



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO



FACULTAD DE
**CIENCIAS
AGRARIAS**

TESIS

Para optar al grado de Magister en Riego y Drenaje

EVALUACIÓN DEL CULTIVO HIDROPÓNICO DE *Avena sativa* L. BAJO CUBIERTA EN AMAICHA DEL VALLE, PROVINCIA DE TUCUMÁN

Tesista: Ing. SILVIO G. RAVANELLI

Director: Ing. Agr. M. Sc. L. MARTIN

Codirector: Ing. Agr. Nidia LEIVA

Mendoza, 2025

Agradecimientos

Gracias a Dios.

El encarar una Maestría de esta magnitud, no hubiera sido posible sin la paciencia de mi hijo Francesco, quien se ponía estudiar o jugar a la par mía.

Agradezco el apoyo que me brindaron mis padres, Silvio y Myriam, y mis hermanas, Costanza y María Pía, para poder concentrarme en estudiar y trabajar, además de colaborar con algunas necesidades de Francesco.

Gracias a mi nono Darío, quien me transmitió el amor por la agricultura y el campo.

Gracias a mi director de tesis, Leandro Martín y co-directora, Nidia Leiva, por brindarme su tiempo, su experiencia, su paciencia.

Quiero agradecer al cuerpo docente de la maestría en general por el compromiso demostrado para con los alumnos, pero en especial a los ingenieros Daniela Cónsoli y Victor Lipinski, en quienes he encontrado calidad humana además de profesional.

Y no puedo dejar de agradecer a mi compañero de maestría y amigo, ingeniero Federico Di Blasi, quién ha sido de gran ayuda en el trabajo que presento.

RESUMEN

Amaicha del Valle es una localidad de Tucumán en donde predomina la producción de forraje a campo regada por superficie. Los canales de distribución de agua para el riego de cultivos (primarios, secundarios y terciarios) no están revestidos y esto impacta en la menor disponibilidad de agua para las parcelas agrícolas.

La producción de forraje verde hidropónico (FVH) bajo cubierta es una alternativa rentable para los productores locales debido a que permite obtener forraje de alta calidad en menor tiempo, lograr altos rendimientos y cosechar en forma continua a lo largo del año.

En el presente caso de estudio se evaluó la producción de *Avena sativa* “avena” regada por microaspersión bajo hidroponía en un invernadero de tipo “pasivo” de un productor de la localidad de Amaicha, Tucumán.

Se analizó la producción de forraje con densidades de siembra de 2,5 kg.m⁻² y 3 kg.m⁻². Se analizó el requerimiento hídrico del cultivo bajo cubierta y se lo comparó con la demanda del cultivo a campo.

Los resultados indicaron que no hubo diferencias significativas de producción entre ambas dosis de siembra, siendo la menor dosis la recomendada ya que implica un ahorro del 17 % del costo de las semillas.

El ciclo del cultivo de FVH fue de 18 días respecto a 104 días que requiere el forraje a campo, esto equivale a 6 ciclos bajo cubierta respecto a 1 ciclo a campo. Además, el requerimiento neto promedio del cultivo en campo sería de 2,8 mm/día, mientras que bajo cubierta resultó en 1,12mm/día.

Palabras clave: *Avena Sativa*; invernadero; Amaicha del Valle

ABSTRACT

Amaicha del Valle is a town in Tucuman where surface-irrigated forage production predominates. The water distribution channels for crop irrigation (primary, secondary and tertiary) are not lined and this impacts on the lower availability of water for agricultural plots.

The production of hydroponic green fodder (FVH) under cover is a profitable alternative for local producers because it allows obtaining high-quality fodder in less time, achieving high yields and harvesting continuously throughout the year.

In the present case study, the production of *Avena sativa* “oats” irrigated by micro-sprinkling under hydroponics in a “passive” type greenhouse of a producer from the town of Amaicha, Tucumán was evaluated.

The forage production was analyzed with sowing densities of 2.5 kg.m⁻² and 3 kg.m⁻². The water requirement of the crop under cover was analyzed and compared with the demand of the field crop.

The results indicated that there were no significant differences in production between both sowing rates, with the lowest rate being the recommended one since it implies a saving of 17% of the cost of the seeds.

The crop cycle of FVH was 18 days compared to 104 days required by forage in the field, this is equivalent to 6 cycles under cover compared to 1 cycle in the field. In addition, the net requirement of the crop in the field would be 2,8 mm/day, while under cover it resulted in 1,12 mm/day.

Keywords: *Avena Sativa*; greenhouse; Amaicha del Valle

INDICE

LISTADO DE TABLAS	7
LISTADO DE FIGURAS	7
LISTA DE ABREVIATURAS	9
INTRODUCCIÓN	10
Situación actual del cultivo avena a campo e hidroponía	10
Hidroponía	11
Forraje verde hidropónico	12
FORMULACIÓN Y FUNDAMENTACIÓN	16
OBJETIVOS	16
Objetivo General	16
Objetivos Específicos	16
HIPÓTESIS	17
MATERIALES Y METODOS	18
Área de estudio	18
Invernadero y sistema de riego	18
Requerimiento hídrico	21
Evapotranspiración de referencia (ET ₀)	22
Requerimiento hídrico del cultivo	22
Cultivo	24
Acondicionamiento previo a la siembra	24
Siembra	25
Cosecha	25
Diseño experimental	26
Evapotranspiración de referencia (E _{to})	28
Requerimiento hídrico de avena forrajera en campo	29
Requerimiento hídrico de avena forrajera en invernadero	30
Rendimientos	31
CONCLUSIONES	34
CONSIDERACIONES FINALES	34
BIBLIOGRAFÍA	35

ANEXOS	39
Anexo 1. Ventana del programa ET0 Calculator mostrando información relativa a la ubicación geográfica de la estación meteorológica de referencia.	39
Anexo 2. Ventana del programa ET0 Calculator mostrando parámetros climáticos y unidades de los mismos.	39
Anexo 3. Descripción numérica de la información recabada en el caso de estudio, para los tratamientos 1 y 2, considerando la variable dependiente PRODUCCION.	40
Anexo 4. Evaluación gráfica acerca de la distribución normal de la variable PRODUCCION, mediante Q-Q Plot.	40
Anexo 5. Análisis de la varianza empleando el método de comparación de Fisher	41
Anexo 6. Descripción numérica de la información recabada en el caso de estudio, para los tratamientos 1 y 2, considerando la variable dependiente RINDE.	41
Anexo 7. Evaluación gráfica acerca de la distribución normal de la variable RINDE, mediante Q-Q Plot.	41
Anexo 8. Análisis de la varianza empleando el método de comparación de Fisher	42

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1: Datos meteorológicos medios mensuales de la estación El Pichao, Tucumán. 28

Tabla 2: Evapotranspiración del cultivo de referencia (Eto) mensual. 29

Tabla 3: Duración de la etapas del cultivo (avena a campo) y valores de ETo y Kc. 29

Tabla 4: Duración de la etapas del cultivo (avena hidropónica) y valores de ETo y Kc. 30

Tabla 5: Riego diario aplicado en avena hidropónica durante el ciclo del cultivo (18 días). 30

Tabla 6: Producción (Kg materia fresca . m⁻²) y rendimiento (kg materia fresca. kg semillas⁻¹) por lotes (bandejas) en función del tratamiento (densidad de siembra) en el cultivo de avena hidropónica. 32

Tabla 7: Producción y rendimiento por lotes (bandejas) en función del tratamiento (densidad de siembra) en el cultivo de avena hidropónica. 33

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación del ensayo experimental en la localidad de Amaicha del Valle y El Pichao, Tucumán. 18

Figura 2: Dimensiones del invernadero (corte transversal) y disposición de las bandejas de cultivo y micro aspersores. 18

Figura 3: Esquema de riego con microaspersores y sistema de recirculación. 19

Figura 4: Catálogo de bomba centrífuga Pedrollo modelo CP. 20

Figura 5: Esquema de diámetro de humedecimiento real (2.5 m aprox. a 0.70 m de altura). 20

Figura 6: Caudal, presión de trabajo y diámetro de humedecimiento de boquillas 21

Figura 7: Identificación de los diferentes puntos en el sistema de riego, que afectan a la eficiencia global del sistema. 23

Figura 8: Semilla de Avena sativa “avena” empleada en el ensayo (cosecha: 2021, origen: La Pampa). 24

Figura 9: Corte longitudinal del invernadero. 25

Figura 10: Esquema de distribución de las bandejas de cultivos (A1 hasta R4). 26

Figura 11: Vista de las unidades experimentales. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 27

Figura 12: Caracterización climática de Köppen de la provincia de Tucumán. 28

LISTA DE ABREVIATURAS

apl: aplicación

ECp: Eficiencia de riego en canal principal

Ed: Eficiencia de distribución en canales secundarios

ECi: Eficiencia de conducción a nivel de parcela

EA: Eficiencia de aplicación

ETc: Evapotranspiración de cultivo

ET₀: Evapotranspiración de referencia

Eg: Eficiencia global del sistema

FVH: Forraje Verde Hidropónico

ha: hectárea

H_m : altura media

K4: clase 4 (presión admisible de trabajo de la tubería: 4 Bar)

LDT: Larga Duración Térmica

MS: Materia Seca

m.s.n.m.: metros sobre el nivel del mar

Nn: lámina neta

Nb: lámina bruta

PEBD: Polietileno de baja densidad

Qmed: caudal medio

INTRODUCCIÓN

Situación actual del cultivo avena a campo e hidroponía

La superficie con avena forrajera en Argentina es de 1.200.000 ha (CNA, 2021) y representa el 32,9 % del total de forrajeras cultivadas en el país.

La principal provincia productora es Buenos Aires con 715.000 ha, y le siguen La Pampa (200.000 ha) y Córdoba (123.000 ha), mientras que en Tucumán, se cultivan 750 ha, ocupando el puesto n° 14.

A nivel provincial (Tucumán), el cultivo de avena a campo posee un rendimiento entre 4000 y 5000 kg de materia seca (MS).ha⁻¹ (0,4 a 0,5 kg MS m⁻²) en un ciclo entre 100 a 120 días desde la siembra a cosecha (Leiva, comunicación personal, enero de 2024). En la provincia de Chubut, se obtuvieron rendimientos entre 0,5 a 0,7 kg MS m⁻² en 125 días (AER Trevelin, 2011; Della Canónica, 2014). En estudios llevados a cabo en campo en Chile (Latitud entre -32° a -45° y 2000 m snm) los rendimientos fueron entre 1,2 hasta 1,5 kg MS m⁻² (Squella, 2007).

Bajo cubierta los ciclos se aceleran, pudiendo ser hasta 5 o 6 veces más rápidos respecto al ciclo del cultivo convencional (Leiva, 2017).

Este incremento puede llegar inclusive a 8 veces, si se está en una necesidad imperante de tener que contar con forraje (Cortazzo Sánchez et al., 2001, Morales et al., 2009; Rodriguez-Muela et al., 2012); esto porque el forraje sin llegar al desarrollo habitual (del cual se hablará más adelante), logra tener un almacenamiento de nutrientes suficientes que justifica una cosecha en menor tiempo; esto se traduce en un mayor número de ciclos.

A nivel nacional, no hay antecedentes de evaluación de los requerimientos hídricos de la avena cultivada a campo y bajo cubierta. Sin embargo, el consumo de agua de avena para producción de forraje a campo en Chile fue igual a 635 L kg⁻¹ MS (Carámbula y Terra, 2000).

En innumerables ocasiones han ocurrido pérdidas importantes de ganado y de animales menores como consecuencia de déficits alimentarios o faltas de forraje, henos, ensilajes o granos para alimentación animal. Además, fenómenos climatológicos adversos, tales como las sequías prolongadas, nevadas, inundaciones y las lluvias de cenizas volcánicas, vienen incrementando significativamente su frecuencia en estos últimos años, afectando negativamente la producción o limitando el acceso al forraje producido en forma convencional para alimentación de los animales. Ejemplos dramáticos de estas situaciones han sido el "terremoto blanco" de nieve de 1995 en el Sur de Chile; la sequía de 6 meses en 1999 que afectó el Cono Sur de América Latina o la sequía que afectó significativamente desde los primeros meses del 2001 a la Vertiente Pacífico de Mesoamérica con resultados adversos sobre la seguridad alimentaria de la población, especialmente la de los pequeños agricultores localizados en zonas de laderas degradadas. Asimismo, el frecuente anegamiento de los terrenos por

exceso de precipitaciones limita por períodos prolongados la disponibilidad de alimento verde fresco por parte de los animales causando en general, alta mortalidad y pérdidas de peso o de producción. Estos fenómenos naturales adversos, cada vez más comunes producto de la alta variabilidad climática, ocurren sin que se cuenten muchas veces con suficientes reservas de pasturas, heno o ensilados. Ello redundaría en la necesidad de contar con alternativas de producción de forraje que permitan paliar o prevenir pérdidas productivas (abortos, pérdida de peso, escaso volumen de leche, demoras y/o problemas de fertilidad, etc.) especialmente a nivel de los pequeños y medianos productores ganaderos o de animales menores. Frente a estas circunstancias de déficit alimentario, surge como una alternativa válida, la implementación de un sistema de producción de Forraje Verde Hidropónico (FVH) (Carámbula y Terra, 2000).

Hidroponía

De acuerdo a diversos autores, la **Hidroponía** en general, se define como:

- **el cultivo de plantas en soluciones acuosas, por lo general con algún soporte de arena, grava, etc.** (RAE, 2023);
- **la germinación de granos y su posterior crecimiento bajo condiciones ambientales controladas (luz, temperatura y humedad), en ausencia de suelo** (Cortazzo Sánchez et al., 2001),
- **sistemas de producción en donde los nutrientes llegan a la planta a través del agua, son aplicados en forma artificial y el suelo no participa en la nutrición** (Gilzanz, 2007),
- **y para el caso del forraje, es un método sin suelo que permite la germinación de semillas** (Leiva, 2017).

En este trabajo, estando la hidroponía vinculada estrictamente a la producción de avena para forraje, podrá hacerse uso del término de Forraje Verde Hidropónico (FVH).

Cortazzo Sánchez et al. (2001) sugieren que el riego de las bandejas de crecimiento del forraje verde hidropónico se puede realizar de diversas maneras: micro aspersores, nebulizadores o mochila pulverizadora de mano. El riego por inundación no es recomendado, dado que causa generalmente excesos de agua que provocan la asfixia radical, ataque de hongos, pudriciones y la pérdida total del cultivo.

El volumen de agua de riego aplicada está relacionado con los requerimientos hídricos del cultivo y las condiciones ambientales internas del recinto de producción de FVH. Un indicador práctico utilizado bajo cubierta es no regar

cuando las hojas del cultivo se encuentran levemente húmedas al igual que su respectiva masa radical (Sánchez, 1997). Este tipo de verificación, es totalmente subjetiva y relacionada con la experiencia del productor, quien hace uso de su vista y tacto.

Las cantidades de agua de riego deben ser divididas en varias aplicaciones por día. Lo usual es entregarle el volumen diario dividido en 6 o 9 veces en el transcurso del día, teniendo éste una duración no mayor a 2 minutos (Cortazzo et al., 2001). Burgos (2018) sugiere que el número de riegos diarios dependerá del tiempo que las semillas se mantengan húmedas.

Leiva (2017) recomienda que el riego se debería hacer con un pulverizador o aspersores de acuerdo a las necesidades de humedad de las semillas. La frecuencia dependerá de las condiciones ambientales y puede variar de 4 a 6 riegos por día. A los 5 a 6 días se puede obtener más del 70% de germinación con formación de hojas. A partir de ahí, el riego se realizaría unas 4 veces por día con una duración de no más de 30 segundos.

Forraje verde hidropónico

El FVH es un alimento verde de alta palatabilidad para cualquier animal y excelente valor nutritivo (Dosal Aladro, 1987; Níñez Concha, 1988; Cortazzo Sánchez et al., 2001). Además, permite sustituir la materia seca de forraje obtenido por métodos convencionales, así como también aquel proveniente de granos secos o alimentos concentrados por su equivalente en FVH.

La eficiencia del sistema de producción de FVH es muy alta y ha posibilitado obtener mayor calidad de carne, aumento del peso vivo a la fecha de faena y en la proporción de pelo de primera en el vellón de conejos; mayores volúmenes de leche; aumento de la fertilidad y disminución de los costos de producción por sustitución parcial de la ración por FVH (Hidalgo Miranda, 1985; Morales Orueta, 1987; Pérez Lagos, 1987; Bravo Ruiz, 1988; Valdivia, 1996; Sánchez, 1997; Arano, 1998).

Este sistema, trae consigo ventajas y desventajas respecto al sistema convencional de producción en tierra:

Ventajas:

- **Ahorro de agua:** En el sistema de producción de FVH, las pérdidas de agua por evapotranspiración, escurrimiento superficial e infiltración son mínimas al comparar con las condiciones de producción convencional en especies forrajeras a campo (consumo de agua entre 270 a 635 L kg MS⁻¹, Carámbula y Terra, 2000). Alternativamente, la producción de 1 kilo de FVH requiere de 2 a 3 litros de agua y 12 a 18% de MS dependiendo de la especie forrajera (Sánchez, 1997; Rodríguez et al., 2000). Esto se traduce en un consumo total de 15 a 20 L kg MS⁻¹ en 14 días de ciclo del

cultivo. La mayor eficiencia del FVH en el ahorro de agua se ha visto reflejada en países con eco zonas desérticas, afectados por sequías pronunciadas, donde el sistema hidropónico se ha implementado en invernaderos siendo una alternativa rentable de producción forrajera.

- El FVH, al poseer un elevado contenido de humedad, conlleva a que los animales reduzcan su consumo de agua, comparado con el que deben consumir cuando se alimentan con materia seca del cultivo tradicional.
- Mayor eficiencia en el uso del espacio ya que puede ser instalado en forma modular en la dimensión vertical lo que optimiza el uso del espacio útil.
- Eficiencia en el tiempo de producción: La producción de FVH apto para alimentación animal tiene un ciclo de 10 a 12 días. En ciertos casos, por estrategia de manejo interno de los establecimientos, la cosecha se realiza a los 14 o 15 días, a pesar que el óptimo definido por varios estudios científicos, no puede extenderse más allá del día 12 (Cortazzo Sanchez et al., 2001). A partir de este día se inicia un marcado descenso en el valor nutricional del FVH (Bonner y Galston, 1961; Koller, 1962; Simon y Meany, 1965; Fordham et al, 1975, citados por Hidalgo Miranda, 1985.)
- Calidad del forraje para los animales: La avena forrajera es uno de los mejores alimentos en cuanto a valor nutritivo y buena digestibilidad para el ganado (Cano, 1953). El FVH es un succulento forraje verde de 20 a 30 cm de altura aproximadamente (dependiendo del período de crecimiento), de plena aptitud comestible para los animales (Less, 1983, citado por Pérez Lagos, 1987), alto valor nutritivo (Arano, 1976 citado por Resh, 1982; Chen, 1975; Chen, Wells y Fordham, 1975 citados por Bravo, 1988; Girma y Gebremariam, 2018; Munson, 2021) y nivel de digestibilidad apropiado.
- Inocuidad: El FVH representa un forraje limpio e inocuo sin la presencia de hongos e insectos. Nos asegura la ingesta de un alimento conocido por su valor alimenticio y su calidad sanitaria. A través del uso del FVH, los animales no comen hierbas o pasturas indeseables que dificulten o perjudiquen los procesos de metabolismo y absorción. Un caso notable de inocuidad y apoyo a la seguridad alimentaria a partir del uso de FVH fue informado en las poblaciones de Chernobyl, Kazakstan y Voronezh, ciudades afectadas por radiación atómica. En tal situación, como informado por Pavel Rotar (Rotar, 2004) de la ISAR (Initiative for Social Action and Renewal in Eurasia), la única salida para la producción animal en estas zonas afectadas de Rusia, fue la implementación de la producción del FVH, lográndose una “sana y limpia alimentación de los animales” dado que las pasturas existentes se encontraban totalmente contaminadas por la radiación. Además, con el suministro de FVH se aumentó la digestibilidad (de 30 a 95 %) con respecto a los granos que antes se utilizaban para consumo animal (Rotar, 2004).

- Costos de producción: Las inversiones necesarias para producir FVH dependerán del nivel y de la escala de producción. De todos modos, considerando los riesgos de sequías, otros fenómenos climáticos adversos, las pérdidas de animales y los costos unitarios del insumo básico (semilla), el FVH es una alternativa económicamente viable que merece ser considerada por los pequeños y medianos productores. Este sistema de producción presenta un bajo nivel de costos fijos en relación a las formas convencionales de producción de forrajes. Al no requerir de maquinaria agrícola para su siembra y cosecha, el descenso de la inversión resulta evidente (Cortazzo Sanchez, 2001). Ciertas investigaciones de fines de los noventa del siglo pasado, sostienen que la rentabilidad de la producción del FVH es lo suficientemente aceptable como para mejorar las condiciones de calidad de vida del productor con su familia, favoreciendo de este modo su desarrollo e inserción social, a la vez de ir logrando una paulatina reconversión económica – productiva del predio, como la producción de conejos alimentados con FVH integrada a horticultura intensiva (Sánchez, 1997).
- Diversificación e intensificación de las actividades productivas: El uso del FVH posibilita intensificar y diversificar el uso de la tierra. Productores en Chile han estimado que 170 m² de instalaciones con bandejas modulares en 4 pisos para FVH de avena, equivalen a la producción convencional de 5 ha de avena de corte que pueden ser destinadas a la producción alternativa en otros rubros o para rotación de largo plazo y dentro de programas de intensificación sostenible de la agricultura. De igual forma, el sistema FVH posibilita regularizar la entrega de forraje a los animales posibilitando "stockear" el alimento para asistir a exposiciones, remates o ferias ganaderas. El FVH no intenta competir con los sistemas tradicionales de producción de pasturas, pero sí complementarla especialmente durante períodos de déficit (Cortazzo Sanchez, 2001).

Desventajas

- Requiere de cierta capacitación: Los proyectos de FVH preconcebidos como "llave en mano" son vendidos a productores sin conocer exactamente las exigencias del sistema, la especie forrajera y sus variedades, su comportamiento productivo, plagas, enfermedades, requerimientos de nutrientes y de agua y condiciones óptimas de luz, temperatura y humedad ambiental. Innumerables de estos proyectos han sufrido significativos fracasos por no haberse accedido a una capacitación previa que permita un correcto manejo del sistema. Asimismo, el FVH es una actividad continua y exigente en cuidados lo que implica un compromiso concreto del productor. La falta de conocimientos e información simple y directa, se transforma en desventaja (Cortazzo Sanchez A., 2001).

- Alto costo de instalación: La producción de FVH requiere de invernáculo, si el productor no lo posee, deberá realizarlo y asumir el alto costo de implementación (Morales Orueta, 1987) Sin embargo, se ha demostrado que, utilizando estructuras de invernáculos hortícolas comunes, se logran excelentes resultados (Sánchez, 1997). Alternativamente, productores agropecuarios brasileños han optado por la producción de FVH directamente colocado a piso sobre plástico negro con singular éxito. La práctica de esta metodología a piso es quizás la más económica y accesible (Cortazzo Sanchez A., 2001).

FORMULACIÓN Y FUNDAMENTACIÓN

La localidad de Amaicha del Valle en los valles Calchaquíes tucumanos ha sido históricamente productora de forrajes para consumo animal a campo. Se mantiene a lo largo del tiempo una cultura de producción local arraigada a prácticas culturales de manejo agronómicas tradicionales. Actualmente, el aumento poblacional de esta localidad y el parcelamiento de las tierras han ocasionado una menor disponibilidad de agua para riego y una mayor demanda de agua por los cultivos, potenciado por el cambio climático.

En este contexto es fundamental analizar otros métodos de cultivo de la avena que aprovechen eficientemente el recurso agua y suelo para lograr la máxima rentabilidad. El cultivo hidropónico forrajero bajo cubierta constituye una alternativa eficaz para lograr rendimientos óptimos, acortando los ciclos fenológicos y usando mínimas cantidades de agua de manera eficiente.

El cultivo *Avena sativa* “avena” en hidroponía bajo cubierta permite el uso racional del recurso hídrico y altos rendimientos en una menor superficie respecto al cultivo tradicional. No existe evidencia local de la evaluación del cultivo de avena como forraje verde hidropónico regado por micro aspersión en invernadero. La evaluación del cultivo bajo condiciones hidropónicas permitirá definir la densidad de semillas y el programa de riego para productores locales de la provincia.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Evaluar el desempeño del cultivo de *Avena sativa* “avena” en invernadero con sistema hidropónico.

Objetivos Específicos

- Definir la densidad de siembra que permita la mayor productividad de forraje.
- Evaluar el rendimiento del cultivo forrajero bajo cubierta en un ciclo siembra a cosecha de 18 días.
- Estimar el requerimiento hídrico de avena bajo invernadero y compararlo con el cultivo a campo.

HIPÓTESIS

- **Hipótesis:** El aumento de la densidad de siembra reduce la producción (kg forraje húmedo.m⁻²) y el rendimiento del cultivo (kg forraje húmedo.kg semillas⁻¹).

MATERIALES Y METODOS

Área de estudio

El caso de estudio se realizó en un invernadero del tipo “pasivo”, ubicado en la localidad de Amaicha del Valle, Tucumán (2000 m.s.n.m.) y coordenadas 26° 35’ 06” (Latitud Sur) 65° 56’ 18” (Longitud Oeste) (Figura 1).



Figura 1: Ubicación del ensayo experimental en la localidad de Amaicha del Valle y El Pichao, Tucumán.

El término “pasivo” hace referencia a que las condiciones a las que se encontró sometido el mismo, fueron las naturales del lugar; no se alteró ni monitoreó la temperatura, humedad, luminosidad, etc.

Invernadero y sistema de riego

Las dimensiones del invernadero fueron 5 m x 16m con perfil transversal tipo semi circular, cubierta plástica transparente de LDT de 200 µm (Figura 2).

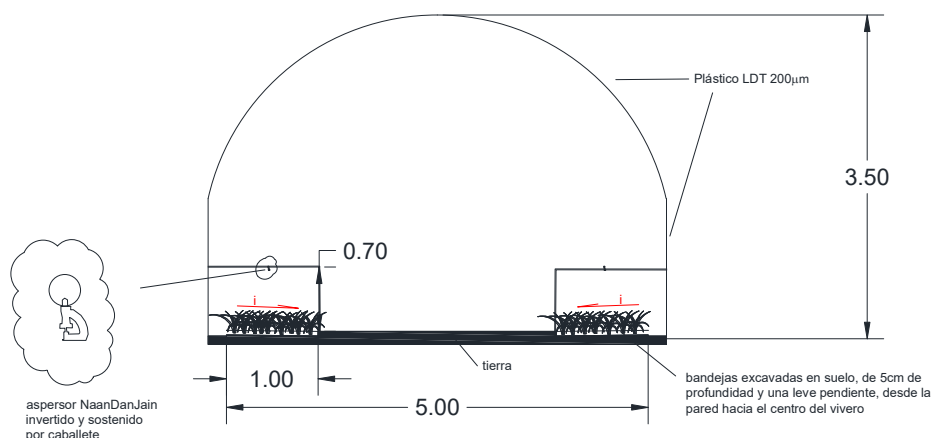


Figura 2: Dimensiones del invernadero (corte transversal) y disposición de las bandejas de cultivo y microaspersores.

El sistema de riego hidropónico estaba compuesto por:

- bomba centrífuga marca “Pedrollo” con un caudal medio de 1800 L.h^{-1} (HP= 0,5 y $H_{\text{med}}=20\text{m}$, Figura 4),
- tanque de plástico de 600 L para el almacenamiento del agua de riego,
- tuberías de PEBD K4 (20 mm diámetro) que permitían la circulación del agua desde la fuente hasta las bandejas,
- microaspersores marca “NaanDanJain” modelo “Grupo Modular” con un caudal de 35 L.h^{-1} (presión= 2 bares, Figura 6),
- programador de riego para encendido y apagado automático del riego.

Además, el productor tenía instalado un sistema de recirculación del agua escurrida, que permitía optimizar el uso del recurso, incrementado de este modo la eficiencia global del sistema. En la Figura 3 se puede ver un esquema de este sistema.

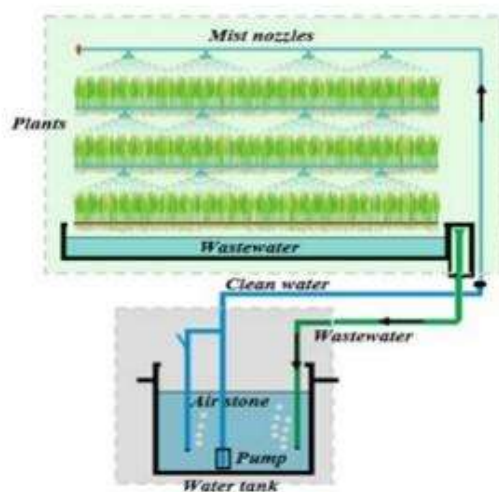
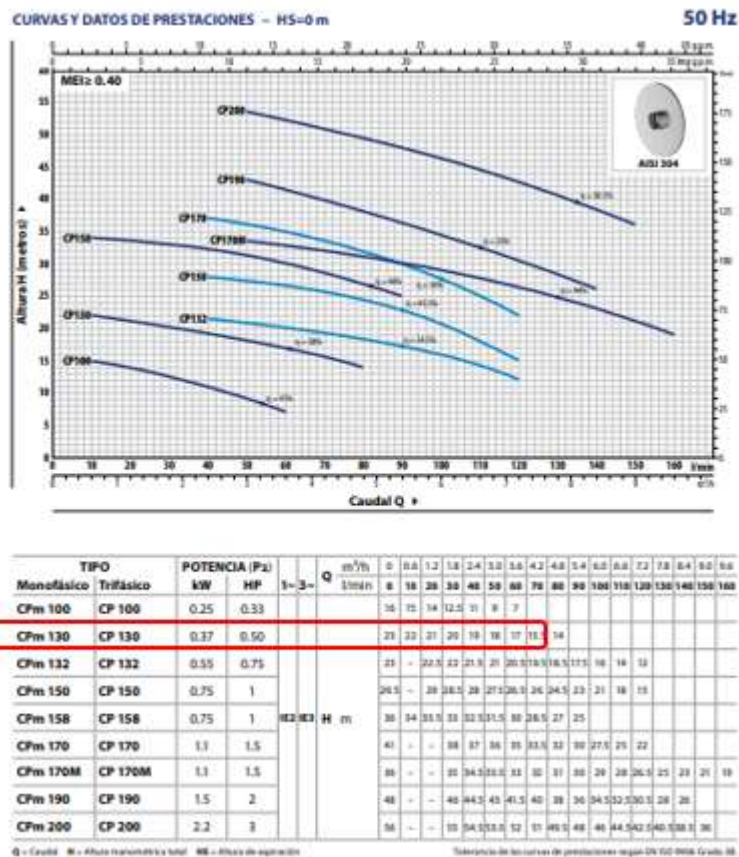


Figura 3: Esquema de riego con microaspersores y sistema de recirculación.



Figuras 4: Catálogo de bomba centrífuga Pedrollo modelo CP.

Los microaspersores fueron ubicados a 70 cm de altura respecto al suelo de tal manera que se produjera el 100 % de superposición.

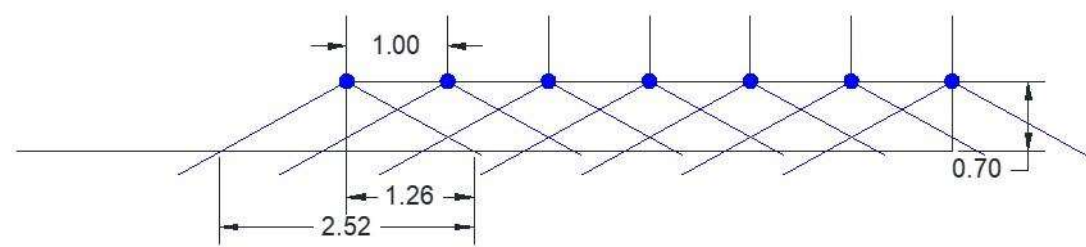


Figura 5: Esquema de diámetro de humedecimiento real (2.5 m aprox. a 0.70 m de altura).

A continuación, se presenta el catálogo con la información técnica de los micro aspersores del ensayo:



Figura 6: Caudal, presión de trabajo y diámetro de humedecimiento de boquillas

Requerimiento hídrico

El caso de estudio se evaluó en función del programa de riego ajustado en forma empírica por el productor en base a recomendaciones locales. El mismo lo realiza en forma diaria fin de mantener la humedad constante en el forraje. El productor realizó 4 riegos de 0.5 min cada uno, distribuidos en los siguientes horarios: 8 hs, 9 hs, 16 hs y 17 hs.

Este trabajo fue realizado ante mi supervisión, por un corto lapso de tiempo, de modo que no se pudo evaluar cuantitativamente ni cualitativamente cambios, ajustando parámetros (tiempo de riego, caudal, temperatura, etc), para aproximarnos de la mejor manera, al requerimiento hídrico ideal en invernadero, considerando a éste aquel que lograba una producción aceptable de FVH según la experiencia de la ing. Leiva, con el mínimo consumo de agua (o sea, logrando hacer frente a la evapotranspiración, con la menor pérdida por percolación).

No hay registros de lámina aplicada en función del requerimiento de riego del cultivo. Para ello, se propuso evaluar el caudal erogado por los aspersores en cada riego, determinar la lámina aplicada (considerando el escurrimiento si lo hubiese) y compararlo con el requerimiento de riego del cultivo bajo condiciones climáticas a campo.

Evapotranspiración de referencia (ET₀)

Se empleó el programa “ET₀ Calculator” (FAO – Land and Water Digital Media n°36 – versión 3.2 – septiembre 2012) para el cálculo de la Eto (ver Anexo 1 y 2). Los datos meteorológicos se obtuvieron de la estación más próxima al área de estudio, ubicada en El Pichao cuyas coordenadas son las siguientes:

- latitud: 26° 21’ 34” Sur
- longitud: 66° 01’ 36” Oeste
- elevación: 2 200 m.s.n.m.

Los valores que se toman como base de datos para calcular ET₀, se han obtenido a partir de registros en el período 2022-2023 (de una estación meteorológica del tipo comercial, instalada en la propiedad de un productor). Ver Tabla 1.

Los datos meteorológicos mensuales disponibles (período 2022-2023) para el cálculo de la Eto fueron la temperatura máxima y mínima (°C), humedad relativa media (%), velocidad del viento a 2 m de altura (m/s) e insolación (horas).

Requerimiento hídrico del cultivo

Se determinó la ET_c mensual a partir de los valores de ET₀ (mm/mes) y los coeficientes de cultivo (K_c) en las diferentes etapas fenológicas de la avena forrajera. Los valores de K_c se han obtenido a partir de los datos del Manual FAO 56 (Allen et al., 2001) ajustándolos al ciclo del cultivo según información brindada por personal de la EEA INTA de Amaicha. En esta localidad, los productores siembran entre febrero y marzo y cosechan para forraje, entre junio y julio.

No existiendo bibliografía en la que se evalúe el requerimiento hídrico en invernadero y no poseyendo instrumental para llevar un correcto control de los parámetros que en este tipo de cultivo inciden (temperatura, luminosidad, CO₂, entre otros), se procedió a emplear el ET₀ de agosto para la zona de Amaicha (Tabla 2) y realizar el ajuste para el cálculo del ET_c, con un K_c sugerido por la bibliografía para la etapa de emergencia/brotación de cultivo tradicional (Tabla 4).

Para el cálculo de la necesidad de riego del cultivo, se descartó la precipitación efectiva, por lo que el requerimiento hídrico del cultivo fue calculado según las siguientes fórmulas (Allen et al., 2001):

- Nn (Necesidad neta) = ET_c (Evapotranspiración del cultivo)
- Nb (Necesidad bruta) = Nn / E_g (Eficiencia global de riego)

Respecto a la estimación del requerimiento hídrico de avena a campo regada por superficie, se consultó al Jefe de Distrito VII de la provincia de Tucumán y al compartidor de riego de Amaicha del Valle. (Ing. Federico Di Blasi y Gustavo Flores,

comunicación personal, septiembre 2022) para analizar las eficiencias del sistema de riego del área de estudio. Los valores sugeridos fueron los siguientes:

- 1) Eficiencia de Conducción Canal Principal (ECp): suponiendo que el canal de riego matriz se encuentra revestido en hormigón y que no tiene demasiadas roturas, se puede considerar una pérdida del 5%/km, siendo la ECp = 90%
- 2) Eficiencia de Distribución (Ed): el canal es de tierra y algo de maleza, siendo la Ed = 70%
- 3) Eficiencia de Conducción Interna (ECi): el propietario mantiene con relativo buen mantenimiento las regueras internas, siendo de tierra compactada y sin malezas, la ECi = 80%
- 4) Eficiencia de Aplicación (EA) = 45% (riego por superficie)

Finalmente $E_g = 0.90 \times 0.70 \times 0.80 \times 0.45 = 0.23$

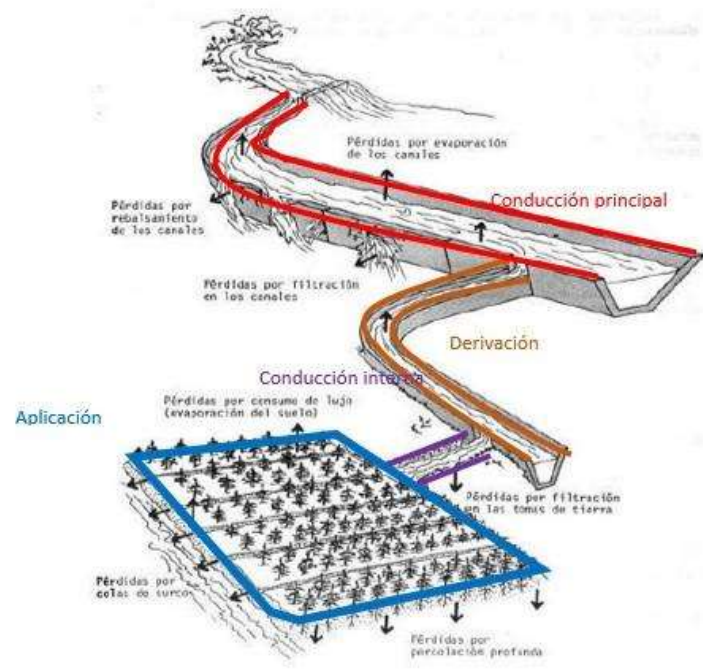


Figura 7: Identificación de los diferentes puntos en el sistema de riego, que afectan a la eficiencia global del sistema.

Cultivo

La semilla seleccionada (marca “Carlos Besso”), especie *Avena sativa*, Figura 8, fue de alta calidad con un porcentaje de germinación entre 85 % a 90% y libre de impurezas (según recomendación de Carrasco Jiménez, 2016). La duración del ciclo del cultivo de avena bajo cubierta (siembra a cosecha) fue de 18 días.

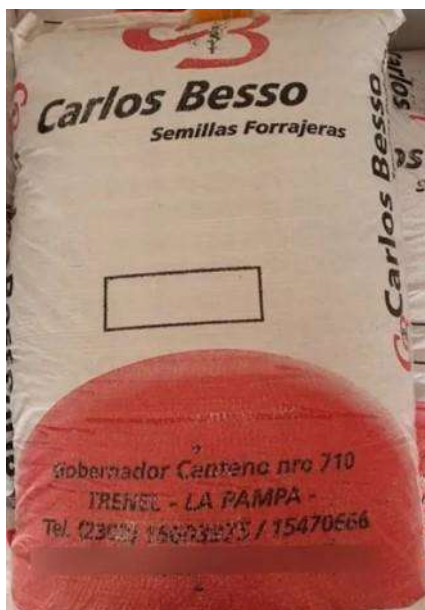


Figura 8: Semilla de Avena sativa “avena” empleada en el ensayo (cosecha: 2021, origen: La Pampa).

Acondicionamiento previo a la siembra

Se realizó el lavado de semillas, colocándolas totalmente sumergidas en agua y cada 6 a 12h se renovó el agua para desechar suciedad, luego se dejó orear por 15 min para que se oxigenaran y se volvió a realizar el ciclo hasta alcanzar las 24 h. Esto indujo una pre germinación, que aseguró un crecimiento inicial vigoroso del FVH, según lo sugerido por Cortazzo Sánchez A. et al. (2001). Posteriormente, se realizó la desinfección de semillas cuyo objetivo fue eliminar hongos, bacterias y residuos contaminantes (Rodríguez et al., 2000). Para ello, se sumergieron por no más de 15 min en una solución de 1% de Hipoclorito de sodio ($10 \text{ cc NaClO L agua}^{-1}$) (Cortazzo Sánchez A. et al., 2001; Leiva, 2017). Finalmente, se tamizaron las semillas (para escurrir el agua con suciedad que no hubiera sido eliminada por flotación) y se procedió a la siembra al voleo.

Siembra

Las bandejas de siembra también fueron desinfectadas con 1% de NaClO y luego se colocaron sobre el suelo (en pequeña excavación de 5 cm de profundidad) y **con leve pendiente desde la pared hacia el interior del invernadero y desde este punto hacia el exterior del invernadero**, de modo que cualquier excedente de agua fuera recolectado en los tanques (Figura 9).

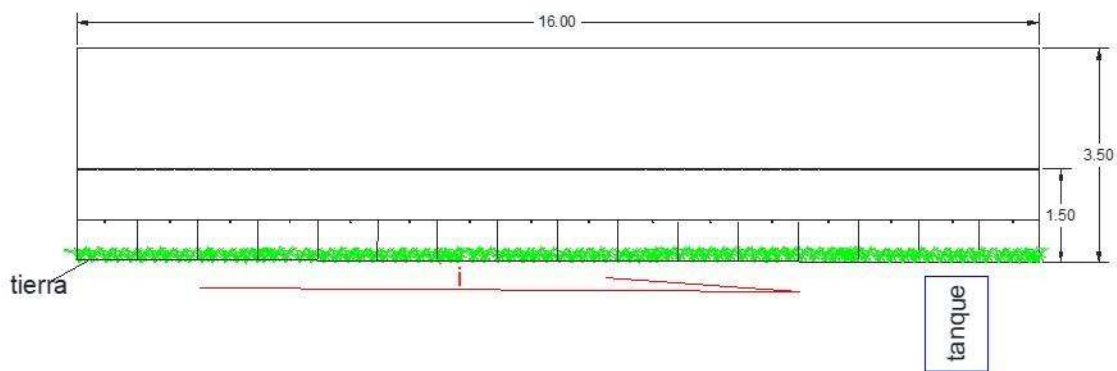


Figura 9: Corte longitudinal del invernadero.

La siembra se realizó esparciendo las semillas al voleo sobre las bandejas, no superando una cama de 1,5 cm de altura (Cortazzo Sánchez A. *et al.*, 2001). Al realizar la siembra de semillas, se tapó las bandejas con un plástico negro para estimular el crecimiento del embrión. En esta etapa no se regó ya que las semillas mantuvieron la humedad producto del lavado y desinfección. Se destapó cuando se tuvo aproximadamente el 70% del desarrollo radical.

De acuerdo a Cortazzo Sánchez *et al.*, 2001; Leiva N., 2017, las dosis óptimas de siembra sugeridas deben ser entre 2,2 a 3,4 kg.m⁻². Por ello, en el ensayo se utilizó la dosis de 2,5 y 3 kg.m⁻².

Cosecha

La cosecha se realizó a los 18 días en forma manual, cuando la avena había alcanzado aproximadamente unos 30 cm de altura; se sugería entre 20 a 25cm (Leiva N., 2017).

Al momento de la cosecha, la materia seca es de aproximadamente el 20% en peso, del forraje total. (Giorgetti H. y Montenegro O.,1988; Escobar P. *et al.*, 2020).

Se determinó la producción de forraje en kg de materia húmeda por m² y el rendimiento en kg de materia húmeda por kg de semillas.

Diseño experimental

El diseño experimental fue completamente al azar. Se realizaron dos tratamientos, uno con una densidad de siembra de 2,5 kg.m⁻² y el otro con una densidad de siembra de 3 kg.m⁻².

Las bandejas en el costado izquierdo de la planta de la Figura 10, se sembraron con una densidad de 3 kg.m⁻² mientras que las del costado derecho, se sembraron con una densidad de 2,5 kg.m⁻².

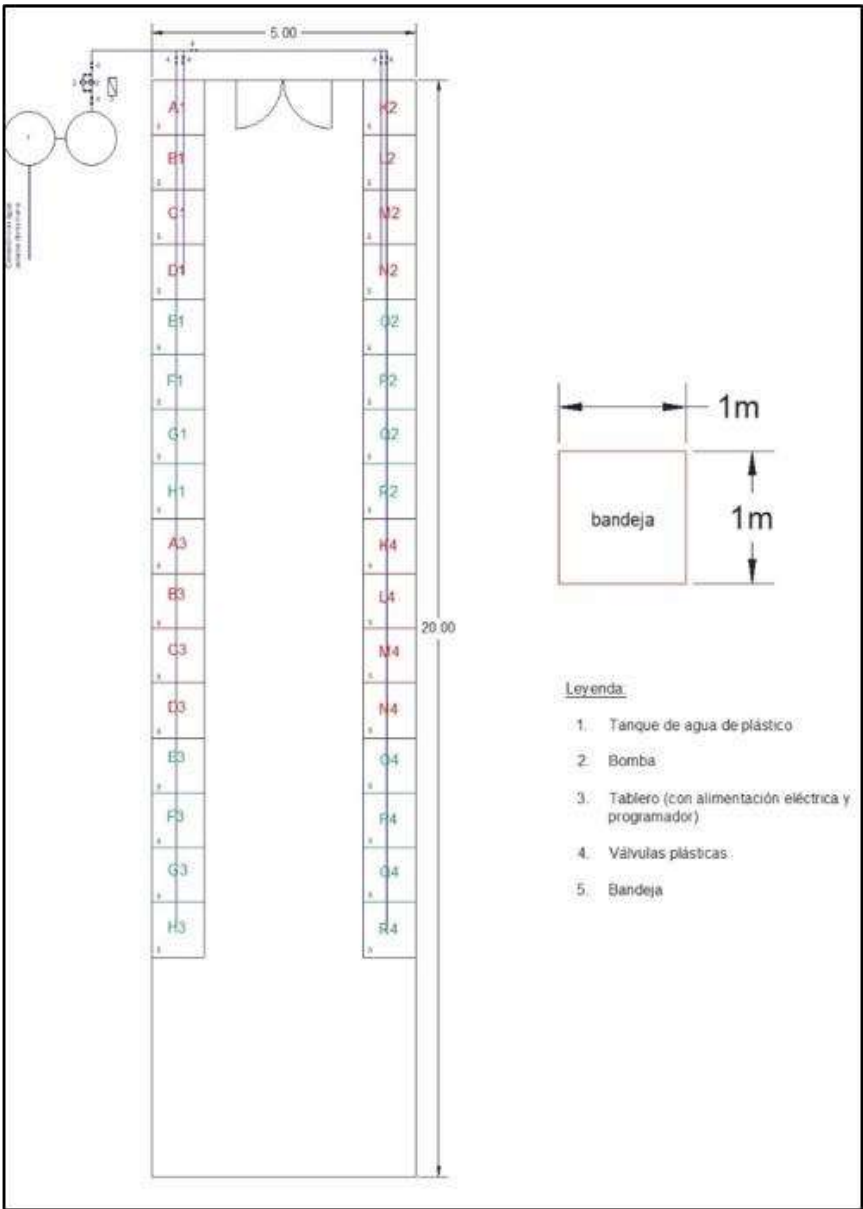


Figura 10: Esquema de distribución de las bandejas de cultivos (A1 hasta R4).

El tamaño de la muestra (o número de repeticiones) fue de n=16 para cada densidad de siembra evaluada. El método de obtención de los datos fue experimental (puesto que se controló la cantidad de semillas que se colocó y la lámina de agua incorporada).

La unidad experimental fue una bandeja (1m x 1m). El tratamiento (T) fue la densidad de siembra;

T 1: 3 kg.m⁻²

T 2: 2,5 kg.m⁻²

Se utilizó el software Infostat© (versión 2020) para el análisis estadístico de los datos y cuando hubo diferencias entre las medias se utilizó el test de Test de Fisher).



Figura 11: Vista de las unidades experimentales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evapotranspiración de referencia (Eto)

Debido a la altitud, el clima predominante es el árido y seco- con nevadas invernales-; hay presencia esporádica de cactáceas como los *cardones*. Las temperaturas máximas promedio de verano (en enero) son de 26 °C, las temperaturas máximas promedio invernales (en julio) son de sólo 16 °C. En la figura 12, la caracterización climática de la provincia de Tucumán según Köppen.

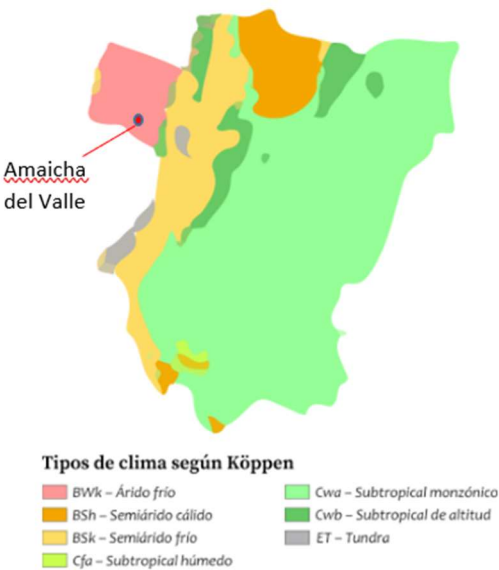


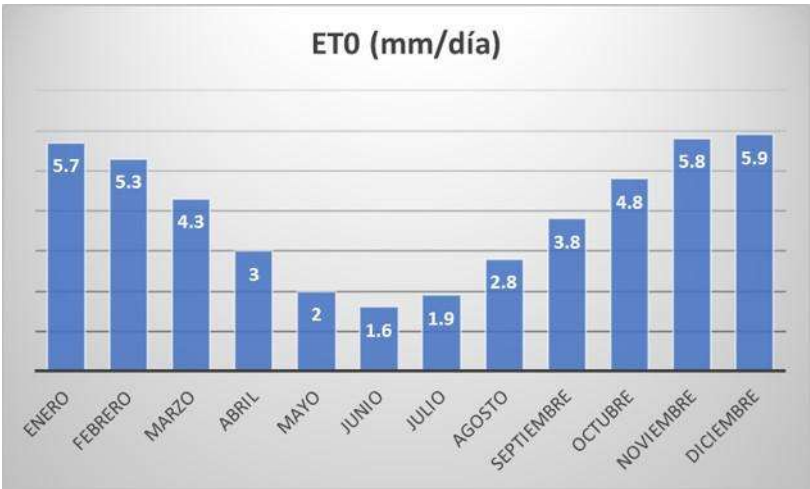
Figura 12: Caracterización climática de Köppen de la provincia de Tucumán.

Tabla 1: Datos meteorológicos medios mensuales de la estación El Pichao, Tucumán.

Estación	Valor Medio de	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
El Pichao	Temperatura máxima (°C)	22.4	22.4	20.0	17.3	15.0	13.0	13.3	17.2	18.7	20.8	23.4	22.4
	Temperatura mínima (°C)	17.5	17.3	15.0	11.4	9.1	8.1	7.3	10.6	12.4	14.9	17.5	17.3
	Humedad relativa (%)	74.0	68.0	66.0	65.0	56.0	49.0	44.0	34.0	45.0	49.0	46.0	68.0
	Velocidad del Viento (m/s) h=2m	0.3	0.4	0.5	0.3	0.3	0.5	0.7	0.8	0.7	0.7	0.8	0.4
	Insolación (h/d)	13.0	12.6	12.0	11.3	10.8	10.3	10.8	11.0	12.0	12.6	13.3	13.5
	Precipitación (mm)	48.0	31.0	11.0	6.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.0	38.0	47.0

A continuación, se observa la variación anual de ET₀.

Tabla 2: Evapotranspiración del cultivo de referencia (Eto) mensual.



Requerimiento hídrico de avena forrajera en campo

A continuación (Tabla 3), se expone el requerimiento hídrico a campo y en las diferentes etapas de desarrollo, considerando exclusivamente el fenómeno de evapotranspiración. El valor de la ET_c anual de un cultivo de avena a campo fue de 296mm. De esta tabla, se desprende que el requerimiento neto diario a campo es de aproximadamente **2,8 mm** (296mm / 104 días).

Tabla 3: Duración de la etapas del cultivo (avena a campo) y valores de ETo y Kc.

Etap	Estado fenológico	fecha	ETo (mm/dia)	Kc	Días	Etc (mm)
Inicial	Siembra	20/2/22	4.8	0.3		
	Emergencia	7/3/22		0.3	15	21.6
Desarrollo	Brotación	27/3/22	4.3	0.8	20	68.8
Medio	Espigamiento	17/4/22	3.1	1.15	21	74.9
	Floración	7/5/22		1.15	20	71.3
	Cuaje e inicio del llenado del grano	22/5/22		1.15	15	53.5
Fin	Cosecha para forraje	4/6/22	1.8	0.25	13	5.9
Total					104	295.9

La lámina bruta de agua a considerarse para regar a campo la avena en Amaicha, es: Nb = Nn/Eg = ET_c/Eg = 296 mm / **0,23** = 1.286mm.

Requerimiento hídrico de avena forrajera en invernadero

A continuación (Tabla 4), se expone el requerimiento hídrico en invernadero, en el ciclo siembra-cosecha, considerando exclusivamente el fenómeno de evapotranspiración. El valor de la ETc de un cultivo de avena en invernadero en un ciclo de 18 días, fue de 20.16mm. De esta tabla, se desprende que el requerimiento neto diario en invernadero para hacer frente a la evapotranspiración, es de 1,12 mm (20.16 mm / 18 días).

Tabla 4: Duración de la etapas del cultivo (avena hidropónica) y valores de ETo y Kc.

Etapas	Estado fenológico	Fecha	Eto	Kc	Días	Etc (mm)
Inicial	Siembra	3/8/24	2.8	0.4		
	Emergencia	8/8/24		0.4	5	5.6
	Cosecha	21/8/24	2.8	0.4	13	14.56
Total					18	20.16

La lámina bruta aplicada durante el ciclo del cultivo fue de 1,17 mm.día⁻¹ (Tabla 5).

Tabla 5: Riego diario aplicado en avena hidropónica durante el ciclo del cultivo (18 días).

Nº riegos/ día	Tiempo de riego (min)	Tiempo de riego (h/día)	Caudal (L/h)	Lámina riego diaria (mm)
4	0.5	0.033	35	1.17

Rendimientos

Los valores de rendimiento (kg rendimiento forraje fresco / kg de semillas/ m²) obtenido en el caso de estudio, giran en torno a 5:1 y 7:1; esto es referido también por Bórquez *et al.* (1992) y Müller *et al.* (2006). Ver Tabla 6.

Tabla 6: Producción (materia fresca . m⁻²) y rendimiento (kg materia fresca. kg semillas⁻¹) por lotes (bandejas) en función del tratamiento (densidad de siembra) en el cultivo de avena hidropónica.

Lote	Tratamientos	Producción (Kg/m ⁻²)	Semillas (Kg)	Rendimiento kg Producción/ kg Semillas
A1	1	16.310	3	5.44
B1	1	16.210	3	5.40
C1	1	15.900	3	5.30
D1	1	16.010	3	5.34
E1	1	18.325	3	6.11
F1	1	18.330	3	6.11
G1	1	18.115	3	6.04
H1	1	18.200	3	6.07
K2	2	15.050	2.5	6.02
L2	2	15.530	2.5	6.21
M2	2	15.090	2.5	6.04
N2	2	15.900	2.5	6.36
O2	2	18.000	2.5	7.20
P2	2	17.900	2.5	7.16
Q2	2	17.090	2.5	6.84
R2	2	17.250	2.5	6.90
A3	1	16.420	3	5.47
B3	1	16.565	3	5.52
C3	1	15.720	3	5.24
D3	1	15.845	3	5.28
E3	1	17.825	3	5.94
F3	1	17.920	3	5.97
G3	1	17.000	3	5.67
H3	1	17.105	3	5.70
K4	2	15.005	2.5	6.00
L4	2	15.055	2.5	6.02
M4	2	15.300	2.5	6.12
N4	2	15.520	2.5	6.21
O4	2	17.100	2.5	6.84
P4	2	17.050	2.5	6.82
Q4	2	17.400	2.5	6.96
R4	2	17.355	2.5	6.94

Q

Las medias de producción resultaron significativamente iguales (16.99 kg.m⁻² para el tratamiento 1 y 16.35kg m⁻² para el tratamiento 2). De modo que se

rechaza la hipótesis planteada que menciona “El aumento de la densidad de siembra reduce la producción del cultivo”. De todos modos, si se opta por el empleo de menor cantidad de semillas (2.500 g.m⁻²), se ahorrará cerca de un 17% en semillas, de modo que se sugiere sembrar con esta densidad.

Los rendimientos entre ambos tratamientos fueron significativamente diferentes (p < 0.05). De este modo, también sigue siendo recomendable emplear la menor densidad de siembra ya que se obtuvo el mayor rendimiento. Por lo que se acepta la hipótesis de que el aumento de la dosis de siembra reduce el rendimiento.

Tabla 7: Producción y rendimiento por lotes (bandejas) en función del tratamiento (densidad de siembra) en el cultivo de avena hidropónica.

Tratamiento	Producción (kg . m ⁻²)	Rendimiento (kg . kg ⁻¹ semilla)		
1	16.99	a	5.66	a
2	16.35	a	6.54	b
ANOVA				
<i>P modelo</i>	0.0986	< 0.0001		
<i>P tratamiento</i>	0.0986	< 0.0001		

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05). Test de LSD Fisher

Entonces, si a campo un ciclo de la avena es entre 100 a 120 días en la zona de Amaicha y en invernadero de 18 días, se desprende que en un plazo de 100 a 120 días se pueden realizar entre 5 (100 d/18 d) a 6 ciclos (120 d /18 d) ciclos bajo cubierta.

En invernadero, se puede trabajar durante los 365 días del año, con lo cual en un año se tendrían 20 ciclos aproximadamente (365 d/18 d por ciclo).

En cuanto a producción, en un año se tendrá los siguientes valores:

- 15 kg.m⁻².ciclo⁻¹ x 20 ciclos.año⁻¹ = 300 kg.m⁻².año⁻¹
- 18 kg.m⁻².ciclo⁻¹ x 20 ciclos.año⁻¹ = 360 kg.m⁻².año⁻¹

A campo, considerando que la producción será normal, sin estrés por exceso o falta de agua o por cualquier otro tipo de agente externo que pudiera interferir en la producción, se tendrían:

- 2 kg.m⁻² ciclo⁻¹ x 1 ciclo.año⁻¹ = 2 kg.m⁻².año⁻¹ (materia verde que se debería acopiar y se transformaría en materia seca).

Esta comparación es de utilidad relativa, ya que el FVH es más adecuado compararlo con los Kg de semilla que se utilizaron que con la MS de forraje (hoja) en un cultivo forrajero a campo.

Gracias al aporte del agua del forraje hidropónico fresco, se reduce la cantidad que se debe proporcionar de la misma, a los animales.

CONCLUSIONES

- ✓ Se recomienda realizar la siembra con una densidad de 2.5 kg.m^{-2} debido a que no hubo diferencias significativas en el rendimiento respecto a la densidad de 3 kg.m^{-2} , pero de esta manera se ahorra un 17% en el costo de adquisición de semillas.

CONSIDERACIONES FINALES

- ✓ El forraje verde hidropónico es una alternativa de negocio para emprendedores de cualquier tamaño; recomendable en gran medida para aquellas personas que teniendo animales y no poseyendo terrenos para producir forraje, puedan autoabastecerse para reducir costos en su cadena de producción.
- ✓ Si bien el caso de estudio fue llevado a cabo en un invernadero del tipo pasivo, es relevante enfatizar que el monitoreo de variables como temperatura, humedad, luz, es importante para optimizar el crecimiento y la producción de forrajes hidropónicos. Para ello, se debe mantener el nivel estándar de indicadores ambientales como la temperatura ($=19^{\circ}\text{C} - 22^{\circ}\text{C}$), la humedad relativa ($= 60\%$), la intensidad de la luz ($=2000 \text{ lux}$), la duración ($=12-16 \text{ h}$) y la aireación durante 3 minutos en intervalos de 2 horas (Starova, 2016).
- ✓ Es importante considerar el fertirriego en el cultivo de forraje verde hidropónico debido a que contribuye al crecimiento del cultivo en su máxima expresión. Se debe considerar la inversión inicial del sistema que consiste el equipo de inyección de fertilizantes (venturi o bomba), la solución nutritiva con macro y micronutrientes, y elementos de medición de la salinidad y pH del agua a fin de aplicar la dosis requerida por el cultivo.

BIBLIOGRAFÍA

ACURIO MEDINA M. (2016) Evaluación de avena hidropónica en la alimentación de conejos de raza neozelandés en la etapa de engorde [tesis de pregrado]. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato. **NO figura en el texto (NFT).**

AGENCIA DE EXTENSIÓN RURAL TREVELIN (AER Trevelin – EEA INTA Esquel). (2011). Encuesta Agrícola 2011 y evaluación de la calidad de forrajes Agropecuarias y Forestales de la Universidad de Concepción, Sede Chillán. Chile.

ALLEN R., PEREIRA L., RAES D., SMITH M. (2001). En Evapotranspiración del Cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Manual de FAO N°56. pp.116-127. ISSN 0254-5293. Disponible en: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/f3660258-d07f-487e-b3c1-01661c83cb16/content>

ARANO, C. (1998). Forraje Verde Hidropónico y Otras Técnicas de Cultivos sin Tierra. Editado por el propio autor. Prov. de Buenos Aires, Argentina. Disponible en: https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/forraje_hidroponico/23-Manual_FAO_4_parte.pdf

ASOCIACIÓN HIDROPÓNICA ARGENTINA. Disponible en : <https://asociacionhidroponica.com.ar/>
BÓRQUEZ, F.; FIGUEROA, M.; PARILO, J.; TIMA, M. E HIDALGO, R. (1992) Producción de forraje en condiciones de hidroponía. I. Tiempo de hidratación, dosis de semilla y fertilización de avena y triticale. Revista Agrociencia 8(1): 11-20.

BURGOS, G. (2018). Establecimiento de avena bajo el sistema de Forraje Verde Hidropónico (FVH). En Boletín informativo INIA n°72 - Chile.

BRAVO RUIZ, M. R. (1988). Niveles de Avena Hidropónica en la Alimentación de Conejos Angora. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de Concepción, Sede Chillán. Chile.

CANO A. (1953). La avena en la alimentación del ganado. Ministerio de agricultura y ganadería. Argentina.

CARÁMBULA, M; TERRA, J. (2000). Las Sequías: Antes, durante y después. Capítulo 7: Producción De Forraje Verde Hidropónico Para La Pequeña Agricultura. En Boletín INIA Chile N°321. p.3

CARRASCO JIMÉNEZ J. (2016). Técnicas de captación, acumulación y aprovechamiento de aguas lluvias. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Rengo, Chile.

CENSO NACIONAL AGROPECUARIO (2021). Resultados definitivos. INDEC. Ministerio de economía de Argentina.

CORTAZZO SÁNCHEZ A., IZQUIERDO J., FIGUEROA J. (2001). Manual Técnico FORRAJE VERDE HIDROPONICO. Oficina regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago-Chile.

DELLACANÓNICA C. (2014). Rendimiento y calidad de un cultivo de avena (*Avena sativa* L.), bajo distintas láminas de riego en el noroeste de Chubut. Argentina. En Tesis de Maestría.

DOSAL ALADRO, J.J.M. 1987. Efecto de la Dosis de Siembra, Época de Cosecha y Fertilización sobre la Calidad y Cantidad de Forraje de Avena Producido Bajo Condiciones de Hidroponía. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de Concepción, Sede Chillán. Chile.

ESCOBAR P., ETCHEVERRÍA P., VIAL M., DAZA J. (2020). Concepto de materia seca y su uso: guía práctica. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín informativo N°119. Chile.

GIORGETTI H. y MONTENEGRO O. (1988). Verdeos. Importancia y posibilidades en la zona. Ministerio de Asuntos Agrarios. Chacra Patagones. Provincia de Buenos Aires.

GILZANZ J. (2007). Hidroponia. Sitio Argentino de Producción Animal. Disponible en: https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/forraje_hidroponico/07-hidroponia.pdf (NFT).

GIORGETTI H. y MONTENEGRO O. (1988). Verdeos. Importancia y posibilidades en la zona. Ministerio de Asuntos Agrarios. Chacra Patagones. Provincia de Buenos Aires.

GIRMA, F. Y GEBREMARIAM, B. (2018). Review on hydroponic feed value to livestock production. Journal of Scientific and Innovative Research, 7(4), pp.106-109.

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

LEIVA, N. (2017). Cómo producir alimento para animales de manera rápida, en cualquier sitio y época del año. Disponible en: https://www.aianer.com.ar/noticias/1886_como-producir-alimento-para-animales-de-manera-rapida-en-cualquier-sitio-y-epoca-del-ano.html

MORALES M., FUENTE B., JUÁREZ M., ÁVILA E. (2009). Effect of substituting hydroponic green barley forage for a commercial feed on performance of growing rabbits. World Rabbit Sci. 17:35-38.

MORALES ORUETA, A. F. (1987). Forraje Hidropónico y su Utilización en la Alimentación de Corderos Precozmente Destetados. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de Concepción, Sede Chillán. Chile.

MÜLLER, L.; SOUZA, O.; MANFRON, P.; PETTER, S.; HAUT, V.; DOURADO, D.; LEMOS, N.; CAMACHO, D. (2006) Forragem hidropônica de milho: produção e qualidade nutricional em diferentes densidades de semeadura e idades de colheita. Ciencia Rural, Santa Maria 36(4): 1094-1099.

MUNSON, R. (2021). Tech to Table: 25 Innovators Reimagining Food. Island Press

ÑÍGUEZ CONCHA, M. E. 1988. Producción de Forraje en Condiciones de Hidroponía II. Selección de Especies y Evaluación de Cebada y Trigo. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de Concepción, Sede Chillán. Chile.

PÉREZ LAGOS, N. (1987). Efecto de la Sustitución del Concentrado por Forraje Obtenido en Condiciones de Hidroponía en una Crianza Artificial de Terneros. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de Concepción, Sede Chillán. Chile.

RAE (2023). Diccionario de la Real Academia Española. Disponible en: <https://dle.rae.es/>

RESH, H. (1992). Cultivos Hidropónicos. Mundi-Prensa. Madrid, España.

RODRÍGUEZ, A; CHANG, M; HOYOS, M; FALCÓN, F. (2000). Manual Práctico de Hidroponía. Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral. Lima, Perú.

RODRIGUEZ-MUELA C., RODRIGUEZ H., RUIZ O., FLORES A., GRADO J., ARZOLA C. (2012) Use of green fodder produced in hydroponics systems as supplement for salsers lactating cows during the dry season. Proc West Sect Am Soc Anim Sci.56:271- 274

ROTAR, P. (2004). Hydroponic techniques sprout healthy, inexpensive fodder. Disponible en: <http://www.isar.org/pubs/ST/hydroponics47.html>.

SÁNCHEZ, A. (1997). Informes Técnicos de Estadía. Informes Internos de la Dirección Nacional de Empleo (DINAE –Ministerio de Trabajo y Seguridad Social) Montevideo, Uruguay.

SHIT N. (2019) Hydroponic fodder production: an alternative technology for sustainable livestock production in india. Explor Anim Med Res, Vol.9, Issue - 2, 2019, p. 108-119 ISSN 2277- 470X (Print), ISSN 2319-247X (Online). **(NFT)**.

SQUELLA F. (2007). Técnicas de producción ovina para el secano mediterráneo de la VI región. En Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias N°166. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/7170>

STAROVA J. (2016) Hydroponic fodder production. 'Feed the future programme' of US Government global hunger and food security initiative in Ethiopia sponsored by USAID.

STEDUTO, P; HSIAO, T. C; FERERES, E; RAES, D. 2012. Yield Response to water of herbaceous crops: the aquacrop simulation model. Herbaceous crops: Wheat. En: Crop Yield Response to Water. FAO Irrigation and Drainage Paper 66. Roma, Italia. Cap.3: 96. Disponible en: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/fb1683eb-df22-438f-b997-a34d44b86ba7/content>. **(NFT)**.

VALDIVIA, E. (1996). Producción de Forraje Verde Hidropónico. Curso Taller Internacional de Hidroponía. Lima, Perú.

ANEXOS

Anexo 1. Ventana del programa ET0 Calculator mostrando información relativa a la ubicación geográfica de la estación meteorológica de referencia.

Update Station characteristics menu

File

ElPichao

DSC

Station description

Station

El Pichao - Amaicha

Country

Argentina

Location

Degrees and Minutes

Decimal degrees

Latitude

26

degrees

0

minutes

South

Longitude

66

degrees

0

minutes

West

Altitude

2200

meter above sea level

Location

at the coast

interior location

in arid or semi-arid area

in semi-humid or humid area

light winds in area

light to moderate winds in area

moderate to strong winds in area

Anexo 2. Ventana del programa ET0 Calculator mostrando parámetros climáticos y unidades de los mismos.

Data and ETo menu

Station

El Pichao - Amaicha

Country

Argentina

File

ElPichao.DTA

Input data description

Meteorological data and ETo

Plot data

Export results

Air temperature

° Celsius

° Fahrenheit

Mean temperature

Minimum and Maximum temperature

Air humidity

Mean Relative Humidity

Minimum and Maximum Relative Humidity

Mean dew point temperature

Mean actual vapour pressure

Psychrometric data

Mean dry and wet bulb temperature

Ventilated

Natural ventilated

Indoors

Coefficient psychrometer

0.000800

IF missing air humidity

Tdew = Tmin + subtract

2.0

°C

(semi)arid

Wind speed

Mean wind speed

height of measurement

2.0

meter

IF missing wind speed

U2 =

0.5

m/sec

light wind

Sunshine and Radiation

Hours of bright sunshine (n)

Relative sunshine hours (n/N)

Solar radiation (Rs)

Net radiation (Rn)

Coefficients Angstrom equation

IF missing radiation

Rs =

0.16

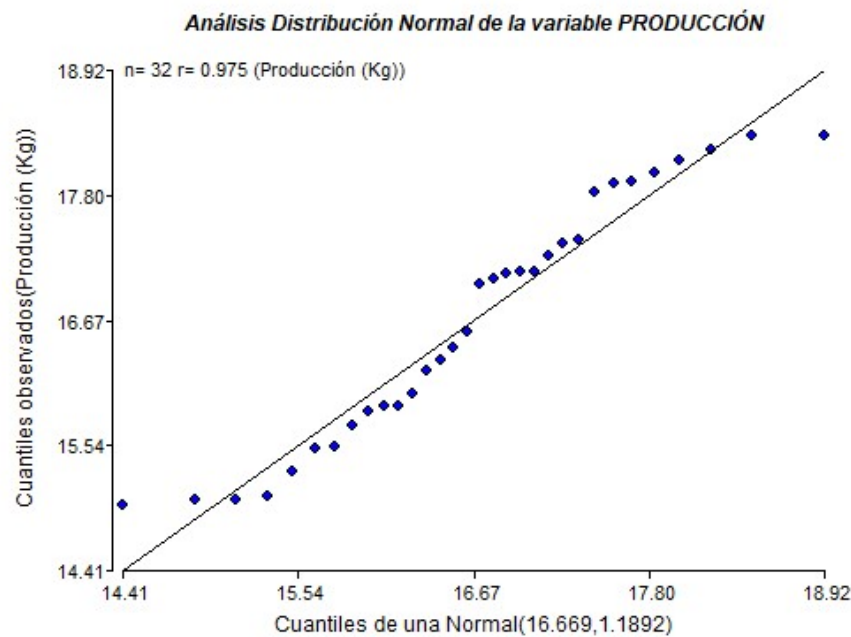
x SQRT(Tmax - Tmin) x Ra

39

Anexo 3. Descripción numérica de la información recabada en el caso de estudio, para los tratamientos 1 y 2, considerando la variable dependiente PRODUCCION.

Tratamientos Resumen Producción (Kg)			Tratamientos Resumen Producción (Kg)		
1	n	16.00	2	n	16.00
1	Media	16.99	2	Media	16.35
1	D.E.	0.98	2	D.E.	1.13
1	CV	5.79	2	CV	6.90
1	Min	15.72	2	Min	15.01
1	Máx	18.33	2	Máx	18.00
1	Q1	16.01	2	Q1	15.09
1	Q3	17.92	2	Q3	17.25
1	P (05)	15.72	2	P (05)	15.01
1	P (95)	18.33	2	P (95)	18.00

Anexo 4. Evaluación gráfica acerca de la distribución normal de la variable PRODUCCION, mediante Q-Q Plot.



Se confirma una distribución del tipo normal, de modo que se pudo realizar el análisis de la varianza.

Anexo 5. Análisis de la varianza empleando el método de comparación de Fisher

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Producción (Kg)	32	0.09	0.06	6.35

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3.25	1	3.25	2.90	0.0986
Tratamientos	3.25	1	3.25	2.90	0.0986
Error	33.61	30	1.12		
Total	36.86	31			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.76425

Error: 1.1203 gl: 30

Tratamientos Medias n E.E.

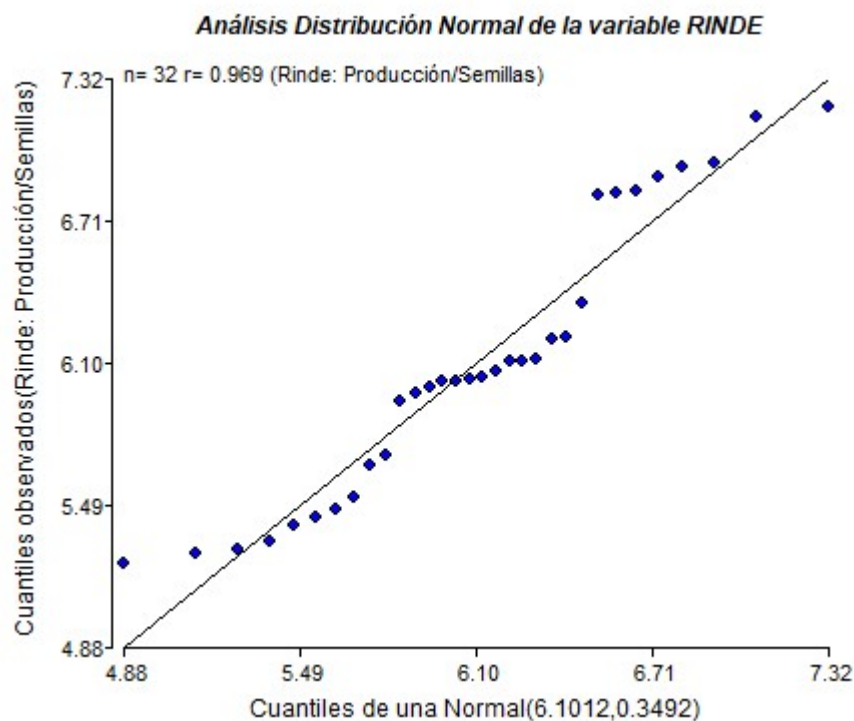
2	16.35	16	0.26	A
1	16.99	16	0.26	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Anexo 6. Descripción numérica de la información recabada en el caso de estudio, para los tratamientos 1 y 2, considerando la variable dependiente RINDE.

Tratamientos Resumen Rinde: Producción/Semillas..			Tratamientos Resumen Rinde: Producción/Semillas..		
1	n	16.00	2	n	16.00
1	Media	5.66	2	Media	6.54
1	D.E.	0.33	2	D.E.	0.45
1	CV	5.79	2	CV	6.90
1	Min	5.24	2	Min	6.00
1	Máx	6.11	2	Máx	7.20
1	Q1	5.34	2	Q1	6.04
1	Q3	5.97	2	Q3	6.90
1	P(05)	5.24	2	P(05)	6.00
1	P(95)	6.11	2	P(95)	7.20

Anexo 7. Evaluación gráfica acerca de la distribución normal de la variable RINDE, mediante Q-Q Plot.



Se confirma una distribución del tipo normal, de modo que se pudo realizar el análisis de la varianza.

Anexo 8. Análisis de la varianza empleando el método de comparación de Fisher

Variable	N	R²	R² Aj	CV
Rinde: Producción/Semillas..	32	0.57	0.55	6.46

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6.16	1	6.16	39.59	<0.0001
Tratamientos	6.16	1	6.16	39.59	<0.0001
Error	4.67	30	0.16		
Total	10.83	31			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.28479

Error: 0.1556 gl: 30

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
1	5.66	16	0.10	A
2	6.54	16	0.10	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)