

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



DEPARTAMENTO DE PLÁSTICOS EN LA AGRICULTURA

PROGRAMA DE POSGRADO EN AGROPLASTICULTURA

**“Producción de forraje verde mediante diferentes técnicas hidropónicas en
dos cultivos y ajuste de sus factores de producción”**

TESIS

Presentada por:

CARLOS ENRIQUE GONZALEZ OVANDO

Para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROPLASTICULTURA


CENTRO DE INFORMACIÓN

13 DIC 2011

RECIBIDO

Saltillo, Coahuila, México.

Noviembre de 2011

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

Programa de Maestría en Ciencias en Agroplasticultura

TESIS

“Producción de forraje verde mediante diferentes técnicas hidropónicas en dos cultivos y ajuste de sus factores de producción”

Presentada por:

CARLOS ENRIQUE GONZALEZ OVANDO

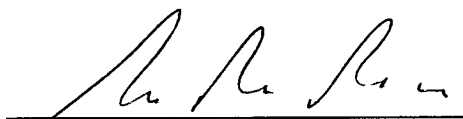
Para obtener el grado de:

Maestro En Ciencias En Agroplasticultura


Asesorada por:

Dr. Marco Antonio Arellano García

SINODALES


M.C Rosario Quezada Martin


M.C Eduardo Treviño López


Dr. Javier Lozano del Rio

DECLARACIÓN

Declaro que la información contenida en la parte Experimental, así como en la parte de resultados y discusión de este documento y que forman parte de las actividades de investigación y desarrollo realizadas durante el periodo que se me asignó para llevar a cabo mi trabajo de tesis, será propiedad del Centro de investigación en Química Aplicada.

Saltillo Coahuila a 22 de Noviembre de 2011

Carlos Enrique González Ovando

AGRADECIMIENTO

A Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT); por el otorgamiento del apoyo económico y moral que me brindó para seguir con mis estudios de postgrado así mismo ser mi inicio como emprendedor para formar parte de esta familia científica

Al Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) por la oportunidad que me brindó para con mi estudio de postgrado y por el apoyo brindado durante mi estancia.

Al Dr. Marco Antonio Arellano García por la confianza y la paciencia que me brindó para la realización del proyecto para así mismo sacarlo adelante.

Al M.C. Eduardo Treviño López por brindarme siempre sus consejos en cuestiones de riego que fueron fundamentales en la realización del proyecto.

A todos los Maestros y Doctores que con su paciencia y conocimiento han forjado una nueva etapa de superación para seguir adelante.

Al departamento de posgrado por el apoyo brindado durante mi estancia en el plantel.

A la gente de campo, por toda la ayuda proporcionada y enseñanzas practicas que si bien se aprende en clase sus consejos en el campo también me fueron de mucha utilidad durante mi estancia.

DEDICATORIA

A mi hija

Kristian Denisse González Estrada:

Hija mía, luz de mi vida, estrella de mi cielo, mi vida es para ti, tuyo es mi espacio, mi tiempo, tu, la dicha más grande que Dios me ha dado, sin duda, por ti mi vida ha valido la pena...

Hoy, después de desvelos, de llantos, de regaños, de visitas al doctor, de sufrimientos, de preocupación, pero también de alegrías, de risas, de juegos, de fiestas, de ver TV, de platicar, de ver las nubes, de ver las estrellas en la noche, de contarnos mil historias, de verte dormida en mi regazo, de secarte esas lagrimas después de todo eso no sé como agradecerle a Dios, de haberme dado el regalo más grande de la vida. Esto es para ti, Kristian, pues tú eres sin duda, la parte más importante de mi vida, Gracias por ser mi hija, pero sin duda, gracias por permitirme ser tu padre, porque tu inocencia me inspira a seguir adelante aun cuando las cosas parecen tan difíciles. Gracias por enseñarme muchas cosas mi amor, cada día me sorprendes mas, por que tan solo a tu edad me llenas de orgullo por todo lo que sabes y eres mi ejemplo a no rendirme por las cosas.....

A mi esposa:

Ana Magdalena Estrada Acosta

Por el apoyo brindado día con día para alcanzar nuevos logros, tanto profesionales como personales. Por ser parte importante en mi vida en el logro de mis metas profesionales y por apoyarme cuando más te necesité. Sé que hay muchas cosas importantes en la vida pero nada comparado con la bendición de tenerte conmigo. Gracias por el apoyo incondicional aun cuando todo parecía perdido y por darme la fuerza siempre para seguir adelante. Te amo “peque”

A dios;

A mi Señor, Jesús, quien me dio la fe, la fortaleza, la salud y la esperanza para terminar este trabajo.

A mis papas.

Julio Cesar González López.

Por ser un hombre siempre ejemplar y por darme siempre los consejos que me ayudaron a seguir adelante preparándome para ser un hombre responsable y de bien durante mi formación. Gracias padre mío por todo el apoyo que siempre me brindaste, el cariño, la sabiduría y los momentos felices que siempre pasamos juntos. Hoy es un día especial, has de ver mi culminación de mi carrera, la carrera que está dedicada a ti padre. Al esfuerzo que siempre desempeñaste en mí.

María Beatriz Ovando Cruz

A mi madre que día con días ha sufrido noches de desvelos, que siempre ha estado pendiente de mí, que siempre ha dedicado su vida a mi cuidado, de que nada me falte. A ella por ser una madre incondicional.

Por ser la consejera y por preocuparte por mí. Siempre has sido uno de mis ejemplos junto a papá gracias por estar siempre conmigo te amo mami.

A mis hermanos:

María de Lourdes y Diego Armando

Porque siempre me han apoyado y por que han creído en mí siempre los amo hermanitos son toda mi adoración. Por que cuando las cosas parecen difíciles tan solo sus palabras me alientan para seguir adelante.

A mi suegra:

Magdalena Acosta Sosa:

Por su apoyo incondicional y por la paciencia que me ha tenido a pesar de los obstáculos y los dolores de cabeza que le di, gracias por sus consejos y por ser parte indispensable en mi felicidad la quiero mucho...

A mis abuelos:

Mercedes López Vázquez †

Porque siempre fuiste como una madre para mí gracias por cuidarme mamá Mercedes. Gracias por ser dedicada con nosotros aun cuando no estás con nosotros te recordare siempre. Te amo abuelita

Antonia Cruz López

Por ser mi consejera, gracias por cuidarnos y por ser siempre como una madre a pesar de todos los dolores de cabeza que le dimos, la quiero mucho, gracias por todos sus consejos y por ser tan exigente conmigo para con mis estudios a pesar de los problemas y mis arrebatos por dejar tirado todo.

A mis amigos

Edgar, Dalia, Daniela, Guillermo, Vicente, Armando

Por sus consejos y por estar conmigo durante la etapa de mi carrera, son grandes amigos y eso siempre lo valoraré. Gracias por el apoyo brindado día con día para alcanzar nuevos logros, gracias por esos momentos y las ocurrencias para alegrarme esos días, gracias por ser parte importante cada uno de ustedes en el logro de mis metas profesionales y por apoyarme cuando más los necesité. Gracias por darme la fuerza siempre para seguir adelante. Los quiero” chatitos”

A la Sra. Francisca Espinoza Reyes.

Por ser una persona admirable por qué lejos de regañarnos, nos cuida nos aconseja, es una tía maravillosa, y gracias por la hospitalidad. “la quiero mucho”.

RESUMEN

La investigación fué realizada en el Centro de Investigación en Química Aplicada, con el objetivo de determinar la producción de biomasa y eficiencia de uso de agua con diferentes técnicas hidropónicas. Así mismo, ajustar los factores de producción en el cultivo de Alfalfa Hidropónica. Se realizaron experimentos en NFT para evaluar el efecto en la contaminación bajo diferentes niveles de pendientes (ligeras y pronunciadas). Se encontró que los porcentajes de contaminación fueron mayores en pendientes de canaletas de 1%. Por otra parte se probaron diferentes materiales de canaletas (plástico y metal) y se compararon con dos testigos (charolas y control de patógenos con ozono). Las canaletas de plástico resultaron ser las que menor contaminación tuvieron; sin embargo, se sugiere alternarlo con riego ozonificado. Dentro de las técnicas de producción de biomasa se manejó Alfalfa Hidropónica como una alternativa en la producción de forraje de calidad. Se realizaron diversos ensayos en las cuales se manejaron densidades de población, solución nutritiva y niveles de sombreo. En cuanto a densidad de población se encontró que las densidades de 2x2 y 2.5x2.5 fueron las que obtuvieron mayor biomasa. En cuanto a solución nutritiva se encontró que todos los tratamientos estudiados no presentaban diferencias estadísticas, por lo cual el criterio de selección fueron los de menor costo. Por otro lado los niveles de sombreo afectan notablemente el desarrollo de la Alfalfa en etapa vegetativa por lo cual es de suma importancia evitar el sombreo para una mejor producción.

Palabras claves: Forraje Verde Hidropónico, NFT, Hongos patógenos, Alfalfa Hidropónica, Densidad de Población, Solución Nutritiva, Niveles de Sombreo.

DECLARACION	i
AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iii
RESUMEN	Vi
INDICE DE CONTENIDO	Viii
I INTRODUCCIÓN	1
Hipótesis.....	4
Objetivo General.....	4
II REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 Origen del cultivo de forraje.....	5
2.2 Descripción de hidroponía.....	5
2.3 Definición de forraje verde hidropónico.....	6
2.3.1 Desarrollo de la hidroponía.....	6
2.3.2 Semillas requeridas en la obtención de Forraje Verde Hidropónico.....	7
2.3.2.1 Características de la semilla de alta calidad.....	7
2.3.2.2 Germinación.....	8
2.3.2.3 Vigor.....	8
2.3.2.4 Pureza varietal.....	8
2.3.2.5 Pureza física.....	8
2.3.2.6 Uso de semillas certificadas.....	9
2.3.3 Solución Nutritiva en la producción de Forraje verde Hidropónico.....	9
2.4 Ventajas en la producción de forraje verde (FVH).....	9
2.5 Principales Hongos que atacan el FVH.....	12
2.5.1 <i>Aspergillus</i>	13
2.5.2 <i>Fusarium</i>	13
2.5.3 <i>Penisillum</i>	13
2.6 Análisis de crecimiento.....	13
2.6.1 Índice de crecimiento.....	14
2.6.1.1 Tasa de crecimiento relativo.....	14
2.6.1.2 Tasa de Asimilación neta.....	14
2.6.1.3 Relación de Área foliar.....	14
2.6.1.4 Relación de peso Foliar.....	15
2.6.1.5 Área Foliar específica.....	15
2.7 Descripción del sistema Nutrient Film Technique (NFT).....	15
2.7.1 La técnica recirculante.....	16
2.7.1.1 Pendientes de las canaletas.....	16

2.7.1.2 Solución nutritiva.....	17
2.7.1.3 Oxigenación de la raíz.....	17
2.7.2 Eficiencia en el uso del agua.....	18
2.7.3 Factores que influyen en la producción de Forraje Hidropónico.....	18
2.8 Origen y distribución de Alfalfa.....	20
2.9 Importancia.....	21
2.10 Métodos de producción en Alfalfa.....	21
2.10.1 Alfalfa en Sistema Hidropónico.....	21
2.10.2 ventajas de la técnica de producción de Alfalfa Hidropónica.....	21
III MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
3.1 Ubicación del Experimento.....	22
3.2 Descripción de los experimentos realizados	22
3.2.1 Experimento en un sistema NFT.....	22
3.2.1.1 Material Vegetal.....	22
3.2.1.2. Material de campo.....	22
3.2.1.3 Equipo de automatización.....	22
3.3 Descripción de invernaderos y tipos de experimentos realizados.....	23
3.3.1 Invernadero tipo túnel.....	23
3.4 Descripción de experimentos llevados a cabo en la producción de forraje en NFT....	23
3.5 Metodología utilizada para la producción de forraje en un sistema NFT.....	24
3.5.1 Descripción de las técnicas utilizadas para la producción de forraje en NFT y en un sistema tradicional.....	24
3.5.1.1 Preparación de charolas y canaletas para la siembra.....	24
3.5.1.2 Lavado y desinfección de semilla de trigo.....	24
3.5.1.3 Germinación de semillas.....	24
3.5.1.4 Siembra de semilla de trigo.....	25
3.5.1.5 Proceso de oscurecimiento.....	25
3.6 Descripción del sistema de los experimentos realizados en el sistema de producción en NFT.....	25
3.6.1 Aforación de goteros.....	25
3.6.2 Evaluación de pendientes de canaletas.....	25
3.6.2.1. Pendientes ligeras.....	25
3.6.2.2. Pendientes pronunciadas.....	25
3.6.2.3. Evaluación en diferentes materiales (Plástico y Metal).....	26
3.7 Metodología para la toma de datos para la variable contaminación.....	26
3.8 Diseño estadístico.....	26

3.9 Experimentación con Alfalfa.....	27
3.9.1 Descripción de las actividades llevadas a cabo en el sistema de producción de Alfalfa Hidropónica.....	27
3.9.1.1 Producción de plántulas de Alfalfa.....	27
3.9.1.2 Llenado de las cajas con perlita.....	27
3.9.1.3 Trasplante de plántula de Alfalfa.....	28
3.9.1.4 División de las cajas en cuadrantes.....	28
3.10 Programación de riegos en Alfalfa.....	28
3.10.1 Programación de riego en invernadero tipo capilla.....	28
3.10.2 Programación en invernadero tipo túnel.....	29
3.11 Material vegetal.....	29
3.12 Material de campo.....	29
3.13 Equipos de automatización.....	30
3.14 Descripción de los Invernaderos utilizados.....	30
3.15 Descripción del experimento realizado en el sistema de producción de Alfalfa Hidropónica.....	30
3.16 Experimentación en densidad de población en Alfalfa.....	30
3.16.1 Sondeo inicial en el cultivo de Alfalfa Hidropónica.....	30
3.16.1.1 Descripción del Experimento.....	30
3.16.1.2 Metodología para la toma de datos.....	30
3.16.1.3 Diseño Experimental utilizado.....	30
3.16.2 Evaluación de la densidad de población.....	31
3.16.2.1 Descripción del Experimento.....	31
3.16.2.2 Metodología para la toma de datos en Alfalfa para la densidad de población	31
3.16.2.3 Diseño Experimental utilizado.....	32
3.16.3 Experimentación con niveles de solución nutritiva y densidad de población.	33
3.16.3.1 Descripción del experimento.....	33
3.16.3.2 Metodología para la toma de datos en Alfalfa con niveles de nutrición y densidad de población.....	33
3.16.3.3 Diseño Experimental utilizado.....	34
3.16.4 Experimentación con niveles de sombreo.....	35
3.16.4.1 Descripción del experimento.....	35
3.16.4.2 Metodología para la toma de datos en Alfalfa con niveles de sombreo.....	35
3.16.4.3 Diseño Experimental.....	36

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
4.1 Aforación de goteros para evaluación de contaminación en forraje verde.....	37
4.2 Influencia de las pendientes en la contaminación del forraje.....	38
4.2.1 Evaluación del efecto de las pendientes ligeras (0.9, 1.8, y 2.7) en las canaletas de NFT sobre los índices de contaminación por hongos fitopatógenos.....	38
4.2.2 Evaluación del efecto de las pendientes pronunciadas (1, 2, y 5%) en las canaletas de NFT sobre los índices de contaminación por hongos fitopatógenos.....	38
4.2.3 Porcentaje de contaminación evaluando cuatro tratamientos: canaleta de metal, canaleta de plástico, charolas para producción tradicional con riego normal y otro charolas regadas con ozono.....	39
4.3 Estudio de los factores que influyen en la producción de Alfalfa.....	40
4.3.1 Densidad de población.....	40
4.3.1.1 Sondeo inicial en el cultivo de Alfalfa.....	40
4.3.1.2 Influencia de la densidad de población en el cultivo de Alfalfa.....	42
4.3.2 Niveles de solución nutritiva y densidad de población.....	44
4.3.3 Niveles de sombreo.....	48
4.4 Análisis del Índice de Área foliar y Materia seca total.....	49
V CONCLUSIÓN.....	51
VI BIBLIOGRAFÍA.....	52
VI ANEXOS.....	58

INTRODUCCIÓN

La palabra hidroponía se deriva del griego hydro (agua) y ponos (labor o trabajo) lo cual significa literalmente trabajo en el agua. La hidroponía ofrece una alternativa muy valiosa para la producción debido a que ofrece un alimento rápido para el ganado y por ser un suplemento alimenticio viable para épocas de escases ya que resulta ser una fuente de excelente alimento para el ganado y que significa la diferencia entre mantener su peso, perder tal condición o su valor total. Con este método es posible suministrar a diferentes especies de ganado, alimento constante durante todos los días del año, un aumento en la fertilidad y producción de leche. La producción de forraje hidropónico es considerada como una tecnología de producción de biomasa vegetal obtenida a partir del crecimiento inicial de las plantas en los estados de germinación y crecimiento temprano de plántulas a partir de semillas viables. Este alimento es de alta digestibilidad, calidad nutricional y muy apta para la alimentación animal. Los sistemas hidropónicos se clasifican en abiertos y cerrados. En los sistemas abiertos los excesos de agua salen del sistema como desechos a través de drenajes, mientras que en los sistemas cerrados la solución nutritiva recircula con una mínima pérdida. En este último, existen sistemas muy rentables como es la técnica del flujo laminar de nutrimentos (NFT, en inglés), Nutrient Film Technique (Jensen y Collins, 1985). Este sistema puede elevar el potencial productivo, lo cual permitiría satisfacer la demanda local e internacional, al producir en periodos fuera de estación. Esta técnica es muy utilizada en el mundo principalmente para el cultivo de hortalizas de hojas como berros, lechugas, acelgas y especias como albahaca y menta, aunque también se producen frutos como chile dulce, tomate, pepino, entre otros (Soto, 2006). La técnica es más utilizada para cultivos comerciales de lechuga y otras hierbas, es un sistema complejo pero eficaz para la producción a gran escala (Alpizar, 2004). El sistema NFT es una técnica en donde las plantas son cultivadas con su sistema radicular sumergido en una lámina de agua, por la cual circula continuamente la solución nutritiva (Resh, 1978). Las funciones de la lámina de agua son dos: evitar que la solución nutritiva esté lejos de las raíces y favorecer la aireación (Noguera 1993). El sistema NFT comprende una serie de diseños, cuyo principio básico es la continua circulación de una lámina muy delgada de solución nutritiva a través de las raíces de las plantas (Sánchez y Escalante, 1988). Existen diferentes estructuras para el cultivo de plantas con la técnica de NFT. Las industrias en los países desarrollados manufacturan equipos especializados que son relativamente caros (Resh, 1978). Entre las

ventajas de esta técnica se pueden citar las siguientes: ahorro de fertilizantes, no requiere sustrato y permite cultivar con baja demanda de agua (Sánchez y Escalante 1988). Además, por utilizar una delgada lámina de solución nutritiva, la estructura de la instalación puede ser más liviana comparada con otros sistemas hidropónicos, lo que permite reducir los costos de mantenimiento e instalación (Noguera, 1993).

Una alternativa en la producción de Alfalfa sería el sistema de NFT la cual ha tenido gran aceptación para cultivos hortícolas principalmente lechuga sin embargo recientes estudios indican una buena producción en cultivos con forraje verde. Si se utilizan sistemas de recirculación el ahorro de agua y fertilizantes podría ser menor. El sistema adopta una recirculación que constantemente proviene del sistema, se requiere que ésta sea impulsada desde el tanque hacia la parte elevada de los canales de cultivo, y luego descienda a través de ellos por gravedad. Este descenso se produce gracias a la pendiente longitudinal de los canales de cultivo (Cooper, 1971). Hidropónica es utilizando el cultivo sin suelo con un sustrato como perlita una técnica utilizando un cultivo sin suelo utilizando cultivo sin suelo utilizando un sustrato como perlita; sin embargo, hay que tomar en cuenta la uniformidad y distribución de láminas de agua en riego por goteo ya que influyen directamente en la eficiencia del uso de energía y aplicación de fertilizantes para alcanzar el máximo rendimiento del cultivo y aumentar la eficiencia del sistema de riego. En la actualidad el forraje verde ha presentado una serie de problemas como suplemento alimenticio para ganado, uno de ellos y el principal es la contaminación por hongos micotóxicos que de alguna manera llegan a ser dañinos para el ganado (Fernández *et al*; 2002). Mediante técnicas hidropónicas la producción de biomasa puede ser mayor y así mismo, la incidencia de hongos patógenos puede minimizarse. Por otro lado el ahorro de agua y de fertilizantes puede ser marcado teniendo mayores ventajas en costo durante su producción.

En este trabajo de tesis de acuerdo con lo anteriormente expuesto se llevó a cabo una serie de evaluaciones para encontrar la eficiencia en el riego de las canaletas en el forraje verde para evitar su contaminación utilizando diferentes técnicas de producción hidropónica, como es el sistema de NFT y el cultivo sin suelo. Debido a esto, se generó la necesidad de intensificar y mejorar la eficiencia en las prácticas de producción animal de una manera sostenible, ya que el incremento en la demanda de productos alimenticios, la expansión de la frontera agrícola y ganadera, la erosión del suelo y la contaminación de las aguas y la producción estacional de

los pastos debido a la estacionalidad de las lluvias, son algunos de los factores que han influido para dirigir la investigación hacia la búsqueda de métodos alternos de producción de alimentos (Rotar 2006). Por lo tanto, la producción de forraje verde hidropónico, de Alfalfa es una alternativa rentable, y se trata de una tecnología de producción de biomasa obtenida a partir del crecimiento inicial de las plantas en los estados de germinación y crecimiento temprano de plántulas a partir de semillas viables (FAO,2001)

Hipótesis

Por lo menos una de las técnicas utilizadas como cultivo sin suelo en la producción de forraje disminuyen la contaminación por hongos así mismo, la utilización de materiales de plástico minimiza este problema.

Al menos uno de los factores de producción en alfalfa hidropónica tiene efecto en su desarrollo comportándose con mayor biomasa y ahorro de fertilizante.

Objetivos:

- Determinar la producción de biomasa y minimizar el porcentaje de contaminación mediante técnicas hidropónicas.
- Ajustar los factores de producción en el cultivo de Alfalfa Hidropónica

II. REVISION BILIOGRAFICA

2.1 Origen del cultivo de forraje.

Los sistemas de producción bovina sustentan sus prácticas alimenticias en el componente forrajero, elemento que es considerado como el insumo de menor costo a través del cual es posible suplir gran parte de las demandas nutricionales de los animales en producción (Fumagalli y Kunts, 2002).

2.2 Descripción de hidroponía.

La palabra Hidroponía se deriva del griego hydro (agua) y ponos (labor o trabajo) lo cual significa literalmente trabajo en el agua. La hidroponía, en términos estrictos, es una técnica que permite producir plantas sin emplear suelo (Ninancuro, 2007). Con una interpretación menos estricta aplica a sistemas que emplean sustratos inertes, porque éstos no interfieren ni aportan elementos nutritivos a la planta, más bien actúan como soporte y contenedor de las soluciones nutritivas (Canovas, 1993). La hidroponía o “cultivo sin tierra” es una tecnología muy avanzada la cual, con reducido consumo de agua y pequeños trabajos físicos pero con mucha dedicación y constancia, permite producir hortalizas frescas, sanas y abundantes en espacios más reducidos. Numerosos sistemas hidropónicos son aplicables en varias condiciones ambientales. La hidroponía ha venido ganando importancia como una alternativa de producción en la agricultura moderna (Sánchez y Escalante 1988).

La hidroponía es una técnica joven y ha sido utilizada a nivel comercial en el último medio siglo. En este breve periodo se adaptó a diversas situaciones, desde los cultivos al aire (aeroponía) y en invernadero con tecnología avanzada. Su única restricción es el agua potable y los nutrientes. Los sistemas hidropónicos se clasifican en abiertos y cerrados. En los sistemas abiertos los excesos de agua salen del sistema como desechos a través de drenajes, mientras que en los sistemas cerrados la solución nutritiva recircula con una mínima pérdida.

La hidroponía se basa en la producción de plantas en soluciones nutritivas líquidas en lugar de utilizar el suelo como sustrato. La mayoría de los trabajos han centrado su aplicación en vegetales y hortalizas, no obstante orientado hacia la producción de alimento para ganado y otras especies animales generando un producto altamente nutritivo, rico en enzimas y

vitaminas que se pueden desarrollar a escalas industriales que aumentarían el rendimiento por área (Rotar 2004).

El forraje hidropónico es el resultado del proceso de germinación de granos que se realiza durante un periodo de 9 a 15 días. Pretendiendo que el grano germinado alcance una altura promedio de 25 centímetros (Chang *et al.* 2002). No obstante Henriques, citado por Müller *et al.* (2005) menciona que una edad de cosecha adecuada del cultivo puede estar entre 16 y 20 días de acuerdo a las necesidades del productor, sin pasar ese periodo de tiempo. Durante el proceso de germinación de una semilla se producen una serie de cambios que le permiten a la plántula en pocos días captar energía luminosa y a través de un proceso de crecimiento acelerado desarrollar su parte radicular y aérea con muy poco contenido de fibra y altos contenidos de aminoácidos en forma libre y que se aprovechan fácilmente por los animales (Valdivia 1997).

Existe una interdependencia entre el suelo como medio de soporte radical del cultivo, la pastura como fuente de alimentación y el componente animal, factores que conjugados determinan la complejidad de los sistemas de explotación ganaderos, y requieren de tiempos prolongados para comprobar la respuesta a cualquier cambio que permita adecuar la oferta forrajera de acuerdo a las demandas de la explotación (DeLeón 2004).

2.3 Definición de forraje verde hidropónico.

En la práctica, el Forraje Verde Hidropónico (FVH) consiste en la germinación de semillas de gramíneas o leguminosas, y posterior crecimiento bajo condiciones ambientales controladas (luz, temperatura y humedad) en ausencia del suelo (FAO, 2002). Su uso se destina para la alimentación de bovinos, ovinos, caprinos, equinos, porcinos, conejos y aves (Müller *et al.* 2005; Herrera *et al.*, 2007).

2.3.1 Desarrollo de la hidroponía.

Se remonta al siglo XVII cuando el famoso científico Irlandés Robert Boyle (1627 – 1691) realizó los primeros experimentos de cultivos en agua. Pocos años después, el inglés John Word Ward hizo crecer menta en agua, su desarrollo se alcanzó durante la segunda Guerra Mundial, especialmente por la resistencia de los ejércitos occidentales a consumir vegetales cultivados en suelos abonados con excrementos humanos. Asimismo el empleo de la

hidroponía es prácticamente insustituible en regiones muy frías o desérticas, ya que existen establecimientos para la producción comercial de hortalizas y frutas en Alaska, Groenlandia, Liberia, Israel, etc. (Izquierdo,2002)

2.3.2 Semillas requeridas en la obtención de Forraje Verde Hidropónico.

La semilla a utilizar es el punto primordial de este sistema. No sólo es importante como elemento productivo sino también, por su incidencia, ya que en la relación beneficio-costos es el costo de la semilla el que controla el costo final del producto(CIMMYT, 1988).Esencialmente las semillas que se usan para producir forraje son: trigo, avena, cebada, centeno, maíz y sorgo. Fundamentalmente el tipo de semilla seleccionada, cualquier variedad, debe ser de buena calidad, entendiéndose así aquellas semillas que tengan principalmente las siguientes cinco características (Arano, 1998):

- 1) La semilla a utilizar se encuentre recién cosechada, fresca, sana con un poder germinativo no menor al 90% y posea únicamente granos enteros.
- 2) No hayan sido dañados en su manipuleo, ya que con las rupturas permiten la liberación del almidón y la propagación de enfermedades.
- 3) No hayan sido sobrecalentados durante el secado, provocando la reducción del poder germinativo.
- 4) Se encuentren limpios de polvos, que son portadores de levaduras, bacterias, hongos y otros microorganismos.
- 5) No hayan sido previamente tratadas con algún compuesto químico contra plagas (plaguicidas o fungicidas), ya que puede ser tóxico para el consumo de los animales en investigación.

2.3.2.1 Características de semilla de alta calidad.

En todo cultivo es imprescindible tener en cuenta la calidad de la semilla para el éxito del mismo, desde un punto de vista sustentable, es imposible obtener una buena cosecha si no se parte de una semilla de calidad. La semilla es el material de partida para la producción y es condición indispensable que tenga una buena respuesta bajo las condiciones de siembra y que produzca una plántula vigorosa a los fines de alcanzar el máximo rendimiento (Lovey, 2008). Entre las características que se deben resaltar para una buena semilla son:

2.3.2.2 Germinación.

Es el proceso fisiológico mediante el cual emergen y se desarrollan a partir del embrión aquellas estructuras esenciales, para la formación de una planta normal bajo condiciones favorables. Cuando las condiciones son favorables, temperatura, humedad, luz, oxígeno, favorecen el proceso de germinación.

Durante las primeras etapas, la semilla se hincha y aumenta de tamaño a medida que absorbe agua. Luego segregan enzimas, cambian los almidones a azúcares. Estos se disuelven fácilmente y son usados por las plantas como fuente de alimento. Un exceso de humedad puede impedir o reducir la germinación debido a la falta de aire, el cual es expulsado a medida que se acumula la humedad, el aire contiene oxígeno necesario para la germinación (Calero, 2006).

2.3.2.3 Vigor.

Es el potencial biológico de la semilla que favorece un establecimiento rápido y uniforme, por lo que debe germinar y desarrollar una plántula normal en situaciones de siembra desfavorables (Lovey, 2008).

2.3.2.4 Pureza varietal.

Se entiende como valor genético el cúmulo de información determinada por el genotipo de una variedad que define entre múltiples características: la resistencia o tolerancia a plagas, adaptación a ambientes específicos, potencial de rendimiento, hábito de crecimiento, ciclo vegetativo, calidad industrial, entre otras. Mientras tanto, el concepto de calidad varietal se aplica al “porcentaje de pureza varietal” o sea el porcentaje de semilla que corresponde a la variedad en particular.

2.3.2.5 Pureza física.

Las semillas deben estar libres de materias extrañas como palillos o tierra (impurezas).

2.3.2.6. Uso de semillas certificadas.

La semilla es la base del desarrollo agrícola de un país por lo cual es imprescindible que el sector agrícola esté consciente de lo importante que es para su actividad sembrar semillas certificadas con lo que asegura los siguientes beneficios: - Tener uniformidad en la germinación y desarrollo inicial de las plantas - Obtener altos rendimientos.

2.3.3. Solución nutritiva en la producción de Forraje verde hidropónico.

Según diversos autores, Hidalgo (1985), Dosal (1987), el uso de fertilización en la producción de FVH resulta positivo como para recomendar su uso. Dosal (1987) probando distintas dosis de fertilización en avena, encontró los mejores resultados en volumen de producción y valor nutritivo del FVH cuando se utilizó 200 ppm de nitrógeno en la solución nutritiva. El mismo autor señala que la pérdida de materia seca durante los primeros 11 días es menor en todos los tratamientos con fertilización nitrogenada (100; 200 y 400 de nitrógeno) que en el caso del testigo (sin fertilizar). El tratamiento de 200 ppm presentó a los 11 días un 94 % de materia seca respecto al primer día, mientras que en el día 15, marcó tan solo 76 %.

2.4. Ventajas en la producción de forraje verde (FVH).

Entre las ventajas que presenta el forraje hidropónico, se puede decir que: permite un suministro constante durante todo el año, se pueden emplear terrenos marginales, se reduce el desperdicio de agua, se obtiene una fuente alternativa de alto valor nutricional, es completamente natural por lo que hay una menor incidencia de enfermedades, se puede dar un aumento en la fertilidad y la producción de leche. En general, todas las ventajas que los animales puedan obtener de una buena alimentación, desarrollo del cultivo en pequeñas áreas, aporte de complejos vitamínicos necesarios, no ocasionan trastornos digestivos y exhiben una rápida recuperación de la inversión (FAO, 2002; Müller *et al.*, 2005).

-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, cuyas eficiencias varían entre 270 a 635 litros de agua por kg de materia seca. Alternativamente, la producción de 1 kilo de FVH requiere de 2 a 3 litros de agua con un porcentaje de materia seca que oscila,

dependiendo de la especie forrajera, entre un 12% a 18% (Sánchez, 1997; Lomelí, 2000; Rodríguez, S. 2000). Esto se traduce en un consumo total de 15 a 20 litros de agua por kilogramo de materia seca obtenida en 14 días. El sistema de riego por goteo tipo cintilla puede mejorar la aplicación del agua de riego; aumentando la producción de FVH de manera más eficiente, alcanzando tasas en el uso del agua del orden del 500% superiores a otras formas de producción de forraje. Sin embargo, Lomelí (2000), empleó un sistema de riego por nebulización accionado automáticamente por un controlador electrónico, obteniendo excelentes producciones, por lo que es deseable mejorar el sistema de riego empleado. La técnica del FVH emplea menos de dos litros de agua para producir un kg de forraje, lo que equivale a 8 litros de agua para promover un kg de materia seca de FVH (considerando un 25% de materia seca del FVH), cantidad notablemente menor a los (635, 521, 505, 372 y 271) litros de agua/kg. De materia seca de la avena, cebada, trigo, maíz y sorgo, respectivamente, sembrados a campo abierto (Rodríguez *et al*, 2003). Esta alta eficiencia del FVH en el ahorro de agua explica por qué los principales desarrollos de la hidroponía se hayan observado y se observen generalmente en países con eco zonas desérticas, a la vez que vuelve atractiva la alternativa de producción de FVH por parte de pequeños productores que son afectados por pronunciadas sequías, las cuales llegan a afectar la disponibilidad inclusive, de agua potable para el consumo.

-Eficiencia en el uso del espacio. El sistema de producción de FVH 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. Aproximadamente a partir de ese día se inicia un marcado descenso en el valor nutricional del FVH (Hidalgo, 1985).

-Calidad del forraje para los animales. El FVH es un suculento forraje verde de aproximadamente 20 a 30 cm de altura (dependiendo del período de crecimiento) y de plena aptitud comestible para nuestros animales (Less, 1983, citado por Pérez, 1987).

-Inocuidad. El FVH producido, 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 comerán hierbas o pasturas

indeseables que dificulten o perjudiquen los procesos de metabolismo y absorción. Tal es el caso de un hongo denominado comúnmente “cornezuelo” que aparece usualmente en el centeno, el cual cuando es ingerido por hembras preñadas induce al aborto inmediato con la consecuencia de la pérdida del feto y hasta de la misma madre. Asimismo en vacas lecheras, muchas veces los animales ingieren malezas que transmiten a la leche sabores no deseables para el consumidor final o no aceptados para la elaboración de quesos, artesanales fundamentalmente (Sánchez, 1997).

-Costos de producción. Las inversiones necesarias para producir FVH dependerán del nivel y de la escala de producción. El análisis de costos de producción de FVH, revela que 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. En el desglose de los costos se aprecia la gran ventaja que tiene este sistema de producción por su significativo 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.

Investigaciones recientes 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 (ejemplo: la producción de conejos alimentados con FVH integrada a horticultura intensiva (Sánchez, 1997y 1998).

-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 metros cuadrados 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” FVH 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.

-Alianzas y enfoque comercial. El FVH ha demostrado ser una alternativa aceptable comercialmente considerando tanto la inversión como la disponibilidad actual de tecnología. El sistema puede ser puesto a funcionar en pocos días sin costos de iniciación para proveer en forma urgente complemento nutricional. También permite la colocación en el mercado de insumos (forraje) que posibilitan generar alianzas o convenios estratégicos con otras empresas afines al ramo de la producción de forraje tales como las empresas semilleras, cabañas de reproductores, tambos, locales de invernada, ferias, locales de remates, aras de caballos, cuerpos de caballería del Ejército, etc. En la actualidad existen empresas comercializadoras de FVH en distintos países y todas ellas gozan de un buen nivel aparente de ventas.

2.5. Principales Hongos que atacan el FVH

Durante el crecimiento el forraje es susceptible a la infección de diversos hongos, algunos de los cuales pueden producir, mico toxinas. Estos hongos incluyen especies de *Fusarium*, *Alternaria*, *Clamidosporium*, *Claviceps*, *Penicilium*, *Pythyum*, *Rrhizoctonia*, e infecciones endófitas (Scudamore y Livesley, 1998).

Las enfermedades causados por estos hongos fitopatógenos son uno de los factores que afectan el rendimiento de los forrajes; causando enfermedades como la podredumbre de semilla, y el “damping-off” de pre y pos emergencia en leguminosas forrajeras.

Existen tres importantes géneros de hongos productores de micotóxicas y que se encuentran distribuidas ampliamente a nivel mundial: *Aspergillus*, *Fusarium* y *Penicilium*. La infección de las cosechas por estos hongos, disminuye su rendimiento y los alimentos presentan valores nutricionales menores (Lawlor y Lynch, 2001).

2.5.1 *Aspergillus*

Causa el deterioro de muchos productos alimenticios. Los productos metabólicos de la invasión fúngica suelen ser muy tóxicos, tanto para el hombre como para los animales. También producen la inhibición de la germinación junto con cambios de color, calentamiento, amohosado, apelmazado y finalmente podredumbre de las semillas. Algunas especies, por ejemplo *A. niger* o *A. oryzae*, son de interés industrial o se emplean en la fermentación de

alimentos en ciertas regiones, la propagación de los *Aspergillus* es debida a su capacidad para crecer a diferentes temperaturas sobre sustratos con diversos contenidos de humedad (Denli y Pérez, 2006).

2.5.2 *Fusarium*

Es un hongo de campo que requiere alta humedad relativa (90%) y la temperatura del grano (23°C) para su crecimiento y crece muy raramente después de cosecha ya que las condiciones de almacén generalmente no son convenientes para su desarrollo. Incluso la re-humectación del grano seco tiene pocas probabilidades de crecimiento del hongo y de la producción de toxinas. En campo, el hongo causa la muerte de óvulos, marchitamiento del grano, debilitamiento o muerte de embriones (Ramírez, 2006).

2.5.3 *Penicillium*

El *Penicillium* crece sobre los alimentos preparados o sus materias primas, ya sean de origen vegetal o animal, si hallan la actividad del agua y los nutrientes necesarios los granos de cereales pueden contener *P. aurantiogriseum* aún antes de la cosecha (Lacey 1989).

2.6 Análisis de crecimiento.

El análisis de crecimiento es la descripción matemática del crecimiento de las plantas o sus órganos durante su ciclo de vida. En este análisis se emplea una serie de ecuaciones que al ser aplicadas correctamente dan valores que representados por curvas permiten visualizar el efecto de factores ambientales (o genéticos) sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivos. Este efecto puede ser detectado tanto en aspectos morfológicos como fisiológicos del crecimiento de las plantas.

Para estos estudios se considera el crecimiento como aumento irreversible de materia seca o peso seco. Al peso seco de una planta o de sus partes se le llama producción biológica o biomasa, en la cual también influye la parte comercial del cultivo (granos, raíces, hojas, fibras, etc.) aunque a veces a esta porción de la biomasa se le llama producción agronómica o económica.

Los datos básicos para análisis del crecimiento de plantas individuales que posteriormente se aplicarán a las ecuaciones, son pesos de la planta entera o de sus órganos y área foliar, tomados a intervalos regulares durante el ciclo de vida del cultivo (Fargas, 1984).

2.6.1 Índices de crecimiento (Hunt, 1990)

2.6.1.1 Tasa de crecimiento relativo (TCR)

Permite medir la eficiencia de la planta en el incremento de peso por unidad de tiempo.

$$TCR = \frac{(\ln w_2 - \ln w_1)}{t_1 - t_2}$$

2.6.1.2 Tasa de asimilación neta (TAN)

Tasa de asimilación neta (TAN): mide la eficiencia fotosintética y determina el incremento de peso por unidad de área foliar en una unidad de tiempo:

$$TAN = \frac{(w_2 - w_1)}{t_1 - t_2} * \frac{(\ln LA_2 - \ln LA_1)}{LA_1 - LA_2}$$

Donde:

ln = Logaritmo natural

w_2 = peso seco del componente en el tiempo dos, expresado en gramos.

w_1 = Peso seco del componente en el tiempo uno, expresado en gramos.

t_1 = Intervalo de tiempo entre muestreos

t_2 = tiempo dos expresado en días

LA_2 = área foliar en el tiempo dos, expresada en cm^2 o m^2

LA_1 = área foliar en el tiempo uno, expresada en cm^2 o m^2

2.6.1.3 Relación de área foliar (RAF)

La relación de área foliar es uno de los principales parámetros morfológicos, utilizado para evaluar la relación entre el área foliar (sistema asimilatorio) y el peso seco total de la planta

La ecuación de este parámetro según Fargas (1984) es la siguiente:

$$RAF = (Lw_2/w_1 + Lw_1/w_2) \div 2 \text{ unidades en } cm^2 g^{-1}$$

2.6.1.4 Relación de peso foliar (RPF)

Es un índice que mide la cantidad del follaje de la planta expresado con respecto a su peso total (Villalobos, 2001).

Según Fargas (1984) la ecuación para calcularlo es:

$$RPF = (LW1/w1 + LW2/w2)/2 \text{ (unidades = g g}^{-1}\text{)}$$

2.6.1.5 Área foliar específica (AFE)

Según Villalobos (2001) es el área media de las hojas por unidad de peso de hojas. En otras palabras es una medida del espesor de las hojas, con valores altos para las hojas poco gruesas que poseen muchos centímetros cuadrados de área por pocas unidades de peso.

Según Fargas (1984) la ecuación para calcularlo es:

$$AFE = RAF/RPF \text{ (unidades = cm}^2\text{/g)}.$$

2.7 Descripción del sistema Nutrient Film Technique (NFT)

La técnica de la película nutritiva (NFT) fue desarrollada en los últimos años de los 1960's por el Dr. Allan Cooper, en el Instituto de Investigación de Cultivos en Invernadero, en Little Hampton, Inglaterra (Jensen y Collins, 1985).

El término Nutrient Film Technique fue utilizado para remarcar que la profundidad del flujo del líquido que pasa a través de las raíces de las plantas debe ser muy pequeño (laminar), para que de esta forma siempre pudieran disponer del oxígeno necesario (Resh, 1992). Este sistema ha tenido gran aceptación de acuerdo a sus buenos resultados. El buen manejo de este sistema nos permite buenos rendimientos en cultivos como forraje así como hacer más eficiente el uso de agua y evitar su contaminación, para ello es necesario considerar un largo máximo de canales de cultivo no superior a los 15 metros. De esta forma, se logra que el agua o la solución se mantengan con un adecuado contenido de oxígeno posible de ser absorbido por las raíces de las plantas. Longitudes superiores a la indicada posibilitan la existencia de baja concentración de oxígeno en solución y por lo tanto conlleva un menor crecimiento de las plantas, especialmente de las ubicadas en el extremo final del canal. Además, al trabajar con canales muy extensos se dificulta la sujeción de éstos (Cooper, 1988). Este sistema puede

elegir el potencial productivo, lo cual permitiría satisfacer la demanda local e internacional, al producir en períodos fuera de estación.

2.7.1 La técnica recirculante.

Esta técnica es conocida como NFT (Nutrient Film Technique). Fue desarrollada en el Glass House Crop Research Institute, en Inglaterra por Allen Cooper en el año 1965. Es muy utilizada en el mundo principalmente para el cultivo de hortalizas de hojas como berros, lechugas, acelgas y especias como albahaca y menta, aunque también se producen frutos como chile dulce, tomate y pepino, entre otros. La técnica es más utilizada para cultivos comerciales de lechuga y otras hierbas, es un sistema complejo pero eficaz para la producción a gran escala (Alpizar, 2004). El sistema NFT es una técnica cultural en donde las plantas son cultivadas con su sistema radicular sumergido en una lámina de agua, por la cual circula continuamente la solución nutritiva (Resh, 1978). Las funciones de la lámina de agua son dos: evitar que la solución nutritiva esté lejos de las raíces y favorecer la aireación (Sánchez y Rebolledo 1988). Entre las ventajas de esta técnica se pueden citar las siguientes: ahorro de fertilizantes, no requiere sustrato, permite cultivar con alta demanda de agua (Sánchez y Rebolledo, 1988). Además, por utilizar una delgada lámina de solución nutritiva, la estructura de la instalación puede ser más liviana comparada con otros sistemas hidropónicos, lo que permite reducir los costos de mantenimiento e instalación (Noguera, 1993).

2.7.1.1 Pendientes de las canaletas.

Para asegurar las condiciones convenientes en la zona radical, el canal deberá tener la pendiente que permita a la solución fluir a lo largo del mismo. En general, pendientes entre 1.5 y 2 % parecen convenientes y las menores de 1 % deberán evitarse (Graves, 1983).

Por otro lado para que la solución nutritiva fluya constantemente en el sistema, se requiere que ésta sea impulsada desde el estanque hacia la parte elevada de los canales de cultivo, y luego descienda a través de ellos por gravedad. Este descenso se produce gracias a la pendiente longitudinal de los canales de cultivo. En general, se recomienda que esta inclinación sea de alrededor de un 1.5 y 2 %. Pendientes superiores a 4%, dificultan la absorción de agua y nutrientes por las raíces del cultivo; en cambio las pendientes menores a 1%, no facilitan el adecuado retorno de la solución al estanque colector, ni tampoco mantienen de la altura de la lámina de solución nutritiva. Se recomienda aumentar la pendiente de los canales, sólo en el

caso de que se cultive alguna especie que presente un gran desarrollo radical, que impida el paso sostenido de la solución nutritiva. De esta forma se evitaría el estancamiento de la solución en el interior del "colchón de raíces". (Cooper, 1975).

El sistema adopta una recirculación que constantemente puede ser bombeada del sistema, se requiere que ésta sea impulsada desde el tanque hacia la parte elevada de los canales de cultivo, y luego descienda a través de ellos por gravedad. Este descenso se produce gracias a la pendiente longitudinal de los canales de cultivo (Cooper, 1971).

2.7.1.2 Solución nutritiva.

La calidad de la solución nutritiva es clave para la técnica NFT. La solución es tan importante como la preparación del sustrato en otras técnicas hidropónicas. En general, los especialistas han publicado más de 300 soluciones nutritivas distintas para los diferentes cultivos. La mayoría de estas soluciones se han obtenido mezclando los nutrientes en proporciones diferentes y evaluando el desarrollo del cultivo. La mezcla de nutrientes donde el cultivo creció mejor es una solución nutritiva específica para dicho cultivo. Recomendar una solución nutritiva no garantiza que no pueda existir otra en la cual se desarrolle mejor el cultivo (Maldonado, 1994).

La solución nutritiva está compuesta por aquellos elementos que requiere la planta para crecer. Comúnmente las plantas absorben estos elementos del suelo por medio de las raíces. Sin embargo, en la hidroponía no se utiliza el suelo, razón por la cual es necesario aplicar la solución nutritiva que contiene los elementos esenciales para el crecimiento. La solución de nutrientes en un sistema NFT debe circular las 24 horas, por lo que es recomendable el uso de una bomba con controlador de tiempo (Alpizar, 2004). La solución debe circular entre 1 a 2 litros por minuto (Resh, 1978) y no debe permanecer por más de tres a cuatro semanas en el sistema (Orellana, 2002). La práctica de desechar la solución vieja no es conveniente, pues resulta antieconómica. Podría utilizarse, previo análisis químico, en los cultivos convencionales (Huterwal, 1981).

2.7.1.3. Oxigenación de la raíz.

Normalmente se asume que las raíces de las plantas en un sistema NFT obtienen el oxígeno de la solución nutritiva y del espacio no ocupado por la solución. En una situación ideal se tiene

una lámina delgada de solución (1 mm) fluyendo a lo largo del canal, esto permite que la mayor parte de la raíz se sitúe sobre la solución. Los requerimientos de oxígeno y la habilidad de la planta para superar condiciones de inundación varían de acuerdo con la especie (Morgan, 2001). La falta de oxígeno es común en estructuras viejas. La mayor parte de la raíz está sumergida en la solución nutritiva y es la mayor barrera para el movimiento gaseoso entre las raíces y el espacio libre no ocupado por la solución. Las raíces gruesas también son más vulnerables a la falta de oxígeno, ellas consumen más O_2 , pero tienen menor área superficial para la absorción de gases. Si la aireación no es adecuada para un sistema radicular, gases tales como etileno y CO_2 (dióxido de carbono) no pueden difundirse y se acumulan en la zona radicular (Morgan, 2001)

2.7.2 Eficiencia en el uso del agua

Para obtener el máximo beneficio de los cultivos, recursos hídricos y elementos tecnológicos que permiten hacer la actividad agrícola más competitiva y rentable, el manejo de los sistemas de riego debe ser óptimo (Martínez, 2001). El riego es un componente principal en la producción agrícola que influye directamente en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Existen diferentes métodos para irrigar que permiten incrementar la producción de los cultivos, como son el riego superficial, por aspersión, micro aspersión y goteo (Hargreaves y Merkle 2000).

La uniformidad y distribución de láminas de agua en riego por goteo son importantes porque influyen en la eficiencia del uso de energía y aplicación de fertilizantes para alcanzar el máximo rendimiento del cultivo y aumentar la eficiencia del sistema de riego. La uniformidad de la aplicación en los sistemas de riego por goteo, puede ser mayor o igual al noventa por ciento, en terrenos adecuados, buen diseño hidráulico, y manejo del sistema en general (Hargreaves y Merkle 2000).

2.7.3. Factores a considerar en cultivos bajo un sistema de NFT

- a) Calidad del agua. Según Graves (1983), es importante analizar el suministro de agua, la cual puede provenir de lluvia o ser potable. Cuando el agua es dura, se requiere bajar su pH a 6, utilizando ácido extra (HNO_3 o H_3PO_4).

- b) Temperatura. Una característica de la NFT, es la facilidad con la que la temperatura de la raíz puede ser manipulada para satisfacer los requerimientos de los cultivos, es importante mantener las soluciones en un mínimo de 13 a 15 °C para prevenir una absorción reducida de nutrimentos(Graves, 1983).
- c) pH. En general, la absorción máxima de un ión ocurre entre pH 5 y 7. En la práctica comercial es normal mantener el pH entre 5.5 y 6.5, para la mayoría de los cultivos en invernadero. El ajuste del pH puede lograrse por adición de ácido nítrico o fosfórico, o una mezcla de ambos (Graves, 1983). Por ejemplo, Papadopoulos *et al.* (1999) indican que en un cultivo de jitomate mantuvieron el pH de la SN en 5.5 con la adición de ácido nítrico o hidróxido de sodio.
- d) Conductividad eléctrica (CE). Los niveles de sales de 2.5 a 3.5 mS cm⁻¹ son preferidos para cultivos como el jitomate. Niveles de sales por arriba de 4 mS cm⁻¹ pueden dar lugar a un marchitamiento, deteniendo el desarrollo y desecando los frutos (Resh, 1992).
- e) Longitud del canal. Esta distancia por donde circula la SN y donde se desarrollan las raíces, influye en el contenido de oxígeno de la solución (Lara, 1999). Un máximo de 20 m de longitud es generalmente recomendado (Graves, 1983). Resh (1992) informa que la longitud no debe superar los 20 a 25 m; Duplanic y Rodríguez (1999) usaron canales de 4 m; Schwarz *et al.* (1999) y Gunes *et al.* (1998) canales de 1 m; Adams y Ho (1989), igual que Nukaya *et al.* (1991) canales de 7 m.
- f) Anchura del canal. Para cultivos como jitomate, la anchura es generalmente de 25 a 30cm (Jensen y Collins, 1985); Duplanic y Rodríguez (1999) reportan anchura de 16 cm; Gunes *et al.* (1998) anchura de 20 cm y de altura 25 cm; mientras que, Nukaya *et al.* (1991) canales de 30 cm de ancho.
- g) Pendiente del canal. Para asegurar las condiciones convenientes en la zona radical, el canal deberá tener la pendiente que permita a la solución fluir a lo largo del mismo. En general, pendientes entre 1.5 y 2 % parecen convenientes y las menores de 1 % deberán evitarse (Graves, 1983). Otros ejemplos de pendientes son: 2 % (Resh, 1992; Nukaya *et al.*, 1991; Nederhoff, 1999), 1.5 % (Adams y Ho, 1989) y 5 % (Gunes *et al.*, 1998).

h) El oxígeno en la solución nutritiva. Las depresiones en el piso del canal pueden inmovilizarla solución nutritiva y conducir a una disminución de oxígeno (Jensen y Collins, 1985). La temperatura de la solución nutritiva tiene relación directa con la cantidad de oxígeno consumido por la planta e inversa con el oxígeno disuelto en la solución, a temperatura menor de 22°C el oxígeno disuelto es suficiente para abastecer su demanda. A temperaturas mayores de 22°C las condiciones son opuestas, la gran demanda de oxígeno no es satisfecha por la SN (Lara, 1999).

2.8 Origen y distribución de la Alfalfa.

Frecuentemente la Alfalfa ha sido llamada la reina de las plantas forrajeras y esto es cierto tanto desde un punto de vista universal como particularmente referido a nuestro país, ya que es una pieza fundamental en la alimentación del ganado en especial de producción lechera.

Si bien hoy está extendida prácticamente por todo el mundo, se fija su área de origen en Asia Menor y sur del Cáucaso (De Candolle 1991), abarcando esta zona geográfica Turquía, Siria, Irán, Irak, Afganistán, parte occidental de Pakistán y Cachemira. Las referencias más antiguas proceden de Turquía (1.300 a.C.), Babilonia (700 a.C.) aunque se especula que el tráfico marítimo, altamente desarrollado 4.000 años a.C. podría haber contribuido a facilitar su difusión con mucha antelación (Marble, 1980).

En excavaciones arqueológicas realizadas en Turquía se hallaron pequeñas tablas de piedra que indican con claridad que hace más de 3.300 años la Alfalfa era utilizada para alimentar animales. Hay evidencias, además, que esta forrajera estaba ampliamente distribuida en la edad media (N.O. de Irán) unos 1.000 años a.C. y que presumiblemente siguió los pasos de la civilización de este a oeste (Itria y Bariggi 1980).

En el siglo IV a.C., Teófrates describió su introducción a Grecia, y Aristófanes y Aristóteles también la mencionaron y describieron con bastante detalle. Serían, pues, los griegos quienes le dieron el nombre de *médica*, que recogido por los romanos se ha conservado hasta nuestro días como denominación de su género botánico.

Los autores romanos describen con abundantes detalles, la importancia, cultivo y forma de aprovechamiento de la Alfalfa (Plinio el Viejo, Columela y otros). Con la caída del Imperio Romano, el cultivo de Alfalfa desaparece de Europa.

Los árabes la transportaron de nuevo, a través del norte de África, desde Persia hasta la recientemente conquistada España.

La llegada al nuevo mundo se produjo en el año 1519, a México. Posteriormente por la ruta del Pacífico, fue trasladada a Perú y Chile. Desde estos países, por vía terrestre, llegó a la Argentina (Marble *et al.*, 1986).

2.9 Importancia.

La Alfalfa es un recurso fundamental para la producción agropecuaria en las regiones templadas del mundo. Su calidad nutritiva, producción de forraje, hábito de crecimiento, perennidad, plasticidad y capacidad de fijación simbiótica de nitrógeno atmosférico, la convierten en una especie esencial para muchos sistemas de producción agropecuaria, desde los intensivos a corral que la incluyen en la dieta animal como forraje cosechado y procesado (Askarian, 1993), hasta los pastoriles que la utilizan en pastoreo directo (Viglizzo, 1993).

2.10 Métodos de producción en Alfalfa

2.10.1 Alfalfa en un sistema hidropónico

Es una técnica muy viable por medio del cual es posible programar el cultivo y cosecha de forraje, sobre todo para fechas en las cuales éste es escaso, es decir con un manejo adecuado se tendría un alimento fresco durante todo el año (Arenas, 2005).

2.10.2 ventajas de la técnica de producción de Alfalfa Hidropónica

La técnica pueden generar interesantes alternativas de negocio, puede utilizarse en la alimentación de avestruces incluso alimentar a cerca de 400 mil avestruces. Otra ventaja de la técnica es el poco espacio que ocupa, ya que la Alfalfa puede ser cultivada en pequeños estantes (Arenas, 2005).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del experimento.

Durante el experimento se realizaron diversas pruebas en diferentes técnicas para producir forraje verde iniciando en septiembre del 2009 hasta junio de 2011 en un invernadero tipo túnel y tipo capilla ubicado en la estación experimental del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) en Saltillo, Coahuila, cuyas coordenadas geográficas son: 25°27' latitud Norte, 101°02' longitud oeste y una altitud de 1610 msnm.

3.2 Descripción de los Experimentos realizados.

3.2.1 Experimentación en un sistema NFT

3.2.1.1 Material vegetal

Trigo (*Triticum aestivum* L. var. Jupare) traída del norte de Coahuila (allende).

3.2.1.2 Material de campo.

- Charolas de polietileno de 55.6 cm por 33.2 para producción de FVH
- Canaletas de plásticos de polietileno de 2.20 cm por 42.3cm
- Canaletas de metal de 1.80 por 27.5
- Anaqueles metálicos para ubicar las charolas
- Balanza de reloj
- Balanza analítica
- Malla sombra de monofilamento de HDPE con 70 y 30% de sombreo
- Medidor de área foliar LICOR

3.2.1.3. Equipos de automatización.

- Micro-aspersores, mini sprayer 16 L/H
- Equipo generador de ozono Carbar's

3.3 Descripción del invernadero utilizado.

3.3.1 Invernadero Tipo Túnel.

El invernadero tipo túnel de 9 metros de ancho por 15 m de largo, la estructura es de tubo en acero galvanizado, equipado con ventilación artificial a base pared húmeda y un extractor, la cubierta es de polietileno calibre 720, térmico y de larga duración, además se le incorporó una malla sombra de 70%es para mejorar las condiciones de crecimiento del forraje verde hidropónico. Los anaqueles donde se ponen las charolas para la producción son de tubería de acero galvanizado con 4 niveles para optimizar una alta producción de forraje verde hidropónico.

Se utilizaron 4 racks con cuatro niveles en las cuales se hicieron comparación es con metodología tradicional utilizada por la FAO y producción de forraje bajo un sistema de NFT.

3.4 Descripción del Experimento llevado a cabo en la producción de forraje en un sistema NFT.

Durante la producción de forraje den un sistema en NFT se llevo a cabo una serie de ensayos en la cual se tomaron en cuenta las pendientes para ver el comportamiento de hongos micotóxicos, estas mismas fueron comparadas con técnicas tradicionales bajo un sistema tradicional ya sea con agua de riego normal y agua ozonificada.

Durante la instalación del sistema se estableció primeramente un tanque de 700 l de capacidad para el retorno del agua utilizada, los tubos que se utilizaron como drenaje fueron de “2” pulgadas las cuales fueron suficientes para impulsar el agua hacia el tanque y este fuese regresado a través del bombeo.

El sistema de riego utilizado fue goteo utilizando goteros de 4l/H utilizando 4 goteros por repetición si fueron tres tratamientos con tres repeticiones se utilizaron alrededor de 46 goteros 12 goteros por válvula. El gasto por día de acuerdo a la frecuencia de riego oscilaba entre 22 y 28 l por día, tomando en cuenta 3-4 riegos de 3 minutos durante el día.

Durante las pruebas se utilizaron pendientes de 0.9, 1.8, y 2.7 % posteriormente se hicieron pruebas con 1,2 y 5% de pendiente con respecto a la largo de la canaleta. Se utilizaron contenedores de plástico y contenedores de metal en las cuales fueron analizados los porcentajes de contaminación debido al material utilizado a diferentes días después de si

3.5 Metodología utilizada para la producción de forraje en un sistema NFT

3.5.1 Descripción de las técnicas utilizadas para la producción de forraje en NFT y en un sistema tradicional

3.5.1.1 Preparación de charolas y canaletas para la siembra.

Para la desinfección de charolas y los contenedores para NFT se utilizó hipoclorito de sodio al 1% lo cual fue importante hacer un enjuague para evitar restos de cloro porque en concentraciones altas puede limitar el desarrollo de la semilla.

3.5.1.2 Lavado y desinfección de semilla de trigo para la producción de forraje en un sistema hidropónico y en un sistema NFT.

Las semillas se depositaron en botes de plástico de 100 l de capacidad. Se vertió agua de tal manera que el nivel subiera al doble del espacio ocupado por las semillas. Se agitó suavemente el material para eliminar las impurezas y fragmentos de semillas. Posteriormente se vaciaron en otro recipiente con las mismas dimensiones pero este perforado del fondo para su mejor enjuague. Se desinfectó con sales de amonio (4 ml. por litro de agua utilizando para este caso 40 litros que sería 160 ml). El agua de lavado fue desechada y remplazada por igual volumen de agua limpia. Para escarificar y eliminar patógenos adheridos a las semillas. Las semillas fueron mantenidas bajo estas condiciones durante 1 hora.

Se hizo la desinfección previa de las canaletas y charolas con cloro (5%). Posteriormente se llevo a la siembra y se mantuvo en un ambiente de oscuridad durante su etapa de germinación la cual es fundamental para su desarrollo precoz, ya que, como toda planta sembrada, su intención es crecer lo más pronto posible para empezar a percibir los rayos solares, por lo que, si esta se mantiene en oscuridad durante la etapa de germinación, logra un mayor desarrollo.

3.5.1.3 Germinación de semillas.

Para iniciar el proceso de germinación (emergencia de la radícula) se protegió las semillas de la luz durante su etapa de germinación, tanto en las canaletas como en las charolas con

plástico negro, esto se hizo con la finalidad de mantener la humedad y la temperatura y acelerar su germinación.

3.5.1.4 Siembra de semilla de trigo.

Posteriormente a su lavado se efectuó la siembra de las semillas en las canaletas utilizando aproximadamente 1.6 kg de semilla por canaletas las cuales fueron distribuidas de tal manera que su germinación fuera homogénea y el riego se distribuyera por toda la superficie. Se colocó la semilla en la superficie de la charola ó canaleta de tal manera que cubriera el plástico y dejando únicamente un espacio de 3 cm para evitar la acumulación de agua.

3.5.1.5 Proceso de Oscurecimiento.

Una vez que la semilla ha sido sembrada se procede a mantenerlo en oscuridad totalmente proceso que se realizó por no más de 24 horas luego se destapa.

3.6 Descripción de los experimentos realizados en el sistema de producción en NFT.

3.6.1 Aforación de goteros.

En esta prueba se realizó un ensayo para regular el gasto de los goteros. Se evaluó el gasto de entrada de agua en cada una de las pendientes estudiadas, para ver el efecto de la uniformidad por tratamiento. En esta prueba se tomaron pendientes de 0.8, 1.8 y 2.7%.

3.6.2 Evaluación de pendientes de las canaletas:

3.6.2.1 Pendientes ligeras

Durante las primeras pruebas se tomaron en cuenta pendientes ligeras en las cuales se tomo en cuenta el porcentaje de contaminación a diferentes días después de siembra para ello se utilizaron pendientes: 0.9, 1.8 y 2.7%. En este experimento se realizaron ensayos con canaletas de plástico de 2.20 m.

3.6.2.2 Pendientes pronunciadas.

Una vez obtenidos los resultados del primer ensayo se realizo una segunda prueba con pendientes pronunciadas tomando en cuenta el efecto que estas tienen en la contaminación por

hongos fitopatógenos. Las pendientes utilizadas en este experimento fueron 1,2, y 5%. Para este ensayo se utilizaron canaletas de metal de 1.80 m.

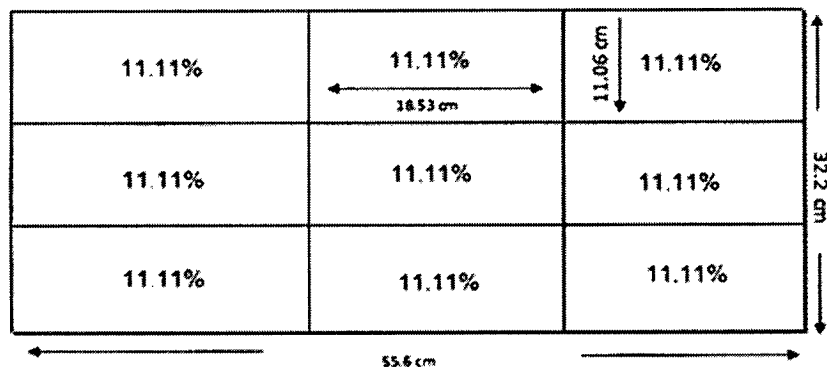
3.6.2.3 Evaluación en diferentes materiales (Plástico y Metal)

Se evaluaron dos diferentes materiales en los cuales se utilizaron como un primer tratamiento las canaletas de plástico, otro tratamiento con canaletas de metal, además se utilizó una variante en la que se hizo una comparación con el método tradicional de FVH una regada con agua natural y otra con riego ozonificado.

3.7 Metodología para la toma de datos para la variable contaminación en el experimento bajo un sistema NFT y en el sistema tradicional.

Los muestreos se realizaron a diferentes días después de siembra, se realizaron cuatro muestreos tomando un área de 900 cm² en la cual de acuerdo al área de siembra se sacaron 4 muestras cada tercer día. Se monitoreo de manera visual diariamente los tratamientos para determinar la incidencia de hongo en el forraje de acuerdo con las pendientes utilizadas. El porcentaje de contaminación se midió considerando una metodología de cuadrantes (Cuadro 3.1) al igual que en FVH.

Cuadro 3.1. Diagrama del diseño de cuadrantes utilizado para la toma de datos.



3.8 Diseño Estadístico.

Se utilizó un diseño completamente al azar, con tres tratamientos y tres repeticiones. Los datos fueron analizados con el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS) con un nivel de probabilidad del 0.05%. el modelo estadístico utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad i = 1,2,3,\dots, \quad t_j = 1,2,3,\dots, n$$

donde:

Y_{ij} = Variable respuesta en la j-ésima repetición del i-ésimo tratamiento

μ = Media general

τ_i = Efecto del tratamiento i.

ε_{ij} = Error aleatorio, donde $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$

3.9 Experimentación con Alfalfa.

3.9.1 Descripción de las actividades llevadas a cabo en el sistema de producción de Alfalfa Hidropónica.

Producción de Alfalfa Hidropónica (*Medicago sativa*). Se llevó a cabo la siembra de la semilla en charolas de 200 cavidades el día 8 de enero de 2011. Utilizando 80 charolas. Después de su germinación se consideró aplicar solución nutritiva al 50% de la concentración para su mejor desarrollo y después de dos meses se realizó el trasplante el 15 de marzo del presente año en cajas de 40 x 60 x 40 de alto.

3.9.1.1 Producción de plántula de Alfalfa.

Para la siembra de Alfalfa primeramente se llevó a cabo la siembra de semillas en 80 charolas de 200 cavidades el día 8 de enero de 2011. La siembra se realizó de tal manera que se colocaron una semilla por cavidad y posteriormente fueron tapadas con el sustrato utilizado "peatmoss". Después de la siembra se le dio un riego pesado para evitar que el sustrato se

seca, así mismo las charolas fueron tapadas con un plástico negro para mantener su humedad y acelerar su germinación.

3.9.1.2. Llenado de las cajas con perlita.

Las cajas utilizadas fueron de 40 x 60 x 40 de alto la cual se consideró un margen de 5-6 cm y el resto ocupado por el sustrato a utilizar en este caso perlita, el volumen que se utilizó por caja fue alrededor de 24 l.

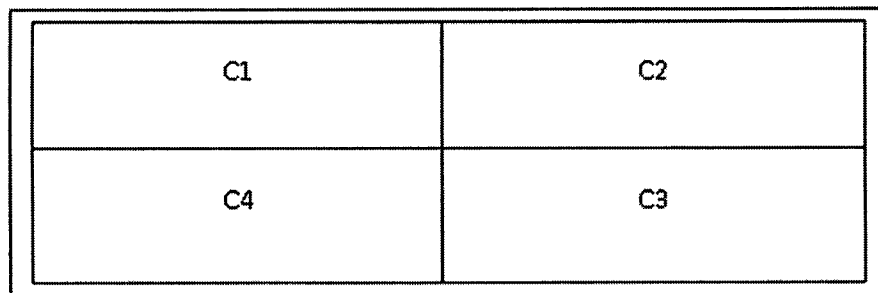
3.9.1.3. Trasplante de plántula de Alfalfa.

El trasplante de la Alfalfa se realizó en marzo del presente año tomando en cuenta 4 diferentes densidades (2x2, 2.5x2.5, 3x3 y 4x4cm) la plántula se colocó en las cajas de tal manera que fuera distribuida de acuerdo a la densidad tomando en cuenta el cepellón para un mejor agarre al momento de su siembra.

3.9.1.4. División de las cajas en cuadrantes

La división de la caja (Cuadro 3.2) se llevó a cabo una vez que las plantas habían sido trasplantadas y previamente a su agarre al sustrato. Esto con la finalidad de manejar mejor los muestreos ya que estos se realizaron por cuadrantes como se muestra en el esquema:

Cuadro 3.2. Esquema utilizado para muestrear las cajas en la producción de Alfalfa.



Se consideró un margen de 2.0 cm aproximadamente como margen de la caja considerando, un mínimo error en las plantas orilleras.

3.10 Programación de riego en Alfalfa

3.10.1 Programación de riego en Alfalfa en invernadero tipo capilla.

El sistema de riego utilizado fue por goteo utilizando goteros de 8 l/h con 16 piquetas en cada caja en un tiempo de 3 minutos por riego, para una mejor uniformidad en la humedad. El gasto utilizado fue alrededor de 1.6 litros por riego por caja, la cual se programó en base a un sistema automatizado en los controladores de riego basado en el volumen de agua drenado y en la radiación. El controlador emite una señal dependiendo de la programación de radiación a la que se esté manejando. Esto requiere de algunos ajustes en la definición de diversos factores: la radiación acumulada donde el riego empieza, duración del riego, tiempo de espera, decidir si regar o no en la noche, entre otros. Los niveles de radiación que se estuvieron manejando de acuerdo a las necesidades de la planta fueron entre 200 y 300 Joules por cm^2 de radiación solar acumulada.

3.10.2 Programación de riego en Alfalfa en invernadero tipo túnel.

La programación del riego en este invernadero se llevo a cabo por medio de controladores tipo jardín en donde se programó un riego cada tres horas con un tiempo de 3 minutos por riego.

3.11. Material vegetal

Semilla de Alfalfa (*Medicago sativa* var. *Cuf-101*) proporcionada por fomento agropecuario, una semilla de buena calidad apta para la producción.

3.12. Material de campo

- Tijeras para podar
- Rafia
- Probeta graduada
- Potenciómetro
- Balanza analítica
- Cajas de 60 X 40 X 40 para producción de Alfalfa
- Anaqueles metálicos para ubicar las cajas en el invernadero tipo túnel

- Malla sombra de monofilamento de HDPE con 70 y 30% de sombreo
- Medidor de área foliar LI- 3100 de LICOR

3.13. Equipos de automatización

- Gotero de 4l/h
- Equipo generador de ozono Carbar's

3.14. Descripción de los invernaderos utilizados

Se utilizó un invernadero tipo túnel anteriormente descrito y un invernadero tipo capilla. Este último invernadero tiene la techumbre formando dos planos inclinados, a dos aguas. La inclinación de los planos de la techumbre es mayor a 25° no ofrecen inconvenientes en la evacuación del agua de lluvia. La ventilación es por ventanas frontales y laterales. La anchura de este invernadero es de 12 metros y 45 metros de largo. La altura en cumbre está comprendida es de 4 metros.

3.15. Descripción de experimentos realizados en el sistema de producción de Alfalfa Hidropónica.

3.16 Experimentación en densidad de población

3.16.1 Sondeo inicial en el cultivo de Alfalfa Hidropónica.

3.16.1.1 Descripción del Experimento.

En una primera fase se realizaron pruebas con 5 densidades de siembra: 1x1, 2x2, 3x3, 4x4, y 5x5 cm. Para lo cual únicamente se ocuparon 5 cajas y se realizaron estudios precios de análisis de crecimiento de acuerdo a la metodología de Hunt (1990). Índice de crecimiento y de biomasa tomando en cuenta las variables, TCR, TAN, AFE, RAF, AFE, RPF Para determinar la materia seca se realizaron seis muestreos destructivos, a los 5, 10, 15, 20, 25, 30 días después de corte(ddc).

3.16.1.2 Metodología para la toma de datos.

Se hizo un corte en su totalidad dejando un corte a ras. Posteriormente esta fue pesado ligeramente en una balanza y posteriormente se extendió la muestra en un área seca para que

se secura a la intemperie tomando un máximo de 72 horas para su achicalado luego de esto se peso nuevamente y posteriormente se metió a la estufa de secado a una temperatura de 70°C.

3.16.1.3 Diseño Experimental.

En este primer ensayo no se utilizó un diseño únicamente se hizo una prospección del comportamiento de la biomasa con los datos obtenidos.

3.16.2 Densidad de población en Alfalfa

3.16.2.1. Descripción del experimento

Para la realización de esta prueba se hizo un ensayo primeramente tomando en cuenta 5 densidades de población las cuales fueron: 1X1, 2x2, 3x3, 4x4 y 5x5 cm para lo cual únicamente se tomaron en cuenta 5 cajas pero tomando en cuenta la división por cuadrante en los muestreos teniendo cinco tratamiento y cuatro repeticiones, en la cual se hizo un análisis de biomasa, se tomó el área foliar y se hizo el análisis de índice de crecimiento.

En base a los resultados obtenidos se realizó la siguiente prueba con cuatro densidades de 2x2, 2.5x2.5, 3x3 y 4x4 cm para lo cual fueron considerado 40 cajas teniendo cuatro tratamientos con 10 repeticiones.

Cuadro 3.3. Diagrama de los tratamientos en el experimento de Alfalfa Hidropónica.

Tratamiento	Concepto
T1	La densidad de población en este tratamiento fue de 2x 2cm entre plantas.
T2	La densidad de población en este tratamiento fue de 2.5 x 2.5 cm entre plantas.
T3	La densidad de población en este tratamiento fue de 3 x 3cm entre plantas.
T4	La densidad de población en este tratamiento fue de 4 x 4cm entre plantas.

3.16.2.2. Metodología para la toma de datos.

Estimación de índice de crecimiento. Para realizarel análisis de crecimiento en Alfalfa durante los primeros ensayos se tomó en cuenta la metodología de cuadrantes antes mencionada, realizando muestreos cada cinco días, se cortaron al ras las plantas que había en cada tratamiento y se peso de manera inmediata con la ayuda de una balanza analítica para evitar su deshidratación. Posteriormente se llevó al laboratorio y se separo tanto hojas, tallos y peciolo una vez separada la hoja se midió el área foliar con un medidor marca LICOR (LI-1300), posteriormente se llevo a la estufa a 70°C para después tomar el peso seco. Una vez teniendo los datos se analizaron para obtener los índices de crecimiento (Cuadro 3.4). Las variables para el índice de crecimiento se obtuvieron mediante las siguientes fórmulas:

Cuadro 3.4. Formulas y unidades para obtener el índice de crecimiento del cultivo de Alfalfa Hidropónica.

Índice	Descripción	Formulas	Unidades
TCR	Tasa de Crecimiento Relativo	$TCR = \frac{(\ln w_2 - \ln w_1)}{t_1 - t_2}$	$g\ g^{-1}\ dia^{-1}$
TAN	Tasa de Asimilación Neta	$TAN = \frac{(w_2 - w_1)}{t_1 - t_2} * \frac{(\ln LA_2 - \ln LA_1)}{LA_1 - LA_2}$	$g\ cm^{-2}\ dia^{-1}$
RAF	Relación de Área foliar	$RPF = (Lw_2/w_1 + Lw_1/w_2) \div 2$	$cm^2\ g^{-1}$
AFE	Área Foliar Especifica	$AFE = RAF/RPF$	$cm^2\ g^{-1}$
RPF	Relación de peso Foliar	$RPF = \frac{\frac{LW_1}{w_1} + \frac{LW_2}{w_2}}{2}$	$g\ g^{-1}$

w= Masa seca total (g); Ln =logaritmo natural AF: Área foliar (cm^2);AFt: área foliar total Wf: Peso seco de follaje.

3.16.2.3 Diseño Experimental Utilizado.

El diseño que se utilizó fue de bloques completamente al azar, con 4 tratamientos y 8 repeticiones (Cuadro 3.5), considerando en cada tratamiento divisiones en cuadrantes para considerar el desarrollo de la Alfalfa hasta 40 días. los datos fueron analizados con el Programa estadístico SAS, versión 8.2 (SAS 1999). La prueba de medias se efectuó mediante

una comparación de $LSD \leq 0.05$ de significancia. El modelo estadístico utilizado fue el siguiente.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad i=1,2,\dots,t; j=1,2,\dots,r$$

μ = Parámetro, efecto medio

τ_i = Parámetro, efecto del tratamiento i

β_j = Parámetro, efecto del bloque j

ε_{ij} = valor aleatorio, error experimental de la u.e. i,j

Y_{ij} = Observación en la unidad experimental.

Cuadro 3.5. diagrama de ubicación del experimento en densidad de población en Alfalfa Hidropónica.

Bloques	Tratamientos			
B1	T1	T2	T4	T3
B2	T4	T1	T3	T2
B3	T1	T2	T3	T4
B4	T4	T2	T3	T1
B5	T3	T1	T4	T2
B6	T4	T1	T2	T3
B7	T3	T2	T1	T4
B8	T1	T4	T2	T3

3.16.3. Experimentación con niveles de solución nutritiva y densidades de población

3.16.3.1 Descripción del experimento

Se realizó una comparación con diferentes niveles de la solución nutritiva universal de Steiner y diferentes niveles de densidad de población. Las concentraciones fueron al 100, 50 y 25% teniendo un testigo absoluto en la cual únicamente se le aplicó agua.

3.16.3.2 Metodología para la toma de datos en Alfalfa para niveles de nutrición y densidad de población.

Estimación de índice de crecimiento. Para estimar el índice de crecimiento en Alfalfa en niveles de nutrición se tomo en cuenta muestreos destructivos donde se tomaron 10 plantas por cuadrante en cada área foliar con un medidor marca, LI-COR (Li-1300). Se pesó la muestra en fresco y posteriormente se llevo a la estufa a 70°C para después tomar el peso seco. Una vez

obtenido los datos se analizaron para determinar los índices de crecimiento anteriormente descritos.

3.16.3.3. Diseño experimental utilizado.

El diseño se estableció como arreglo factorial con dos factores (A y B). El factor A correspondió a los niveles de nutrición (cuatro niveles): 100%, 50%, 25% y 0%. Y el Factor B correspondió a las diferentes densidades de siembra: 2x2, 2.5x2.5, 3x3 y 4x4 cm. Por lo tanto para este estudio se dividieron las cajas en 4 secciones teniendo 16 tratamientos y 4 repeticiones (Cuadro 3.6) teniendo un total de 64 unidades experimentales.

Cuadro 3.6. Diagrama de los tratamientos en el invernadero tipo túnel para niveles de nutrición y densidad de población.

	100% S1			50% S2			25% S3			0% S4	
D1	R1	R2	D2	R1	R2	D3	R1	R2	D4	R1	R2
	R3	R4		R3	R4		R3	R4		R3	R4
D3	R1	R2	D1	R1	R2	D1	R1	R2	D2	R1	R2
	R3	R4		R3	R4		R3	R4		R3	R4
D2	R1	R2	D3	R1	R2	D2	R1	R2	D3	R1	R2
	R3	R4		R3	R4		R3	R4		R3	R4
D4	R1	R2	D4	R1	R2	D4	R1	R2	D1	R1	R2
	R3	R4		R3	R4		R3	R4		R3	R4

S = Solución nutritiva D = Densidad de población

El modelo estadístico utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + \beta_j + (T\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

μ_i = media general

T_i = efecto del *i*-ésimo nivel del factor A

β_j = efecto del *j*-ésimo nivel del factor B

$(T\beta)_{ij}$ = efecto de la interacción entre *i* y *j*

ε_{ijk} = Componente del error aleatorio

3.16.4. Experimentación en niveles de sombreo.

3.16.4.1 Descripción del experimento.

Durante la realización de esta prueba se tomaron en cuenta dos niveles de sombreo 30%, 70 % las cuales fueron utilizadas en el invernadero tipo túnel. Primeramente se estableció una malla de sombreo de 70%(Cuadro 3.7) durante su establecimiento se llevaron a cabo las evaluaciones para determinar los índices de crecimiento, evaluando peso fresco y mediante muestreos destructivo se tomó área foliar utilizando el medidor marca LI-COR haciendo evaluaciones cada 5 días, estos datos fueron utilizados para determinar los índices de crecimiento como TCR, TAN, RAF, RPF, AFE. Posteriormente se cambió la malla y se realizaron cuatro evaluaciones mas con un sombreo de 30% esto con la finalidad de ver el comportamiento de la Alfalfa con diferentes niveles de sombreo.

3.16.4.2. Metodología para la toma de datos en Alfalfa para niveles de sombreo.

Estimación de índice de crecimiento. Para la toma de datos para las variables índices de crecimiento en Alfalfa Hidropónica se tomaron 10 plantas por cuadrante tomando en cuenta las diferentes concentraciones de soluciones nutritivas teniendo un número total de muestras de 160, se fue pesando inmediatamente con la ayuda de una balanza analítica y posteriormente fueron llevados al laboratorio para que las muestras fueran separadas tanto hojas, tallo y peciolo. Una vez separada se midió el área foliar y las muestras fueron colocadas en bolsas y fueron llevadas a la estufa para posteriormente medir su peso seco. Una vez obtenidos los datos se calculó los índices de crecimiento con las formulas ya mencionadas anteriormente.

Cuadro 3.7. Diagrama de los tratamientos en el invernadero tipo túnel para niveles de sombreado en la producción de Alfalfa Hidropónica

Sombreado de 70 %										Sombreado de 30 %													
D1	R1	R2	D2	R1	R2	D3	R1	R2	D4	R1	R2	D1	R1	R2	D2	R1	R2	D3	R1	R2	D4	R1	R2
	R3	R4		R3	R4		R3	R4		R3	R4		R3	R4		R3	R4		R3	R4		R3	R4
D3	R1	R2	D1	R1	R2	D1	R1	R2	D2	R1	R2	D3	R1	R2	D1	R1	R2	D1	R1	R2	D2	R1	R2
	R3	R4		R3	R4		R3	R4		R3	R4		R3	R4		R3	R4		R3	R4		R3	R4
D2	R1	R2	D3	R1	R2	D2	R1	R2	D3	R1	R2	D2	R1	R2	D3	R1	R2	D2	R1	R2	D3	R1	R2
	R3	R4		R3	R4		R3	R4		R3	R4		R3	R4		R3	R4		R3	R4		R3	R4
D4	R1	R2	D4	R1	R2	D4	R1	R2	D1	R1	R2	D4	R1	R2	D4	R1	R2	D4	R1	R2	D1	R1	R2
	R3	R4		R3	R4		R3	R4		R3	R4		R3	R4		R3	R4		R3	R4		R3	R4

3.16.4.3 Diseño estadístico

El diseño estadístico fue un arreglo factorial, en donde A = solución nutritiva, B= densidad de población y C= sombreado. El modelo estadístico utilizado fue:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + \beta_j + (T\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

μ_i = media general

T_i = efecto del i-ésimo nivel del factor A

β_j = efecto del j-ésimo nivel del factor B

$(T\beta)_{ij}$ = efecto de la interacción entre i y j

ε_{ijk} = Componente del error aleatorio

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el sistema de producción en NFT se realizaron ensayos en cuanto a la pendiente de la canaleta y dentro de esta evaluación se considero necesario determinar los volúmenes aplicados por cada gotero para evitar desuniformidades por este factor.

Los resultados encontrados en cuanto al aforo de los goteros fueron los siguientes:

4.1 Aforación de goteros para evaluación de contaminación en forraje verde.

Cuadro 4.1. Efecto en la Aforación de goteros en el sistema NFT.

Tratamiento*	Volumen (cm ³)
T1 (0.9%)	226.77 b
T2 (1.8%)	259.44 a
T3 (2.7%)	258.11 ^a

*Pendiente de la canaleta

De acuerdo al análisis de varianza (Cuadro 7.1 Anexo) se tuvo diferencias significativas (> 0.05%) siendo el tratamiento 1 (pendiente de 0.9%) el que obtuvo una ligera variación en cuanto al volumen captado de agua, sin embargo para los otros tratamientos evaluados tratamientos en las evaluaciones no hubo diferencia (T2 y T3). En conclusión podemos decir que la entrada de volumen de agua por los goteros presenta una ligera desuniformidad en el tratamiento 1 y se espera que esta variación no afecte al desarrollo del cultivo ni influya en la incidencia de hongos en este sistema.

4.2 Influencia de las pendientes en la contaminación del forraje.

4.2.1. Evaluación del efecto de las pendientes ligeras (0.9, 1.8, y 2.7%) en las canaletas de NFT sobre los índices de contaminación por hongos.

Se estudiaron pendientes ligeras tomando en cuenta tres diferentes niveles de porcentaje con respecto a la longitud de la canaleta para evaluar el efecto en la contaminación a diferentes días después de siembra en este sistema de producción. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Cuadro 4.2.Efecto de las pendientes ligeras con respecto a la variable porcentaje de contaminación en un sistema NFT a diferentes días después de siembra

Tratamiento*	% deContaminación			
	Tres días	Seisdías	Nueve días	Doce días
T1 (0.9%)	9.00 a	35.33 a	65.0 a	98.3 a
T2 (1.8%)	6.33 a	22.00 b	51.0 b	91.0 b
T3 (2.7%)	2.33 b	16.67c	55.0 ba	92.3 b
LSD	3.02	3.70	11.18	5.45

*Pendiente de la canaleta

De acuerdo con el análisis estadístico. El tratamiento 3 presentó los menores índices de contaminación. Y el tratamiento 1 fue el que presentó mayores índices de contaminación. Una de las explicaciones es que a pendientes menores el agua tiende a estancarse y la lámina no tiende a fluir por el drenaje por lo que el exceso de agua es también un factor muy importante el foco de contaminación. Por otro lado el tratamiento con menos contaminación por lo menos en los primeros días fue el tratamiento con pendientes de 2.7 % lo cual explica que a mayor pendiente no hay retención de agua y hay menos contaminación. Como conclusión podemos decir que las pendientes muy ligeras menores a 1% pueden afectar el escurrimiento de la lámina de agua a través de la canaleta viéndose afectada en contaminación hasta en un 50 ó 70% en los primeros días después de siembra

4.2.2. Evaluación del efecto de las pendientes pronunciadas (1,2 y 5%) en las canaletas de NFT sobre los índices de contaminación por hongos patógenos.

Los datos obtenidos de contaminación resultaron significativos para el 1% de pendiente de la canaleta, según el análisis de varianza efectuado para esta variable (Anexo 7.2), indicando mayores niveles de contaminación en este tratamiento. Los índices de contaminación se ven influenciados por la pendiente de la canaleta debido al flujo de agua, es decir, el exceso de agua en pendientes menores puede almacenar agua en exceso provocando una mayor contaminación. Cabe señalar que durante los primeros tres días evaluados no se tuvo contaminación (Cuadro 4.3). Por otro lado es de suma importancia tomar en cuenta la frecuencia de riego si se sobre riega el forraje puede verse afectada por la contaminación (FAO, 2001) advierte que la frecuencia de riego debe estar en intervalos de 6 – 9 riegos con una duración de dos minutos, para mantener la humedad y evitar los excesos de humedad que

generen la presencia de enfermedades. Como conclusión podemos decir que el forraje se ve afectado por la contaminación desde los seis días después de siembra con pendientes menores al 2%, sin embargo, con pendientes de 5% el desarrollo del cultivo se ve afectado por un rápido escurrimiento de la lamina en la cual la planta no logra absorber totalmente el agua requerida para su desarrollo viéndose un efecto notorio en su crecimiento, ahora bien, se recomienda trabajar con pendientes no superiores, ni menores a 2%.

Cuadro.4.3 Evaluación de la variable contaminación con pendientes pronunciadas los tres, seis y nueve días después de siembra.

Tratamiento*	Tercer día	Sexto día	Noveno día
T1 (1%)	0	25.0a	81.7 ^a
T2 (2%)	0	19.0 a	78.3 ba
T3 (5%)	0	14.7 c	77.3 b
LSD	0	1.5	4.31

*Pendiente de la canaleta

4.2.3 Porcentaje de contaminación evaluando cuatro tratamientos: canaletas de metal, canaletas de plástico, charolas para producción tradicional con riego normal, y otro con charolas regadas con ozono.

Para esta siguiente prueba se tomó en cuenta únicamente una pendiente ya que se realizaron pruebas anteriormente siendo la mejor pendientes de 2%. Se realizaron ahora comparaciones entre una canaleta de metal, una de plástico, una charola de producción tradicional regada con agua normal (testigo) y una charola regada con ozono obteniendo los siguientes resultados.

Cuadro 4.5. Efecto de la contaminación los tres días, siete días y diez días después de siembra. Utilizando diferentes materiales para la producción.

Tratamiento	Tres días	Siete días	Diez días
T1 (CM) ⁽¹⁾	3.1 a	26.0b	99.1a
T2 (CP) ⁽²⁾	0.0 b	11.0ab	96.2b
T3 (TC) ⁽³⁾	0.0 b	36.8 a	100.1 a
T4 (TO) ⁽⁴⁾	0.0 b	9.0 ab	96.1 bc
LSD	2.7	3.0	1.0

⁽¹⁾CM: canaleta de metal, ⁽²⁾CP: Canaleta de plástico, ⁽³⁾TC: Testigo Charolas⁽⁴⁾; TO: Testigo con Ozono

De acuerdo al análisis de varianza (Cuadro 7.3 Anexo) en los primeros tres días para los tratamientos 2,3,y 4 fueron similares no mostrando ningún efecto de contaminación, sin

sin embargo se tiene una diferencia significativa para la contaminación entre los tratamientos sin embargo se presenta una ligera contaminación en las T1 (canaletas de metal). A los siete días el análisis estadístico presenta diferencias altamente significativas entre tratamientos siendo para esta variable el tratamiento testigo ó tratamiento que se utilizó únicamente riego con agua natural el que mayor contaminación se obtuvo seguido del testigo (T3). Para esta prueba el tratamiento regado con ozono fue el tratamiento menos contaminado hasta los primeros siete días, sin embargo a los diez días el comportamiento es similar para todos los tratamientos. En conclusión podemos decir que las canaletas de plástico pueden ser el material adecuado para la producción de forraje bajo este sistema pero alternarlo con riegos ozonificados para minimizar la contaminación por hongos.

4.3. Estudio de factores que influyen en la producción de Alfalfa Hidropónica.

4.3.1. Densidad de Población

4.3.1.1. Sondeo inicial en el cultivo de Alfalfa Hidropónica.

En el primer ensayo como sondeo inicial tomando cinco densidades de poblaciones, analizando la biomasa de la Alfalfa y su altura antes de la cosecha: los datos obtenidos fueron:

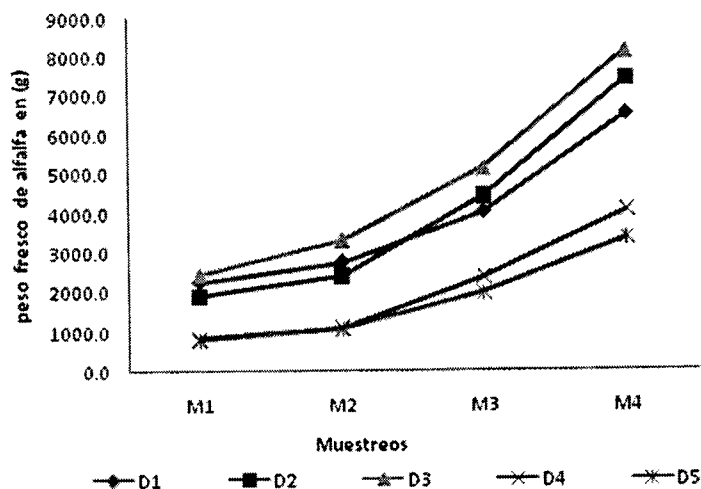


Figura 4.1. Comportamiento del peso fresco en Alfalfa en diferentes densidades de siembra. D1: Densidad 1x1 cm; D2: Densidad 2x2 cm; D3: Densidad 3x3 cm; D4: Densidad 4x4 cm; D5: Densidad 5x5 cm.

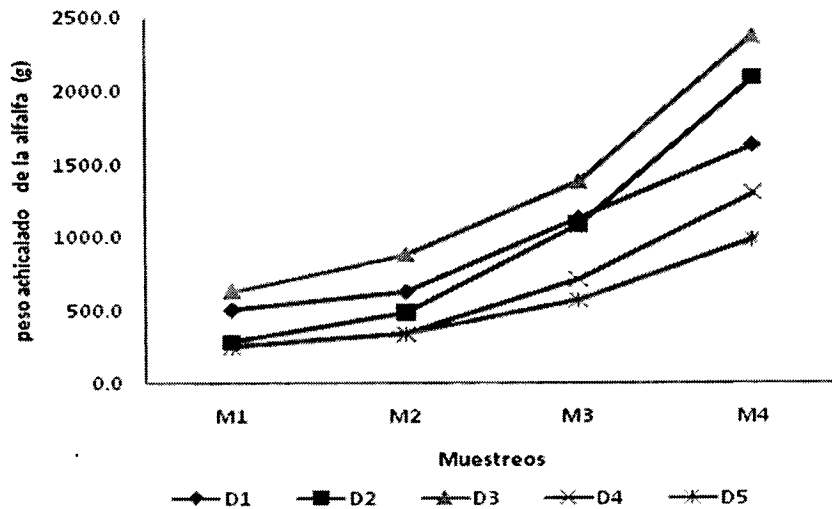


Figura 4.2. Comportamiento del peso achicalado de la Alfalfa en diferentes densidades de siembra. D1: Densidad 1x1 cm; D2: Densidad 2x2 cm; D3: Densidad 3x3 cm; D4: Densidad 4x4 cm; D5: Densidad 5x5 cm.

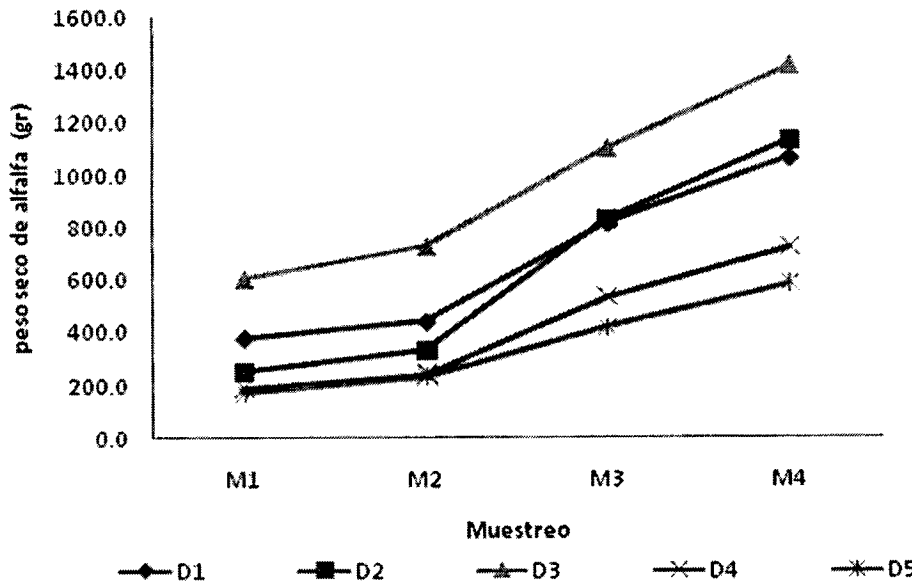


Figura 4.3. Comportamiento del peso seco de la Alfalfa en diferentes densidades de población. D1: Densidad 1x1 cm; D2: Densidad 2x2 cm; D3: Densidad 3x3 cm; D4: Densidad 4x4 cm; D5: Densidad 5x5 cm.

De acuerdo a los resultados de la Figura 4.1, 4.2 y 4.3 se observa una superioridad promedio de los rendimientos obtenidos en las densidades de 3x3, incluso fue mayor con respecto a la densidad 1x1, donde había menor competencia entre las plantas, esto podría deberse a que a baja densidad habría ocurrido una compensación del menor número de plantas con un mayor número de tallos por planta, pero muy baja densidad resulta pérdida de biomasa. Un efecto de este tipo fue encontrado por Rodríguez *et al.* (1992) y Croll *et al.* (1993) trabajando con Alfalfa en mezcla con *Festuca arundinacea*.

4.3.1.2. Influencia de la densidad de población en el cultivo de Alfalfa Hidropónica.

La densidad de población es uno de los factores estudiados por la cual el cultivo de Alfalfa se ve afectado debido a su competencia, viéndose reflejada en biomasa e índices de crecimiento. De acuerdo a la prospección del ensayo llevado a cabo anteriormente con cinco densidades se realizó otro estudio en donde se manejaron cuatro densidades de población 2x2, 2.5x2.5, 3x3, y 4x4 obteniendo los siguientes resultados.

Cuadro 4.6 Efecto de la densidad de población en los índices de crecimiento en el cultivo de Alfalfa Hidropónica.

T	TCRP	TCRT	TCRH	TCRV	TAN	RAF	RPF	AFE
	g kg ¹ dia ⁻¹	g kg ¹ dia ⁻¹	g kg ¹ dia ⁻¹	g kg ¹ dia ⁻¹	g m ⁻² dia ⁻¹	cm ² g ⁻¹	g g ⁻¹	cm ² g ⁻¹
0-5 días después de corte(1 mayo)								
1	183.4 b	184.9 a	176.37 a	17.32 ba	7.630 b	201.87 a	0.59 a	507.71 a
2	133.71b	159.7 a	179.48 a	66.83 a	11.44 b	159.27 ba	0.63 a	391.71 ba
3	68.16 b	165.7 a	97.04 a	74.26 a	13.59 b	124.86 b	0.60 a	293.09 b
4	377.0 a	128.9 a	203.89 a	2.86 b	26.92 a	132.44 b	0.60 a	313.86 b
LSD	159.04	168.8	172.8	69.214	13.237	60.096	0.073	149.45
5-10 días después de corte(6 de mayo)								
1	104.4 b	197.05 a	809.44 a	10.77 a	7.708 b	193.01 a	0.58 a	523.9 a
2	136.2 ba	236.10 a	826.77 a	19.32 a	12.16 ba	138.36 ba	0.60 a	351.1 ba
3	223.1 a	176.78 a	809.48 a	10.56 a	15.84 ba	127.04 b	0.60 a	327.8 b
4	74.8 b	181.23 a	882.97 a	10.03 a	16.873a	127.10 b	0.60 a	357.9 ba
LSD	91.034	99.587	134.62	37.608	8.4172	59.095	0.03	179.02
10-15 días después de corte (11 de mayo)								
1	7.59 b	888.9 a	1372.9 a	39.69 a	9.01 a	146.77 a	0.58 a	403.2 a
2	21.81 b	836.8 ba	1353.2 a	33.29 a	10.86 a	114.56 b	0.59 ba	308.9 ba
3	28.90 ba	825.4 ba	1340.7 a	39.24 a	12.44 a	103.00 b	0.59 a	270.1 b
4	78.84 a	774.2 b	1338.2 a	35.30 a	14.10 a	86.68 b	0.61 a	216.3 b
LSD	55.441	0.223	43.467	16.13	5.386	31.112	0.03	99.4
15-20 días después de corte (16 de mayo)								
1	28.47 a	1373.1 a	1657.8 a	30.11 a	7.306 b	103.9 a	0.56 a	285.3 a
2	12.81 a	1354.9 a	1667.3 a	32.65 a	10.045 a	81.5 b	0.57 a	221.1 b
3	11.36 a	1371.6 a	1626.5 a	39.34 a	9.384 ba	84.45 b	0.56 a	228.5 b
4	10.26 a	1340.5 a	1636.9 a	45.49 a	10.931 a	71.80 b	0.58 a	192.0 b
LSD	60.427	57.566	57.701	15.39 a	2.4628	19.21	0.0154	54.18
20-25 días después de corte (21 de mayo)								
1	46.4 a	1672.4 a	1898.9 a	1.550 a	8.165 b	79.3 a	0.52 ba	236.8 a
2	142.4a	1675.6 a	1899.7 a	5.558 a	10.07 ba	63.3 b	0.53 ba	183.8 b
3	145.5a	1673.8 a	1862.2 a	2.455 a	9.59 ba	65.2 b	0.51 b	196.7 ba
4	169.7 a	1657.4 a	1895.2 a	2.755 a	11.83 a	54.7 b	0.54 a	157.1 b
LSD	46.35	63.927	81.488	8.3544	2.6761	13.6	0.0199	42.801

TCRP: tasa de crecimiento relativo de peciolo TCRT: tasa de crecimiento relativo de tallo TCRH: tasa de crecimiento relativo de hoja coeficiente TAN. Tasa asimilación neta RAF: razón de área foliar RPF: razón de peso foliar AFE: área foliar específica.

De acuerdo al análisis estadístico durante la TCR el cultivo de Alfalfa tiende a desarrollar mucho mas hojas siendo estos similares para todos los tratamientos para la primera semana. En cuanto a la tasa de asimilación neta hay un comportamiento elevado para los tratamientos 4 y 3 sin embargo el tratamiento que mas hojas produce es el tratamiento 1 pero de mucho menos peso esto comparado con el tratamiento 4 que en los último tres cortes tiende a desarrollar pocas hojas pero más dobles. La ausencia de diferencias entre las producciones de forraje obtenidas en d2, d2.5 , podría deberse a que a baja densidad ocurre una compensación del menor número de plantas con un mayor número de tallos por planta. Misma tendencia que en la primera prueba encontrada por (Rodríguez y Croll). La producción de hoja mostró una tendencia creciente con aumentos de la densidad, aunque no difirieron (0.05) los rendimientos registrados en las cuatro densidades. Por su parte, la producción de tallos fueron similares estadísticamente para las cuatro densidades, sin embargo los valores más altos fueron para los tratamientos 4 y tratamiento 3 respectivamente.

4.3.2. Niveles de nutrición y densidad de población.

La solución nutritiva es otro de los factores que se estudiaron en el cultivo de Alfalfa Hidropónica para la cual se manejaron diferentes concentraciones para analizar su efecto, así como la interacción con la densidad de población utilizando las mismas cuatro densidades obteniendo los siguientes resultados.

Cuadro 4.7 Efecto de los niveles de nutrición y densidad de población en los índices de crecimiento en el cultivo de Alfalfa Hidropónica.

	Tratamiento	TCR g g ⁻¹ día ⁻¹	TAN g cm ⁻² día ⁻¹	RAF cm ² g ⁻¹	RPF g g ⁻¹	AFE cm ² g ⁻¹
5-10 días después de corte (12 de mayo 2011)						
Solución Nutritiva	100%	428.1 a	16.503 a	121.52 a	0.72 b	441.89 a
	50%	476.2 b	6.382 a	99.58 a	0.72 b	260.79 b
	25%	467.3 b	13.42 a	110.25 a	0.72 b	346.80 ba
	0%	336.3 b	10.66 a	104.29 a	0.77 a	205.69 b
Densidad de población	2x2	357.80 a	13.32 ba	121.06 a	0.75 ba	304.38 a
	2.5x2.5	525.62 c	6.105 b	96.85 a	0.77 a	314.50 a
	3x3	371.70 b	24.56 a	112.36 a	0.69 c	367.74 a
	4x4	452.86 bc	2.987 b	105.37 a	0.72 bc	268.56 a
10-15 días después de corte (17 de mayo 2011)						
Solución nutritiva	100%	570.50 b	10.09 a	87.56 a	0.74 ba	353.58 a
	50%	496.25 ba	5.164 a	100.95 a	0.72 b	277.82 a
	25%	529.23 b	6.762 a	82.56 a	0.73 ba	320.59 a
	0%	407.69 a	11.92 a	89.23 a	0.77 a	214.88 a
Densidad de Población	2x2	538.54 a	10.733 b	116.73 a	0.77 ba	427.72 a
	2.5x2.5	534.43 a	9.29 b	112.35 a	0.78 a	423.54 a
	3x3	477.64 a	15.34 a	60.76 b	0.70 c	160.12 b
	4x4	453.06 a	12.44 a	70.45 b	0.73 bc	155.48 b
15-20 días después de cortes (22 de mayo 2011)						
Solución Nutritiva	100%	570.50 b	10.09 a	87.56 a	0.742 ba	353.58 a
	50%	496.25 ba	5.164 a	100.95 a	0.724 b	277.82 a
	25%	529.23 b	6.762 a	82.56 a	0.733 ba	320.59 a
	0%	407.69 a	11.92 a	89.23 a	0.775 a	214.88 a
Densidad de población	2x2	458.47 a	10.36 a	115.47 a	0.700 b	444.60 a
	2.5x2.5	461.19 a	17.70 a	80.51 b	0.745 a	254.54 b
	3x3	500.86 a	24.25 a	42.46 c	0.721 ba	92.13 c
	4x4	486.24 a	21.68 a	49.96 c	0.701 a	114.28 cb

Medias de tratamientos con letras iguales no existe diferencia estadística. TCR: tasa de crecimiento relativo TAN. Tasa asimilación neta RAF: razón de área foliar RPF: razón de peso foliar AFE: área foliar específica. T: tratamiento LSD: diferencia mínima significativa. S: solución

Análisis con respecto a la solución nutritiva.

De acuerdo al análisis estadístico durante el primer muestreo de cinco a diez días, se encontraron diferencias altamente significativas en (TCR) siendo los tratamientos a concentraciones de 100 % y 0% y muy similares para TCR. El segundo corte el tratamiento que mayores TCR tuvo fue el de 0% y en el tercero fue nuevamente el tratamiento 0% siendo similares a los tratamientos de 100 y 50%.

Para TAN el comportamiento fue con diferencias estadísticas siendo las concentraciones de 100% similares a 25% para los primeros días de corte; sin embargo, para el segundo corte el tratamiento cuatro fue mejor comparado con el tratamiento 1. En el tercer corte el tratamiento con mayor TAN, fue el de 50%. Una de las explicaciones es que durante los primeros inicios de desarrollo del cultivo de Alfalfa demanda mucho más nutrientes; sin embargo, a medida que esta se desarrolla, la solución nutritiva no tiene efecto, por lo que se sugiere aplicarlo por etapas o aplicarlo en concentraciones muy bajas durante todo su ciclo.

Para la variable RAF los tratamientos con mejores resultados fueron las concentraciones de 50 y 25% comparado con el de 100%, siendo estas muy similares para el segundo y tercer corte. Una de las explicaciones para esta variable es que el área foliar con respecto a la nutrición durante el desarrollo el cultivo de Alfalfa demanda más nutrientes. Sin embargo, conforme el cultivo se desarrolla, la capacidad de retención de elementos es mayor de acuerdo a las características de la planta así mismo tiende a asimilarlos de manera más lenta por lo que después del segundo corte puede no ser necesario la aplicación de solución nutritiva ya que de acuerdo al análisis estadístico es altamente significativo ($P > 0.01$) siendo mayor la aplicación de riego sin solución nutritiva lo cual nos permite manejar mucho mejor las concentraciones nutritivas por etapas y únicamente aplicar un 50% de concentración para etapa de maduración o después de los 15 días después de corte.

Para RPF se observa el rápido aumento con diferencias altamente significativas para concentraciones al 100% entre los primeros cinco a diez días después de corte; sin embargo, para el segundo corte los resultados son similares siendo un comportamiento uniforme para esta variable. Para los días de 15-20 después de corte el tratamiento con mayor razón de peso foliar fue el de 50%.

Para AFE los resultados estadísticos fueron similares en todos los cortes de 5 a 20 días después de corte.

Análisis con respecto a la densidad de población.

Para TCR los resultados estadísticos indican que durante los primeros días después corte los mejores resultados en la producción de la Alfalfa son con densidades de 2x2 y 2.5x2.5. Estos datos se ven marcadamente similares para el segundo corte; no obstante, para el tercer corte el tratamiento que mejor resultados obtuvo fue el de 2x2.

Para TAN los resultados del primer corte indican diferencias estadísticas para las densidades 2x2, 2.5x2.5 y 3x3cm. En estos tratamientos las tasas de asimilación neta fueron mayores que el tratamiento 4 (4x4). Sin embargo, para el segundo corte no existe diferencias significativas, por otro lado los tratamientos que mejores resultados se obtuvieron para el tercer corte fueron los tratamientos 3 y 4 (3x3 y 4x4).

Para RAF los resultados indican que en los primeros días de corte de cinco a diez días los valores son mayores para la densidad de 3x3 siendo este similares para el segundo corte comparado con los otros tratamientos, por otro lado durante el tercer corte la RAF fue mayor en los tratamientos 3 y 1 (3x3 y 2x2). Los resultados anteriores sugieren que, en términos generales, en las etapas vegetativas de las especies anuales la planta produce biomasa de manera eficiente y sostenida en respuesta a la capacidad fotosintética. Esto explicaría la tendencia similar que muestran los índices de crecimiento TAN y TCR de Alfalfa en etapas tempranas de crecimiento. Jarma *et al.* (2000) reportan que esta eficiencia, ante la diversidad de estímulos ambientales y genéticos, se vuelve diferencial en las fases tardías, cuando la planta ha alcanzado su madurez fisiológica.

Los resultados para área foliar específica tomando en cuenta las densidades de población muestran que los primeros días de corte, el tratamiento con hojas mas expandidas pero más delgadas, fue el tratamiento 3 (3x3). En el segundo corte de 10 a 15 días, los tratamientos fueron similares. No obstante, para el tercer corte el tratamiento con mayor AFE fue el 2 (2.5x2.5).

Análisis con respecto a los niveles de sombreo.

Los niveles de sombreo en cultivos con semillas tradicionales es muy importante desde el inicio de su germinación. En este estudio se analizaron dos porcentajes de sombreo (70 y 30%) como otro de los factores importantes que influyen en la producción de Alfalfa Hidropónica. Los efectos de sombreo se analizaron por medio de los estudios de índice de crecimiento obteniendo los siguientes resultados:

4.3.3 Niveles de sombreo

Los muestreos de plantas para realizar el análisis de crecimiento y ver el efecto del sombreo se realizaron cada cinco días obteniendo los siguientes resultados.

Cuadro 4.8 Efecto del sombreo sobre los índices de crecimiento en la producción de Alfalfa Hidropónica

Tratamiento	TCR g kg ⁻¹ día ⁻¹	TAN g m ⁻² día ⁻¹	RAF cm ² g ⁻¹	RPF g g ⁻¹	AFE cm ² g ⁻¹
5-10 días después de corte (27 de mayo 2011)					
70%	614 a	11.41a	109.95b	0.47287 a	630.77 a
30%	507 b	6.35 a	175.08 a	0.33169 b	321.99 b
10-15 días después de corte (2 de junio 2011)					
70%	639 a	5.339 a	90.06 b	0.46860 a	292.93 b
30%	615 b	0.455 b	167.43 a	0.38887 b	481.38 a
15-20 días después de corte (7 de junio de 2011)					
70%	285 a	6.025 b	72.098 b	0.45135 b	226.39 a
30%	224 b	4.310 a	122.642 a	0.54678 a	328.49 a

Letras iguales no existe diferencia estadística. TCR: tasa de crecimiento relativo; TAN. Tasa asimilación neta; RAF: razón de área foliar; RPF: razón de peso foliar; AFE: área foliar específica; T: tratamiento; LSD: diferencia mínima significativa.

Porcentaje de sombreo

Para TAN los resultados estadísticos indican que en los primeros días de corte no hubo diferencia. Sin embargo, en el segundo periodo el de 70% fue el que mayores TAN obtuvo. Para el tercer corte de 15 a 20 días, el sombreo de 30% presentó mejores resultados.

Para RAF los resultados indican diferencias altamente significativas siendo los mejores resultados para el sombreo de 30% en los tres cortes desde 5 a 20 días. Para RPF el comportamiento durante los dos primeros corte son similares siendo el tratamiento con porcentajes de 70% el que mayores RPF presentó, por otro lado después del tercer corte el

tratamiento con mayores RPF fue el porcentaje de 30%. Una de las explicaciones es que durante los primeros días la producción de Alfalfa aprovecha de manera más rápida los nutrientes con poca luz para desarrollarse. No obstante, después de la etapa vegetativa esta puede ser necesaria para una mejor producción. De acuerdo al análisis estadístico se mostraron diferencias altamente significativas ($P > 0.01$) cuando se realiza una interacción de diferentes concentraciones de nutrición con dos diferentes porcentajes de sombreado a diferentes densidades de siembra. Estas pueden tener un efecto positivo utilizando concentraciones mínimas de solución con densidades de 2 ó 2.5 cm para evitar competencia y utilizar un sombreado de 70% para el caso de RAF. Por otro lado si hacemos una interacción de nutrición con densidad de población el efecto que esperamos puede verse afectado teniendo resultados altamente significativos únicamente hasta los 15-20 días después de corte por lo cual se deduce que la densidad de población a diferentes concentraciones de nutrición no ejerce efecto notorio en los primeros días por lo que de acuerdo a lo anteriormente descrito se deduce que en las primeras etapas de desarrollo de la Alfalfa no es necesario aplicar solución. Sin embargo, después de los 15-20 días puede aplicarse un 50% de la concentración. Si consideramos interacción de nutrición con sombreado de acuerdo al análisis estadístico podemos decir que el sombreado puede reducir el área foliar, lo cual es importante para la producción de la Alfalfa considerando que la mayor cantidad de proteínas se encuentran en la hojas.

Para AFE tomando en cuenta los niveles de sombreado de 5 a 15 días de corte, el tratamiento con mejores resultados fue el tratamiento con porcentajes de 30%. Sin embargo, esta tiende a reducirse cuando la planta se desarrolla.

4.4. Análisis del Índice de área foliar y Materia seca total

Materia seca

La acumulación de materia seca de hojas al igual que el área foliar presentaron un aumento gradual en el tiempo (Cuadro 4.8), esto indica que la rapidez de crecimiento es baja al principio pero aumenta en forma continua (hasta 20 días después de corte; sin embargo, esta puede verse afectada por los niveles de sombreado que se presenten, cuanto mayor es éste, menor será su crecimiento, correspondiente a la fase logarítmica de crecimiento.

Cuadro 4.8. Parámetros de crecimiento en Alfalfa Hidropónica

Muestreo	Solución Nutritiva			Densidad de Población			Sombreo		
	T	MS	AF	T	MS	AF	T	MS	AF
1	1	0.09 ba	6.97a	1	0.06 c	7.72a	1	0.49 a	0.12a
	2	0.09ba	6.70a	2	0.10 b	5.59b	2	0.48a	0.07b
	3	0.11 a	7.48a	3	0.09 b	5.20b			
	4	0.09 b	3.61 b	4	0.13 a	6.33b			
2	1	0.14 a	14.2 b	1	0.14 a	10.43 d	1	0.16a	25.5a
	2	0.13 a	17.4 a	2	0.13 a	13.27 c	2	0.01b	6.2 b
	3	0.15 a	18.5 a	3	0.14 a	23.47 a			
	4	0.11 b	13.7 b	4	0.11 a	16.29 b			
3	1	0.13 a	15.1 b	1	0.09c	9.75d	1	0.16a	26.4 a
	2	0.13 a	18.5 a	2	0.14 b	13.22 c	2	0.09b	6.32 b
	3	0.15 a	18.1 a	3	0.17 a	25.18 a			
	4	0.12 a	13.8 c	4	0.14 b	17.32 b			

Solución Nutritiva: T1: 100%;T2: 50%;T3: 25%yT4: 0%. Densidad de población: T1:2x2;T2: 2.5x2.5; T3: 3x3; T4:4x4. Niveles de Sombreo: T1: 30% de sombreado yT2: 70% de sombreado. MS: Materia seca;AF: Área foliar.

Área foliar

La variable área foliar presentó diferencias altamente significativas para niveles de nutrición. El tratamiento que generó mayor área foliar fue la fertilización con 25 y 50% en los tres muestreos. La densidad de población que mejores resultados obtuvo después del primer corte fue la de 3x3cm. Ahora bien con respecto al sombreado en los tres muestreos el porcentaje de 30% fue el que mejores resultados obtuvo.

V. CONCLUSION

1. La investigación en el sistema de NFT se diseñó para minimizar la contaminación por hongos patógenos. Las pendientes que disminuyen en parte esta contaminación fueron las cercanas al 2%. En cuanto al material, las canaletas de plástico tuvieron menores contaminaciones.
2. Los estudios en Alfalfa Hidropónica se dirigieron para determinar los valores óptimos de producción de biomasa al combinar la densidad de población, niveles de nutrición y sombreo. Los valores que cumplieron con este criterio fueron: densidades de población de 2.5 x2.5 cm; concentraciones de solución nutritiva al 25% y niveles de sombreo del 30%.

VI BIBLIOGRAFIA

- Adams, P. and L.C. Ho. 1989. Effect of constant and fluctuating salinity on the yield, quality and calcium status of tomatoes. *J. Hort. Sci.* 64: 725-732.
- Alpizar, L. 2004. Hidroponía cultivo sin tierra. 1ª ed. Cartago (CR): Editorial Tecnológica de Costa Rica. 108 p. ISBN 9977-66-158-8.
- Arano, C. 1998. Forraje Verde Hidropónico y Otras Técnicas de Cultivos sin Tierra. Editado por el propio autor. Prov. de Buenos. Aires, Argentina.
- Arenas, J. 2005. Alfalfa Hidropónica permitirá crianza de animales. Santiago, Chile. <http://www.ceo.cl/609/article-69207.html> consultado en octubre de 2011.
- Askarian, M. 1993. Seed production studies in lucerne (*Medicago sativa* L) cv Grassland. Ga PhD Thesis, Massey Univ. New Zeland.
- Calero, E. 2006. El cultivo del maíz en el Ecuador. Guayaquil Ecuador.
- Canovas, M. F. 1993. Principios básicos de la hidroponía: aspectos comunes y diferenciales de los cultivos con y sin suelo. Almería (ES): FIAPA; Instituto de Estudios Almerienses. p. 29-42.
- Chang, C.; Yang M.; Wen H.; Chern J. 2002. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *J. Food Drug Analysis*, 10: 178-182.
- CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo). 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: un manual metodológico de evaluación económica. Edición completamente revisada México D.F México: CIMMYT.
- Cooper, A. 1988. "1. The system. 2. Operation of the system". In: *The ABC of NFT. Nutrient Film Technique*. Grower Books (ed.). London. pp 3-123.
- Cooper, A.J. 1975. Crop production in recirculating nutrient solution. *Scientia Horticulturae* 3: 251-258.
- Cooper, A. 1971. *Commercial applications of NFT*. Grower Books (ed). Londres. 184 pp.
- Croll, W., E. Bayá Casal, M. Saucedo y A. Colombino. 1993. Comportamiento de cultivares de alfalfa en pasturas consociadas a distintas densidades durante el año de implantación. 2. Vigor de plántulas. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 13:191-199

- De Candolle, J. H. 1991. Dodder control in Alfalfa. In: Proc 38° Annual California Weed Conference. Fresno California p 149-153
- Denli, M. Perez J. F. 2006. Contaminacion por micotoxinas en los piensos. Efectos tratamientos y prevencion. XXII curso de especializacion de la Fundacion Española para el Desarrollo de la Nutricion Animal (FEDNA) Barcelona España.
- DeLeón, M. 2004. Herramientas para manejar las complejas relaciones “pastura-animal”. Córdoba, Argentina. Producción de Carne Bovina. Boletín Técnico Producción Animal 2 (1).
- Dosal, A. 1987. Efecto de la Dosis de Siembra, Época de Cosecha y Fertilización sobre la Cantidad y Calidad de FVH. Chillán – Chile. Pág. 4
- Duplanic, M.C. and E.M. Rodríguez. 1999. Feasibility of tomato and sweet pepper growing in soilless media in Argentina. Acta Hort. 481: 635-640.
- Fargas, J. 1984. Conceptos básicos sobre análisis del crecimiento de las plantas. Curso investigación y desarrollo de tecnología para sistemas de producción, Turrialba, Costa Rica. (trabajos presentados) Turrialba, Costa Rica, 1984. 11 p
- FAO, 2001. Manual técnico de forraje verde hidropónico, Santiago De Chile 2001 Fernández A. A. Loste, T. Sáez., J. J. Ramos. (2002) principales micotoxicosis en el ganado ovino. Revista pequeños Rumiantes, 3, 3, pp 8 -13
- FAO, 2002. Forraje verde hidropónico primera edición Santiago Chile. 69 p.
- Fernández, A. L.; T. Sáez.; J. J. Ramos, 2002. Principales micotoxicosis en el ganado ovino. Revista pequeños Rumiantes, 3, 3, pp 8-13.
- Fumagalli, A. y Kunts, C. 2002. Cómo mejorar la oferta forrajera de los sistemas de cría. Cadena de la Carne Vacuna. Tecnologías para nuevos escenarios. Revista IDIAXXI: N°2 2002. p. 73-78.
- Graves, C.J. 1983. The nutrient film technique. Hort. Rev. 5: 1-44.
- Gunes, A.M., M. Alpaaslan and A. Inal. 1998. Critical nutrient concentrations and antagonistic and synergistic relationships among the nutrients of NFT-grown young tomato plants. J. Plant Nutr. 21: 2035-2047.
- Hargreaves, G.H. y Merkley G. P. 2000. Fundamentos del Riego. EU. Water Resources Publications. 221 p.

- Hidalgo, M. 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.
- Herrera, A. M. L.; De Pablos, R.; L. M. Benezrra y L. Ríos. 2007. Degradabilidad y digestibilidad de la materia seca del forraje hidropónico de maíz (*Zea mays*). Respuesta animal en términos de consumo y ganancia de peso. Revista Científica FCV-LUZ, XVII 4: 372-379.
- Huterwal, G. O. 1981. Hidroponía, cultivo de plantas sin tierra, Buenos Aires (Argentina) editorial Albatros, 59 p.
- Hunt, R. 1990. Basic growth análisis. Academic Press, London.
- Itria, C. D. y Bariggi, C. 1980. Producción de semilla de Alfalfa en Argentina. In: Simposio de Producción de Semilla de Alfalfa. IDIA. Argentina nº 391-392:1-4
- Izquierdo, J. 2002. El forraje verde hidropónico (FVH) como tecnología apta para pequeños productores agropecuarios por, Oficial de Producción Vegetal, Publicado por la FAO en 2002.
- Jarma, A.; C. Buitrago y S. Gutiérrez. 2000. Respuesta del crecimiento de la habichuela (*Phaseolus vulgaris* L. var. Blue Lake) a tres niveles de radiación incidente. Revista Comalfi 26(1-3), 62-73.
- Jensen, M.H. and W.L. Collins. 1985. Hydroponic vegetable production. Hort. Rev. 7: 483-559.
- Lacey, J. 1989. Pre- and post-harvest ecology Pre- and post-harvest ecology of fungi causing spoilage of foods and other stored products. Journal of Applied Bacteriology Symposium Supplement: 11S-25S.
- Lara, H.A. 1999. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. Terra. 17: 221- 229.
- Lawlor, P. G. and P.B. Lynch. 2001. Mycotoxins in pig's feeds 2: clinical aspects. Irish Veterinary Journal Vol. 54 (4) pp. 172-176
- Lomelí, Z. H. M. 2000. Forraje verde hidropónico. El forraje del futuro Hoy. Agricultura. 63. 15-18.
- Lovey, R. 2008. Características de una buena semilla, disponible en: <http://www.semilla.cyta.com.ar/buena semilla/buenasemilla.htm> (4 de junio de 2011)

- Maldonado, T. R. 1994. Método universal para la preparación de soluciones nutritivas. 1ª ed. Chapingo (MX): Universidad Autónoma de Chapingo. 36 p. ISBN 968-884-142-0.
- Marble, V. L.; L. H. Ochoa y C. J. Moschetti. 1986. Producción de semilla de Alfalfa. In: Investigación, Tecnología y Producción de Alfalfa. INTA Colección Científica cap 11 p 371-442.
- Marble, V. L. 1980. Manejo del cultivo de Alfalfa para la producción de semilla. In: Simposio de Producción de Semilla de Alfalfa. IDIA. Argentina n° 391-392:6
- Martínez, B. L. 2001. Manual de operación y mantención de equipos de riego presurizado. Gobierno Regional de Atacama, Comisión Nacional de Riego e Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Chile). Centro Regional de Investigación Intihuasi (La Serena), Centro Experimental Huasco (Vallenar). Boletín INIA No. 65, 76 p.
- Morgan, L. 2001. ¿Se están sofocando las plantas? In: Red hidroponía, La Molina. <http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/boletin11.htm>. (5 de abril 2011).
- Müller, L. M. P.; Santos, O.; Medeiros, S.; Haut, V.; Dourado, D.; Binotto, E.; Bandeira, A. 2005. Producción y composición bromatológica de forraje hidropónico de maíz (*Zea mays*L.) con diferentes densidades de siembra y días decosecha. Brasil.Zootecnia Tropical 23(2): 105-119.
- Ninancuro, R. 2007. Producción hidropónica de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en sistema recirculante en la región atlántica de Costa Rica. Facultad de ciencias hidropónicas la molina. Tesis licenciatura. Disponible en Internet:http://www.lamolina.edu.pe/facultad/ciencias/hidroponia/que_es_hidropon%E Da.htm consultada en julio de 2011.
- Nederhoff, E. 1999. Effects of different day/night conductivities on blossom-end rot, quality and production of green house tomatoes. Acta Hort. 481: 495-502.
- Noguera, V. 1993. Sistemas de solución perdida y recirculante. Descripción, análisis y valoración. En: Cultivo sin suelo. Canovas, F; Díaz, R. (eds.). Dirección general de investigaciones y formación agraria, F.I.A.P.A, caja rural de Almería. Pp. 85-126
- Nukaya, A.; W. Voogt and C. Sonneveld. 1991. Effects of NO₃, SO₄ and Cl ratios on tomatoes grown in recirculating system. Acta Hort. 294: 297-304.
- Orellana L., L. F. 2002. Conoce el sistema de cultivo NFT. Agricultura. 48: 18 – 20.

- Papadopoulos, A. P.; X. Hao, J. C. Tu and J. Zheng. 1999. Tomato production in open or closed rockwool culture systems with NFT or rockwool nutrient feedings. *Acta Hort.* 481: 89-96.
- Pérez, L. 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.
- Resh, H. M. 1992. Cultivos hidropónicos. 3th edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 429 p.
- Resh, H. M. 1978. Hydroponic food production: a definitive guidebook of soilless foodgrowing methods. Santa Barbara (US): Woodbridge Press Publishing Company, 287 p.
- Ramirez, M.L.; Reynoso, M.M.; Farnocchi, M.C.; Chulze, S.; 2006. Vegetative Compatibility and mycotoxin chemotypes among *Fusarium graminearum* (*Gibberellaceae*) isolates from wheat in Argentina. *Eur. J. Plant Pathol.*, 115, 139-148.
- Rodríguez, A., A. Colombino y M. Saucedo. 1992. Comportamiento de cultivares de alfalfa (*Medicago sativa*) en pasturas consociadas con festuca alta (*Festuca arundinacea*) a distintas densidades durante el año de implantación. 1. Dinámica poblacional. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 12:39-45.
- Rodríguez, A.; Chang, M.; Hoyos, M.; Falcón, F. 2000. Manual Práctico de Hidroponía. Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral. Lima, Perú.
- Rodríguez, R. H. E.; C. Rodríguez M.; A. Flores M.; I. Sánchez E. y A. Grado A. 2003. Utilización del forraje verde hidropónico como suplemento para vacas lactantes durante la sequía. *Hidroponía. Lo más cerca del futuro:* 147-149.
- Romero, N. N. J. y L. Romero. 1995. Establecimiento de la Alfalfa en la región pampeana. En: Hijano, E. y A. Navarro (Ed.). *La Alfalfa en la Argentina*. INTA C. R. Cuyo, San Juan, Argentina. Cap. 2. p 21.
- Rossanigo, R. M. del C. Spada y O. Bruno. 1995. Evaluación de cultivares de Alfalfa y panorama varietal en la Argentina. En: Hijano, E. y A. Navarro (Ed.). *La Alfalfa en la Argentina*. INTA C. R. Cuyo, San Juan, Argentina. Cap. 4. p 63.

- Rotar, P. 2006. Hydroponic techniques sprout, healthy, inexpensive fodder (en línea). Consultado el 19 mayo. 2011. Disponible en <http://www.isar.org/pubs/ST/hydroponics47.htm>
- Sánchez, C. F. y E. Rebolledo, E. 1983. Hidroponía: Un Sistema de Producción. UACH. Chapingo Mex. 176 pp. (2a. Ed).
- Sánchez, C. F. y E. Rebolledo, E. 1988. Un sistema de producción de plantas hidroponía: principios y métodos de cultivo. 3a ed. Chapingo (MX): Universidad Autónoma Chapingo. 194 p.
- Sánchez, A. 2000. Una Experiencia de Forraje Verde Hidropónico en el Uruguay. Boletín Informativo de la Red Hidroponía N° 7. Lima, Perú.
- Sánchez, A. 1997 – 1998. Informes Técnicos de Estadía. Informes Internos de la Dirección Nacional de Empleo (DINAE –Ministerio de Trabajo y Seguridad Social) Montevideo, Uruguay.
- Scudamore, K. and Ch.Livesley. 1998. Occurrence and significance of mycotoxins in ForageCorps and silage: a review. J SciFoodAgric pp. 1-17
- Soto, F. 2006. Producción de lechuga con la técnica de lámina de nutrientes modificada (NFT) p. 38
- Valdivia, B. E. 1997. Producción de forraje verde hidropónico. Conferencia Internacional de Hidroponía Comercial. Lima, Perú. p. 59
- Viglizzo, R. F. 1993. Mapa de “Aptitud de uso de la tierra en La Pampa”. INTA-Cambio Rural La Pampa.
- Villalobos E, Marín W, Berninger F. 2001. Transporte y partición del carbón. En: Villalobos E. Fisiología de la producción de cultivos tropicales. San José, Editorial Universidad de Costa Rica, fascículo I, p. 84-119.

VII ANEXOS

Cuadro 7.1. ANOVA de acuerdo a la variable evaluada volumen de agua entrante en cada uno de los tratamientos en NFT en la producción de forraje verde hidropónico.

Fuente	GL	SC	CM	f- valor	Pr- > F
Tratamientos	2	10716.6667	5358.333	12.86	0.0181*
Repeticiones	2	1066.66667	533.3333	1.28	0.3718N
Error	4	1666.66667	416.6667		

C.V 4.042062 *=significativo**= altamente significativo NS = no significativo

Análisis efectuado para el porcentaje de contaminación en forraje verde a los seis y nueve días después de siembra.

Cuadro 7.2 .Resultados encontrados para el porcentaje de contaminación en pendientes pronunciadas en un sistema NFT

7.2 a Seis días :

Fuente	GL	SC	CM	f- valor	Pr- > F
Tratamientos	2	161.5556	80.77778	181.75	0.0001**
Repeticiones	2	0.888889	0.444444	1	0.4444NS
Error	8	1.777778	0.444444		

C.V:3.409091 *=significativo**= altamente significativo NS = no significativo

7.2 b Nueve días

Fuente	GL	SC	CM	f- valor	Pr- > F
Tratamientos	2	30.88889	15.44444	4.28	0.1015NS
Repeticiones	2	3.555556	1.777778	0.49	0.6440NS
Error	8	14.44444	3.611111		

C.V: 2.402055*=significativo**= altamente significativo NS = no significativo

Porcentaje de contaminación en diferentes materiales a los 3, 7 y 10 días después de siembra

Cuadro 7.3 ANOVA para la variable contaminación en diferentes materiales.

7.3 a Tres días después de siembra

Fuente	GL	SC	CM	f- valor	Pr- > F
Tratamientos	2	64.06666667	32.033333	3.85	0.0407NS
Repeticiones	2	74.96666667	8.3296296	1	0.4742NS
Error	4	149.9333333	8.3296296		

C.V 14.31352**altamente significativo *Significativo NS no significativo

7.3b Siete días después de siembra

Fuente	GL	SC	CM	f- valor	Pr- > F
Tratamientos	2	1520.266667	760.133333	72.37	<.0001**
Repeticiones	2	248.533333	27.614815	22.63	0.0387NS
Error	4	189.066667	10.503704		

C:V 20.34064 **altamente significativo *Significativo NS no significativo

7.3c Diez días después de siembra

Fuente	GL	SC	CM	f- valor	Pr- > F
Tratamientos	2	32333.73	10777.91	0.65	0.5950 NS
Repeticiones	2	18.8	2.0888889	1.83	0.1325NS
Error	4	20.6	1.1444444		

C:V1.101359 **altamente significativo *Significativo NS no significativo

Cuadro 7.4 Análisis de varianza para el índice de crecimiento en densidad de población
7.4 a variable TCR

Fuente	GL	SC	CM	f- valor	Pr- > F
Tratamientos	3	265181.0204	88393.6735	6.28	0.0051*
Repeticiones	4	12138.2390	0.03456	1.07	0.4147NS
Error	12	225123.7315	14070.2332		

C.V 81.64041 **altamente significativo *Significativo NS no significativo

Cuadro 7.4 b variable TAN

Fuente	GL	SC	CM	f- valor	Pr- > F
Tratamientos	3	20.6841496	6.894717	3.9	0.0372*
Repeticiones	4	19.2514111	4.812853	2.72	0.0802NS
Error	12	21.235676	1.76964		

C.V 38.73391 **altamente significativo *Significativo NS no significativo

Cuadro 7.4c variable RAF

Fuente	GL	SC	CM	f- valor	Pr- > F
Tratamientos	3	18160.7057	6053.569	2.36	0.1232NS
Repeticiones	4	1321.98905	330.4973	0.13	0.9691NS
Error	12	30822.9027	2568.575		

C.V 32.78012 **altamente significativo *Significativo NS no significativo

Cuadro 7.4 d variable RPF

Fuente	GL	SC	CM	f- valor	Pr- > F
Tratamientos	3	0.00550921	0.001836	0.6	0.6297NS
Repeticiones	4	0.01090924	0.002727	0.88	0.5019NS
Error	12	0.03698484	0.003082		

C.V 9.183384 **altamente significativo *Significativo NS no significativo

Cuadro 7.4 e variable AFE

Fuente	GL	SC	CM	f- valor	Pr- > F
Tratamientos	3	141645.993	47215.33	2.98	0.0741
Repeticiones	4	8497.8627	2124.466	0.13	0.9668
Error	12	190311.351	15859.28		

C.V 33.44047 **altamente significativo *Significativo NS no significativo

Cuadro 7.4 f variable TCR

Fuentes	GL	SC	CM	F-valor	Pr>
Tratamiento	3	0.05807507	0.019358	0.81	0.5121NS
Repetición	4	0.17190821	0.042977	1.8	0.1938NS
Error	12	0.28659282	0.023883		

C.V 23.46096 **altamente significativo *Significativo NS no significativo

Cuadro 7.4 variable TAN

Fuente	GL	SC	CM	f- valor	Pr- > F
Tratamientos	3	0.94084254	0.313614	2	0.1681 NS
Repeticiones	4	1.2717605	0.31794	2.03	0.1546 NS
Error	12	1.8830903	0.156924		

C.V 17.65830 **altamente significativo *Significativo NS no significativo

Cuadro 7.4 g variable RAF

Fuente	GL	SC	CM	f- valor	Pr- > F
Tratamientos	3	14921.4152	4973.805	2.09	0.1548NS
Repeticiones	4	2547.65392	636.9135	0.27	0.8930NS
Error	12	28536.2251	2378.019		

C.V 33.31452**altamente significativo *Significativo NS no significativo

Cuadro 7.4 h variable RPF

Fuente	GL	SC	CM	f- valor	Pr- > F
Tratamientos	3	0.00255442	0.000851	1.2	0.3503NS
Repeticiones	4	0.00205373	0.000513	0.73	0.591NS
Error	12	0.00848943	0.000707		

C.V 4.469108**altamente significativo *Significativo NS no significativo

Tiempo 3

Cuadro 7.4i variable TCR

Fuente	GL	SC	CM	f- valor	Pr- > F
Tratamientos	3	0.03388453	0.011295	0.38	0.7725NS
Repeticiones	4	0.03228275	0.008071	0.27	0.8929NS
Error	12	0.36120596	0.030101		

C. V 16.76699 **altamente significativo *Significativo NS no significativo

Cuadro 7.4 j la variable TAN

Fuente	GL	SC	CM	f- valor	Pr- > F
Tratamientos	3	0.02303759	0.007679	0.15	0.9261NS
Repeticiones	4	0.17981912	0.044955	0.89	0.4981NS
Error	12	0.60469528	0.050391		

C.V 13.19779 **altamente significativo *Significativo NS no significativo

Cuadro 7.4k variable RAF

Fuente	GL	SC	CM	f- valor	Pr- > F
Tratamientos	3	9674.16461	3224.722	4.78	0.0204*
Repeticiones	4	526.792562	131.6981	0.2	0.9361NS
Error	12	8088.97907	674.0816		

C.V 23.02684 **altamente significativo *Significativo NS no significativo

Cuadro 7.4l variable RPF

Fuente	GL	SC	CM	f- valor	Pr- > F
Tratamientos	3	0.00226742	0.000756	1.5	0.2642NS
Repeticiones	4	0.00029167	7.29054	0.14	0.9618NS
Error	12	0.00604036	0.000503		

C.V 3.767334**altamente significativo *Significativo NS no significativo

Cuadro 7.4m variable AFE

Fuente	GL	SC	CM	f- valor	Pr- > F
Tratamientos	3	93093.6185	31031.21	4.68	0.0218*
Repeticiones	4	8469.11778	2117.279	0.32	0.8595NS
Error	12	79510.4111	6625.868		

C.V 27.16988**altamente significativo *Significativo NS no significativo

Análisis para índice de crecimiento en Alfalfa en interacciones con solución nutritiva , densidad de población y sombreado

Cuadro 7.5a Índice de crecimiento en Alfalfa Hidropónica en el primer muestreo después de siembra

Fuente	TCR	TAN	RAF	RPF	AFE
SN	0.0001**	0.0015**	0.0009**	0.1434Ns	0.1138NS
DP	0.0148NS	0.0008**	<.0001**	<.0001**	<.0001**
SOM	<.0001**	0.4410NS	<.0001**	<.0001**	<.0001**
SN*DP*SOM	<.0001**	<.0001**	<.0001**	<.0001**	<.0001**
SN*DP	<.0001**	0.0039**	0.1428 NS	0.1188 NS	0.1253NS
SN*SOM	0.0339NS	0.0061**	0.0033**	0.0820NS	0.0336 NS

Cuadro 7.5b análisis de varianza sobre parámetros de crecimiento.

Fuente	Materia seca	Area foliar
SN	0.0756NS	1.0000 NS
DP	<.0001**	<.0001**
SOM	<.0001**	0.0001**
SN*DP*SOM	<.0001**	<.0001**
SN*DP	0.056 NS	<.0001**
SN*SOM	0.06360 NS	0.009**

2do muestreo

Cuadro 7.5c Análisis de varianza para índice de crecimiento en Alfalfa Hidropónica en el segundo muestreo después de siembra

Fuente	TCR	TAN	RAF	RPF	AFE
SN	0.0011**	0.1312 NS	0.0056**	0.8591 NS	0.3925NS
DP	<.0001**	0.4877 NS	<.0001**	0.0129**	0.6237 NS
SOM	<.0001**	0.0001**	<.0001**	<.0001**	<.0001**
SN*DP*SOM	<.0001**	<.0001**	<.0001**	<.0001**	<.0001**
SN*DP	0.0236**	0.0002**	0.0658 NS	<.0001**	<.0001**
SN*SOM	0.0339NS	0.0061**	0.0033**	0.0820NS	0.0336 NS

Cuadro 7.5análisis de varianza en Parámetros de crecimiento

Fuente	Materia seca	Area foliar
SN	0.0490 NS	<.0001 **
DP	0.0830 NS	<.0001**
SOM	<.0001**	<.0001 **
SN*DP*SOM	<.0001**	<.0001**
SN*DP	0.0436 NS	<.0001 **
SN*SOM	0.0460 NS	0.0009 **

Tercer muestreo

Cuadro 7.5e Análisis de varianza para índice de crecimiento en Alfalfa Hidropónica en el tercer muestreo después de siembra

Fuente	TCR	TAN	RAF	RPF	AFE
SN	<.0001**	<.0001**	<.0001**	<.0001**	0.2089 NS
DP	<.0001**	<.0001**	<.0001**	<.0001**	0.0002 **
SOM	<.0001 **	<.0001 **	<.0001**	<.0001**	0.4433 NS
SN*DP*SOM	<.0001**	<.0001**	<.0001**	<.0001**	<.0001**
SN*DP	0.2463 NS	<.0001 **	0.0041 **	<.0001**	0.0102 **
SN*SOM	0.3071 NS	<.0001 **	0.5179 NS	0.0001 **	0.3999 NS

Cuadro 7.5fanálisis de varianza para Parámetros de crecimiento al tercer muestreo

Fuente	Materiaseca	Area foliar
SN	0.0191 NS	<.0001 **
DP	<.0001 **	<.0001**
SOM	<.0001**	<.0001 **
SN*DP*SOM	<.0001**	<.0001**
SN*DP	0.0134 **	0.0007 **
SN*SOM	0.0583 NS	0.0199 NS

Índices de crecimiento en densidades de población

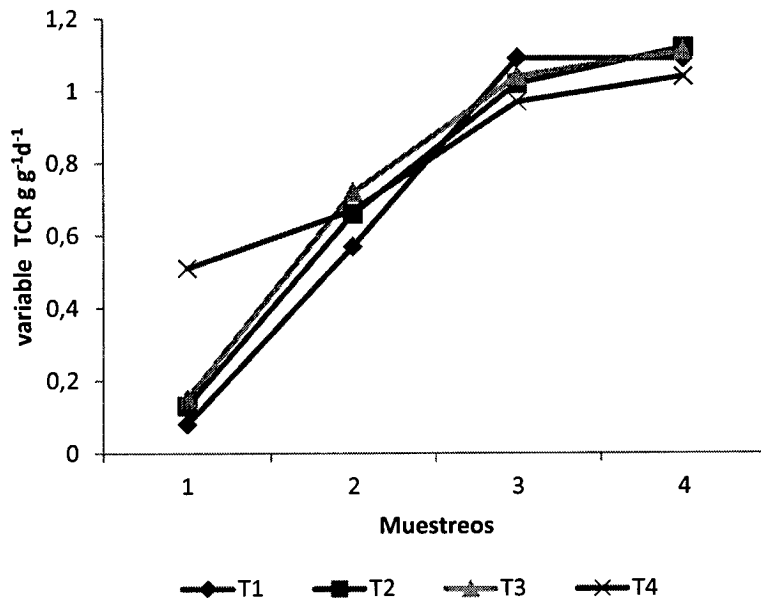


Figura 4.4 comportamiento de la variable TCR de la Alfalfa a diferentes densidades de población. D1: densidad 2x2 D2: densidad 2.5x2.5 D3: densidad 3x3 D4: densidad 4x4

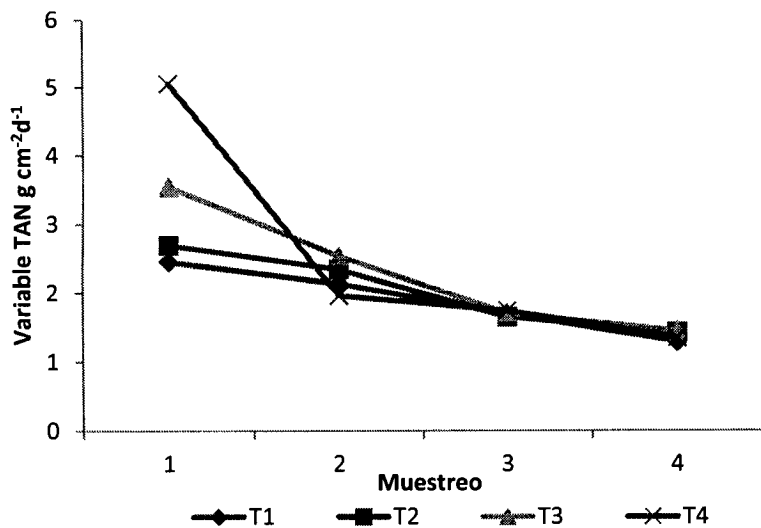


Figura 4.5 comportamiento de la variable TAN de la Alfalfa a diferentes densidades de población. D1: densidad 2x2 D2: densidad 2.5x2.5 D3: densidad 3x3 D4: densidad 4x4

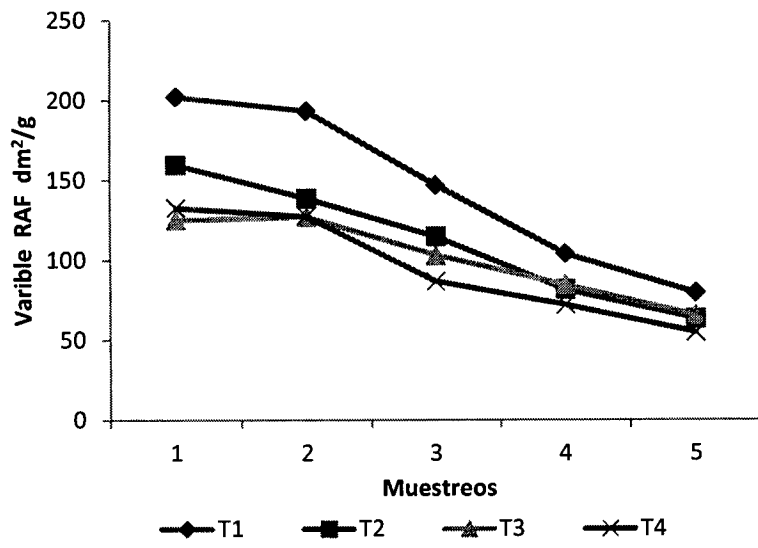


Figura 4.4 comportamiento de la variable RAF de la Alfalfa a diferentes densidades de población. D1: densidad 2x2 D2: densidad 2.5x2.5 D3: densidad 3x3 D4: densidad 4x4

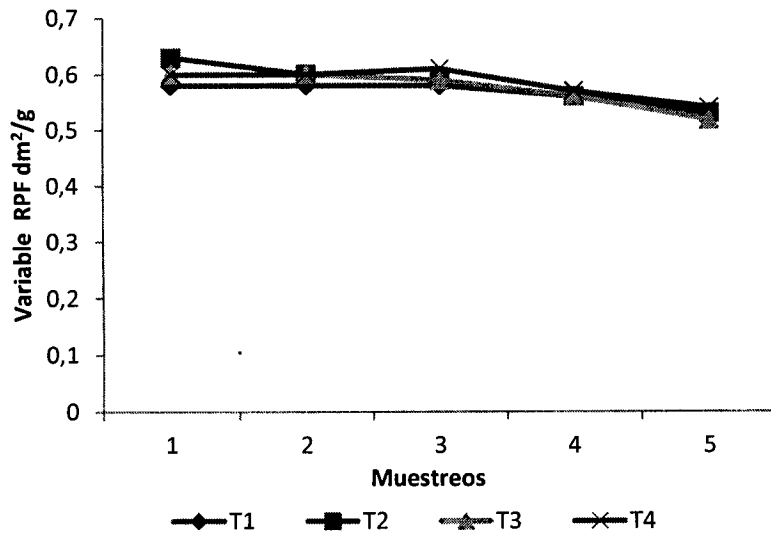


Figura 4.5 comportamiento de la variable RPF de la Alfalfa a diferentes densidades de población. D1: densidad 2x2 D2: densidad 2.5x2.5 D3: densidad 3x3 D4: densidad 4x4

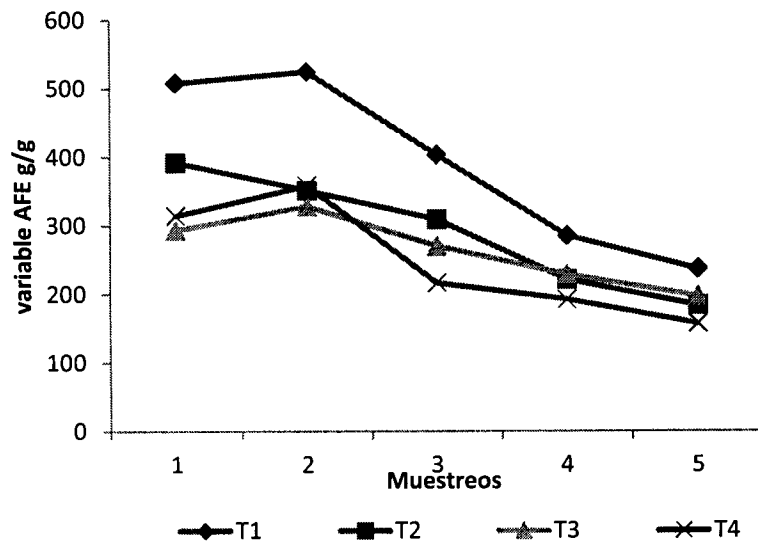


Figura 4.5 comportamiento de la variable AFE de la Alfalfa a diferentes densidades de población. D1: densidad 2x2 D2: densidad 2.5x2.5 D3: densidad 3x3 D4: densidad 4x4

Índices de crecimiento en niveles de nutrición.

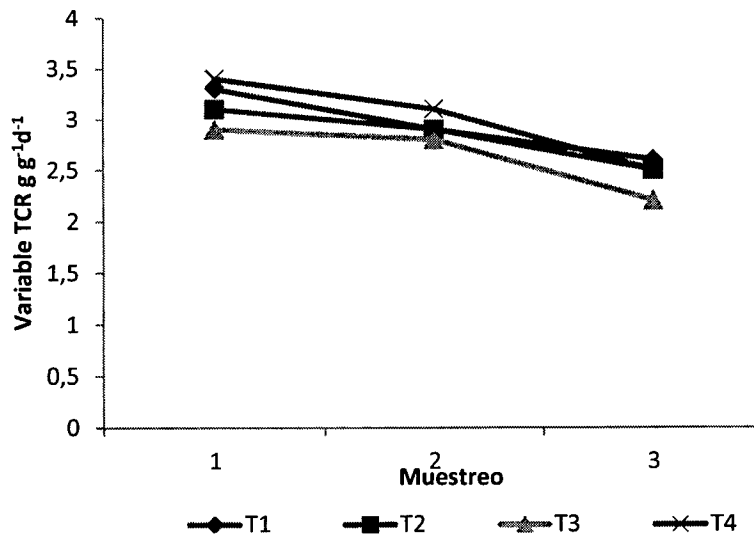
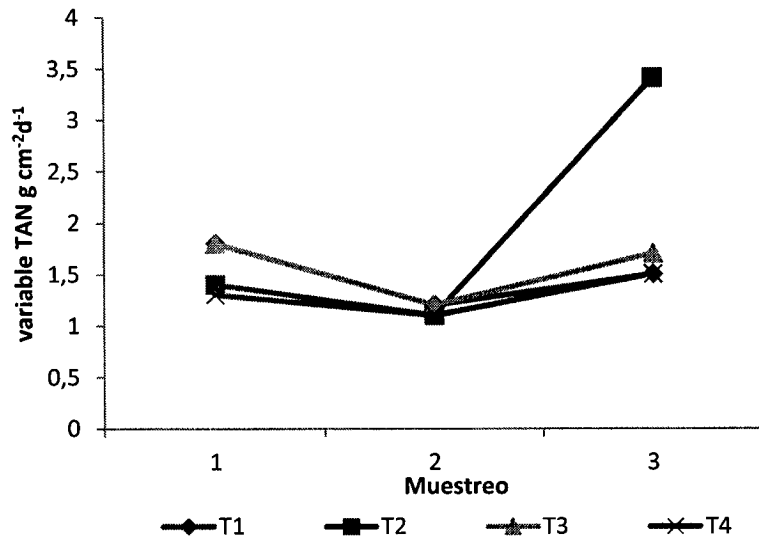


Figura 4.9 comportamiento de la variable TCR de la Alfalfa a diferentes niveles de nutrición. T1: 100% T2: 50% T3: 25% T4: 0%



4.10 comportamiento de la variable TAN de la Alfalfa a diferentes niveles de nutrición. T1: 100% T2: 50% T3:25% T4: 0%

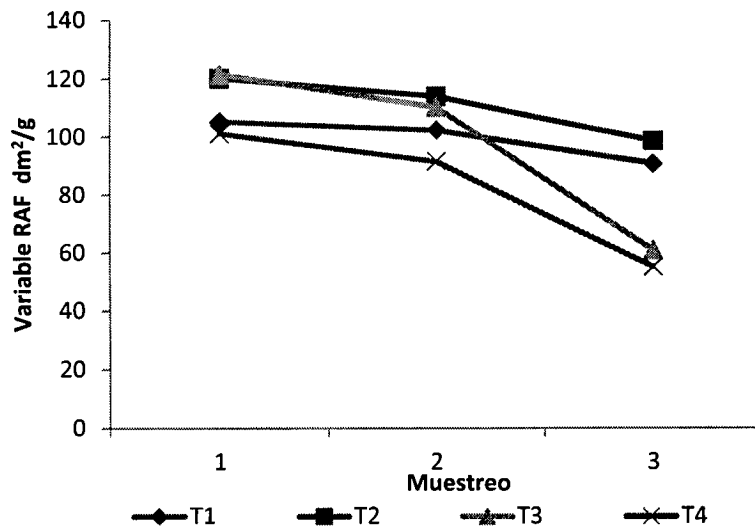


Figura 4.11 comportamiento de la variable RAF de la Alfalfa a diferentes diferentesniveles de nutrición. T1: 100% T2: 50% T3:25% T4: 0%

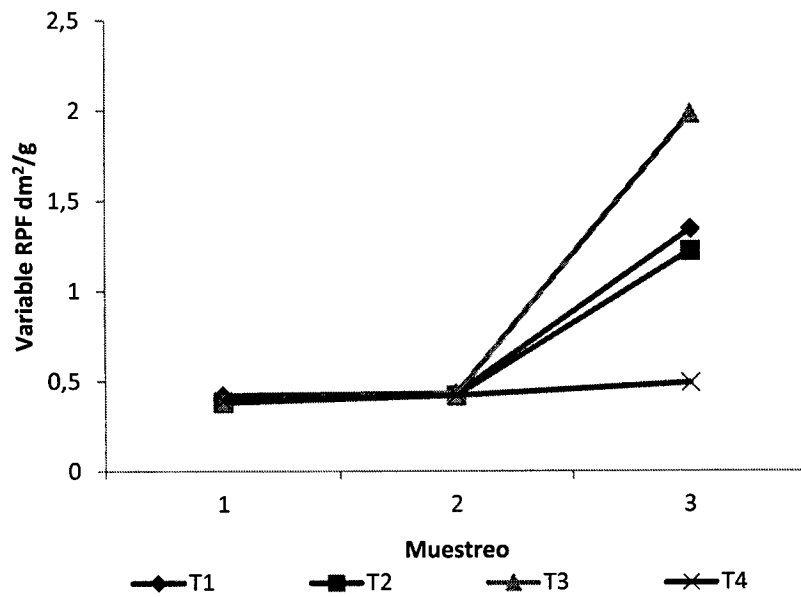


Figura 4.12 comportamiento de la variable RPF de la Alfalfa a diferentes niveles de nutrición. T1: 100% T2: 50% T3:25% T4: 0%

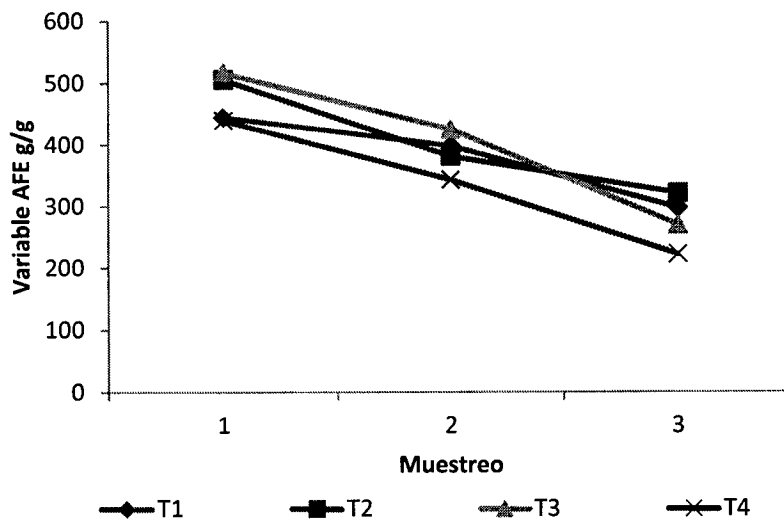


Figura 4.13 Comportamiento de la variable AFE de la Alfalfa a diferentes niveles de nutrición. T1: 100% T2: 50% T3:25% T4: 0%

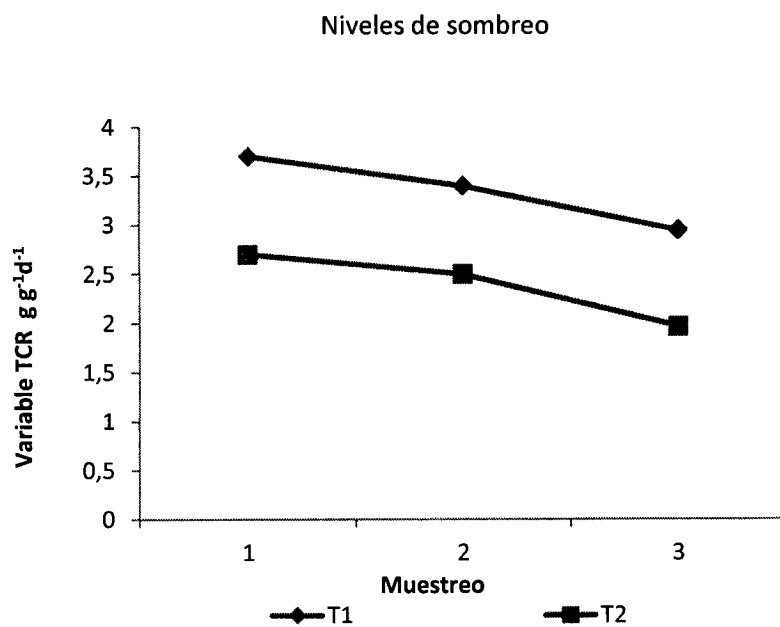


Figura 4.14 comportamiento de la variable TCR de la Alfalfa a diferentes niveles de sombreo T1: 70% T2: 30%

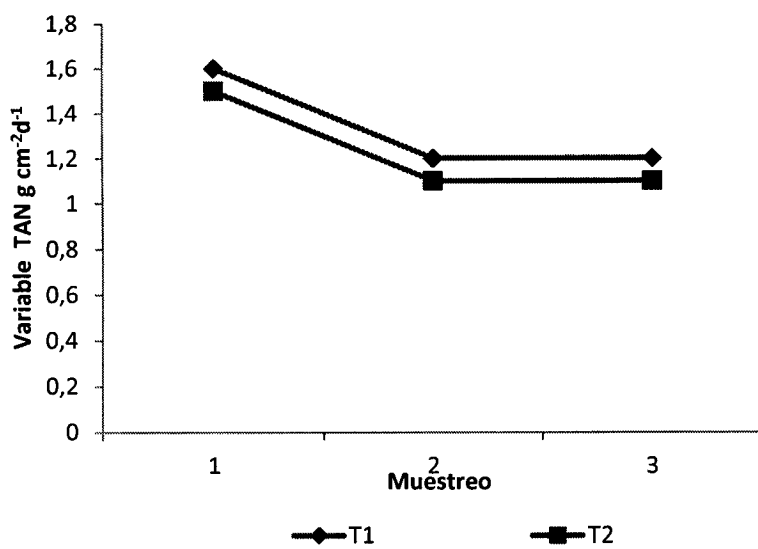


Figura 4.15 comportamiento de la variable TAN de la Alfalfa a diferentes niveles de sombreo T1: 70% T2: 30%

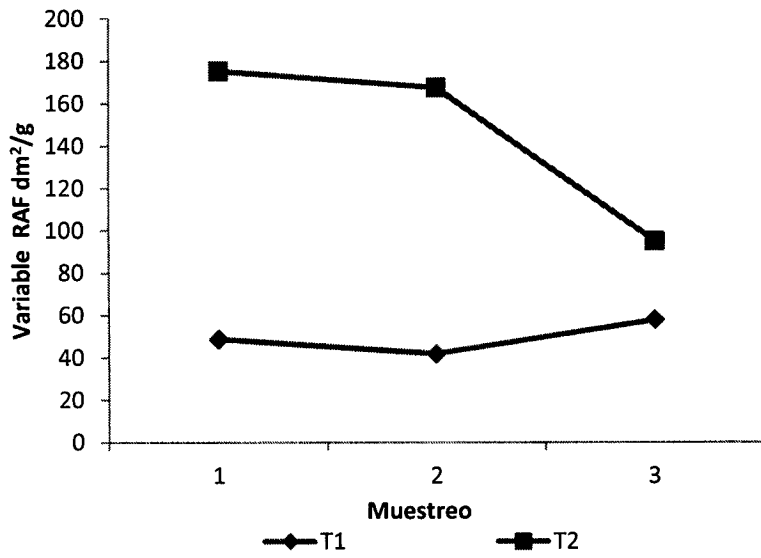


Figura 4.16 comportamiento de la variable RAF de la Alfalfa a diferentes niveles de sombreo T1: 70% T2: 30%

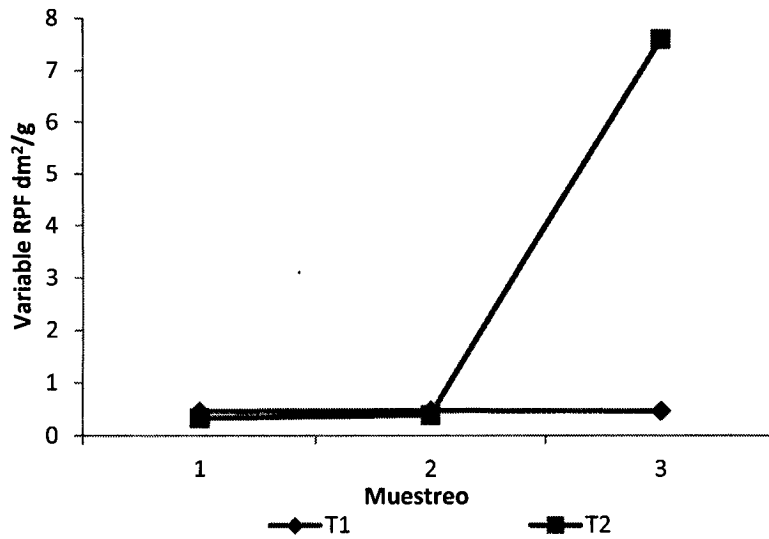


Figura 4.17 comportamiento de la variable RPF de la Alfalfa a diferentes niveles de sombreo T1: 70% T2: 30%

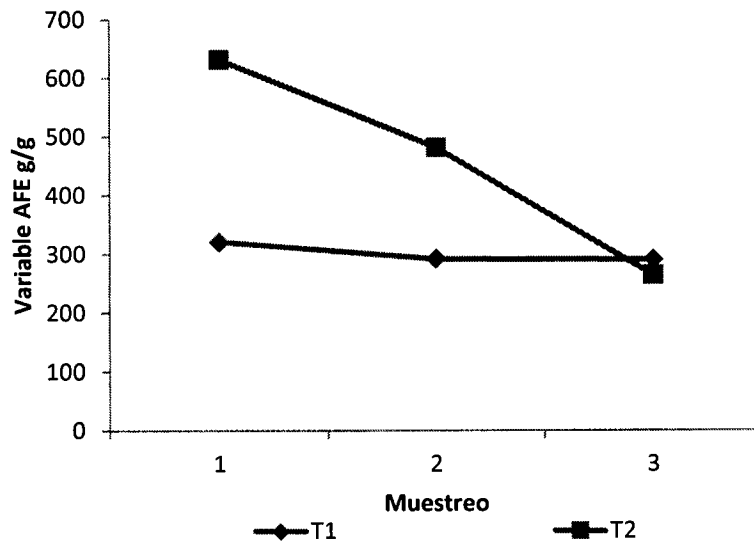
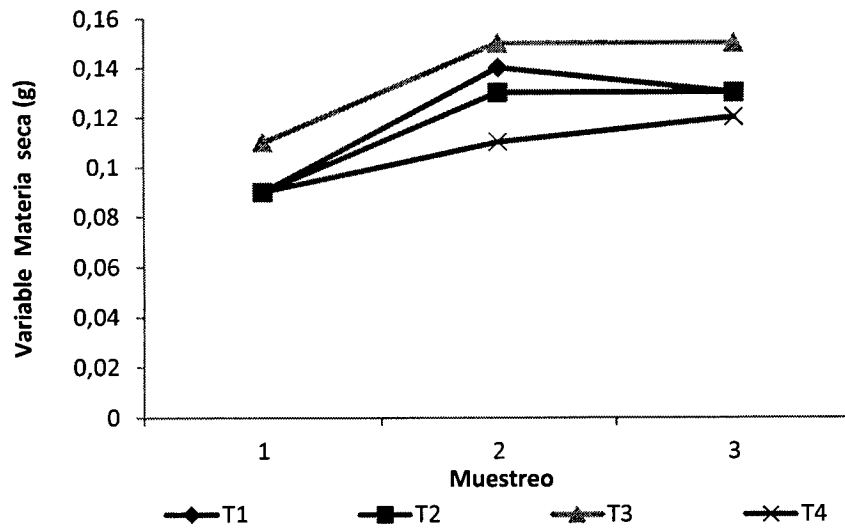
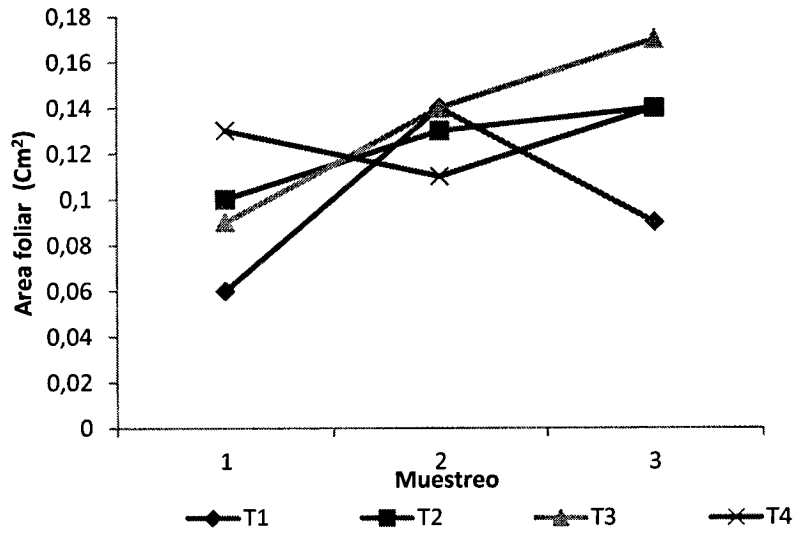


Figura 4.18 comportamiento de la variable AFE de la Alfalfa a diferentes niveles de sombreo T1: 70% T2: 30%

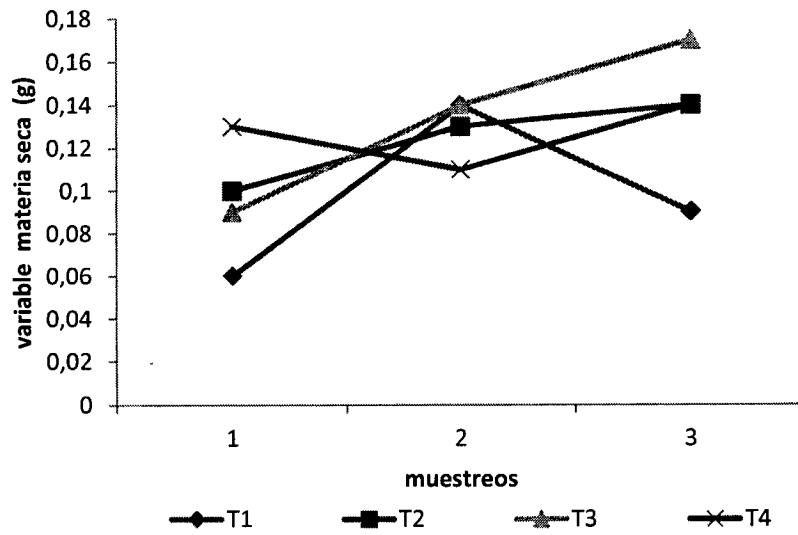
Parámetros de crecimiento



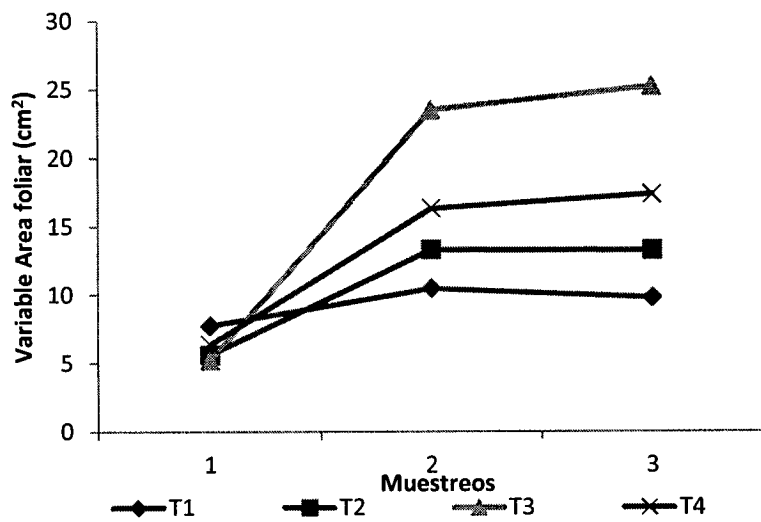
4.19 Comportamiento de la variable materia seca con diferentes niveles de solución nutritiva



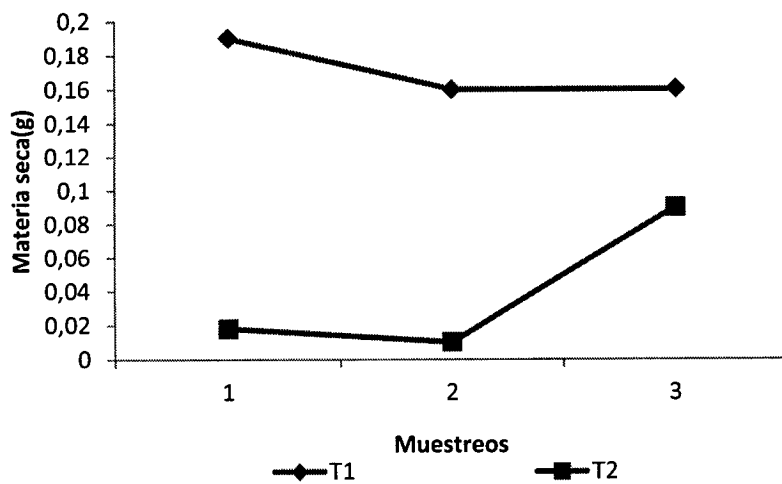
4.20 Comportamiento de la variable Área foliar con diferentes niveles de solución nutritiva



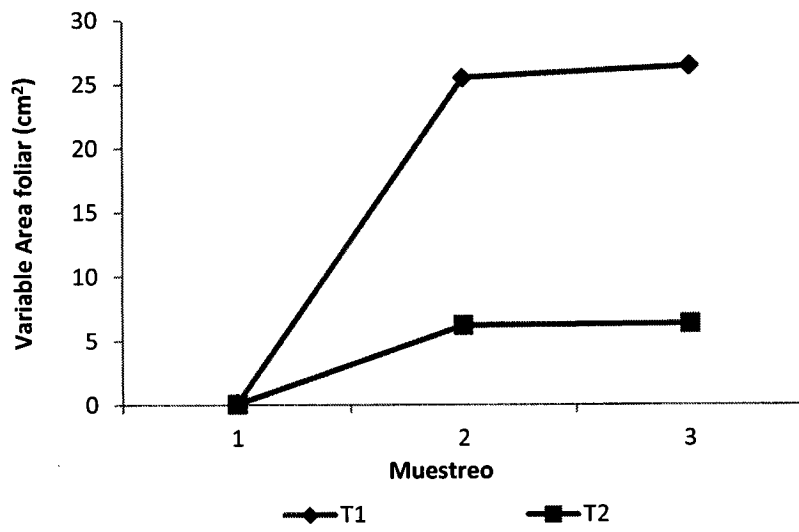
4.21 Comportamiento de la variable materia secaa diferentes densidades de población.



4.22 Comportamiento de la variable Área foliar a diferentes densidades de población.



4.23 Comportamiento de la variable materia seca a diferentes niveles de sombreo



4.24 Comportamiento de la variable área foliar a diferentes niveles de sombreado