crecimientos promedio de los brotes en longitud son más altos en el nivel superior (4,5 cm), levemente menores en el nivel medio (4,4 cm) y menores en el nivel bajo (3,5 cm), mientras que las coberturas de brotes verdes suben en promedio a 21, 18 y 15% respectivamente. La semilla vana, alcanzó un crecimiento promedio de los brotes de 2 cm y una cobertura de 8% (Figura 26).



Figura 26. Cobertura de semilla vana.

Estimación de porcentaje de cobertura mediante procesamiento digital de imágenes.

La base de este análisis se encuentra en la respuesta espectral de la vegetación en el rango de la luz visible, constituido por las longitudes del rojo, verde y azul, la vegetación responde de tal manera que refleja un alto porcentaje de la luz verde debido al color verde dado por la presencia de clorofila, la que al mismo tiempo absorbe un porcentaje alto de la luz roja para transformarla en alimento mediante la fotosíntesis, por consiguiente la diferencia entre la longitud de onda del verde y el rojo corresponde a la mayor o menor cantidad de clorofila que tiene la planta en relación directa con la cobertura que se tiene, por consiguiente el resultado es un índice de verdor (IV) que entrega la mayor o menor cobertura verde que existe en una determinada cobertura vegetal.

Para obtener la cobertura verde mediante el índice de verdor (IV) en forma digital, se procedió a obtener imágenes de una bandeja representativa de cada nivel (superior, medio e inferior) en formato RGB (rojo, verde y azul), tomadas en forma perpendicular a las bandejas y cubriendo la totalidad de cada bandeja.

El procesamiento consistió en obtener el índice de verdor normalizado, restando a la banda del verde la del rojo y dividiendo el resultado por la suma de la reflectividad de las dos bandas, cuyo resultado fue posteriormente reclasificado de acuerdo con el límite de verdor (0,3) en una escala de niveles que van del valor -1 a +1.

Los resultados obtenidos para la bandeja de nivel superior e inferior indican 43 % de cobertura verde en el nivel inferior y 25,8% en el superior, lo que se explica por la disposición diagonal de las hojas en el nivel inferior, debido a la búsqueda de luz, cubren una mayor superficie, mientras que las hjas de la bandeja del nivel superior crecen en forma casi perpendicular al sustrato (Figura 27). Lo anterior, indica que el método es correcto para aplicarlo al seguimiento de la cobertura por niveles, pero no es adecuado para comparar los datos de coberturas entre niveles.

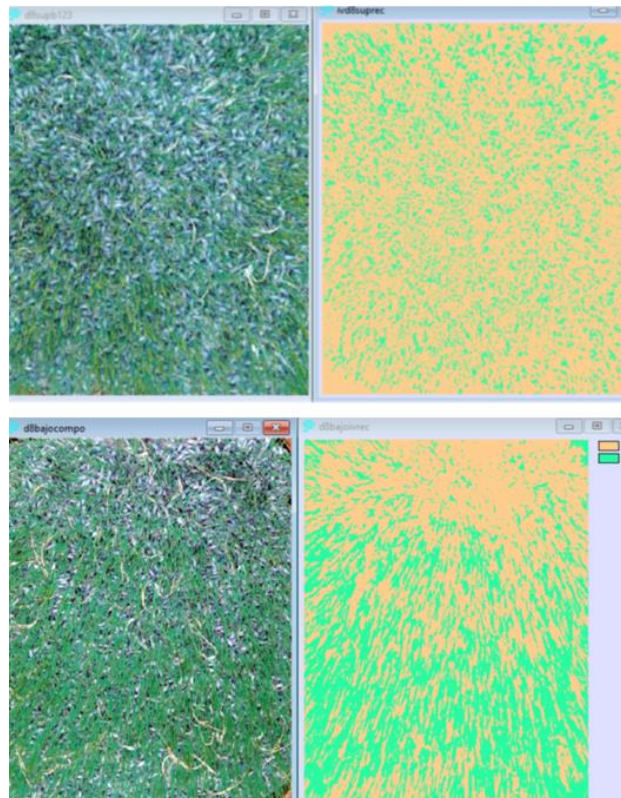


Figura 27. Procesamiento digital, en color verde la cobertura vegetal al día 8, cobertura nivel superior: 25,8% de brotes verdes, nivel inferior 43%

La ventaja del procesamiento digital y de la utilización del IV es que constituye además una herramienta para realizar seguimiento sanitario, toda vez que se capturan las anomalías del vigor vegetacional, que se pueden relacionar con presencia de hongos o déficit hídrico (Figura 28).

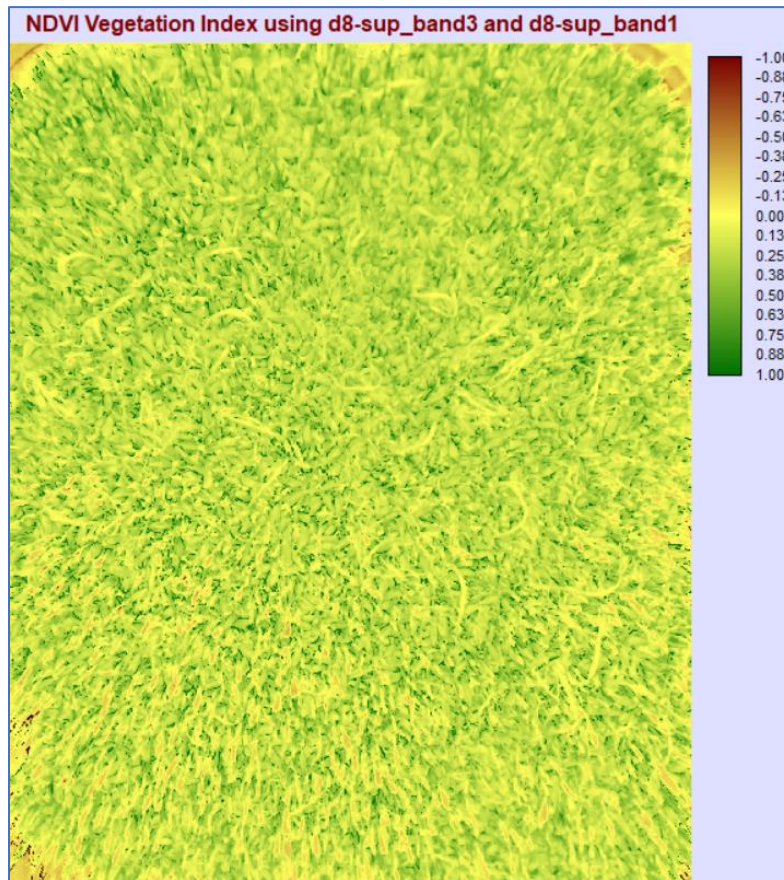


Figura 28. Índice de vigor de la vegetación (IV) de la cobertura vegetal de bandeja del nivel superior de la Unidad.

La imagen muestra en color verde la cobertura vegetal con vigor alto y en amarillo las semillas y raíces sin actividad clorofílica. En café las zonas anómalas, que este caso corresponde a los bordes de la bandeja, es decir ausencia de materia verde, zonas si se ubicaran en la cobertura vegetal corresponderían a anomalías de la vegetación, pudiendo corresponder a focos de contaminación.

Seguimiento de crecimiento por peso de bandejas.

Otro método para hacer seguimiento, además de los ya indicados (medición de largo de brotes verdes, porcentajes de cobertura estimados insitu y porcentaje de cobertura digital de imágenes RGB), corresponde al peso por bandejas. En este caso se procedió a seleccionar tres bandejas representativas de cada nivel y posteriormente realizar las mediciones de pesos (gramos) de las mismas bandejas cada día. A priori se debe considerar que este método permite el seguimiento por niveles, no siendo válido para comparar entre niveles (al igual que el método digital), lo que se debe a que el nivel intermedio e inferior acumulan más agua y no constante que el nivel superior, esto porque además de recibir el agua de los aspersores reciben el agua de las bandejas superiores, lo que otorga mayor peso secuencialmente en los niveles inferiores, tal como queda demostrado en los resultados obtenidos el día 8 y posteriormente el día 10 (Tabla 5).

DÍA 9. 12 DE JULIO.

Los crecimientos promedio de la altura de los brotes y cobertura vegetal por niveles, en este día, se presentan en las figuras 29, 30, 31 en la tabla 4.



Figura 29. Vista general y vista de perfil de bandejas del nivel



Figura 30. Largo de brotes al día 9, de derecha a izquierda, nivel superior, medio e inferior.



Figura 31. Semilla vana. Crecimiento al día 9. Largo promedio de brotes 3 cm.

Tabla 4. Mediciones, día 9

		FECHA	Hora medición	Largo hojas cm.	PESO (g)	T°C	HR %	OBSERVACIONES
7	Nivel superior	10-jul	11:30	3,2		12	99	
	Nivel intermedio			2,9				
	Nivel inferior			2,1				
8	Nivel superior	11-jul	12:00	4,5	1.956	14	80	
	Nivel intermedio			4,4	2.050			
	Nivel inferior			3,5	2.680			
9	Nivel superior	12-jul	11:30	5,2				Largo semilla
	Nivel intermedio			4,7				vana 3 cm.
	Nivel inferior			3,7				

Estos valores determinan un crecimiento promedio por nivel de 0,7 cm, 0,3 cm y 0,2 nivel superior, medio e inferior respectivamente, respecto del día 8.

Las coberturas estimadas insitu fueron: nivel superior 40%, medio de 35% y de 33 % del nivel inferior y semilla vana 10%

DIA 10. 13 DE JULIO

El estado de crecimiento al día 10 se presenta en las figuras 32 y 33 y las mediciones en la tabla 5.



Figura 32. Coberturas de bandejas representaivas por niveles, superior, medio e inferior y finalmente semilla “vana”.

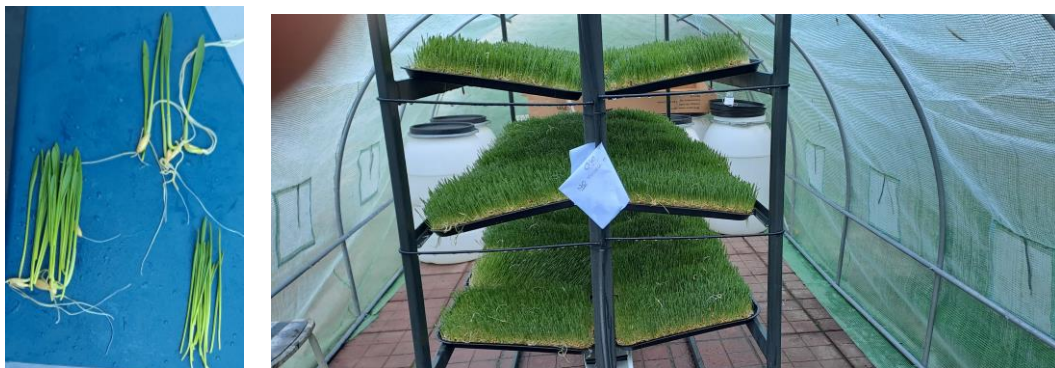


Figura 33. Largo de brotes niveles superior, medio e inferior. Vista general de bandejas de los tres niveles.

Tabla 5. Mediciones, día 10

		FECHA	Hora medición	Largo hojas cm.	PESO (g)	T°C	HR %	OBSERVACIONES
7	Nivel superior	10-jul	11:30	3,2		12	99	
	Nivel intermedio			2,9				
	Nivel inferior			2,1				
8	Nivel superior	11-jul	12:00	4,5	1.956	14	80	
	Nivel intermedio			4,4	2.050			
	Nivel inferior			3,5	2.680			
9	Nivel superior	12-jul	11:30	5,2				Largo semilla
	Nivel intermedio			4,7				vana 3 cm.
	Nivel inferior			3,7				
10	Nivel superior	13-jul	11:35	6,8	2.106			Largo semilla
	Nivel intermedio			6,3	2.108			vana 3,5 cm.
	Nivel inferior			5,5	3.073			

Estos valores determinan un crecimiento promedio por nivel de 1,6 cm, 1,6 cm y 1,8 respectivamente y de 0,5 para la semilla “vana” respecto del día 9.

Las coberturas estimadas insitu fueron: nivel superior 60%, medio de 45% y de 38 % del nivel inferior, cobertura bandeja semilla vana 15%

Los pesos por bandejas y niveles, respecto de la medición del día 8, tienen un aumento de peso 150 gramos, 58 gramos y 393 gramos para nivel superior, medio e inferior respectivamente.

Medición digital de la cobertura vegetal

Aplicando la metodología expuesta en el día 8 y lo indicado para medir la cobertura vegetal mediante el método digital de procesamiento de imágenes, el día 10 se obtuvo el resultado que se entrega las imágenes de la figura 34.

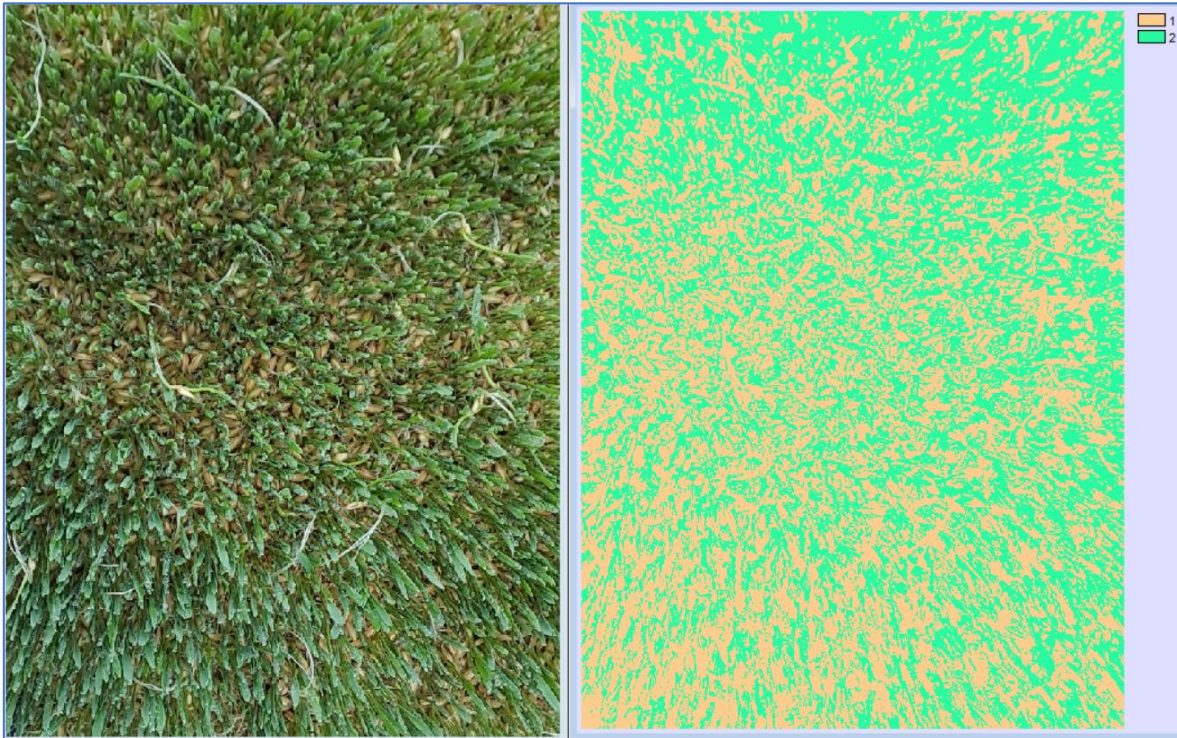


Figura 34. Lado izquierdo, la imagen en color normal de la bandeja del nivel superior al día 10, a la derecha clasificación digital de la cobertura vegetal con base en el NDVI de la misma imagen.

El resultado indica que la cobertura vegetal al día 10 es de 48%, la que comparada con la obtenida por el mismo método el día 8 (25,8%), representa un aumento de 22,2 %.

Seguimiento sanitario.

El índice de verdor para seguimiento sanitario del forraje (Figura 35) da cuenta de ausencia de colores café, en la cobertura vegetal, lo que indica presencia de vegetación sana y al mismo tiempo ausencia de anomalías de crecimiento que puedan estar relacionadas con el estado enfermedades sanitario (presencia de hongos) u otro vector que produzca estrés en la producción del forraje.

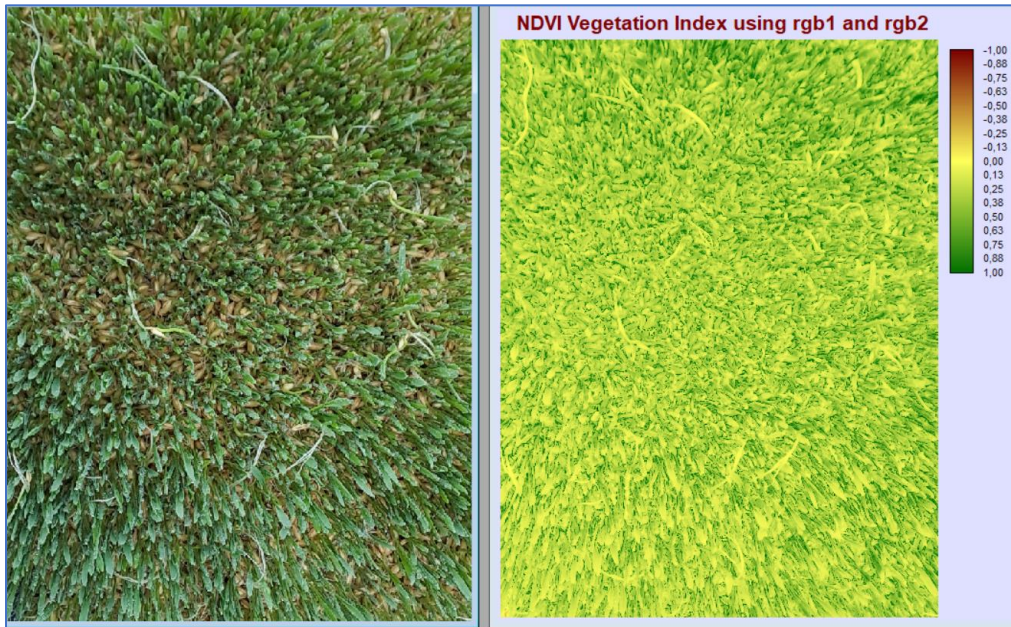


Figura 35. Imagen de bandeja superior, izquierda color normal, derecha índice de verdor en escala -1 a 1.

Día 11. 14 de julio

Las siguientes fotografías que corresponden a las figuras 36, 37 y 38 dan cuenta del estado de desarrollo del FVH.

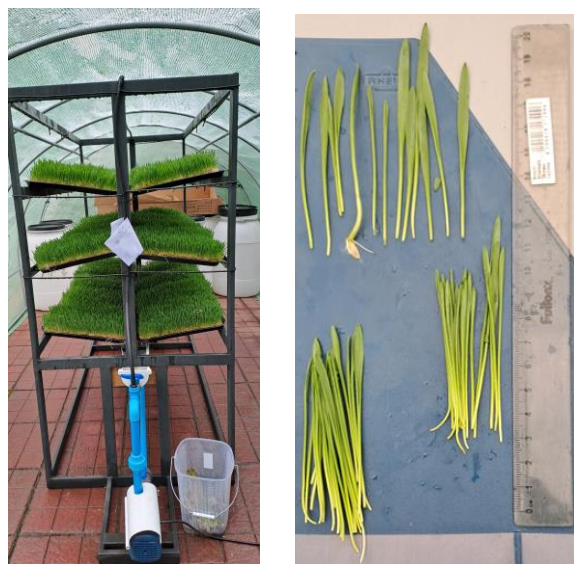


Figura 36. Vista general de las bandejas y largo de hojas de los brotes al día 11.



Figura 37. Cobertura vegetal, nivel superior, medio e inferior (de izquierda a derecha)



Figura 38. Cobertura de semilla “vana”

Las mediciones de largo de hoja y peso se presentan en la tabla 6. Las coberturas estimadas fueron las siguientes: nivel superior 70%, medio 55% y 45% del nivel inferior, mientras que la cobertura de la bandeja con semilla vana fue de 30%.

Tabla 6. Mediciones, día 11

		FECHA	Hora medición	Largo hojas cm.	PESO (g)	T°C	HR %	OBSERVACIONES
7	Nivel superior	10-jul	11:30	3,2		12	99	
	Nivel intermedio			2,9				
	Nivel inferior			2,1				
8	Nivel superior	11-jul	12:00	4,5	1.956	14	80	
	Nivel intermedio			4,4	2.050			
	Nivel inferior			3,5	2.680			
9	Nivel superior	12-jul	11:30	5,2				Largo semilla
	Nivel intermedio			4,7				vana 3 cm.
	Nivel inferior			3,7				
10	Nivel superior	13-jul	11:35	6,8	2.106			Largo semilla
	Nivel intermedio			6,3	2.108			vana 3,5 cm.
	Nivel inferior			5,5	3.073			
11	Nivel superior	14-jul	12:00	7,8	2.211			Largo semilla
	Nivel intermedio			7	3.097			vana 4,5 cm.
	Nivel inferior			6,6	3.160			

Los valores del largo de hoja tuvieron un crecimiento promedio por nivel de 1,0 cm, 0,7 cm y 1,1 respectivamente y de 1,0 cm para la semilla “vana” respecto del día 10. Los pesos por bandejas de los tres niveles respecto de la medición del día 10, fueron 105 gramos, 989 gramos y 87 gramos, para nivel superior, medio e inferior respectivamente.

DIA 14. 17 DE JULIO

Los días 12 y 13 (15 y 16 julio) no se realizaron mediciones. El desarrollo del forraje del día 14 se presenta en las figuras 39, 40 y 41.



Figura: 39. Vista general y largo de hojas de brotes verdes (superior, medio e inferior, de izquierda a derecha). Mediciones en tabla 7.

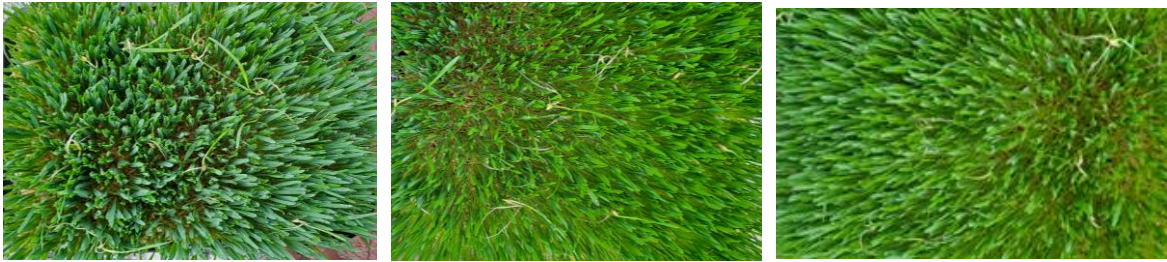


Figura 40. Cobertura del forraje al día 14. Nivel superior, medio e inferior (de izquierda a derecha)



Figura 41. Cobertura de forraje proveniente de semilla vana.

Tabla 7. Mediciones, día 14

Día		FECHA	Hora medición	Largo hojas cm.	PESO (g)	T°C	HR %	OBSERVACIONES
7	Nivel superior	10-jul	11:30	3,2		12	99	
	Nivel intermedio			2,9				
	Nivel inferior			2,1				
8	Nivel superior	11-jul	12:00	4,5	1.956	14	80	
	Nivel intermedio			4,4	2.050			
	Nivel inferior			3,5	2.680			
9	Nivel superior	12-jul	11:30	5,2				Largo semilla
	Nivel intermedio			4,7				vana 3 cm.
	Nivel inferior			3,7				
10	Nivel superior	13-jul	11:35	6,8	2.106			Largo semilla
	Nivel intermedio			6,3	2.108			vana 3,5 cm.
	Nivel inferior			5,5	3.073			
11	Nivel superior	14-jul	12:00	7,8	2.211			Largo semilla
	Nivel intermedio			7	3.097			vana 4,5 cm.
	Nivel inferior			6,6	3.160			
14	Nivel superior	17-jul	11:30	10	2632			Largo semilla
	Nivel intermedio			10,5	3268			vana 7,5 cm.
	Nivel inferior			9,5	3403			

Los datos de crecimiento de hojas indican que los crecimientos por niveles tienden a homogeneizarse, aunque mantienen diferencias entre las bandejas del nivel superior respecto a los otros dos y la semilla vana presentó un crecimiento significativo de 3 cm, respecto del día anterior.

DIA 15. 18 DE JULIO

El día 15 las coberturas de los tres niveles productivos se presentan similares, tal como se presentan en las figuras 42, 43 y 44.



Figura 42. Largo de brotes y Vissesta general de los tres niveles



Figura 43. Cobertura de los niveles superior y medio.

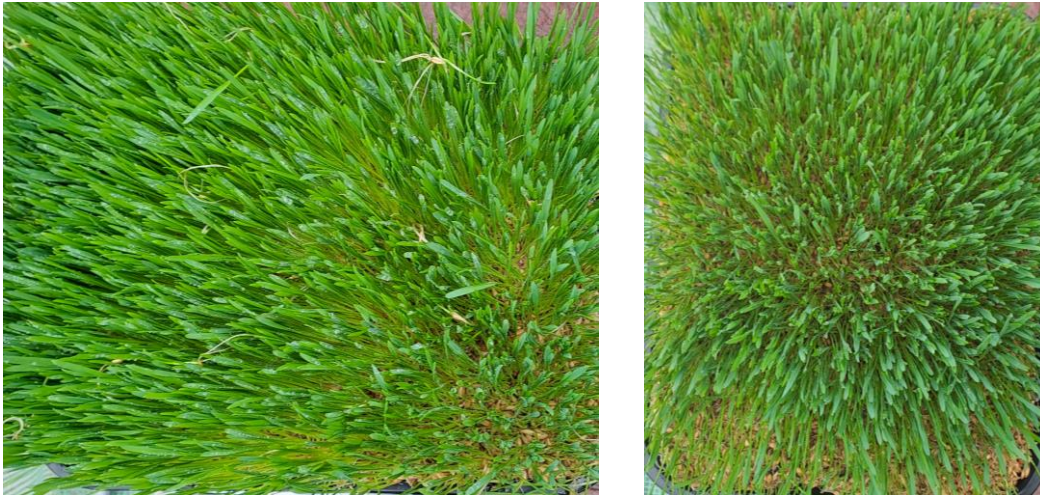


Figura 44. Cobertura de nivel inferior y semilla vana

La estimación de cobertura vegetal tienen una tendencia igualar sus porcentajes, en concordancia con el crecimiento del forraje, no obstante existen diferencias entre el nivel superior con el medio e inferior, estimado en 90 85 y 80% respectivamente. Manteniéndose una diferencia notoria con la cobertura lograda por la avena vana. Las mediciones de la tabla 8, dan cuenta de ello.

Tabla 8. Mediciones, día 15

Día		FECHA	Hora medición	Largo hojas cm.	PESO (g)	T°C	HR %	OBSERVACIONES
7	Nivel superior	10-jul	11:30	3,2		12	99	
	Nivel intermedio			2,9				
	Nivel inferior			2,1				
8	Nivel superior	11-jul	12:00	4,5	1.956	14	80	
	Nivel intermedio			4,4	2.050			
	Nivel inferior			3,5	2.680			
9	Nivel superior	12-jul	11:30	5,2				Largo semilla
	Nivel intermedio			4,7				vana 3 cm.
	Nivel inferior			3,7				
10	Nivel superior	13-jul	11:35	6,8	2.106			Largo semilla
	Nivel intermedio			6,3	2.108			vana 3,5 cm.
	Nivel inferior			5,5	3.073			
11	Nivel superior	14-jul	12:00	7,8	2.211			Largo semilla
	Nivel intermedio			7	3.097			vana 4,5 cm.
	Nivel inferior			6,6	3.160			
14	Nivel superior	17-jul	11:30	10	2.632			Largo semilla
	Nivel intermedio			10,5	3.268			vana 7,5 cm.
	Nivel inferior			9,5	3.403			
15	Nivel superior	18-jul	11:45	12	2.799			Largo semilla
	Nivel intermedio			12,5	3.353			vana 9 cm.
	Nivel inferior			12	3.562			

Las mediciones indican que siguen la tendencia de crecimiento de los dos últimos días homogeneizándose los largos de hoja, incluso en promedio el nivel intermedio tiene un mayor crecimiento que el nivel superior. La bandeja con semilla vana también aumenta 1,5 cm.

DIA 16. 19 DE JULIO

El día 16 el forraje se encuentra en su nivel de mayor producción, tal como se muestra en las figuras 45 y 46.



Figura 45. Vistas generales de los tres niveles y al centro largo de hojas



Figura 46. Coberturas finales de la producción de forraje en los tres niveles de la Unidad.

Las coberturas de vegetación verde se estimaron en 97%, 95 y 95% para los niveles superior, medio e inferior. Las mediciones finales se presentan en la tabla 9.

Tabla 9. Mediciones, día 16

Día		FECHA	Hora medición	Largo hojas cm.	PESO (g)	T°C	HR %	OBSERVACIONES
7	Nivel superior	10-jul	11:30	3,2		12	99	
	Nivel intermedio			2,9				
	Nivel inferior			2,1				
8	Nivel superior	11-jul	12:00	4,5	1.956	14	80	
	Nivel intermedio			4,4	2.050			
	Nivel inferior			3,5	2.680			
9	Nivel superior	12-jul	11:30	5,2				Largo semilla
	Nivel intermedio			4,7				vana 3 cm.
	Nivel inferior			3,7				
10	Nivel superior	13-jul	11:35	6,8	2.106			Largo semilla
	Nivel intermedio			6,3	2.108			vana 3,5 cm.
	Nivel inferior			5,5	3.073			
11	Nivel superior	14-jul	12:00	7,8	2.211			Largo semilla
	Nivel intermedio			7	3.097			vana 4,5 cm.
	Nivel inferior			6,6	3.160			
14	Nivel superior	17-jul	11:30	10	2.632			Largo semilla
	Nivel intermedio			10,5	3.268			vana 7,5 cm.
	Nivel inferior			9,5	3.403			
15	Nivel superior	18-jul	11:45	12	2.799			Largo semilla
	Nivel intermedio			12,5	3.353			vana 9 cm.
	Nivel inferior			12	3.562			
16	Nivel superior	19-jul	11:30	12,5	2.883			Largo semilla
	Nivel intermedio			12,5	3.974			vana 10,5 cm.
	Nivel inferior			12,3	3.734			y peso 3.697

Los resultados indican un crecimiento similar tanto en largo de hoja como en peso entre los tres niveles de la Unidad e incluso el largo y el peso de la bandeja de semilla “vana” presenta un crecimiento que indica que es aprovechable y aporta a la producción, lo que da cuenta también de la calidad de la semilla de avena utilizada. La estimación de las coberturas al día 16 es similar para los tres niveles, cercanas al 95% como promedio. Dado lo anterior se estimó realizar la cosecha en este mismo día para evitar pérdida de nutrientes. Los resultados se muestran en los gráficos de las figuras 47 y 48.

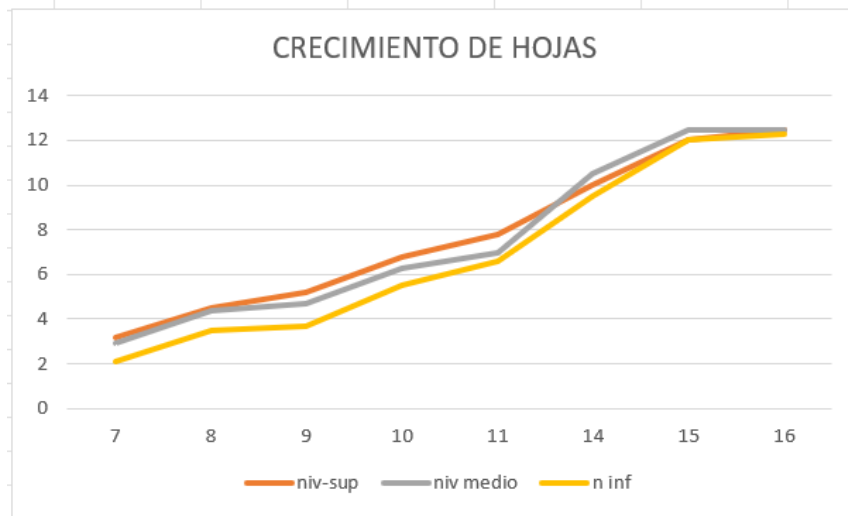


Figura 47. Largo de hojas por niveles, en cm.

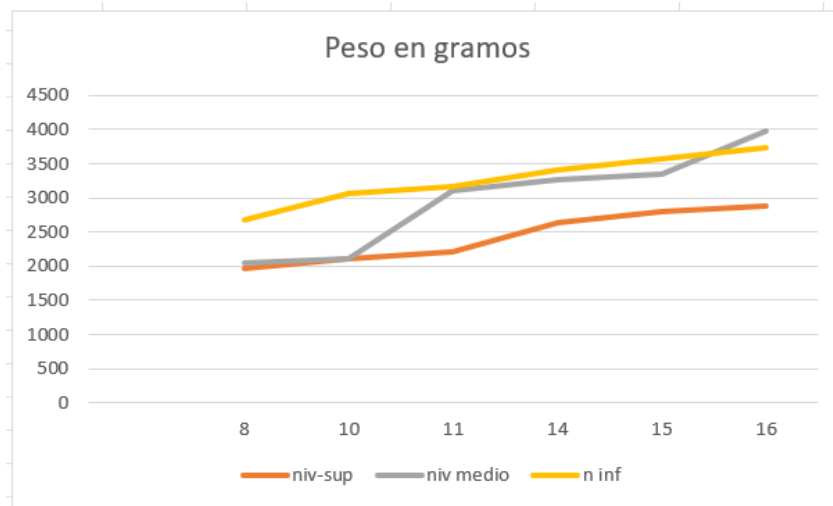


Figura 48. Peso de bandejas en gramos, por niveles.

El crecimiento del largo de las hojas fue medido a partir del día 7, los días anteriores se tomaron los crecimientos pero no fueron significativos en términos de cobertura vegetal, la tendencia indica que el crecimiento en los tres niveles tuvieron un comportamiento similar, con un menor crecimiento del nivel inferior, no obstante los dos últimos días el crecimiento de los tres niveles convergen en una misma meseta, indicador que junto con la cobertura vegetal entregan el crecimiento final del FVH.

En el caso del seguimiento del peso, la tendencia se hace similar a partir del día 11, con una significativa diferencia entre el nivel superior respecto del nivel intermedio e inferior, siendo el superior de menor aumento en el peso, lo que se explica por los niveles de contenidos de agua en los niveles, siendo el superior el de menor contenido a la hora de las mediciones, entre dos y dos horas y media después del primer riego de cada día.

2.7 Cosecha y Postcosecha

El día 16, en base a las mediciones del día y coberturas logradas, se optó por cosechar la producción de forraje, para evitar pérdida del valor nutritivo del forraje disminuye, procediéndose cortar el riego, abrir el invernadero para aumentar la ventilación y el escurrimiento de agua, de tal forma de bajar los rangos de humedad del forraje de muy húmedo a normal, seco o muy seco, rangos medidos directamente por instrumento digital (Figura 49).



Figura 49. Medidor digital de humedad de suelo.

Transcurridas 6,5 horas desde el primer riego de la mañana se realizaron mediciones de temperatura y rango de humedad de cada rollo cosechado y el peso del forraje verde, previa disposición en rollo de cada bandeja, tal como se muestra en la figura 50 y 51.



Figura 50. Forraje verde enrollado por bandeja.



Figura 51. Rollo de forraje verde producido con semilla “vava”.

En las tablas 11 se muestran las mediciones de temperatura y rango de humedad obtenidos para cada rollo al nivel del sustrato, diferenciados por niveles de la Unidad de forraje. Mientras que en la tabla 12 se presentan el peso (gramos) producido por cada nivel y los totales respectivo.

Tabla 10. Temperatura (°C) y Rango de Humedad Relativa

Rollo	Niv. Sup.	Niv med.	Niv. Inf.	Niv. Sup.	Niv med.	Niv. Inf.
1	21	18	17	D+	W	N
2	18	16	14	D+	W	W
3	20	17	14	D	W	N
4	19	16	16	N	W+	W+
5	20	16	15	N	N	W
6	19	17	15	N	N	W
7	18	16	14	D	N	N
8	18	17	16	D	W	W
9	18	17	15	N	N	W
10	19	16	14	D+	N	W
	19	16	15	D (moda)	W (moda)	W (moda)

Rango HR: D (Seco). D+ (Muy seco). N (Normal). W (Húmedo) W+ (Muy húmedo)

Tabla 11. Producción de materia verde (por rollos) (gramos)

Bandeja	Niv. Sup.	Niv med.	Niv. Inf.	Total
1	1.960	2.750	2.750	7.460
2	2.158	2.320	3.350	7.828
3	1.730	2.650	3.320	7.700
4	1.910	2.990	3.300	8.200
5	2.314	3.440	2.320	8.074
6	3.360	2.630	2.520	8.510
7	2.380	2.920	3.660	8.960
8	2.180	2.950	3.230	8.360
9	2.360	3.100	2.670	8.130
10	2.230	2.960	2.430	7.620
Peso total	22.582	28.710	29.550	80.842
Peso promedio	2.258	2.871	2.955	2.695

Los resultados indican que la temperatura del nivel productivo superior de la UFVH tiene dos grados más de temperatura que el nivel medio y tres respecto del nivel inferior, mientras que la moda de los rangos de humedad, medidos simultáneamente pasan de seco a húmedo. Coherentemente la producción por niveles, según peso

promedio de los rollos, disminuye del nivel superior al inferior, produciéndose un promedio de peso por rollo (bandejas) de 2,697 Kg y una **producción total de la UFVH en un ciclo de 16 días de 80,8 Kg**. Todo lo anterior se visualiza de mejor forma en el gráfico de la figura 52.

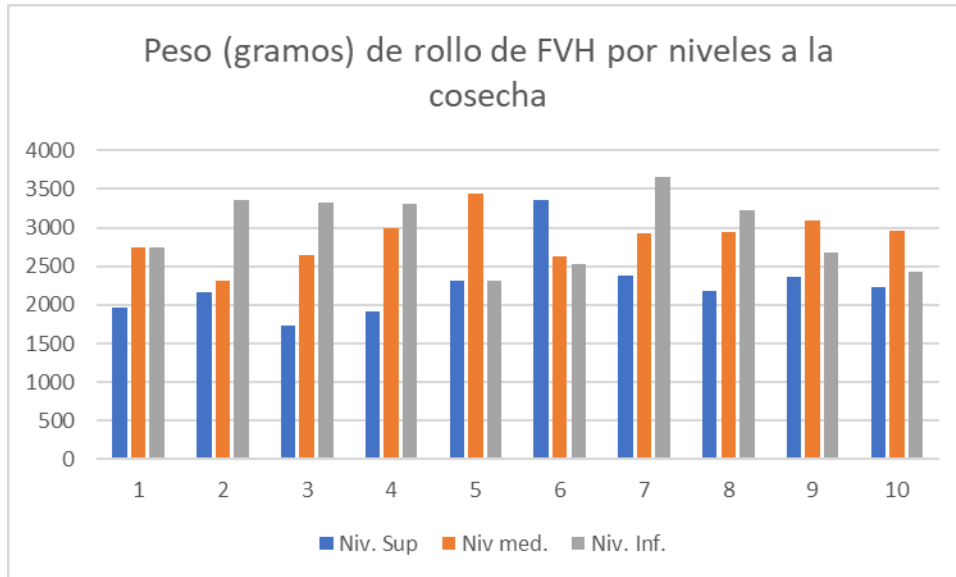


Figura 52. Comportamiento del peso de rollos de FVH al día de la cosecha

La producción total obtenida, representa una relación de 1 a 8, lo que considerando las temperaturas promedio de invierno, mitigadas por el invernadero, fue de 7 grados Celsius promedio, medidas a las 9 h y una humedad relativa promedio de 97% medida a la misma hora, se encuentra en un rango adecuado, según similares experiencias reportadas (INTA, 2023; INIA, Bolet. 321), que sitúan los rendimientos entre 1: 5 y 1: 10.

Postcosecha.

La postcosecha de forraje verde hidropónico dice relación con la forma de guardar el forraje que, por diversos motivos, como por ejemplo sobrestimación de la dieta y el complemento alimenticio, venta de ganado entre otros, queda sobrante, lo que constituye un costo si se pierde y no se entrega a los animales. Una de las soluciones para lo anterior es recurrir al ensilaje o a la producción de heno.

Ensilaje

El ensilaje entrega una buena conservación del forraje, permitiendo administrar el forraje de acuerdo con las demandas, hasta por unos 18 meses desde el día que se cosecha, con una pequeña pérdida en la calidad.

Los pasos que se deben considerar para ensilar el FVH son los siguientes:

- a) El FVH una vez producido consta de un manto o “alfombra verde” integrado por las raíces entrelazadas, grano, tallo y hoja, el cual al momento de la cosecha tiene una humedad relativa de 85% a 90%, lo que el marcador entrega en el rango wet+, por consiguiente, debe dejarse deshidratar por unas 3 horas, hasta llegar a tener un rango de humedad entre 65% a 70%.
- b) Disponer de un lugar seco para producir el ensilaje, lugar plano que sirva al mismo tiempo de almacenaje.
- c) Picar la biomasa vegetal del FVH producido a ensilar, utilizar para ello una maquina picadora o chipeadora. El tamaño de la partícula debe ser entre 3 y 5cm.
- d) El ensilado se puede hacer manual o en forma automática, lo que consiste en ir colocando el forraje capa por capa e ir compactando, eliminando el oxígeno en la bolsa ensiladora. La bolsa para utilizar debe ser de polipropileno de 120 x 60cm color negra y de 27 a 30 micrones, con capacidad para ensilar unos 45kg de FVH. Una vez compactado el FVH dentro de la bolsa, debe cerrarse la misma, eliminando el aire.
- e) Colocar en cada bolsa un adhesivo (que no se desprenda) indicando la fecha y la hora del ensilaje. Llevar inventario de ubicación de las bolsas por fechas.
- f) Almacenar las bolsas en un lugar fresco, seco y libre de roedores o animales que puedan ocasionar daño a las bolsas (Figura 53)



Figura 53. FVH ensilado en bolsas.

El FVH ensilado se puede utilizar después de 30 días de haberse producido, para definir el día de consumo debe abrir una bolsa y analizar las características organolépticas, para confirmar si el proceso de fermentación anaeróbica fue adecuado. Las características principales son: i) Olor: algo dulce y agradable, no ácido. ii) Color: verde, no debe tener color negro o blanquecino iii) Textura: firme, no pegajosa. iv) Sabor: Agradable para el animal.

Heno

Henificación es el proceso que permite conservar el forraje para épocas de baja productividad. Heno es el producto resultante de la deshidratación del forraje a un nivel de humedad generalmente inferior al 25%, de tal forma que no permita el enmohecimiento y la fermentación. Las etapas son las siguientes:

Corta: de la producción de FVH se debe separar (cortar) el pasto que constituye la parte aérea, cortar en la mañana, en días soleados, con baja humedad relativa y baja humedad del suelo.

Secado: puede realizarse en el campo si las condiciones climatológicas lo permiten o artificialmente, mediante un secador solar, lo cual permite disminuir la humedad del material entre un 15% a 25%. Esto favorece la conservación de las cualidades nutritivas.

Almacenaje: se puede hacer en rollos y colocarlos en sitios alejados de la humedad.

En resumen la producción de heno es simple de realizar, consiste básicamente en, una vez cortada la materia verde, extenderla sobre el terreno, exponerla al sol para su secado y voltearla durante el día para que pierda humedad y luego recogerla o colocarla en hilera durante la noche para protegerla, luego de 3 a 5 días, se recoge en rollo y se guarda en lugar secos. Las actividades resumidas son las que se indican a continuación (Tabla 12):

Tabla 12. Prácticas de henificación.

Prácticas	Razones	Beneficios
Segar por la mañana temprano	Permite disponer de todo el día para el secado	Pérdida de humedad más rápida Menor pérdida de respiración Menor probabilidad de daños por lluvia Más cantidad y calidad
Dejar el forraje extendido	Aumenta la velocidad de secado	Idem
Último hilerado o volteado con el 40-50% de humedad	Aumenta la velocidad de secado	Idem Menor pérdida de hojas
Empacar con 18-20% de humedad	Optimizar la conservación del heno	Menor pérdida de hoja Inhibir el enmohecimiento y el pardeamiento Bajo riesgo de incendio
Almacenar bajo cubierta	Proteger del sol y de la lluvia	Inhibir el enmohecimiento y el pardeamiento Menor pérdida por lluvia Mayor cantidad y calidad

Fuente: Ball D M *et al.*, 1991.

2.8 Repetición del Ciclo Productivo

Con fecha 31 de julio se inició un nuevo ciclo productivo, en condiciones similares a las del primer ciclo, con excepción del agua aplicada para el riego. En este caso se aplicó, al momento de siembra, 700 ml de biofertilizante supermagro diluido en 50 litros de agua (bidones de riego) y con ello se regó durante los primeros tres días, correspondiendo al cuarto día una mayor dilución, debido al relleno cada 4 días de los bidones.

Los resultados obtenidos al final del segundo ciclo se muestran en los gráficos de las figuras (Figura 53-a, 53-b, 53-c).

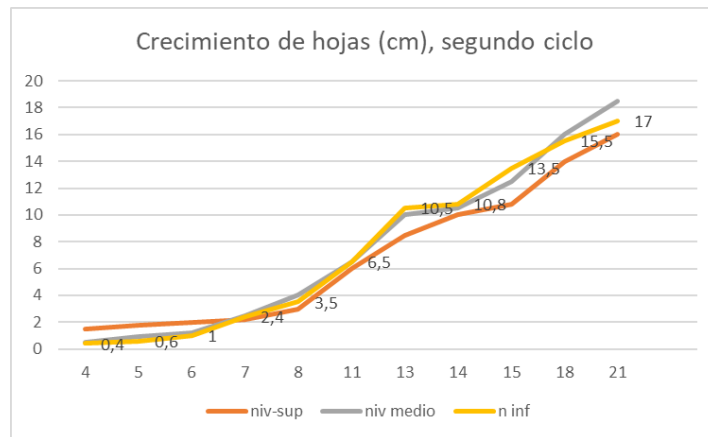


Figura 53-a. Tendencia de crecimiento de largo de hoja (cm)

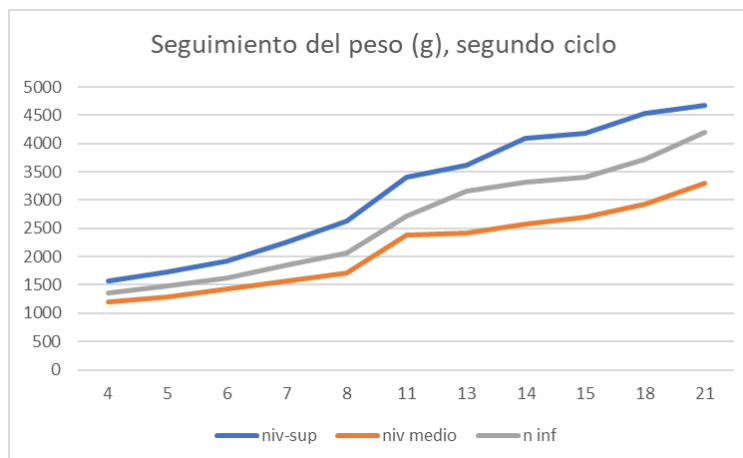


Figura 53-b. Tendencia de aumento del peso de FV (g)

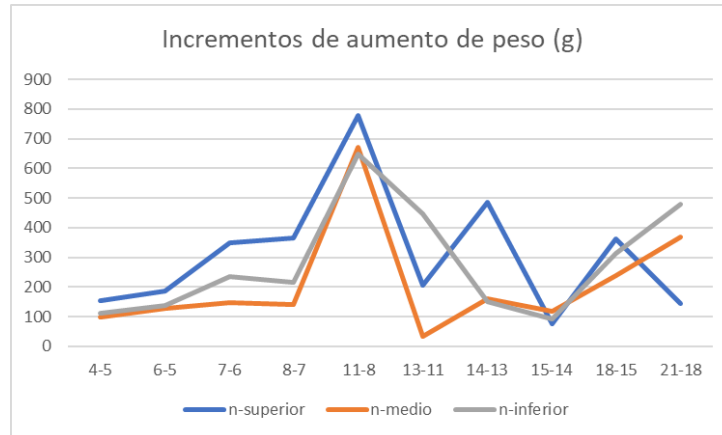


Figura 53-c. Tendencia de los incrementos de peso del FV (g)

Al comparar los datos, al día de cosecha (día 16) con los obtenidos en el primer ciclo productivo, se tiene para el caso del crecimiento de las hojas, que los tres niveles de producción de la Unidad tienen un promedio de mayor crecimiento de 0,9 cm en relación con el mismo día del primer ciclo. En el caso del peso, fue mayor en 19,7 gramos, no obstante, el peso promedio por bandeja al momento de cosecha fue 184 gramos mayor en el primer ciclo. En total, la cosecha de la UFVH para el segundo ciclo fue de 75,8 Kg y en el primer ciclo fue de 80,8 Kg, diferencia poco significativa.

Si, se evidencia una respuesta diferenciada del peso entre los tres niveles de la unidad de producción, siendo el nivel superior el de mayor aumento en el tiempo, luego el nivel inferior y el de menor aumento el nivel medio. Comprobándose, a partir del gráfico de la figura 53-c, que el máximo incremento de crecimiento en el peso del forraje verde se obtiene al día 8, posteriormente sigue creciendo a incrementos diarios menores.

El segundo ciclo productivo se observó hasta el día 22, evidenciándose a partir del día 18 inicio y aumento de clorosis en las hojas, tal como se puede apreciar en las imágenes de la figura 53-d.



Figura 53-d. Imágenes del FVH al día 22, con síntomas de clorosis en los tres niveles.

Lo anterior, se encuentra en concordancia con la pérdida de nutrientes que se comienza a expresar a partir del día 16 de producción, según distintos autores (Salas-Pérez et al, 2010).

2.9 Destino de Forraje, Suplemento Alimenticio de Equinos

La producción de FVH obtenida (80 Kg.) se destinó a complementar la alimentación de equinos en la comuna de Codegua, en el marco de las instituciones locales integrantes del Proyecto, en este caso corresponde a los caballos de propiedad de la Sra. Verónica Valdivia de Ecocabalgatas. Se le hizo entrega del forraje y de las instrucciones para ensilarlo. Se procedió a realizar mediciones de humedad, temperatura y peso del forraje entregado, a 25 horas del último riego, lo que entrego como promedio de humedad del forraje en un rango seco, con temperatura promedio de 13,5 °C a nivel del sustrato (tejido radicular base del forraje) y un peso promedio por unidad de bandeja (30 x 40 cm) de 2.500 gramos, lo que en relación con el peso promedio medido 20 horas antes (2.700 gr.) constituye una pérdida de agua de 200 gramos.

Se realizó al mismo tiempo, la aceptación y palatabilidad del forraje, para ello se seleccionó un caballo y se le dio de comer 2,6 Kg de FVH directamente, a las 11 h de la mañana, procediendo a consumirlo en pocos minutos (5 mín.), habiendo sido alimentado con su dieta normal a primera hora de la mañana (Figura 51).



Figura 51. FVH entregado a Ecocabalgatas y prueba de palatabilidad con caballo previamente alimentado.

Los datos reportados (FAO, 2001) indican que el suplemento promedio por caballo adulto/día es del orden de 3,5 Kg de FVH, considerando 1 Kg de FVH por cada 100 Kg. de peso.

2.10 Características del FVH

Como se pudo comprobar en la experiencia productiva desarrollada el FVH es un cultivo de una sola especie, que se realiza en condiciones controladas de luminosidad, temperatura, riego, entre otras variables, lo que disminuye la contaminación por fuentes externas y al no existir malezas que alteren el organismo de los animales y si no se le aplica fertilizantes químicos, el FVH constituye un producto orgánico.

De acuerdo con las mediciones nutricionales que se han realizado al FVH, éste se caracteriza por un alto valor nutritivo, alto contenido de proteína, bajo contenido de fibra, alto contenido de carbohidratos, todo lo cual permite una mayor degradación en forma ruminal y aporta a una mayor productividad animal.

El forraje verde hidropónico cosechado alrededor de los 14 a 16 días, como en este caso, con una altura entre 17 a 25 cm es rico en vitaminas A y E especialmente, 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, según se reporta por autores como FAO (2001) e INIA (2014)., tal como se indica en la tabla 13.

Tabla 13. Características nutricionales de la avena.

Parámetro	Valor	Unidad
Digestibilidad	80-92	%
Proteína Cruda	13-20	%
Fibra Cruda	12.0 -25.0	%
Grasa	2.8-5.37	%
Extracto Libre de Nitrógeno	46-67	%
Nutrientes Digestibles Totales	65-85	%
Vitamina A	25,1	UI/Kg
Vitamina c	45.1-154	mg/kg
Vitamina E	26,3	UI/kg
Calcio	0,11	%
Fósforo	0,3	%
PH	6.0-6.5	
Palatabilidad	excelente	
Materia seca	12.0-20.0	%

Fuente: <http://www.forrajehidroponico.com/art001.htm>

Consumo

Según la FAO (2001) si se considera cada 100 Kg de peso vivo de animal, se tienen los siguientes consumos por animal:

- a) Vaca lechera, 1 a 2 Kg de FVH cada 100 Kg de peso vivo, complementando con pradera.
- b) Vacas secas, 0,5 Kg a complementar con fibra.
- c) Vacunos de carne, 0,5 a 2 Kg, complemento con pradera.

- d) Cerdos, 1 a 2 Kg, complemento con frutas y verduras.
- e) Aves, 25 Kg de forraje hidropónico cada 100 kg de alimento seco.
- f) Caballos, 1 a 2 K cada 100 kg de peso vivo, complementar con pradera.
- g) Ovejas/Cabras 1 a 2 Kg, complementar con pradera.
- h) Conejos 0,5 a 2 Kg, complementar con pradera.

Los altos contenidos nutricionales en proteína convierten al FVH en una alternativa para alimentar todo tipo de animales herbívoros, sin embargo, su optimización en uso está en suministrarlo a animales enfermos, crías en destete, hembras en puerperio, lactancia, machos en servicio reproductivo entre otros. Se aconseja para facilitar el consumo disponerlo en trozos pequeños.

BIBLIOGRAFÍA

Ball D, Collins M, Lacefield G, Martin N, Mertens D, Olson K, Putnam D, Undersander D, Wolf M (2001) Understanding Forage Quality. American Farm Bureau Federation Publication 1-01

INIA. 2014. Técnicas de captación, acumulación, y aprovechamiento de aguas lluvias. Boletín INIA N° 321. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional Rayentué. Rengo, Chile. 184p.

FAO, 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.

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.

Hugo Tarrillo Olivas. <http://www.forrajehidroponico.com/art001.htm>

INIA-Rayentué, N° 43, 3ª parte. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Rengo, Chile. 4p.

INTA INIA-Rayentué, N° 43, 3ª parte. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Rengo, Chile. 4p.

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

Lilia Salas-Pérez, Pablo Preciado-Rangel, Juan Ramón Esparza-Rivera, Vicente de Paul Álvarez-Reyna, Arturo Palomo-Gil, Norma Rodríguez-Dimas y Cándido Márquez-Hernández. 2010. Yield and quality of hydroponic forage produced under organic fertilization. Terra Latinoam vol.28 N°4. Chapingo.

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.

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

Squella, F., 2014. Uso de cubiertas vegetales, para la conservación del complejo suelo-agua y la producción animal. Informativo

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.

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.

ANEXO

Ficha de Seguimiento

Instructivo TIMER

FICHA DE SEGUIMIENTO FVH

DIA		FECHA	Hora medición	LARGO RAICES- BROTOS	PESO (g)	T°C	HR %	OBSERVACIONES
1	Nivel superior							
	Nivel intermedio							
	Nivel inferior							
2	Nivel superior							
	Nivel intermedio							
	Nivel inferior							
3	Nivel superior							
	Nivel intermedio							
	Nivel inferior							
4	Nivel superior							
	Nivel intermedio							
	Nivel inferior							
5	Nivel superior							
	Nivel intermedio							
	Nivel inferior							
6	Nivel superior							
	Nivel intermedio							
	Nivel inferior							
7	Nivel superior							
	Nivel intermedio							
	Nivel inferior							
8	Nivel superior							
	Nivel intermedio							
	Nivel inferior							
9	Nivel superior							
	Nivel intermedio							
	Nivel inferior							
10	Nivel superior							
	Nivel intermedio							
	Nivel inferior							
11	Nivel superior							
	Nivel intermedio							
	Nivel inferior							
12	Nivel superior							
	Nivel intermedio							
	Nivel inferior							
13	Nivel superior							
	Nivel intermedio							
	Nivel inferior							
14	Nivel superior							
	Nivel intermedio							
	Nivel inferior							
15	Nivel superior							
	Nivel intermedio							
	Nivel inferior							
OBSERVACIONES FINALES								

INSTRUCCIONES TIMER DIGITAL

I. Configuración inicial

Presione el botón R para reiniciar el temporizador. La pantalla quedará en blanco y luego se mostrará la pantalla de reinicio. Esto eliminará toda la información preexistente.

II. Ajuste de hora actual

Configuración del día: Manteniendo pulsado el botón "CLOCK" luego presione el botón "WEEK" para ajustar el día al actual.

Ajuste de hora: Manteniendo pulsado el botón "CLOCK" luego presione el botón "HOUR" para ajustar la HORA a la hora actual.

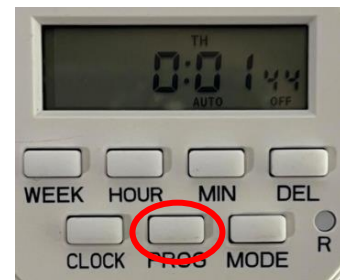
Configuración de minutos: Manteniendo pulsado el botón "CLOCK" luego presione el botón "MIN" para ajustar el MINUTO a la hora actual.

Ajuste de segundos: Manteniendo pulsado el botón "CLOCK" luego presione el botón "DEL" para ajustar el SEGUNDO a la hora actual.

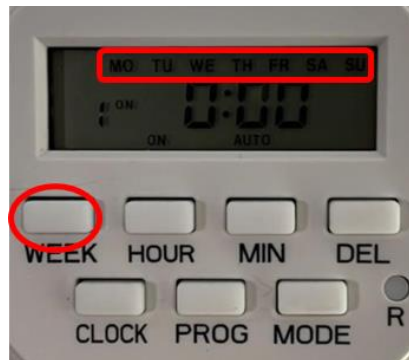
NOTA: Si mantiene presiona el botón "MIN" y luego presione "DEL" cambiará entre AM y PM (12/24 horas) modo de visualización.

III. Ajuste del programa del temporizador

Presione el botón "PROG" para mostrar el ajuste del tiempo de ciclo.



Presione el botón "WEEK" para elegir días. Por ejemplo: MO-FR.



Combinaciones de días:

MO-FR (Lunes a viernes)

SA+SU (sábado + domingo)

MO-SA (lunes - sábado)

MO+WE+FR (lunes + miércoles + viernes) TU+TH+SA (martes + jueves + sábado)

MO+TU+WE (lunes + martes + miércoles)

TH+FR+SA (jueves + viernes + sábado)

MO-SU (lunes a domingo)

Presione el botón "HOUR" para ajustar la hora.

Nota: La "HOUR" presione una vez y la hora suma 1. Mantenga presionada más de 3 segundos la tecla "HOUR"

el cambio es rápido

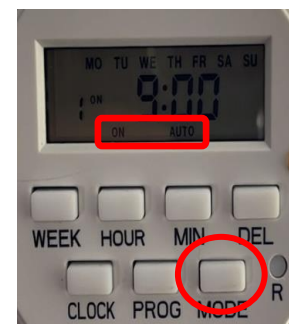
Presione el botón "MIN" para ajustar el min para 1 ON. Nota: El "MIN" presione una vez el min y agregue 1. Mantenga presionados mas de tres segundos el "MIN" cambio de adición rápido.

Presiones "DEL" para cancelar/recuperar ajuste de tiempo.

Presione "MODE" para dejar en AUTO ON (Encendido de la bomba)

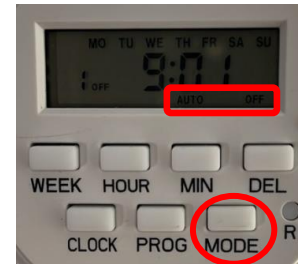
Presione "PROG" para ajuste de tiempo de 1 OFF.

Se programa para 1 minuto de riego para luego apagar.



Presione “MODE” para seleccionar el modo de ON/OFF del set.

Luego pasará al segundo tiempo de programación. Se realiza igual que paso 4, pero ahora realizando la programación que requiere sumando los minutos correspondientes a la hora de programación.



Presione “PROG” para avanzar al siguiente ajuste ON/OFF. Puede configurar 20 ciclos de temporizador

Presione el botón “CLOCK” para guardar y salir del modo de “PROG” para volver al menú principal.



Para revisar la programación, presione “PROG” repetidamente. Puede presionar “DEL” para eliminar programación.

12. Interruptor de anulación manual y de modo

Independientemente de la programación, es posible en cualquier momento alcanzar al siguiente, siguiendo el comando de conmutación o encienda y apague el temporizador siempre presionando el botón “MODE”, suponiendo que la hora del día ya se ha establecido.

OFF: Siempre APAGADO (función temporizador desactivada)

AUTO OFF: Modo automático y la salida de corriente está apagada

ON: Siempre ENCENDIDO (función de temporizador desactivada)

ON AUTO: Modo automático y la salida de corriente está encendida

NOTA:

Cuando el modo de APAGADO cambia a AUTO se muestra la pantalla “AUTO OFF”, el tomacorriente está APAGADO hasta la próxima hora de encendido.

Cuando el tomacorriente cambia automáticamente a ENCENDIDO, el temporizador funciona exactamente como fue programado.

Cuando el modo de ON cambia a AUTO, se muestra la pantalla “ON AUTO”, el tomacorriente está ENCENDIDO hasta la próxima hora de APAGADO.

Cuando el tomacorriente cambia automáticamente a APAGADO, luego el temporizador funciona exactamente como su programado.



