



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO**

**INSTITUTO DE HORTICULTURA  
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA**

**PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO**

**T E S I S**

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN  
HORTICULTURA**

**P R E S E N T A:**

**MARTHA ESTHER TOVAR ESTRADA**



**DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA  
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES  
VICERÍA DE EDUCACIÓN PROFESIONAL**

**CHAPINGO, MÉXICO.  
Junio de 2014**

## PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPONICO.

Tesis realizada por **Martha Esther Tovar Estrada** bajo la dirección del Dr. Esaú del C. Moreno Pérez, aprobada por el Comité Asesor indicado y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

### MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

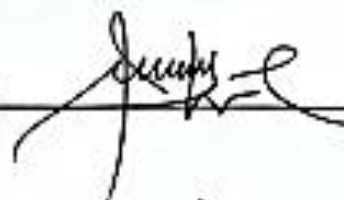
DIRECTOR: Dr. Esaú del C. Moreno Pérez:



ASESOR: Dr. Felipe Sánchez Del Castillo:



ASESOR: Dr. Efraín Contreras Magaña:



ASESOR: Dra. Lucila González Molina:



## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por darme la oportunidad de vivir esta experiencia, y por brindarme fuerza y decisión para lograr una meta tan importante en mi vida.

A la Universidad Autónoma de Chapingo, Instituto de Horticultura y Departamento de Fitotecnia, por la oportunidad y el apoyo brindado para realizar mis estudios de postgrado.

Al consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico recibido durante todo el proceso del posgrado, de este modo pude lograr un objetivo más en mi vida.

A mi comité por el apoyo y sugerencias para enriquecer este trabajo y compartirme sus conocimientos.

Dr. Esaú del C. Moreno Pérez

Dr. Felipe Sánchez Del Castillo

Dr. Efraín Contreras Magaña

Dra. Lucila González Molina

A la dirección del postgrado de Horticultura, por el apoyo que me brindo para poder realizar mi trabajo y poder hacer posible el finalizar mis objetivos.

Al INIFAP Campo experimental Valle de México por el apoyo brindado al proporcionar parte de la semilla utilizada en la investigación.

A mis profesores de la maestría, Dr. Gustavo Almaguer, Dra. Swettia Ramírez, Dr. Jaime Sahagún, Dr. Rogelio Castro, Dr. Alejandro Barrientos, Dr. Enrique R., Dra. Ana María Castillo, Dra. Teresa Colinas, Dr. Héctor Lozoya, Dr. Teresa Martínez, por su paciencia y apoyo, así como brindarme

sus consejos y conocimientos y prepararme con el fin de darme la herramientas necesarias para ser una mejor persona y profesionista.

A mis amigos y compañeros, ahora colegas que seguirán triunfando en su vida, ya que son excelentes personas y amigos, José Luis, Sandra Luz, Estela, Aldo, Alma, Evelia, Patricia, Lupita, Carlos, Miguel, Pablo, Omar y Alejandro.

A todas aquellas personas que me apoyaron de alguna forma para la realización de mi trabajo y mi formación académica.

## **DEDICATORIAS**

A Dios por darme la vida y el valor para luchar por mis sueños.

A mi madre Celia Estrada Medina, quien además de darme la vida me ha dado amor, apoyo incondicional y un excelente ejemplo en la vida, me diste la mejor herencia mamá, no tengo palabras para agradecerte, me enseñaste a ser mejor persona y a saber que no importa lo difícil que sea, siempre se puede lograr con esfuerzo y amor, Te amo.

A mi padre Jesús Tovar Moreno (†) que me diste la vida, y aunque ya no estés con nosotros siempre has sido parte de mí.

A mis hermanos Belem, Lorena, Celia, Jesús, Ambrosio, quienes me han apoyado y han confiado en mí, son excelentes hermanos, los amo y a sus esposas y esposos quienes de alguna manera han colaborado para formar una enorme y hermosa familia Tovar Estrada.

A mis sobrinos Atziri, Víctor, borreguito, Mariana, sarita, Ivan, Joseline, Jesús, Getse, Bochito, a quienes adoro con todo el corazón y espero que sus vidas sean exitosas, ojalá que mi logro los motive a superarse siempre.

A mi esposo Bernardo Hernández Martínez a quien amo con todo el corazón y que estoy orgullosa de él, por ser una persona inigualable y luchadora, tu me das la fuerza, amor y confianza para seguir adelante, me haces tan feliz y me has dado el regalo más hermoso del mundo, y a Diana Fernanda Hernández Valtierra quien me recibió con los brazos abiertos y tiene un enorme corazón, agradezco que seas parte de mi vida ahora.

A la familia Hernández Martínez, mi suegra Margarita, mis cuñados Felipe, Pablo, Macario, Gaspar, Cristina y sus esposas (o) quienes han brindado a mi nueva familia su apoyo en momentos difíciles, que dios los bendiga.

A mis amigos incondicionales, Diana, Sol, Sara, Gustavo, Paco, Puente, Esteban, Sandy, Estela, José Luis, Aldo, Sergio, quienes siempre han estado con migo en los momentos más difíciles y sé que puedo confiar en ellos siempre.

Que Dios los bendiga a todos.

## **DATOS BIOGRÁFICOS.**



La ingeniero Martha Esther Tovar Estrada, nació en la ciudad de Jaral del progreso, Guanajuato, México, el 19 de mayo de 1989. Realizó sus estudios de educación básica en la ciudad de Jaral de progreso, Guanajuato. En el periodo del 2003 al 2006 curso la carrera técnica de Análisis y Tecnología de los alimentos, en el Centro de Estudios Tecnológicos, Industriales y de Servicios no. 160, al finalizar participó en el programa de calidad de agua del SMAPAJ, durante un periodo de 6 meses, posteriormente, en el año 2006 ingresó a la Universidad Politécnica de Guanajuato, campus Cortázar; terminó su programa en diciembre de 2009 y obtuvo el grado de Lic. en Ingeniería Agroindustrial en marzo de 2010; durante su estancia participó en la planeación de una línea de producción en la empresa MABE refrigeradores, ubicada en Celaya, Guanajuato, en el 2009, impartió el curso titulado “RE-USO DE MATERIAL DE DESECHO” en la Universidad Politécnica de Guanajuato, el último año de la carrera brindó sus servicios al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias

(INIFAP), campo experimental Bajío, en el área de Biotecnología agrícola del laboratorio de cultivo de tejidos, donde trabajo durante año y medio, realizando técnicas de análisis moleculares (PCR y PCR.Q). Subsiguientemente laboró como docente de asignatura a nivel bachillerato en el CECYTEG, San Juan de la Vega, Celaya, Guanajuato, durante un periodo semestral. Posterior a esto realizó estudios de posgrado de Maestría en Ciencias en Horticultura de la Universidad Autónoma Chapingo, perteneciente al Departamento de Fitotecnia, del año 2012 a 2014.

# PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO.

## PRODUCTION OF HYDROPONIC GREEN FODDER.

Martha Esther Tovar Estrada<sup>1</sup> y Esaú del Carmen Moreno Pérez<sup>2</sup>.

### RESUMEN

En México alrededor de 100 millones de hectáreas se ubican en zonas áridas o semiáridas en donde difícilmente se puede practicar una agricultura y ganadería convencional. Como consecuencia hay en el país carencia de forraje para la alimentación animal, por lo que se han dado importantes pérdidas de ganado y de animales menores. Por ello el objetivo de este estudio fue contribuir en el desarrollo de un paquete tecnológico de producción de forraje verde hidropónico en trigo (*Triticum aestivum* L.) y cebada (*Hordeum vulgare* L.). Se evaluaron diferentes métodos de desinfección de semilla a base hipoclorito de sodio, hidróxido de calcio, peróxido de hidrógeno y sales cuaternarias de amonio de cuarta generación, además de dos sistemas de riego (por inundación y microaspersión), tres densidades de siembra (3.5, 4.5 y 5.5 kg·m<sup>-2</sup> en trigo y 2.5, 3.5 y 4.5 kg·m<sup>-2</sup> en cebada) y tres concentraciones de soluciones nutritivas (0, 50 y 100 %). La solución completa contenía en mg·L<sup>-1</sup> (ppm) lo siguiente: N=200, P=50, K=240, Ca=290, Mg=50, S=180, Fe=3, Mn=1, B=0.5, Zn=0.2, Cu =0.1. Se midieron variables del crecimiento, contaminación, rendimiento y calidad nutricional del forraje. En cada experimento se usó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. Los datos de cada variable fueron sometidos a análisis de varianza y comparaciones de medias de Tukey (P= 0.05). Se encontró que el mejor tratamiento de desinfección de semilla para ambas especies fue la aplicación de Cal al 1 % durante 3 horas. El mejor sistema de riego fue por inundación. La mejor densidad de siembra en trigo fue 4.5 kg·m<sup>-2</sup> con un rendimiento de 27 kg·m<sup>-2</sup> y para cebada 3.5 kg·m<sup>-2</sup>, ( 21 kg·m<sup>-2</sup>), con una relación de conversión de Kg de forraje producido por Kg de semilla sembrada de 6:1 en trigo y 5:1 en cebada. Con la solución nutritiva al 100 % se incrementó tanto el rendimiento (34 kg·m<sup>-2</sup> en trigo y 31 kg·m<sup>-2</sup> en cebada) como la calidad del forraje en comparación con el forraje irrigado sin solución nutritiva, alcanzándose una acumulación de materia seca del orden del 11 % y contenido de proteína cruda por arriba del 20 % en ambas especies

**Palabras clave:** sistema de riego, métodos de desinfección, densidad de siembra, soluciones nutritivas.

### ABSTRACT

In Mexico about 100 million hectares are located in arid or semiarid areas where it may be hard to practice conventional agriculture and livestock. Consequently there is a lack of fodder for animal feed in the country, so there have been significant losses of livestock and small animals. Therefore the aim of this study was to contribute to the development of a technology package of hydroponic green fodder production in wheat (*Triticum aestivum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.). Different methods of seed disinfection based on sodium hypochlorite, calcium hydroxide, hydrogen peroxide and quaternary ammonium fourth generation salts, in addition to two irrigation systems (for flooding and microaspersion), three densities (3.5, 4.5 and 5.5 kg·m<sup>-2</sup> in wheat and 2.5, 3.5 and 4.5 kg·m<sup>-2</sup> in barley) and three concentrations of nutrient solutions (0, 50 and 100 %) were evaluated. The complete solution contained in mg·L<sup>-1</sup> (ppm) as follows: N=200, P=50, K=240, Ca=290, Mg=50, S=180, Fe=3, Mn=1, B=0.5, Zn=0.2, Cu =0.1.. Variables of growth, pollution, yield and nutritional quality of green fodder were measured. In each experiment an experimental design of randomized complete blocks with three replicates was used. Data for each variable were subject to variance analysis and Tukey comparisons (P = 0.05). It was found that the best seed disinfection treatment for both species was the application of Cal 1 % for 3 hours. Flooding was the best irrigation system. The best planting density in wheat was 4.5 kg·m<sup>-2</sup> with a yield of 27 kg·m<sup>-2</sup> and for barley 3.5 kg·m<sup>-2</sup> with 21 kg·m<sup>-2</sup>, with a conversion of Kg of fodder produced per kg of seed sown in wheat 6:1 and 5:1 in barley. With 100 % nutrient solution increased both the yield (34 kg·m<sup>-2</sup> in wheat and 31 kg·m<sup>-2</sup> in barley) as forage quality compared with irrigated forage without nutrient solution, reaching an accumulation of dry matter of the 11 % order and crude protein content above 20 % in both species.

**Key words:** irrigation system, disinfection methods, planting density, nutrient solutions..

## ÍNDICE GENERAL

|                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ÍNDICE DE CUADROS .....                                                          | xii |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....                                                          | xvi |
| I. INTRODUCCIÓN .....                                                            | 1   |
| 1.1. OBJETIVO GENERAL .....                                                      | 3   |
| 1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                                                 | 3   |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA .....                                                 | 4   |
| 2.1. Problemática de producción de alimento para ganado .....                    | 4   |
| 2.2. Producción de Forraje Verde Hidropónico .....                               | 5   |
| 2.2.1. Sistema de producción de Forraje Verde Hidropónico .....                  | 9   |
| 2.2.2. Factores que influyen en la producción de Forraje Verde Hidropónico ..... | 12  |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS .....                                                  | 17  |
| 3.1. Experimento 1: Tratamientos de desinfección de semilla .....                | 17  |
| 3.2. Experimento 2: Desinfección de semilla y sistema de riego .....             | 23  |
| 3.3. Experimento 3: Densidad de siembra .....                                    | 30  |
| 3.4. Experimento 4: Concentración de la solución nutritiva .....                 | 30  |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....                                                 | 33  |
| 4.1 Resultados en trigo .....                                                    | 33  |
| 4.4.1 Experimento 1: Tratamientos de desinfección de semilla .....               | 33  |
| 4.1.2. Experimento 2: Desinfección de semilla y sistema de riego .....           | 39  |

|        |                                                                |    |
|--------|----------------------------------------------------------------|----|
| 4.1.3. | Experimento 3: Densidad de Siembra.....                        | 42 |
| 4.1.4. | Experimento 4. Concentración de la solución nutritiva.....     | 45 |
| 4.2    | Resultados en cebada.....                                      | 49 |
| 4.2.1  | Experimento 1. Tratamientos de desinfección de semilla .....   | 49 |
| 4.2.2  | Experimento 2. Desinfección de semilla y sistema de riego..... | 54 |
| 4.2.3  | Experimento 3. Densidad de siembra .....                       | 57 |
| 4.2.4  | Experimento 4. Concentración de la solución nutritiva.....     | 60 |
| 4.3    | Identificación de hongos .....                                 | 64 |
| V.     | CONCLUSIONES.....                                              | 67 |
| VI.    | LITERATURA CITADA.....                                         | 68 |

## ÍNDICE DE CUADROS

|                                                                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Cuadro 1. Valor nutricional del grano de avena y de Forraje Verde Hidropónico de avena a los 10 cm de altura y 13 días de crecimiento.....                           | 7  |
| Cuadro 2. Gasto de agua para la producción de forraje en condiciones de campo.....                                                                                   | 8  |
| Cuadro 3. Solución nutritiva propuesta por Sánchez y Escalante (1988).....                                                                                           | 11 |
| Cuadro 4. Mohos toxigénicos y micotoxinas en frutas, hortalizas, productos de granja y granos .....                                                                  | 16 |
| Cuadro 5. Análisis de varianza del número de plantas contaminadas y germinadas en trigo bajo distintos tratamientos de desinfección de semilla..                     | 34 |
| Cuadro 6. Comparación de medias del número de semillas de trigo germinadas y contaminadas en los diferentes tratamientos de desinfección con cloro.....              | 35 |
| Cuadro 7. Comparación de medias del número de semillas de trigo germinadas y contaminadas en los diferentes tratamientos de desinfección con cal.....                | 36 |
| Cuadro 8. Comparación de medias del número de semillas de trigo germinadas y contaminadas con diferentes tratamientos de desinfección con peróxido de hidrógeno..... | 37 |

|                                                                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Cuadro 9. Comparación de medias del número de semillas de trigo germinadas y contaminadas en los diferentes tratamientos de desinfección con sales cuaternarias..... | 38 |
| Cuadro 10. Análisis de varianza para diferentes variables en trigo para forraje hidropónico bajo diferentes métodos de desinfección y sistemas de riego.....         | 39 |
| Cuadro 11. Comparación de medias para las variables de índice de contaminación y altura de planta en trigo bajo diferentes tratamientos de desinfección.....         | 40 |
| Cuadro 12. Comparación de medias para índice de contaminación en trigo en dos sistemas de riego.....                                                                 | 41 |
| Cuadro 13. Análisis de varianza para las variables indicadas en trigo para forraje hidropónico cultivado en tres densidades de siembra.....                          | 42 |
| Cuadro 14. Comparación de medias para diferentes variables en trigo para forraje hidropónico cultivado en tres densidades de siembra.....                            | 43 |
| Cuadro 15. Análisis de varianza para las variables evaluadas en las diferentes concentraciones de solución nutritiva.....                                            | 45 |
| Cuadro 16. Comparación de medias de variables evaluadas en trigo para diferentes concentraciones de solución nutritiva.....                                          | 46 |

|                                                                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Cuadro 17. Análisis de varianza para las variables en cebada para forraje hidropónico de los tratamientos de desinfección. ....                                            | 50 |
| Cuadro 18. Comparación de medias del número de semillas de cebada germinadas y contaminadas en los diferentes tratamientos de desinfección con cloro .....                 | 51 |
| Cuadro 19. Comparación de medias del número de semillas de cebada germinadas y contaminadas en los diferentes tratamientos de desinfección con cal .....                   | 52 |
| Cuadro 20. Comparación de medias del número de semillas de cebada germinadas y contaminadas en los diferentes tratamientos de desinfección con peróxido de hidrógeno ..... | 53 |
| Cuadro 21. Comparación de medias del número de semillas de cebada germinadas y contaminadas en los diferentes tratamientos de desinfección con sales cuaternarias .....    | 54 |
| Cuadro 22. Análisis de varianza para diferentes variables en cebada para forraje hidropónico bajo diferentes métodos de desinfección y sistemas de riego.                  | 55 |

|                                                                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Cuadro 23. Comparación de medias del índice de contaminación y altura de planta en cebada bajo diferentes tratamientos de desinfección en cebada ..... | 55 |
| Cuadro 24. Análisis de varianza para las variables en cebada para forraje hidropónico cultivado en tres densidades de siembra .....                    | 57 |
| Cuadro 25. Comparación de medias de las variables en cebada para forraje hidropónico cultivado en tres densidades de siembra. ....                     | 58 |
| Cuadro 26. Análisis de varianza para las variables evaluadas en las diferentes concentraciones de solución nutritiva .....                             | 60 |
| Cuadro 27. Comparación de medias para las variables evaluadas en cebada para diferentes concentraciones de solución nutritiva .....                    | 61 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Tratamientos previos de desinfección        | 18 |
| Figura 2. Proceso de desinfección de semilla          | 24 |
| Figura 3. Estante para la evaluación                  | 25 |
| Figura 4. Sistema de riego por microaspersión         | 26 |
| Figura 5. Sistema de riego por inundación             | 26 |
| Figura 6. Escala de contaminación                     | 27 |
| Figura 7. Escala de eficiencia de riego               | 28 |
| Figura 8. Procedimiento de identificación de micelios | 29 |
| Figura 9 Micelio <i>Alternaria alternata</i>          | 64 |
| Figura 10 Morfología de <i>Alternaria alternata</i>   | 65 |
| Figura 11 Micelio <i>Rhizopus</i> spp                 | 65 |
| Figura 12 Morfología de <i>Rhizopus</i> spp           | 66 |

## **I. INTRODUCCIÓN**

Las zonas áridas del país han sido consideradas como áreas marginales para el desarrollo del sector agropecuario; las razones principales para esta consideración son la escasez permanente de lluvia, alta evaporación, así como suelos y aguas de riego de baja calidad. A pesar de estas limitaciones, la creciente demanda de productos agropecuarios ha ocasionado que tanto la agricultura como la ganadería hayan sido introducidas en estas zonas, las cuales son muy susceptibles a la degradación y en donde es difícil obtener altos rendimientos de manera sostenible para intentar satisfacer las necesidades (Cassman, 1999; Young, 1999).

Como consecuencia de un déficit alimentario o falta de forraje, henos, ensilajes o granos se han presentado importantes pérdidas de ganado y de animales menores. Según las estadísticas de CNC (2011); los estados principalmente afectados son: Guanajuato, Chihuahua, Zacatecas, Durango, Sinaloa, Coahuila, San Luis Potosí, Tamaulipas y Jalisco, en los que además se han perdido cosechas de "maíz, frijol, sorgo y trigo, ocasionando que alrededor de 12 millones de cabezas ganado, 35 % del hato nacional, se hayan muerto por la falta de agua y forraje.

Ante esta situación, la obtención de forraje verde hidropónico (FVH) representa una alternativa de producción de alimento para ganado vacuno, caprino, ovino, equino, etc., ya que es un sistema de producción de biomasa vegetal de alta sanidad y calidad nutricional, producido muy rápidamente (9 a 15 días de siembra a cosecha). En la práctica se germinan granos (semillas de cereales o de leguminosas) los cuales se hacen crecer bajo condiciones ambientales

controladas (luz, temperatura y humedad) en ausencia de suelo. Usualmente se utilizan semillas de avena, cebada, maíz, trigo y sorgo (FAO, 2001).

Los sistemas de producción de forraje convencional han venido experimentando serias dificultades marcadas por la situación actual del sector agropecuario; el intenso crecimiento en la tasa de urbanización y el aumento en el valor de las tierras se han encargado de desplazar las explotaciones pecuarias hacia sectores donde se reduce el potencial de producción forrajero (Vargas, 2008). Aunado a lo antes mencionado, la necesidad de intensificar y mejorar la eficiencia en las prácticas de producción animal de una manera sostenible, 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, el crecimiento estacional de los pastos debido a la estacionalidad de las lluvias, son algunos de los factores que han dirigido la investigación hacia la búsqueda de métodos alternos de producción de alimentos (Mooney, 2005).

Una alternativa importante es el empleo de la tecnología de invernaderos para la producción de Forraje Verde Hidropónico, que puede proveer de forraje en cantidad y calidad a todo tipo de ganado, no obstante existen problemas sobre la técnica de producción, sobre todo en aspectos de eficiencia y en obtención de forraje libre de hongos, que afectan negativamente la producción (Romero *et al.*, 2009).

Entre algunas ventajas del FVH se tiene: producción rápida y segura, alto rendimiento por unidad de superficie, forraje de alto valor nutritivo, alta palatabilidad y limpieza, alimentación de distintas especies de animales, utilización de pequeñas áreas, entre otras (Sánchez *et al.*, 2001). 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).

No obstante las ventajas que presenta el FVH en comparación con otras metodologías de producción de alimento para el ganado, persisten aún dudas y falta de conocimientos sobre la tecnología de producción más apropiada.

### **1.1. OBJETIVO GENERAL**

Contribuir en la generación de un sistema de producción de forraje verde hidropónico propio para un sistema de producción comercial.

### **1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Definir el mejor método de desinfección de la semilla para obtener forraje verde hidropónico de trigo y cebada libre de hongos.

Elegir el sistema de riego más apropiado para la producción de forraje verde hidropónico.

Determinar la densidad de siembra para una mayor producción de forraje verde hidropónico a base de trigo y cebada.

Determinar la concentración de solución nutritiva óptima para la producción de forraje verde hidropónico y obtener un geminado de trigo y cebada con alto valor nutritivo.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Problemática de producción de alimento para ganado

Las zonas áridas del país han sido consideradas como áreas marginales para el desarrollo del sector agropecuario; las razones principales para esta consideración son la escasez permanente de lluvia, alta evaporación, así como suelos y aguas de riego de baja calidad, en los últimos años, la actividad agropecuaria en estas zonas se ha incrementado notablemente; sin embargo, su expansión ha tenido lugar sin el debido control ecológico y las tecnologías comúnmente utilizadas no son las más apropiadas, provocando problemas de contaminación de suelos y mantos acuíferos (*Endo et al.*, 2000), agotamiento de agostaderos y la extinción de especies de flora nativa (Martínez, 1981).

En innumerables ocasiones han ocurrido pérdidas importantes de ganado y de animales menores como consecuencia de déficits alimentarios o faltas de forraje, henos, ensilajes o granos para alimentación animal (FAO, 2001).

Por otra parte el frecuente anegamiento de los terrenos por exceso de precipitaciones limita por períodos prolongados la disponibilidad de alimento verde para los animales causando en general pérdidas de peso o de producción e incluso alta mortalidad. Estos fenómenos naturales adversos, cada vez más comunes producto de la alta variación climática, ocurren sin que se cuenten muchas veces con suficientes reservas de pasturas, henos o ensilados para los animales. Ello redundaría en la necesidad de contar con alternativas de producción de forraje que permitan paliar o prevenir pérdidas productivas (abortos, pérdida de peso, escaso volumen de leche, demoras y/o problemas de

fertilidad, etc.) especialmente a nivel de los pequeños y medianos productores ganaderos o de animales menores. Frente a estas circunstancias de déficit alimentario, surge como una alternativa válida, la implementación de un sistema de producción de Forraje Verde Hidropónico (FVH), como un complemento a los métodos convencionales de producción de forraje que contribuya a una actividad agropecuaria sobre todo en las zonas áridas y semiáridas del país.

## **2.2. Producción de Forraje Verde Hidropónico**

El forraje verde hidropónico (FVH) es 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. El Forraje Verde Hidropónico o “Green fodder hydroponics” es un forraje vivo, de alta digestibilidad, calidad nutricional y muy apto para la alimentación animal. En la práctica, el Forraje Verde Hidropónico consiste en la germinación de granos (semillas de cereales o de leguminosas) y su posterior crecimiento bajo condiciones ambientales controladas (luz, temperatura y humedad) en ausencia del suelo. Usualmente se utilizan semillas de avena, cebada, maíz, trigo y sorgo (FAO, 2001).

El forraje hidropónico es el resultado del proceso de germinación de granos que se realiza durante un periodo de 9 a 15 días, donde se pretende que el grano germinado alcance una altura promedio de 20 centímetros (Vargas, 2008).

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).

Con el forraje hidropónico se puede alimentar ganado vacuno, porcino, caprino, equino, cunícola y una gran cantidad de animales domésticos con excelentes resultados.

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 de alimento 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 en la producción de leche de ganado bovino (Mooney, 2005).

Se pueden emplear diversos tipos de semillas para la producción de FVH como es el caso de la cebada, trigo, avena, arroz o maíz, dependiendo de las necesidades del productor.

El Forraje Verde Hidropónico se ofrece tierno a los animales, y es un germinado muy rico en vitaminas, especialmente la A y E, tiene grandes cantidades de carotenoides, cuyo contenido puede variar de 250 a 350 mg por kg de materia seca (MS), posee una elevada cantidad de hierro, calcio y fósforo, alta digestibilidad, puesto que la presencia de lignina y celulosa es escasa, además es muy apetecible para los animales (Rodríguez *et al.*, 2003). En el Cuadro 1 se muestra la comparación del contenido nutrimental del grano de avena y la de Forraje Verde Hidropónico producido a 10 días.

Cuadro 1. Valor nutricional del grano de avena y de Forraje Verde Hidropónico de avena a los 10 cm de altura y 13 días de crecimiento

| <b>NUTRIENTE O FACTOR (%)</b> | <b>GRANO</b> | <b>FVH</b> |
|-------------------------------|--------------|------------|
| Materia seca                  | 91.0         | 32.0       |
| Cenizas                       | 2.3          | 2.0        |
| Proteína bruta                | 8.7          | 9.0        |
| Proteína verdadera            | 6.5          | 5.8        |
| Pared celular                 | 35.7         | 56.1       |
| Contenido celular             | 64.3         | 43.9       |
| Lignina                       | 3.6          | 7.0        |
| Fibra detergente ácido        | 17.9         | 27.9       |
| Hemicelulosa                  | 17.8         | 28.2       |

Fuente: Dosal (1987)

Una de las principales ventajas que implica la producción de Forraje Verde Hidropónico es el ahorro de agua, pues en este sistema la pérdida de agua por evapotranspiración, escurrimiento superficial e infiltración es mínima 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 (Cuadro 2), mientras que para la producción de un kilo de Forraje Verde Hidropónico requiere con un porcentaje de materia seca que oscila, dependiendo de la especie forrajera, entre un 12 % a 18 % (Sánchez, 1997; Lomelí, 2000; Rodríguez, 2000) de un consumo total de 15 a 20 litros de agua por kilogramo de materia seca obtenida en 14 días.

Cuadro 2. Gasto de agua para la producción de forraje en condiciones de campo

| <b>Especie</b> | <b>Litros de agua/ kg materia seca<br/>(promedio de 5 años)</b> |
|----------------|-----------------------------------------------------------------|
| Avena          | 635                                                             |
| Cebada         | 521                                                             |
| Trigo          | 505                                                             |
| Maíz           | 372                                                             |
| Sorgo          | 271                                                             |

Fuente: Carámbula y Terra (2000)

Además una unidad hidropónica produce alimento para los animales a la mitad del costo convencional; los costos de insecticidas, fertilizantes, maquinaria para el cultivo y labores culturales necesarias son diez veces menor en este forraje que en el cultivo tradicional del forraje (Howard, 1992).

Las principales desventajas identificadas en un sistema de producción de FVH son:

La falta de información del sistema, la especie forrajera y sus variedades más adecuadas, su comportamiento productivo, plagas, enfermedades, requerimientos de nutrientes y de agua, óptimas condiciones de luz, temperatura, humedad ambiente, y niveles óptimos de concentración de CO<sub>2</sub>.

Además, el costo de instalación es elevado. Morales (1987), cita que una desventaja que presenta este sistema sería el elevado costo de implementación. Sin embargo, se ha demostrado (Sánchez, 1997) que utilizando estructuras de invernáculos hortícolas comunes, se logran excelentes resultados.

### **2.2.1. Sistema de producción de Forraje Verde Hidropónico**

Existen diferentes métodos de producción de FVH; sin embargo, el éxito o fracaso de cualquier método dependerá de la armonía y planeación de sus componentes más importantes.

- a) Selección de semilla. Esencialmente se utilizan granos de cebada, avena, maíz, trigo y sorgo. La elección del grano a utilizar depende de la disponibilidad local y/o del precio a que se logren adquirir (FAO, 2001). Debe ser de buena calidad y asegurarse la germinación, ya que de ello dependerá la eficiencia de producción. No se deben utilizar semillas tratadas con fungicidas o con preservativos, ya que pueden afectar al ganado que lo consume (Valdivia, 1996).
- b) Desinfección de semilla. La semilla debe ser lavada y desinfectada con algún método no residual. Canul (1997), recomienda usar Hipoclorito de sodio o Hidróxido de Calcio para prevenir el ataque de hongos y bacterias, en el manual de producción de Forraje Verde Hidropónico de la FAO (2001), recomiendan el tratamiento con hipoclorito de sodio al 1 %.
- c) Remojo y Germinación de la semilla: la semilla debe ser remojada con una duración de 12 a 24 horas; la semilla se sumerge completamente en agua, con el fin de hidratar y estimular el proceso de germinación del embrión. Trabajos anteriores citados por Hidalgo (1985), establece que terminado el proceso de imbibición, aumenta rápidamente la intensidad respiratoria y con ello las necesidades de oxígeno. Este fenómeno bioquímico es lo que estaría explicando por qué se acelera el

crecimiento de la semilla cuando se deja en remojo por un periodo no superior a las 24 horas. Periodos mayores a esto pueden afectar negativamente la germinación de la semilla.

- d) Densidad de siembra: Realizados los pasos previos, se procede a la siembra definitiva de las semillas en las bandejas de producción. Para ello se distribuirá una delgada capa de semillas pre-germinadas, la cual no deberá sobrepasar 1.5 cm de espesor, las densidades por metro cuadrado varia según la semilla seleccionada, pero generalmente van desde 2 kg hasta 4 kg•m<sup>-2</sup>.
- e) Riego: Las bandejas de germinación son regadas generalmente cada dos o cuatro horas durante el día en forma intermitente y evitando que se produzcan encharcamientos. El sistema empleado puede ser por microaspersión, nebulización, o bien, por gravedad. Aunque en la mayoría de las unidades el sistema empleado es el de microaspersión. Obraztsov *et al.* (1986), recomiendan el sistema por nebulización en la zona de raíces, y Morgan *et al.* (1992), recomiendan el sistema por subirrigación, ya que ambos autores consideran que en un sistema por microaspersión el agua incide directamente en el follaje y ocasiona pérdidas de sustancias hidrosolubles y materia seca, además de problemas fitosanitarios. Recomendar una dosis exacta de agua de riego según cada especie de Forraje Verde Hidropónico resulta muy difícil, dado que dependerá del tipo de infraestructura de producción disponible. Un indicador práctico que se debe tener en cuenta es no aplicar riego

cuando las hojas del cultivo se encuentran levemente húmedas al igual que su respectiva masa radicular (Sánchez, 1997).

- f) Solución nutritiva: una vez que aparecen las primeras hojas (entre el cuarto y quinto día), se comienza el riego con una solución nutritiva, ya que la calidad del producto obtenido está basada, en gran parte, en la cantidad y disponibilidad de los nutrimentos que la planta necesita en cada una de sus etapas. Existen varios autores que recomiendan diferentes soluciones para la producción, una de estas es la propuesta por Sánchez y Escalante (1988), como se muestra en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Solución nutritiva propuesta por Sánchez y Escalante (1988)

| <i>Elemento (Forma disponible para la planta)</i> | <i>Concentración en mg L<sup>-1</sup>(ppm)</i> | <i>Fuentes</i>       |
|---------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------|
| N (NO <sup>-3</sup> )                             | 200                                            | Sulfamine y nitrato  |
| P (PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> )                | 50                                             | Ácido fosfórico      |
| K (K <sup>+</sup> )                               | 240                                            | Sulfato de potasio   |
| Ca (Ca <sup>+2</sup> )                            | 290                                            | Nitrato de Calcio    |
| Mg (Mg <sup>+2</sup> )                            | 50                                             | Sulfato de magnesio  |
| S (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )                | 180                                            | Sulfatos             |
| Fe (Fe <sup>+2</sup> )                            | 3                                              | Sulfato ferroso      |
| Mn(Mn <sup>+2</sup> )                             | 1                                              | Sulfato de manganeso |
| B (B)                                             | 0.5                                            | Bórax                |
| Zn (Zn <sup>+2</sup> )                            | 0.2                                            | Sulfato de cobre     |
| Cu (Cu <sup>+2</sup> )                            | 0.1                                            | Sulfato de Zinc      |

ppm : partes por millón.

- g) Cosecha. En términos generales, se realiza entre los 10 y 14 días; consiste en retirar todo el contenido de la bandeja (tallos, hojas, algunas semillas no germinadas, las raicillas y los residuos de la semilla germinada). Debido a la alta densidad de siembra a la que se establece, las raíces se entrelazan por lo que se genera una estructura en forma de un “tapete” compacto que puede retirarse fácilmente de la bandeja. Se

ha documentado que según el clima y la especie, períodos de tiempo de 7 a 10 días pueden ser suficientes para completar el ciclo en un cereal sembrado para forraje hidropónico (Dosal, 1987).

## **2.2.2. Factores que influyen en la producción de Forraje Verde**

### **Hidropónico**

- a) Especie utilizada: se utilizan comúnmente semillas de cereales forrajeros como avena, cebada, maíz, arroz, sorgo y trigo (Arano, 1990; Resh, 1992). En cuanto al rendimiento, Hernández (1981), menciona por orden decreciente al trigo seguido de la avena y por último la cebada. Por otro lado, Sagi (1976), reporta que el centeno es la especie que alcanza mayor altura, seguida de cebada y trigo, en este último se logra una altura de 8 a 10 cm, mientras que en la cebada se alcanza una altura de 12 a 15 cm en un período de 6 días.
- b) Iluminación. Al comienzo del ciclo de producción de Forraje Verde Hidropónico, la presencia de luz durante la germinación de las semillas no es deseable por lo que, hasta el tercer o cuarto día después de sembradas, las bandejas deberán estar en un ambiente de luz muy tenue, pero con oportuno riego para favorecer la aparición de los brotes y el posterior desarrollo de las raíces. A partir del tercer o cuarto día se inicia el riego con solución nutritiva y las bandejas deben ser expuestas a una iluminación bien distribuida, pero nunca directa de luz solar. Si la opción de producción es exclusivamente en recintos cerrados sin luz natural, entonces se debe pensar en una iluminación artificial a base de

tubos fluorescentes bien distribuidos y encendidos durante 12 a 15 horas. Rojas (1996) evaluó diferentes niveles de intensidad luminosa y encontró que la mejor para producir forraje de trigo y cebada es de 2410 lux, la cual la obtuvo al utilizar cuatro lámparas fluorescentes de 75 watts las 24 horas del día, a una altura de 45 cm de la charola de siembra.

c) Temperatura: La temperatura es una variable muy importante en la producción de FVH. El rango óptimo para producción de FVH se sitúa entre los 18 y 26 °C. La variabilidad de las temperaturas óptimas para la germinación y posterior crecimiento de los granos en Forraje Verde Hidropónico es diverso. Es así que los granos de avena, cebada, y trigo, entre otros, requieren de temperaturas bajas para germinar. El rango de ellos oscila entre los 18 °C a 21 °C. Sin embargo, granos como el maíz, necesita de temperaturas entre los 25 °C y 28 °C (FAO, 2001). Durante la etapa de producción, debido a las altas densidades de siembra y al ambiente de alta humedad relativa, es muy común que se presenten contaminaciones por hongos, sobre todo cuando las temperaturas son muy elevadas y la circulación de aire es deficiente. De acuerdo con Robles (1990), la temperatura óptima para desarrollo de algunos cultivos como maíz, trigo, cebada y avena es de 26, 20, 20 y 26 °C, respectivamente.

d) Humedad relativa: El cuidado de la condición de humedad en el interior del recinto de producción es muy importante. La humedad relativa no puede ser inferior al 90 % (FAO, 2001). Valores de humedad superiores al 90 % sin buena ventilación pueden causar graves problemas

fitosanitarios debido fundamentalmente a enfermedades fungosas difíciles de combatir y eliminar, además de incrementar los costos operativos. Resh (1992), recomienda mantener una temperatura de 22 a 25 °C y una humedad relativa de 65 a 70 % para un buen desarrollo del forraje.

- e) Calidad de agua de riego: La condición básica que debe presentar el agua para ser usada en sistemas hidropónicos es su característica de potabilidad. Su origen puede ser de pozo, de lluvia, o agua corriente de cañerías. Si el agua disponible no es potable, se tienen problemas sanitarios y nutricionales con el Forraje Verde Hidropónico.
- f) pH del agua: El valor de pH del agua de riego debe oscilar entre 5.2 y 7, y salvo raras excepciones como son las leguminosas, que pueden desarrollarse hasta con pH cercano a 7.5, el resto de las semillas utilizadas (cereales mayormente) usualmente en Forraje Verde Hidropónico, no se comportan adecuadamente por encima del valor 7 (FAO, 2001).
- g) Enfermedades fitosanitarias: Los mohos crecen sobre los materiales vegetales produciendo el deterioro de los mismos, forman metabolitos secundarios que actúan como antibióticos favoreciendo la prevalencia del moho. Estos metabolitos que enferman o matan a los animales que los consumen se conocen como micotoxinas y la afección se llama micotoxicosis (Swanson, 1987). Los hongos adquiridos en el campo son *Alternaria*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Epicoccum*, *Fusarium*, *Verticillium*, además de otros fitopatógenos, y las especies difieren según el vegetal,

el clima y la región. Requieren generalmente una humedad relativa entre el 90 y 100 % y un contenido de agua en las semillas de 22 a 23 % para crecer, con un amplio rango de temperatura entre 0 y 30 °C, aunque algunos pueden desarrollarse a 35 °C o más (Christensen, 1987). Debido a que estas condiciones se presentan durante la producción de FVH es de vital importancia su identificación y prevención, debido a que algunas especies de hongos producen micotoxinas, las cuales resultan tóxicas para la alimentación del ganado. En el Cuadro 4 se indican algunos de los mohos toxigénicos y las micotoxinas que han sido hallados en frutas, hortalizas, productos de granja y granos diversos, presentados e indicados por Carrillo, 2003.

Cuadro 4. Mohos toxigénicos y micotoxinas en frutas, hortalizas, productos de granja y granos

| Productos | Mohos toxigénicos y/o referencia                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Toxinas en el producto                                                                                                                        |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| avena     | <i>A. alternata</i> , <i>P. aurantiogriseum</i> , <i>P. crustosum</i> , <i>F. graminearum</i> (Pitt & Hocking 1997)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | ...                                                                                                                                           |
| cebada    | <i>P. verrucosum</i> , <i>A. versicolor</i> (Buckle 1986) <i>A. alternata</i> , <i>P. verrucosum</i> , <i>P. aurantiogriseum</i> <i>F. graminearum</i> (Pitt & Hocking 1997)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | ocratoxina A, citrinina, esterigmatocistina desoxinivalenol                                                                                   |
| centeno   | <i>F. proliferatum</i> (Fadl-Allah et al. 1997)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | desoxinivalenol,                                                                                                                              |
| Maíz      | <i>A. flavus</i> , <i>A. ochraceus</i> , <i>A. niger</i> , <i>A. clavatus</i> , <i>Penicillium spp</i> , <i>Fusarium spp.</i> (Eguiazú & Bracalenti 1981)<br><i>F. subglutinans</i> (Logrieco et al. 1993)<br><i>A. flavus</i> , <i>A. alternata</i> , <i>F. moniliforme</i> (González et al. 1995) <i>A. flavus</i> (Resnik et al. 1996a)<br><i>F. graminearum</i> , <i>F. oxysporum</i> , <i>F. subglutinans</i> , <i>F. moniliforme</i> (Saubois et al. 1996)<br><i>A.alternata</i> y otras especies (Torres et al. 1998) | Aflatoxinas<br><br>bovericina, moniliformina<br><br>ácido ciclopiazónico<br><br>fumonisinas B1 y B2<br><br>alternariol, alternariol metiléter |
| Sorgo     | <i>A. flavus</i> , <i>A. alternata</i> , <i>F. moniliforme</i> , <i>Phoma sorghina</i> , <i>P. funiculosum</i> (González et al. 1997)<br><i>Claviceps africana</i> , <i>F. thapsinum</i> , <i>Fusarium spp.</i> , <i>Alternaria spp.</i> (Porter et al. 1998)<br><br><i>F. proliferatum</i> , <i>F. chlamidosporum</i> , <i>F. semitectum</i> (Carrillo et al. 2001)                                                                                                                                                         | alcaloides del ergot, ácido fusárico<br><br>aflatoxinas, desoxinivalenol, zearalenona<br><br>fumonisinas, T-2, desoxinivalenol,               |
| trigo     | <i>F. acuminatum</i> , <i>F. anthophilum</i> , <i>F. equiseti</i> , <i>F. graminearum</i> , <i>F. oxysporum</i> , <i>F. moniliforme</i> (Lori et al. 1992)<br><i>A. alternata</i> y otras especies (Pitt et al. 1998a)<br><i>A.alternata</i> , <i>F. graminearum</i> , <i>F. equiseti</i> , <i>F. poae</i> , <i>F. semitectum</i> , <i>F. chlamidosporum</i> , <i>F. moniliforme</i> , <i>F. oxysporum</i> , <i>F. sporotrichioides</i> (González et al. 1996)<br>... (Dalcero et al. 1997)                                  | zearalenona, desoxinivalenol<br><br>desoxinivealenol, 3-acetildesoxinivalenol, zearalenona, T-2, HT-2, neosolaniol,<br><br>desoxinivalenol    |

Fuente: Carrillo (2003).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se llevó a cabo bajo cubierta de lámina en el Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México, ubicado a 19° 29' latitud norte y 98° 53' longitud oeste, a una altitud de 2,251 msnm. Se utilizaron dos especies para producir de forraje verde hidropónico, trigo (*Triticum aestivum* L.) y cebada (*Hordeum vulgare* L.).

#### **Prueba de germinación**

Para lograr los objetivos de este estudio se establecieron cuatro experimentos diferentes. Previo a ello, se hicieron pruebas de germinación de las semillas; para lo cual, 100 semillas de cada especie se colocaron en cajas petri, manteniendo la humedad necesaria para promover su germinación; transcurridos cuatro días se realizó un conteo, expresando el número de semillas germinadas como porcentaje (%) de germinación. Los resultados obtenidos fueron un 98 % de germinación para trigo y un 87 % para cebada.

Los experimentos fueron:

#### **3.1. Experimento 1: Tratamientos de desinfección de semilla**

Las semillas fueron sometidas a un proceso de desinfección usando diferentes tratamientos: a) soluciones de hipoclorito de sodio, b) hidróxido de calcio, c) peróxido de hidrógeno y d) sales cuaternarias de amonio de cuarta generación (Didecil Dimetil Cloruro de Amonio). 25 semillas por tratamiento (T) con cuatro repeticiones fueron tratadas como sigue (Figura 1):



Figura 1. Tratamientos previos de desinfección

T1: Se remojaron las semillas en hipoclorito de sodio ( $\text{NaClO}$ ) comercial (5.25 %) al 1 % durante 30 minutos, posteriormente las semillas se enjuagaron con agua pura para eliminar la solución clorada, luego se colocaron en cajas petri estériles.

T2: Se remojaron las semillas en hipoclorito de sodio ( $\text{NaClO}$ ) comercial (5.25 %) al 1 % durante 1 hora, posteriormente las semillas se enjuagaron con agua pura para eliminar la solución clorada, luego se colocaron en cajas petri estériles.

T3: Se remojaron las semillas en hipoclorito de sodio ( $\text{NaClO}$ ) comercial (5.25 %) al 5 % durante 30 minutos, posteriormente las semillas se enjuagaron con agua pura para eliminar la solución clorada, luego se colocaron en cajas petri estériles.

T4: Se remojaron las semillas en hipoclorito de sodio ( $\text{NaClO}$ ) comercial (5.25 %) al 5 % durante 1 hora, posteriormente las semillas se enjuagaron con agua pura para eliminar la solución clorada, luego se colocaron en cajas petri estériles.

T5: Se remojaron las semillas en hipoclorito de sodio ( $\text{NaClO}$ ) comercial (5.25 %) al 10 % durante 30 minutos, posteriormente las semillas se enjuagaron con agua pura para eliminar la solución clorada, luego se colocaron en cajas petri estériles.

T6: Se remojaron las semillas en hipoclorito de sodio ( $\text{NaClO}$ ) comercial (5.25 %) al 10 % durante 1 hora, posteriormente las semillas se enjuagaron con agua pura para eliminar la solución clorada, luego se colocaron en cajas petri esteriles.

T7: Se remojaron las semillas en una solución de hidróxido de calcio  $\text{Ca(OH)}_2$  al 1 % (1 g de cal por litro de agua) durante 3 horas, removiendo la semilla cada hora por 10 minutos, transcurrido este tiempo las semillas fueron colocadas en cajas petri para su germinación.

T8: Se remojaron las semillas en una solución de hidróxido de calcio  $\text{Ca(OH)}_2$  al 1 % (1 g de cal por litro de agua) durante 6 horas, removiendo la semilla cada hora por 10 minutos, transcurrido este tiempo las semillas fueron colocadas en cajas petri para su germinación.

T9: Se remojaron las semillas en una solución de hidróxido de calcio  $\text{Ca(OH)}_2$  al 5 % (5 g de cal por litro de agua) durante 3 horas, removiendo la semilla cada hora por 10 minutos, transcurrido este tiempo las semillas fueron colocadas en cajas petri para su germinación.

T10: Se remojaron las semillas en una solución de hidróxido de calcio  $\text{Ca(OH)}_2$  al 5 % (5 g de cal por litro de agua) durante 6 horas, removiendo la semilla cada hora por 10 minutos, transcurrido este tiempo las semillas fueron colocadas en cajas petri para su germinación.

T11: Se remojaron las semillas en una solución de hidróxido de calcio  $\text{Ca(OH)}_2$  al 10 % (10 g de cal por litro de agua) durante 3 horas, removiendo la semilla cada hora por 10 minutos, transcurrido este tiempo las semillas fueron colocadas en cajas petri para su germinación.

T12: Se remojaron las semillas en una solución de hidróxido de calcio  $\text{Ca(OH)}_2$  al 10 % (10 g de cal por litro de agua) durante 6 horas, removiendo la semilla cada hora por 10 minutos, transcurrido este tiempo las semillas fueron colocadas en cajas petri para su germinación.

T13: Se remojaron las semillas en una solución de peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) comercial (11 volúmenes) al 10 % durante 10 minutos. Posteriormente la semilla se colocó en cajas petri para su germinación.

T14: Se remojaron las semillas en una solución de peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) comercial (11 vols) al 10 % durante 20 minutos. Posteriormente la semilla se colocó en cajas petri para su germinación.

T15: Se remojaron las semillas en una solución de peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) comercial (11 vols) al 20 % durante 10 minutos. Posteriormente la semilla se colocó en cajas petri para su germinación.

T16: Se remojaron las semillas en una solución de peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) comercial (11 vols) al 20 % durante 20 minutos. Posteriormente la semilla se colocó en cajas petri para su germinación.

T17: Se remojaron las semillas en una solución de peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) comercial (11 vols) al 30 % durante 10 minutos. Posteriormente la semilla se colocó en cajas petri para su germinación.

T18: Se remojaron las semillas en una solución de peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) comercial (11 vols) al 30 % durante 20 minutos. Posteriormente la semilla se colocó en cajas petri para su germinación.

T19: Se sumergió la semilla en una solución de sales cuaternarias de amonio de cuarta generación (Didecil Dimetil Cloruro de Amonio + Alquil Dimetil Benzil Cloruro de Amonio) a una concentración de  $20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , durante 10 minutos, posteriormente se colocaron en cajas petri para su germinación.

T20: Se sumergió la semilla en una solución de sales cuaternarias de amonio de cuarta generación (Didecil Dimetil Cloruro de Amonio + Alquil Dimetil Benzil Cloruro de Amonio) a una concentración de  $20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , durante 20 minutos, posteriormente se colocaron en cajas petri para su germinación.

T21: Se sumergió la semilla en una solución de sales cuaternarias de amonio de cuarta generación (Didecil Dimetil Cloruro de Amonio + Alquil Dimetil Benzil Cloruro de Amonio) a una concentración de  $40 \text{ mg L}^{-1}$ , durante 10 minutos, posteriormente se colocaron en cajas petri para su germinación.

T22: Se sumergió la semilla en una solución de sales cuaternarias de amonio de cuarta generación (Didecil Dimetil Cloruro de Amonio + Alquil Dimetil Benzil Cloruro de Amonio) a una concentración de  $40 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , durante 20 minutos, posteriormente se colocaron en cajas petri para su germinación.

T23: Se sumergió la semilla en una solución de sales cuaternarias de amonio de cuarta generación (Didecil Dimetil Cloruro de Amonio + Alquil Dimetil Benzil Cloruro de Amonio) a una concentración de  $80 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , durante 10 minutos, posteriormente se colocaron en cajas petri para su germinación.

T24: Se sumergió la semilla en una solución de sales cuaternarias de amonio de cuarta generación (Didecil Dimetil Cloruro de Amonio + Alquil Dimetil Benzil Cloruro de Amonio) a una concentración de  $80 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , durante 20 minutos, posteriormente se colocaron en cajas petri para su germinación.

T25: (Testigo) Tratamiento sin desinfectante, aplicando únicamente agua.

Estos tratamientos se aplicaron a cada una de las dos especies bajo estudio.

Una vez que la semilla se desinfectó, se mantuvo en pre-germinación durante 24 horas en oscuridad (López *et al.*, 2009) y humedad constante.

Las variables evaluadas fueron:

- a) Plantas germinadas (PG): número de semillas germinadas respecto al total.
- b) Plantas contaminadas (PC): número de semillas contaminadas respecto al total.
- c) Días de protección (DP): número de días en aparecer el primer signo de enfermedad.

El diseño de experimental fue en bloques completos al azar, con cuatro repeticiones. En este experimento se definieron la mejor concentración y tiempo de exposición para cada producto desinfectante utilizado en ambas especies. Esta fase no se manejó bajo condiciones asépticas, y la contaminación fue

promovida por el ambiente en el que se llevó a cabo el experimento y la contaminación presente en la semilla.

### **3.2. Experimento 2: Desinfección de semilla y sistema de riego**

Una vez definida la mejor concentración y tiempo de exposición para cada producto desinfectante (Experimento 1), se hizo una evaluación en campo para definir el mejor método de desinfección y además el mejor sistema de riego entre el sistema por microaspersión e inundación.

La semilla permaneció en remojo durante 24 horas (pre-germinación) moviéndose constantemente cada 4 ó 5 horas, posteriormente se colocó en charolas para su germinación.

Las semillas fueron sembradas en charolas de plástico rígido de 55.0 cm de largo por 34.0 cm de ancho y 5 cm de altura, dando un área de siembra de 0.187 m<sup>2</sup> por charola. La densidad de siembra fue de 4.5 kg•m<sup>-2</sup> para trigo y de 3.5 kg•m<sup>-2</sup> para cebada (Sánchez *et al.*, 2001) dando así 0.840 Kg/charola para trigo y 0.655 kg/charola para cebada (Figura 2).

Las charolas fueron sumergidas en una solución al 10 % de hipoclorito de sodio durante cinco minutos para su desinfección.

Se evaluaron cuatro métodos de desinfección de semilla y dos métodos de aplicación del riego.

Los métodos de desinfección fueron:

Ta) Desinfección con Cloro (1 %; 30 minutos).

Tb) Desinfección con Cal (1 %; 3 horas).

Tc) Desinfección con Peróxido de hidrógeno (30 %; 20 minutos).

Td) Desinfección con Sales cuaternarias de amonio ( $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ; 10 minutos)

Te) Testigo (sin desinfectante).

Los métodos de riego evaluados fueron:

a) Riegos con solución nutritiva al 100 %, aplicado por inundación.

b) Riegos con solución nutritiva al 100 %, aplicado por microaspersión.

Se dieron 4 riegos durante el día, de 8:00 a 20:00 horas con intervalos de 4 horas cada uno, la duración de cada riego fue de 1 minuto para inundación y 2 minutos para microaspersión. El diseño fue bloques completos al azar en un arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones, la parcela grande el sistema de riego y la parcela chica el tratamiento de desinfección; una charola representó una unidad experimental.

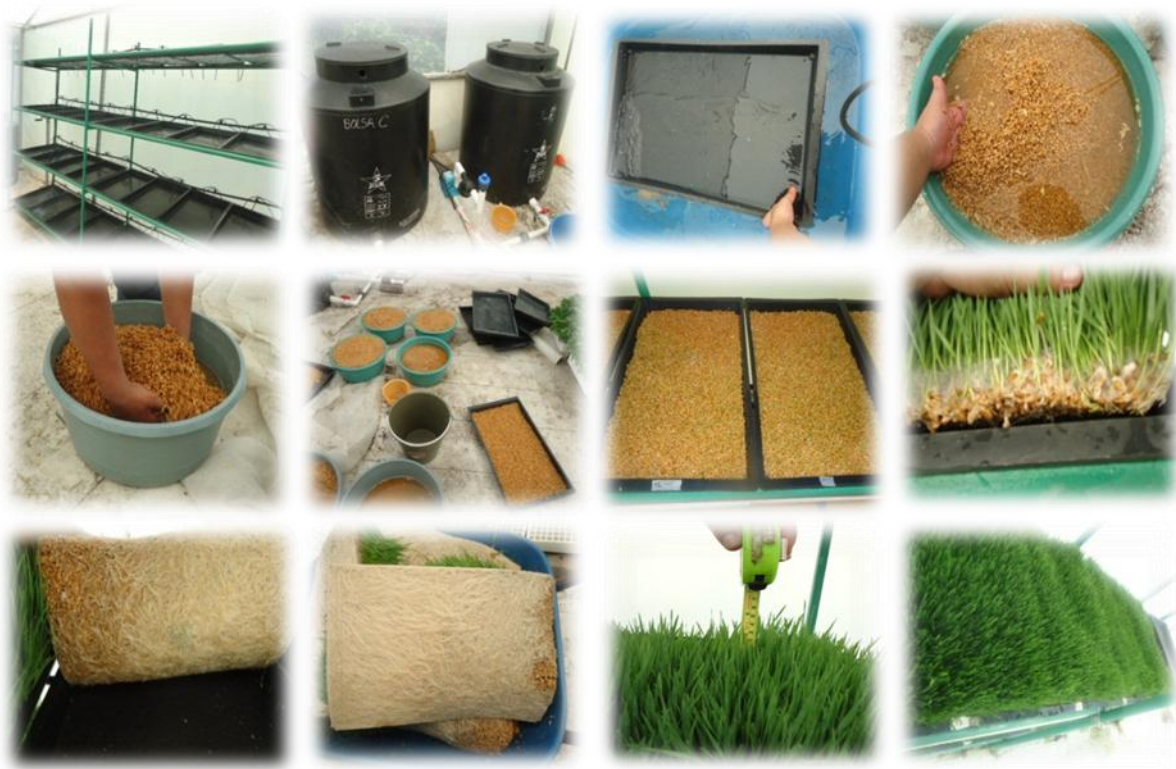


Figura 2. Proceso de desinfección de semilla

El módulo de evaluación permaneció a intemperie bajo un cobertizo de lámina y paredes que cubrían el lado norte y este. Los estantes fueron de 4 niveles con estructura metálica, entre nivel tiene una distancia de 50; la longitud total del anaquel es de 3 m cada uno (Figura 3).



Figura 3. Estante para la evaluación de forraje verde hidropónico

El sistema de riego por microaspersión consistió de: un tinaco de plástico color negro marca “Rotoplas MR”, de 450 litros de capacidad el cual funcionó como depósito para la solución nutritiva, una motobomba eléctrica con una capacidad de  $\frac{1}{2}$  HP, un filtro de 150 mesh, poliducto blanco de una pulgada de diámetro para la línea principal y poliducto negro de  $\frac{1}{2}$  pulgada de diámetro para las líneas regantes, válvulas de paso y emisores que proporcionaban un gasto de  $12 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ .



Figura 4. Sistema de riego por microaspersión

El sistema de riego por inundación consistió de: un tinaco de plástico color negro marca “Rotoplas MR”, el cual funcionó como depósito para la solución nutritiva, con una capacidad de 450 litros, una motobomba eléctrica con una capacidad de  $\frac{1}{2}$  HP, un filtro de 150 mesh, poliducto blanco de una pulgada de diámetro para la línea principal y poliducto negro de  $\frac{1}{2}$  pulgada de diámetro para las líneas regantes, válvulas de paso y emisores que proporcionaban un gasto de  $30 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$  en inundación (Figura 5).



Figura 5. Sistema de riego por inundación

La solución nutritiva empleada fue la propuesta por Sánchez y Escalante (1988), la cual se presenta en el Cuadro 3.

La cosecha del forraje se realizó a los 13 días después de la siembra. Durante ese tiempo, se determinó las unidades calor acumuladas. Las variables evaluadas fueron las siguientes:

- a) Índice de contaminación (IC): superficie afectada de la unidad experimental expresada evaluada en una escala de 0 a 3, donde 0 (0-25 %), 1 (25-50 %), 2 (50.75 %) y 3 (75-100 %) como se observa en la Figura 6.



Figura 6. Escala de contaminación en trigo y cebada

b) Eficiencia del sistema de riego (ER): Se expresó como nivel de afección al momento de la cosecha, en una escala de 0 (muy malo), 1 (malo), 2 (bueno) y 3 (muy bueno) como se observa en la Figura 7.



Figura 7. Escala de eficiencia de riego en trigo y cebada

c) Altura de planta (AP): Representada por el promedio de la medición de 10 plantas a los 13 días después de la siembra (momento de cosecha).

En este experimento se determinó el sistema de desinfección de semilla y el de riego más apropiado para la producción de forraje hidropónico, de acuerdo con

el menor porcentaje de infección y mayor eficiencia en el sistema de riego así como mayor altura de planta.

Como parte de la evaluación se realizó la identificación de los hongos presentes durante la producción, para ello se tomaron muestras de los diferentes signos de infección presentes en las plantas con el fin de identificar la especie y su toxicidad que podría ocasionar en la alimentación del ganado. En el laboratorio se observaron las estructuras en el estereoscopio para identificar el micelio; con una aguja de disección se tomó una muestra que se colocó en un portaobjetos con una gota de azul de metileno (tinción), se cubrió con un cubreobjetos, se sometió a un poco de calor con un mechero de alcohol, con el fin de fijar el color y evitar la formación de burbujas de aire en la preparación (Figura 8).

Posteriormente las muestras se colocaron en un microscopio compuesto, para observar las estructuras del hongo correspondiente, identificándose su especie.

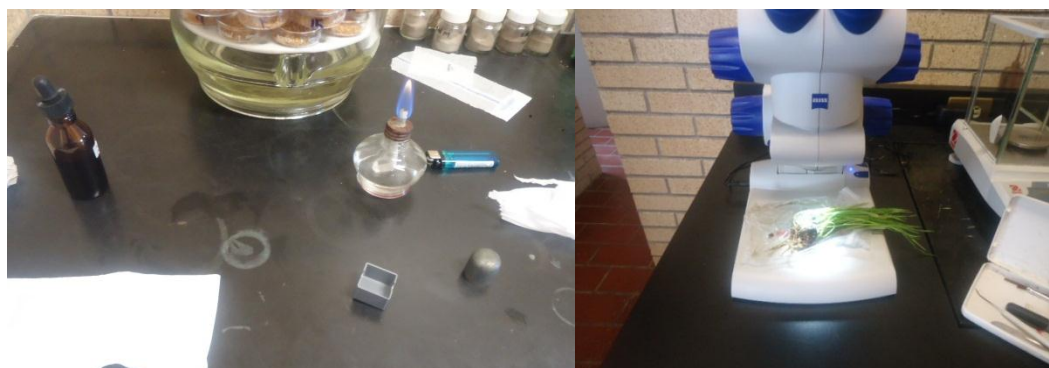


Figura 8. Procedimiento de identificación de micelios

### **3.3. Experimento 3: Densidad de siembra**

Se evaluaron tres densidades de siembra para cebada (4.5 3.5 y 2.5  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ) y tres para trigo (5.5, 4.5 y 3.5  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ). Las semillas fueron desinfectadas con cal al 1 % durante 3 horas, e irrigadas mediante riego por inundación. El diseño fue bloques completos al azar con 3 repeticiones, cada especie con sus respectivas densidades; la unidad experimental consistió de una charola. La cosecha se realizó a los 13 días después de la siembra.

Las variables evaluadas fueron las siguientes:

- a) Altura de planta (AP) en cm: Se realizó la medición de 10 plantas completamente al azar, a partir de la semilla al ápice.
- b) Peso fresco (PF): Se determinó el peso en Kg, al momento de la cosecha.
- c) Rendimiento (REN) en  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ : Se consideró como los kilogramos de forraje producido por metro cuadrado de charola.
- d) Relación de conversión (RC): Se consideró como la relación entre la cantidad de forraje producido en un contenedor y la cantidad de semillas sembradas por contenedor.

### **3.4. Experimento 4: Concentración de la solución nutritiva**

Se evaluaron tres concentraciones de soluciones nutritivas (0 %, 50 % y 100 %), la solución al 100 % es la propuesta por Sánchez y Escalante (1998).

La semilla fue desinfectada con cal al 1 % durante 3 horas, el riego fue aplicado por inundación y la densidad de siembra fue 3.5  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$  para cebada y 4.5  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$  para trigo.

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, cada charola representó una unidad experimental.

En todos los casos la cosecha se realizó a los 13 días después de la siembra, las variables a evaluar fueron:

- a) Altura de planta (AP) en cm: Se realizó la medición de 10 plantas completamente al azar, a partir de la semilla al ápice.
- b) Peso fresco (PF): se determinó el peso en Kg, al momento de la cosecha.
- c) Rendimiento (REN) en  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ : Se consideró como los kilogramos de forraje producido por metro cuadrado de charola.
- d) Relación de conversión (RC): Se consideró como la relación entre la cantidad de forraje producido en un contenedor y la cantidad de semillas sembradas por contenedor.
- e) Materia seca (MS): Se tomó una muestra de 200 g de forraje por charola, la cual fue secada a una temperatura de 50-55 °C (Harris, 1970, citado por Sosa, 1985). El porcentaje se determinó con la siguiente fórmula.

$$\% \text{ M S} = \frac{\text{g de M S a } 55^{\circ}\text{C}}{\text{g de muestra}} \times 100$$

- f) Cenizas: A partir de una muestra sometida a oxidación mediante una combustión a 550 °C hasta alcanzar peso constante (A.O.A.C. 1975, citado por Sosa, 1985).
- g) Proteína cruda (PC): Se cuantificó por el procedimiento de Kjeldahl (Harris 1970, citado por Sosa, 1985).

h) Fibra Cruda (FC): por el método oficial de Weende (Citado por Sosa, 1985).

i) Extracto libre de Nitrógeno (ELN): Dentro de este concepto se agrupan todos los nutrientes no evaluados con los métodos señalados anteriormente dentro del análisis proximal, constituido principalmente por carbohidratos digeribles, vitaminas y demás compuestos orgánicos solubles no nitrogenados (FAO, 1993)

Cálculo: Extracto Libre de Nitrógeno (%) =  $100 - (A + B + C + D + E)$

Donde: A = Contenido de humedad (%); B = Contenido de proteína cruda (%); C = Contenido de lípidos crudos (%); D = Contenido de fibra cruda (%); E = Contenido de ceniza (%).

En todos los experimentos se realizó análisis de varianza y pruebas de comparaciones de medias (Tukey,  $P=0.05$ ) de los resultados obtenidos, mediante el paquete estadístico SAS 9.0.

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1 Resultados en trigo**

#### **4.4.1 Experimento 1: Tratamientos de desinfección de semilla**

Durante el crecimiento de las plantas, los primeros indicios de contaminación aparecieron al cuarto día de sembradas las semillas en los tratamientos con peróxido de hidrógeno y sales cuaternarias de cuarta generación, y a los 6 días para los tratamientos con cloro y cal.

El análisis de varianza mostró que el cloro y el peróxido de hidrógeno tuvieron efectos significativos en el número de plantas contaminadas; las sales cuaternarias presentaron diferencias en el número de plantas germinadas, y la cal tuvo efectos tanto en plantas contaminadas como en las germinadas (Cuadro 5).

En los Cuadros 6 al 9 se muestra las comparaciones de medias para los diferentes tratamientos de desinfección (dosis y tiempo de exposición) para cada método (producto) utilizado.

Cuadro 5. Análisis de varianza del número de plantas contaminadas y germinadas en trigo bajo distintos tratamientos de desinfección de semilla

| <i>Cuadrados Medios</i>    |             |                    |                      |                    |                      |
|----------------------------|-------------|--------------------|----------------------|--------------------|----------------------|
| <i>Fuente de Variación</i> | <i>G.L.</i> | Cloro              |                      | Cal                |                      |
|                            |             | Plantas Germinadas | Plantas Contaminadas | Plantas Germinadas | Plantas Contaminadas |
| Tratamiento                | 6           | 4.750              | 32.500 **            | 3.488 **           | 17.940 **            |
| Bloque                     | 3           | 3.952              | 2.809                | 0.428              | 11.809               |
| Error                      | 18          | 3.702              | 1.865                | 0.456              | 0.428                |

| <i>Cuadrados Medios</i>    |             |                       |                      |                    |                      |
|----------------------------|-------------|-----------------------|----------------------|--------------------|----------------------|
| <i>Fuente de Variación</i> | <i>G.L.</i> | Peróxido de hidrógeno |                      | Sales cuaternarias |                      |
|                            |             | Plantas Germinadas    | Plantas Contaminadas | Plantas Germinadas | Plantas Contaminadas |
| Tratamiento                | 6           | 5.393                 | 14.905 **            | 2.988 **           | 16.452               |
| Bloque                     | 3           | 9.369                 | 0.988                | 0.952              | 10.952               |
| Error                      | 18          | 1.980                 | 3.571                | 0.480              | 4.452                |

G.L.: Grados de libertad.; \*\*altamente significativo con P= 0.01.

Cuadro 6. Comparación de medias del número de semillas de trigo germinadas y contaminadas en los diferentes tratamientos de desinfección con cloro

| Tratamiento           | Plantas Germinadas    | Plantas Contaminadas |
|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| T1 (1 %, 30 minutos)  | 24.500 a <sup>t</sup> | 0.750 a              |
| T2 (1 %, 1 hora)      | 22.500 a              | 1.000 a              |
| T3 (5 %, 30 minutos)  | 23.500 a              | 2.500 ab             |
| T4 (5 %, 1 hora)      | 24.500 a              | 3.250 ab             |
| T5 (10 %, 30 minutos) | 24.750 a              | 5.250 bc             |
| T6 (10 %, 1 hora)     | 22.500 a              | 2.750 ab             |
| T25 (Testigo)         | 22.250 a              | 9.000 c              |
| DMSH                  | 5.5679                | 3.951                |

DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; <sup>t</sup> = Medias con la misma letra dentro de la columna son estadísticamente iguales (P= 0.05).

Los diferentes tratamientos con cloro (Cuadro 6) no presentaron diferencias significativas en cuanto al número de semillas germinadas, teniéndose 89 a 96 % de germinación; sin embargo, en número de semillas contaminadas, los tratamientos T1 y T2 (1 % de cloro) tuvieron una menor contaminación (0.75 y 1.0 semilla contaminada de un total de 25 semillas), con diferencia estadística respecto al testigo (sin desinfección). Entre las diferentes concentraciones de cloro y tiempos de exposición, no hubo muchas diferencias, por lo que el mejor tratamiento de cloro para desinfección de semilla de trigo sería el T1 por su menor concentración y tiempo de exposición (1 % de cloro durante 30 minutos).

Cuadro 7. Comparación de medias del número de semillas de trigo germinadas y contaminadas en los diferentes tratamientos de desinfección con cal

| Tratamiento         | Plantas Germinadas    | Plantas Contaminadas |
|---------------------|-----------------------|----------------------|
| T7 (1 %; 3 horas)   | 25.000 a <sup>t</sup> | 4.250 a              |
| T8 (1 %; 6 horas)   | 24.500 ab             | 4.500 a              |
| T9 (5 %; 3 horas)   | 23.500 abc            | 4.000 a              |
| T10 (5 %; 6 horas)  | 24.000 abc            | 4.750 a              |
| T11 (10 %; 3 horas) | 23.000 bc             | 5.000 a              |
| T12 (10 %; 6 horas) | 23.250 abc            | 4.750 a              |
| T25 (Testigo)       | 22.250 c              | 9.000 b              |
| DMSH                | 1.9548                | 3.4393               |

DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.; <sup>t</sup> = Medias con la misma letra dentro de la columna son estadísticamente iguales (P= 0.05).

Los tratamientos de desinfección de semilla con cal (Cuadro 7) no presentaron diferencias estadísticas en cuanto al número de semillas contaminadas, pero todos mostraron menor contaminación respecto al testigo. Sin embargo, los tratamientos de cal sí afectaron la germinación, de tal forma que el tratamiento T7 (1 % de cal con un tiempo de exposición de 3 horas) presentó la más alta germinación con un valor de 25 semillas germinadas que representa un 100 % de germinación. El T7 difirió estadísticamente del tratamiento T11 (con 10 % de cal) y del testigo, lo que sugiere que la aplicación de cal en altas concentraciones puede afectar negativamente la germinación. El testigo sin cal también tuvo menos germinación, pero esto se puede explicar porque con dicho tratamiento hubo más contaminación. Morales (2002), sugirió una desinfección

de semilla de trigo con cal al 5 % durante 6 horas, pero con los resultados obtenidos en el presente estudio se puede considerar que una menor dosis (1 %) y menor exposición como la aquí evaluada (3 horas), es suficiente para una buena desinfección de semilla.

Cuadro 8. Comparación de medias del número de semillas de trigo germinadas y contaminadas con diferentes tratamientos de desinfección con peróxido de hidrógeno

| Tratamiento            | Plantas Germinadas    | Plantas Contaminadas |
|------------------------|-----------------------|----------------------|
| T13 (10 %; 10 minutos) | 24.500 a <sup>t</sup> | 7.750 ab             |
| T14 (10 %; 20 minutos) | 22.000 a              | 5.500 ab             |
| T15 (20 %; 10 minutos) | 24.000 a              | 4.750 ab             |
| T16 (20 %; 20 minutos) | 22.000 a              | 6.000 ab             |
| T17 (30 %; 10 minutos) | 23.500 a              | 5.000 ab             |
| T18 (30 %; 20 minutos) | 21.500 a              | 3.250 a              |
| T25 (Testigo)          | 22.250 a              | 9.000 b              |
| DMSH                   | 4.0719                | 5.4685               |

DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.; <sup>t</sup> = Medias con la misma letra dentro de la columna son estadísticamente iguales (P= 0.05).

Respecto a los tratamientos de peróxido de hidrógeno (Cuadro 8) no se presentaron diferencias en el número de semillas germinadas en un rango de 21 a 24 semillas representando un 84 a 96 % de germinación; sin embargo, en el número de semillas contaminadas, se puede observar que el mejor tratamiento fue el T18 (30 % de peróxido de hidrógeno por 30 minutos), con

solamente 3 semillas contaminadas de un total de 25 (12.8 % de contaminación).

Cuadro 9. Comparación de medias del número de semillas de trigo germinadas y contaminadas en los diferentes tratamientos de desinfección con sales cuaternarias

| Tratamiento                              | Plantas Germinadas    | Plantas Contaminadas |
|------------------------------------------|-----------------------|----------------------|
| T19 (20 mg.L <sup>-1</sup> ; 10 minutos) | 24.750 a <sup>t</sup> | 4.250 a              |
| T20 (20 mg.L <sup>-1</sup> ; 20 minutos) | 24.250 ab             | 5.750 a              |
| T21 (40 mg.L <sup>-1</sup> ; 10 minutos) | 24.500 a              | 7.750 a              |
| T22 (40 mg.L <sup>-1</sup> ; 20 minutos) | 24.250 ab             | 3.250 a              |
| T23 (60 mg.L <sup>-1</sup> ; 10 minutos) | 23.250 ab             | 4.500 a              |
| T24 (60 mg.L <sup>-1</sup> ; 20 minutos) | 23.750 ab             | 5.500 a              |
| T25 (Testigo)                            | 22.250 b              | 9.000 a              |
| DMSH                                     | 2.0051                | 6.1058               |

DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.; <sup>t</sup> = Medias con la misma letra dentro de la columna son estadísticamente iguales ( $p = 0.05$ ).

Los tratamientos de sales cuaternarias de amonio (Cuadro 9) no presentaron diferencias en el número de semillas contaminadas, e incluso son estadísticamente iguales al testigo, lo que indica que la acción desinfectante de este producto no fue efectiva. En cuanto a las semillas germinadas, los tratamientos T19 y T21 fueron mejores respecto al testigo, presentando al menos un 98 % de germinación en ambos tratamientos. Dado que no existen diferencias significativas entre los tratamientos T19 y T21 tanto en germinación

como en contaminación, entonces el mejor tratamiento de sales cuaternarias para trigo es T19 (con  $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ; durante 10 minutos).

#### 4.1.2. Experimento 2: Desinfección de semilla y sistema de riego

El análisis de varianza muestra que tanto el sistema de desinfección como el de riego presentan diferencias significativas en cuanto al índice de contaminación (IC); el sistema de desinfección también mostró diferencias significativas en la eficiencia de riego (ER) y en altura de planta (Cuadro 10).

Cuadro 10. Análisis de varianza para diferentes variables en trigo para forraje hidropónico bajo diferentes métodos de desinfección y sistemas de riego.

| <i>Fuente de Variación.</i> | <i>G.L.</i> | <i>Cuadrados Medios</i> |                     |                  |
|-----------------------------|-------------|-------------------------|---------------------|------------------|
|                             |             | Índice de Contaminación | Eficiencia de Riego | Altura de Planta |
| Desinfección                | 4           | 3.333 **                | 0.883 *             | 24.833 *         |
| Bloque                      | 2           | 0.400                   | 0.233               | 14.533           |
| Riego                       | 1           | 6.533 **                | 0                   | 0.133            |
| Riego*Desinfección          | 4           | 0.533                   | 0.083               | 1.633            |
| Error                       | 8           | 0.733                   | 0.233               | 0.408            |

G.L.: Grados de libertad.; \* significativo con  $P= 0.05$  \*\*Altamente significativo con  $P= 0.01$ .

En el Cuadro 11 se muestra la comparación de medias para las variables de índice de contaminación, eficiencia de riego y altura de planta para trigo, para

los tratamientos de desinfección, y en el Cuadro 12 se muestra la comparación de medias para la variable de índice de contaminación evaluada en los sistemas de riego por inundación y microaspersión.

Cuadro 11. Comparación de medias para las variables de índice de contaminación y altura de planta en trigo bajo diferentes tratamientos de desinfección.

| Tratamiento de desinfección                           | Índice de contaminación | Eficiencia de riego | Altura de planta (cm) |
|-------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------|
| Ta (NaClO, 1 %; 30 minutos)                           | 1.333 ab <sup>t</sup>   | 2.166 ab            | 19.166 b              |
| Tb (Ca(OH) <sub>2</sub> , 1 %; 3 horas)               | 2.000 a                 | 2.333 a             | 20.500 a              |
| Tc (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , 30 %; 20 minutos) | 1.000 ab                | 2.00 ab             | 19.166 b              |
| Td (Sales, 20 mg.L <sup>-1</sup> ; 10 minutos)        | 0.666 ab                | 1.83 ab             | 17.666 c              |
| Te (Testigo)                                          | 0.0000 b                | 1.333 b             | 15.166 d              |
| DMSH                                                  | 1.7081                  | 0.963               | 1.274                 |

Índice de contaminación: 0 (75-100 % contaminado), 1 (75-50 %). 2 (50-25 %) y 3 (25-0 %); Eficiencia de riego: 0 (muy malo), 1(malo), 2 (bueno), 3 (muy bueno) ver figura 7; Altura de planta en cm; DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.; <sup>t</sup> = Medias con la misma letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales (P = 0.05).

Las comparaciones de medias (Cuadro 11) muestran que el tratamiento de desinfección que presenta un menor índice de contaminación es el Tb que corresponde a 1 % de cal durante 3 horas, aunque fue estadísticamente superior sólo respecto al Te (Testigo). Del mismo modo, el tratamiento Tb superó numéricamente en eficiencia de riego a los otros tratamientos, pero en altura de planta, el tratamiento Tb con 20.05 cm fue estadísticamente mayor a todos los tratamientos. Esta diferencia a favor de tratamiento con cal para una

mayor protección de la semilla puede deberse a que la cal además de proteger a las semillas de enfermedades fungosas las cuales afectan el crecimiento de las plantas (Canul, 1997), aporta calcio para la formación de paredes celulares y ayuda a un mayor crecimiento vegetal (Yañez, 2002). No obstante, como se observa en el ANOVA también hubo un efecto significativo de la posición de la charola dentro del sistema de producción, es decir que hubo efecto de bloques, motivo por lo cual no es posible aseverar que la diferencia de crecimiento haya sido exclusivamente por el tratamiento, sino que además pudieron influir otros factores ambientales como la luz recibida, la cual provoca elongación de tallos (Rojas y Rovalo, 1985).

Cuadro 12. Comparación de medias para índice de contaminación en trigo en dos sistemas de riego

| <i>Sistema de Riego</i> | <i>Índice de Contaminación</i> |
|-------------------------|--------------------------------|
| Inundación              | 1.466 a <sup>t</sup>           |
| Microaspersión          | 0.533 b                        |
| DMSH                    | 0.297                          |

Índice de contaminación: 0 (75-100 % contaminado), 1 (75-50 %). 2 (50-25 %) y 3 (25-0 %); DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.; <sup>t</sup> = Medias con la misma letra dentro de la columna son estadísticamente iguales (P = 0.05).

Se observa (Cuadro 12) que el sistema de riego que presenta menor índice de contaminación es el de inundación; esto puede ser debido a que la cantidad de humedad presente en el microclima es menor que el de microaspersión, ocasionando así una menor contaminación por hongos en el Forraje Verde Hidropónico (Carrillo, 2003).

#### 4.1.3. Experimento 3: Densidad de Siembra

El análisis de varianza (Cuadro 13), muestra diferencias significativas en las variables altura de planta (AP), peso fresco (PF) y rendimiento (REN), pero no para la Relación de Conversión.

Cuadro 13. Análisis de varianza para las variables indicadas en trigo para forraje hidropónico cultivado en tres densidades de siembra

| Fuente de Variación. | G.L. | Altura de Planta (cm) | Peso Fresco (Kg) | Rendimiento ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ) | Relación de conversión (Kg forraje/ Kg semilla) |
|----------------------|------|-----------------------|------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Densidad             | 2    | 12.111*               | 5.674*           | 162.343*                                      | 1.000                                           |
| Bloque               | 2    | 0.777                 | 0.284            | 8.1415                                        | 0.333                                           |
| Error                | 4    | 1.111                 | 0.284            | 3.659                                         | 0.833                                           |

G.L.: Grados de libertad.; \* significativo con un  $P=0.05$ .

En el Cuadro 14 se observa que con la densidad mas alta ( $5.5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ) se obtuvo la mayor altura de planta (16.3 cm), la cual es estadísticamente igual de la densidad media ( $4.5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ) y estadísticamente mayor a las plantas establecidas en baja densidad ( $3.5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ). La densidad media, fue intermedia en altura de planta. Esto es que, a medida que se aumenta la densidad de siembra, la altura de planta también se incrementa, encontrando una diferencia de 4 cm en altura de planta entre los tratamientos de densidad baja y alta. Este comportamiento se debe a que en altas densidades, hay mayor competencia por los factores ambientales que incidían durante el crecimiento de las plantas principalmente la luz, que provoca una mayor elongación, en tallos y hojas (Evans, 1983; Rojas y Rovalo, 1985). Los resultados obtenidos también

concuerdan con los reportados por Rojas (1996), quien indica que a mayor densidad de siembra se obtiene una mayor altura de planta. La altura de planta lograda es menor a lo observado por Sagi (1976) y Moreno (1976), quienes encontraron altura de planta de trigo entre 15 a 25 cm, en un período de cultivo de 10 días. Posiblemente debido a que durante este periodo las temperaturas fueron relativamente bajas lo que ocasionó una menor acumulación de unidades calor (UC) en ese mismo periodo. En la presente investigación y durante el desarrollo de las plantas se tuvo una acumulación de 45.5 unidades calor para un crecimiento de 12 a 16 cm de altura de la planta en un periodo de 13 días.

Cuadro 14. Comparación de medias para diferentes variables en trigo para forraje hidropónico cultivado en tres densidades de siembra.

| Densidad de Siembra             | Altura de Planta (cm) | Peso fresco (kg charola <sup>-1</sup> ) | Rendimiento (kg•m <sup>-2</sup> ) | Relación de conversión (kg forraje/kg semilla) |
|---------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------|
| Alta (5.5 kg.m <sup>-2</sup> )  | 16.333 a <sup>t</sup> | 5.066 a                                 | 27.090 a                          | 6.000 a                                        |
| Media (4.5 kg.m <sup>-2</sup> ) | 14.666 ab             | 3.966 b                                 | 21.207 b                          | 6.000 a                                        |
| Baja (3.5 kg.m <sup>-2</sup> )  | 12.333 b              | 2.333 c                                 | 12.470 c                          | 5.000 a                                        |
| DMSH                            | 3.067                 | 1.040                                   | 5.566                             | 2.656                                          |

DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.; <sup>t</sup> = Medias con la misma letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales (P= 0.05).

En cuanto a peso fresco de forraje se observa que a medida que se incrementó la densidad de siembra mayor fue el peso obtenido por charola al momento de la cosecha. Esta variable está directamente relacionada con el rendimiento

( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ) y con la relación de conversión (RC) aunque esta última no presentó diferencias significativas entre densidades, obteniéndose en promedio una RC de 6:1 (6 kilogramos de forraje producido por kilogramo de semilla sembrada). El hecho de que no haya diferencias en esta variable, indica que aunque el peso fresco aumenta con la mayor densidad, ésta no afecta la conversión de la semilla dentro de la charola; sin embargo, el valor obtenido es aceptable considerando que las condiciones de temperatura en que se llevó a cabo el experimento no fueron muy favorables para lograr una mayor acumulación de unidades calor. Al respecto Canul (1997), reportó una RC en trigo de 4.7 kg de forraje por cada kilogramo de semilla, aunque Lugo (1987), encontró valores más altos (8:1) para esta misma especie; sin embargo, Valdivia (1997), indica que obtener valores de RC de 5:1 es un buen logro y que es muy difícil alcanzar relaciones de conversión de semilla a forraje con valores superiores a 7:1. El rendimiento ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ), tuvo un comportamiento similar al del peso fresco, de tal forma que el mayor rendimiento logrado ( $27.09 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ) se obtuvo con la densidad más alta, seguida de  $21.2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$  con la densidad media, y  $12.07 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$  con la densidad baja. Considerando que la densidad alta rinde 5.89 kg más que la densidad media y que ésta rinde 9.13 kg más que la densidad baja, el rendimiento que se obtiene al usar la densidad alta respecto a la media es proporcionalmente menor; dado que la relación de conversión fue de 6:1 en las tres densidades, se sugiere utilizar la densidad de siembra alta ( $5.5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ) con la que se obtiene el mas alto rendimiento ( $27.09 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ), rendimiento que es muy aceptable si sé considera que existen reportes de rendimientos más bajos con densidades de siembra aún más altas, como lo reportado por Rojas (1996),

quien en trigo obtuvo un rendimiento de forraje de  $7.7 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$  con una densidad de siembra de  $5.21 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ; aunque utilizando la misma densidad de siembra, Canul (1997), reportó en trigo un rendimiento de hasta  $22.8 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ .

#### 4.1.4. Experimento 4. Concentración de la solución nutritiva.

El análisis de varianza (Cuadro 15) mostró diferencias significativas para las variables Peso Fresco (PF), Rendimiento (REN), Relación de conversión de Kg de forraje producido por Kg de semilla sembrada (RC), Materia Seca (MS), Cenizas (CEN), Proteína Cruda (PC) y Extracto Libre de Nitrógeno (ELN), lo que indica que las diferentes concentraciones de solución nutritiva influyen en la cantidad y calidad del forraje verde hidropónico (FVH).

Cuadro 15. Análisis de varianza para las variables evaluadas en las diferentes concentraciones de solución nutritiva

| F. V.    | G.L. | Cuadrados Medios      |                  |                                                     |                             |                   |
|----------|------|-----------------------|------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------|
|          |      | Altura de Planta (AP) | Peso Fresco (PF) | Rendimiento REN ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ) | Relación de Conversión (RC) | Materia Seca (MS) |
| Solución | 2    | 0.924                 | 4.623*           | 137.334*                                            | 13.44*                      | 4.044*            |
| Bloque   | 2    | 0.014                 | 0.063            | 5.951                                               | 0.111                       | 0.247             |
| Error    | 4    | 0.527                 | 0.311            | 4.207                                               | 0.777                       | 0.428             |

| F. V.    | G.L. | Cuadrados Medios |                     |                      |                  |                           |
|----------|------|------------------|---------------------|----------------------|------------------|---------------------------|
|          |      | Cenizas (CEN)    | Proteína Cruda (PC) | Extracto Etéreo (EE) | Fibra Cruda (FC) | Extracto Libre de N (ELN) |
| Solución | 2    | 2.879*           | 16.287*             | 0.092                | 45.620           | 188.139*                  |
| Bloque   | 2    | 0.033            | 0.036               | 0.963                | 9.203            | 16.805                    |
| Error    | 4    | 0.276            | 1.696               | 0.309                | 8.418            | 19.040                    |

F.V.: Fuente de variación; G.L.: Grados de libertad.; \* significativo con un  $P = 0.05$

En el Cuadro 16 se presenta la comparación de medias de las variables evaluadas en las tres concentraciones de solución nutritiva aplicadas.

Cuadro 16. Comparación de medias de variables evaluadas en trigo para diferentes concentraciones de solución nutritiva

| SN    | PF<br>(Kg)           | REN<br>(kg.m <sup>-2</sup> ) | RC<br>(Kg/Kg) | MS<br>(%) | CEN<br>(%) | PC<br>(%) | ELN<br>(%) |
|-------|----------------------|------------------------------|---------------|-----------|------------|-----------|------------|
| 100 % | 6.167 a <sup>t</sup> | 34.23 a                      | 9.667 a       | 11.16 a   | 7.36 a     | 24.18 a   | 29.84 b    |
| 50 %  | 6.133 a              | 31.53 a                      | 9.667 a       | 9.386 ab  | 6.29 ab    | 21.88 ab  | 42.05 ab   |
| 0 %   | 4.00 b               | 21.40 b                      | 6.00 b        | 8.98 b    | 5.403 b    | 19.52 b   | 44.687 a   |
| DMSH  | 1.624                | 5.969                        | 2.566         | 1.905     | 1.529      | 3.790     | 12.698     |

SN (Solución nutritiva); PF (Peso fresco); REN (Rendimiento); RC (Relación de conversión); MS (Materia seca); CEN (Cenizas); PC (Proteína cruda); ELN (Extracto libre de nitrógeno); DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; <sup>t</sup> = Medias con la misma letra dentro de la columna son estadísticamente iguales (P= 0.05).

El peso fresco no tuvo diferencias estadísticas entre los tratamientos con 50 y 100 % de concentración de la solución nutritiva, mostrando un peso de 6.1 kg por charola al momento de la cosecha, ambas concentraciones (50 y 100 %) son estadísticamente superiores al tratamiento sin solución nutritiva. Lo mismo ocurre para las variables de Rendimiento y en la Relación de Conversión. En este experimento, se logró un rendimiento de 31.5 kg•m<sup>-2</sup> con la solución nutritiva del 50 % y hasta 34.23 kg•m<sup>-2</sup> con la solución al 100 % de concentración, rendimientos que están por encima de los reportados en otras investigaciones similares; Canul (1997), utilizando la misma densidad de siembra, alcanzó rendimientos de 22.8 kg•m<sup>-2</sup> y Morales *et al.* (2002) obtuvo rendimientos de 30.88 kg•m<sup>-2</sup> en trigo. La RC fue la misma (9:6) con ambas concentraciones de solución, es decir que por cada kilogramo de semilla se

obtuvieron 9 kilogramos de Forraje Verde Hidropónico, dicha RC también se encuentra por encima de lo reportado en trigo por Canul (1997), que encontró solamente 4.7 kg de forraje por cada kilogramo de semilla, y por Lugo (1987), quien reportó relaciones de conversión de 8:1.

La Materia Seca mostró diferencias estadísticas entre tratamientos; la mayor acumulación se obtuvo con la solución nutritiva al 100 %. Este tratamiento es estadísticamente igual al de la solución de 50 %, pero es diferente al tratamiento testigo, lo que indica que la aplicación de solución nutritiva incrementa la acumulación de materia seca en el forraje. De hecho el mayor peso se logró con la aplicación de la solución nutritiva al 100 %, con un valor de 11.16 % de MS. Resultados similares fueron reportados por Maldonado *et al.* (2013) quienes obtuvieron 10.55 % de materia seca en trigo en un periodo de producción de 15 días. Morales (2002) obtuvieron un 9.32 % de MS en trigo utilizando la solución nutritiva propuesta por Rojas (1996) y Canul (1997).

En cuanto al contenido de cenizas se observa que la concentración al 100 % de solución es la mejor siendo estadísticamente igual a la de 50 % pero diferente al tratamiento sin solución, lo que indica que al aplicar solución nutritiva no sólo se incrementa la acumulación de materia seca sino que además el porcentaje de cenizas se ve aumentado, beneficiando la calidad nutrimental del forraje, con la solución nutritiva al 100 % se obtuvo 7.36 % de cenizas, valores que son muy altos respecto a los reportados por otros autores como Maldonado *et al.* (2013) quienes obtuvieron un valor de 3.48 % en trigo y Pound *et al.* (1995) para trigo cv. Hard Winter reportaron un valor de 2.0 %, estos autores también establecen

que, nutricionalmente, el valor de las cenizas tiene poca importancia y que valores excesivamente altos pueden indicar que existió contaminación con suelo o sales.

Para la variable de proteína cruda, se observa que el valor mas alto fue de 24.18 % obtenido con la concentración al 100 % a los 13 días de producción, siendo estadísticamente igual a la concentración de 50 % con un 21.88 % de proteína, el tratamiento de 50 % no presenta diferencias significativas con el tratamiento sin solución en el cual se obtuvo un valor de 19.52 % de proteína. La diferencia se observa entre el tratamiento sin solución y el de concentración de 100 %. Herrera *et al.* (2010), en trigo encontraron concentraciones de proteína cruda de 13.4, 21.5 y 12.6 %, analizadas a los 8, 10 y 12 días después de la siembra, sin embargo, Morales (2002), obtuvieron valores de 34.5 % los cuales están por encima de los obtenidos en esta investigación, por lo que no existe una concentración de proteína promedio específica, ya que ésta varía en función de las condiciones de producción del forraje verde hidropónico.

En cuanto al extracto libre de nitrógeno (ELN), se observa que en el tratamiento con una concentración de 100 % se obtuvo un valor de 29.84 % de ELN ubicándose en un valor bajo y siendo estadísticamente igual al obtenido con la concentración del 50 % con un valor de 42.05 %, los tratamientos con 50 y 0 % de concentración no presentaron diferencias significativas, siendo el valor de 44.67 % de ELN para las plantas con riego sin solución nutritiva. Considerando que el ELN es el resultado de restar al 100 % de la muestra, la suma obtenida en los análisis de humedad, proteína, lípidos y cenizas, representando los

almidones y azúcares presentes en el alimento, es difícil definir un valor promedio, ya que depende de otras variables, sin embargo, se toma como referencia que el contenido de ELN en un alimento concentrado (Sorgo molido y pasta de soya en una relación 4:1) es de 48 % (Morales *et al.*, 2002) el valor más cercano obtenido corresponde al tratamiento sin solución nutritiva, por el contrario el valor de 29.84 % de la concentración al 100 % es bajo respecto a los resultados obtenidos por Morales (2002) quien obtuvo valores de 38.6 %, aunque estos datos no reflejan algo específico, ya que esa disminución de porcentaje pudo ser debido a un valor más alto en proteína, lípidos, humedad y cenizas, modificando la calidad final del Forraje Verde Hidropónico.

## **4.2 Resultados en cebada**

### **4.2.1 Experimento 1. Tratamientos de desinfección de semilla**

Durante el crecimiento de las plantas, los primeros indicios de contaminación aparecieron al cuarto día de sembradas las semillas en los tratamientos con peróxido de hidrógeno y sales cuaternarias de amonio de cuarta generación, y a los 6 días para los tratamientos con cloro y cal.

El análisis de varianza (Cuadro 17) mostró que el cloro tuvo efectos significativos para la variable plantas contaminadas; la cal tuvo efectos tanto en plantas germinadas como en plantas contaminadas; el peróxido de hidrógeno presentó diferencias en cuanto a plantas contaminadas y plantas germinadas y las sales cuaternarias presentaron diferencias solamente en el número de plantas contaminadas.

Cuadro 17. Análisis de varianza para las variables en cebada para forraje hidropónico de los tratamientos de desinfección.

| <i>Cuadrados Medios</i> |             |                    |                      |                    |                      |
|-------------------------|-------------|--------------------|----------------------|--------------------|----------------------|
| <i>F. V.</i>            | <i>G.L.</i> | Cloro              |                      | Cal                |                      |
|                         |             | Plantas Germinadas | Plantas Contaminadas | Plantas Germinadas | Plantas Contaminadas |
| Trat.                   | 6           | 13.916             | 56.142**             | 23.642 **          | 27.119 **            |
| Bloque                  | 3           | 4.285              | 4.285                | 4.666              | 1.940                |
| Error                   | 18          | 3.424              | 4.730                | 1.500              | 3.579                |

| <i>Cuadrados Medios</i> |             |                       |                      |                    |                      |
|-------------------------|-------------|-----------------------|----------------------|--------------------|----------------------|
| <i>F. V.</i>            | <i>G.L.</i> | Peróxido de hidrógeno |                      | Sales cuaternarias |                      |
|                         |             | Plantas Germinadas    | Plantas Contaminadas | Plantas Germinadas | Plantas Contaminadas |
| Trat.                   | 6           | 30.142 **             | 23.285 **            | 7.904              | 31.059 **            |
| Bloque                  | 3           | 1.904                 | 7.559                | 4.226              | 0.226                |
| Error                   | 18          | 2.571                 | 4.809                | 5.476              | 4.726                |

F.V.: Fuente de variación; G.L.: Grados de libertad.; \*\* significativo con un P = 0.01

En los Cuadros 18 al 21 se muestran las comparaciones de medias de los diferentes tratamientos de desinfección (dosis y tiempo de exposición), para cada solución de desinfección utilizada.

Cuadro 18. Comparación de medias del número de semillas de cebada germinadas y contaminadas en los diferentes tratamientos de desinfección con cloro

| Tratamiento           | Plantas Germinadas    | Plantas Contaminadas |
|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| T1 (1 %, 30 minutos)  | 20.250 a <sup>t</sup> | 6.750 a              |
| T2 (1 %, 1 hora)      | 18.000 a              | 4.250 a              |
| T3 (5 %, 30 minutos)  | 22.500 a              | 5.750 a              |
| T4 (5 %, 1 hora)      | 22.000 a              | 4.500 a              |
| T5 (10 %, 30 minutos) | 19.500 a              | 6.000 a              |
| T6 (10 %, 1 hora)     | 19.500 a              | 4.000 a              |
| T25 (Testigo)         | 17.500 a              | 14.750 b             |
| DMSH                  | 5.3549                | 6.293                |

DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.; <sup>t</sup> = Medias con la misma letra dentro de la columna son estadísticamente iguales ( $p = 0.01$ ).

Los diferentes tratamientos de cloro (Cuadro 18) incluyendo al testigo, no presentaron diferencias significativas respecto al número de semillas germinadas con una germinación de 17 a 20 semillas de un total de 25, representando de un 69 a 80 % de germinación. Respecto al número de semillas contaminadas, todos los tratamientos que utilizaron cloro no presentaron diferencias significativas, con estos resultados y considerando que T1 corresponde a la menor dosis de cloro (1 %) y el menor tiempo de exposición (30 minutos), se considera al T1 como mejor tratamiento para la desinfección de semilla de cebada.

Cuadro 19. Comparación de medias del número de semillas de cebada germinadas y contaminadas en los diferentes tratamientos de desinfección con cal

| Tratamiento         | Plantas Germinadas    | Plantas Contaminadas |
|---------------------|-----------------------|----------------------|
| T7 (1 %; 3 horas)   | 21.750 a <sup>t</sup> | 7.000 a              |
| T8 (1 %; 6 horas)   | 23.000 a              | 8.250 a              |
| T9 (5 %; 3 horas)   | 24.750 a              | 9.000 a              |
| T10 (5 %; 6 horas)  | 24.500 a              | 8.250 a              |
| T11 (10 %; 3 horas) | 23.250 a              | 8.500 a              |
| T12 (10 %; 6 horas) | 22.250 a              | 7.500 a              |
| T25 (Testigo)       | 17.500 b              | 14.750 b             |
| DMSH                | 3.544                 | 5.4746               |

DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.; <sup>t</sup> = Medias con la misma letra dentro de la columna son estadísticamente iguales ( $p = 0.01$ );

Al igual que en cloro todos los tratamientos con Cal tuvieron el mismo efecto en la desinfección de la semilla, por lo que no hubo diferencias entre tratamientos, solamente el testigo tuvo estadísticamente menor número de plantas germinadas y mas contaminadas. Así el mejor tratamiento, por una mejor desinfección en valores absolutos, menor dosis y tiempo de exposición, seria el T7 (Cal al 1 % durante 30 minutos), Morales *et al* (2002), reportó desinfección al 5 % de cal durante 6 horas, pero los resultados sugirieron que con una menor dosis y menor tiempo de exposición es suficiente para una buena desinfección de semilla de cebada.

Cuadro 20. Comparación de medias del número de semillas de cebada germinadas y contaminadas en los diferentes tratamientos de desinfección con peróxido de hidrógeno

| Tratamiento            | Plantas Germinadas     | Plantas Contaminadas |
|------------------------|------------------------|----------------------|
| T13 (10 %; 10 minutos) | 21.250 ab <sup>t</sup> | 9.250 ab             |
| T14 (10 %; 20 minutos) | 24.750 a               | 13.500 ab            |
| T15 (20 %; 10 minutos) | 24.250 a               | 11.250 ab            |
| T16 (20 %; 20 minutos) | 18.250 b               | 8.000 b              |
| T17 (30 %; 10 minutos) | 22.000 ab              | 10.500 ab            |
| T18 (30 %; 20 minutos) | 22.000 ab              | 9.500 ab             |
| T25 (Testigo)          | 17.500 b               | 14.750 ab            |
| DMSH                   | 4.6402                 | 6.346                |

DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.; <sup>t</sup> = Medias con la misma letra dentro de la columna son estadísticamente iguales ( $p = 0.01$ );

Entre los tratamientos de peróxido de hidrogeno (Cuadro 20) y sales cuaternarias de amonio (Cuadro 21) tampoco hubo diferencias significativas, pero bajo los mismos criterios para definir el mejor tratamiento, para peróxido de hidrogeno es el T16 (20 % por 20 minutos) que presento en promedio 8 semillas contaminadas de un total de 25, es decir un 32 % de contaminación, y entre tratamientos de sales cuaternarias de amonio el mejor el T19 (20 mg·L<sup>-1</sup> por 10 minutos) presentando un promedio de 6.5 plantas contaminadas, es decir un 26 % de contaminación

Cuadro 21. Comparación de medias del número de semillas de cebada germinadas y contaminadas en los diferentes tratamientos de desinfección con sales cuaternarias

| Tratamiento                              | Plantas Germinadas    | Plantas Contaminadas |
|------------------------------------------|-----------------------|----------------------|
| T19 (20 mg·L <sup>-1</sup> ; 10 minutos) | 19.750 a <sup>t</sup> | 6.500 b              |
| T20 (20 mg·L <sup>-1</sup> ; 20 minutos) | 18.500 a              | 8.500 ab             |
| T21 (40 mg·L <sup>-1</sup> ; 10 minutos) | 17.500 a              | 9.000 ab             |
| T22 (40 mg·L <sup>-1</sup> ; 20 minutos) | 18.000 a              | 10.000 ab            |
| T23 (60 mg·L <sup>-1</sup> ; 10 minutos) | 19.750 a              | 9.000 ab             |
| T24 (60 mg·L <sup>-1</sup> ; 20 minutos) | 21.250 a              | 6.500 b              |
| T25 (Testigo)                            | 17.500 a              | 14.750 ab            |
| DMSH                                     | 6.7715 6.500          | 6.2908               |

DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; <sup>t</sup> = Medias con la misma letra dentro de la columna son estadísticamente iguales ( $p = 0.01$ ).

#### 4.2.2 Experimento 2. Desinfección de semilla y sistema de riego

El análisis de varianza (Cuadro 22) muestra que el sistema de desinfección presenta diferencias significativas en cuanto al índice de contaminación (IC) y altura de planta (AP), entre sistemas de riego y en la interacción Desinfección\*Riego no hubo efectos significativos en ninguna variable evaluada.

Cuadro 22. Análisis de varianza para diferentes variables en cebada para forraje hidropónico bajo diferentes métodos de desinfección y sistemas de riego.

| <i>Fuente de Variación</i> | <i>G.L.</i> | <i>Cuadrados Medios</i> |                     |                       |
|----------------------------|-------------|-------------------------|---------------------|-----------------------|
|                            |             | Índice de Contaminación | Eficiencia de Riego | Altura de Planta (cm) |
| Desinfección               | 4           | 2.133 *                 | 1.666               | 9.166 **              |
| Bloque                     | 2           | 1.20                    | 0.000               | 36.133 **             |
| Riego                      | 1           | 0.033                   | 0.033               | 1.63                  |
| Riego*Desinfección         | 4           | 0.366                   | 0.200               | 2.30                  |
| Error                      | 8           | 0.158                   | 0.000               | 1.216                 |

G. L. Grados de libertad.; \* significativo con P= 0.05; \*\*Altamente significativo con P= 0.01.

Cuadro 23. Comparación de medias del índice de contaminación y altura de planta en cebada bajo diferentes tratamientos de desinfección en cebada

| Tratamiento de desinfección                           | Índice de contaminación | Altura de planta |
|-------------------------------------------------------|-------------------------|------------------|
| Ta (NaClO, 1 %; 30 minutos)                           | 1.333 ab <sup>t</sup>   | 18.33 a          |
| Tb (Ca(OH) <sub>2</sub> , 1 %; 3 horas),              | 1.50 a                  | 18.00 a          |
| Tc (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , 30 %; 20 minutos) | 1.00 ab                 | 17.00 ab         |
| Td (Sales, 20 mg.L <sup>-1</sup> ; 10 minutos),       | 0.666 bc                | 17.33 ab         |
| Te (Testigo)                                          | 0.000 c                 | 15.16 b          |
| DMSH                                                  | 0.793                   | 2.20             |

Índice de contaminación: 0 (75-100 % contaminado), 1 (75-50 %). 2 (50-25 %) y 3 (25-0 %); Altura de planta en cm; DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.; <sup>t</sup> = Medias con la misma letra dentro de la columna son estadísticamente iguales (p = 0.05).

En el Cuadro 23 se observa que en cuanto al el índice de contaminación los tratamientos Ta, Tb y Tc son estadísticamente iguales y mejores que el testigo y que le tratamiento a base de cal es mejor que con sales cuaternarias de amonio y el testigo, con un valor de 1.5. En AP los tratamientos Ta, Tb, Tc y Td son estadísticamente iguales, pero el Ta y Tb presentan diferencias significativas respecto al testigo (Te). Aunque los tratamientos de cloro, cal y peróxido de hidrógeno son igualmente eficientes, la elección se puede hacer con base al costo, cuando se habla de altos volúmenes de producción es más barato ocupar la cal que el cloro o el peróxido de hidrógeno. La menor altura de planta se observa en el testigo (15 cm), esta puede estar dada debido a la aplicación de soluciones desinfectantes ya que estas protegen de enfermedades fungosas las cuales pueden afectar el crecimiento de las plantas (Canul, 1997).

### 4.2.3 Experimento 3. Densidad de siembra

El análisis de varianza (Cuadro 24), muestra diferencias significativas en las variables de altura de planta (AP), peso fresco (PF), rendimiento (REN) y relación de conversión (RC).

Cuadro 24. Análisis de varianza para las variables en cebada para forraje hidropónico cultivado en tres densidades de siembra

| <i>Fuente de Variación</i> | <i>G.L.</i> | <i>Cuadrados Medios</i> |                  |                                                   |                             |
|----------------------------|-------------|-------------------------|------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------|
|                            |             | Altura de Planta (cm)   | Peso Fresco (PF) | Rendimiento/m <sup>2</sup> (REN.m <sup>-2</sup> ) | Relación de conversión (RC) |
| Densidad                   | 2           | 10.778 *                | 9.0178 *         | 257.921 *                                         | 4.333 *                     |
| Bloque                     | 2           | 0.111                   | 0.121            | 3.467                                             | 0.333                       |
| Error                      | 4           | 1.444                   | 0.0678           | 1.937                                             | 0.1667                      |

G.L.: Grados de libertad.; \* significativo con un  $p = 0.05$ ;

En el Cuadro 25 se presenta la comparación de medias Tukey para las variables AP, PF, REN·m<sup>-2</sup> y RC, en el que se observa que con la densidad más alta (4.5 kg·m<sup>-2</sup>) se obtuvo la mayor altura de planta (15.3 cm), la cual es estadísticamente diferente a la densidad más baja (2.5 kg·m<sup>-2</sup>). La densidad media (3.5 kg·m<sup>-2</sup>) es estadísticamente igual a la densidad baja. Esto indica que, a medida que se incrementa la densidad de siembra, la altura de planta también se incrementa, posiblemente debido a que en altas densidades, la competencia principalmente por luz provoca una mayor elongación de plantas (Evans, 1983; Rojas y Rovalo, 1985). Lo anterior concuerda con los resultados reportados por Rojas (1996), quien indica que a mayor densidad de siembra se obtiene una mayor altura de planta. Los valores alcanzados en altura de planta

son relativamente bajos, ya que se ha reportado altura en de 15 a 25 cm, en un período de cultivo de 10 días (Sagi, 1976 y Moreno, 1976). Esto también puede deberse a que durante el periodo de crecimiento de las plantas, las temperaturas fueron bajas lo que ocasionó que las Unidades Calor Acumuladas fueran pocas, durante el desarrollo de las plantas se tuvo una acumulación de 45.5 Unidades Calor.

Cuadro 25. Comparación de medias de las variables en cebada para forraje hidropónico cultivado en tres densidades de siembra.

| <i>DENSIDAD</i>                 | <i>Altura de planta.<br/>AP (cm)</i> | <i>Peso fresco<br/>(Kg.charola<sup>-1</sup>)</i> | <i>Rendimiento<br/>REN (kg•m<sup>-2</sup>)</i> | <i>Relación de<br/>conversión (RC)</i> |
|---------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Alta (4.5 kg.m <sup>-2</sup> )  | 15.333 a <sup>t</sup>                | 5.667 a                                          | 30.297 a                                       | 5.667 a                                |
| Media (3.5 kg.m <sup>-2</sup> ) | 14.333 ab                            | 3.867 b                                          | 20.677 b                                       | 5.000 a                                |
| Baja (2.5 kg.m <sup>-2</sup> )  | 11.667 b                             | 2.200 c                                          | 11.757 c                                       | 3.333 b                                |
| DMSH                            | 3.497                                | 0.7576                                           | 4.05                                           | 1.188                                  |

DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.; <sup>t</sup> = Medias con la misma letra dentro de la columna son estadísticamente iguales ( $p = 0.05$ );

En peso fresco total se encontró que a medida que se incremento la densidad de siembra mayor peso por charola al momento de la cosecha. Este mismo comportamiento se tuvo con el rendimiento (kg•m<sup>-2</sup>), lográndose 30.2 kg•m<sup>-2</sup> con la densidad de 4.5 kg•m<sup>-2</sup>. Dado que la densidad alta rinde 9.62 kg mas que la densidad media y que la densidad media rinde 8.92 kg mas que la densidad baja, el rendimiento que se obtiene al usar la densidad alta por sobre la media

es mayor, por lo que se sugiere utilizar la densidad alta ya que se obtendrá un mayor rendimiento, aunque también implica un mayor uso de semilla. Considerando que la relación de conversión fue de 5:1 en la densidad media y alta, también puede ser una opción el uso de la densidad media de  $3.5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$  ya que involucra un mejor uso de semilla y se obtiene rendimientos altos, de este modo se puede optimizar el costo por semilla, alcanzando rendimientos de  $20.67 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ . Los resultados son similares a los de otros investigadores Salas *et al.* (2012) reporta rendimientos en maíz de  $19.7 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ , y Santos (1987), menciona rendimientos en cebada de  $20 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ . Por su parte Maldonado, *et al.* (2013) usando una densidad de  $3.2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ , obtuvo rendimientos de  $19.9 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ . Con los resultados obtenidos la elección de la densidad media o alta, dependerá de la disponibilidad y costo de la semilla, así como del nivel de producción que se requiera. La relación de conversión también presentó diferencias significativas entre densidades siendo las densidades media y alta estadísticamente iguales en promedio de 5:1 (5 kilogramos de forraje por kilogramo de semilla) pero superior a la relación de conversión de la densidad baja (3.3:1), de cualquier modo se considera que la relación de conversión es aceptable considerando que las condiciones de temperatura no ayudaron a la acumulación de Unidades Calor. De acuerdo con Vargas (2008) a partir de 1 kg de semilla se puede producir una masa forrajera de 6 a 8 kg consumible en su totalidad. Por su parte, Elizondo (2005) menciona que a partir de 1 kg de semilla se pueden obtener 9 kg de biomasa; sin embargo, la relación de conversión de esta investigación coincide con lo establecido por Valdivia (1997) y Sneath y McIntosh (2003) quienes indican que se puede considerar un buen rendimiento

en forrajes bajo sistemas hidropónicos cuando la relación se mantiene en 1: 5, además Valdivia (1997) menciona que obtener mayor volumen de material resulta complicado debido a varias limitantes, como es la calidad de la semilla disponible.

#### 4.2.4 Experimento 4. Concentración de la solución nutritiva

El análisis de varianza (Cuadro 26) mostró que existen diferencias significativas para las variables de rendimiento, concentración de materia seca, cenizas y proteína cruda, entre las diferentes concentraciones de soluciones nutritivas.

Cuadro 26. Análisis de varianza para las variables evaluadas en las diferentes concentraciones de solución nutritiva

| F. V.    | G.L. | Cuadrados Medios         |                     |                                       |                             |                   |
|----------|------|--------------------------|---------------------|---------------------------------------|-----------------------------|-------------------|
|          |      | Altura de Planta (AP) cm | Peso Fresco (PF) kg | Rendimiento REN (kg•m <sup>-2</sup> ) | Relación de conversión (RC) | Materia Seca (MS) |
| Solución | 2    | 4.5211                   | 0.210               | 36.748 *                              | 0.111                       | 3.608 *           |
| Bloque   | 2    | 0.6544                   | 1.560               | 24.214                                | 3.444                       | 0.963             |
| Error    | 4    | 1.1278                   | 0.280               | 2.9078                                | 0.444                       | 0.515             |

| F. V.    | G.L. | Cuadrados Medios |                     |                      |                  |                          |
|----------|------|------------------|---------------------|----------------------|------------------|--------------------------|
|          |      | Cenizas (CEN)    | Proteína cruda (PC) | Extracto etéreo (EE) | Fibra cruda (FC) | Extrac. Libre de N (ELN) |
| Solución | 2    | 2.8468 *         | 11.774 *            | 4.3045               | 37.001           | 136.873                  |
| Bloque   | 2    | 1.3948           | 2.5028              | 1.3260               | 0.6489           | 4.620                    |
| Error    | 4    | 0.2308           | 0.7059              | 0.9082               | 6.6347           | 14.2773                  |

F.V.: Fuente de variación; G.L.: Grados de libertad.; \* significativo con un  $p = 0.05$ ;

En el Cuadro 27 se presenta la comparación de medias de las variables de rendimiento (REN ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ )), materia seca (MS), Cenizas (CEN) y proteína cruda (PC), en las tres concentraciones de solución nutritiva aplicadas.

Cuadro 27. Comparación de medias para las variables evaluadas en cebada para diferentes concentraciones de solución nutritiva

| SOLUCIÓN | RENDIMIENTO<br>( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ) | MATERIA<br>SECA (%) | CENIZAS (%) | PROTEÍNA<br>CRUDA (%) |
|----------|--------------------------------------------------|---------------------|-------------|-----------------------|
| 100%     | 31.367 a <sup>t</sup>                            | 11.510 a            | 7.950 a     | 22.606 a              |
| 50%      | 27.067 ab                                        | 10.210 ab           | 7.326 ab    | 21.546 a              |
| 0%       | 24.433 b                                         | 9.330 b             | 6.040 b     | 18.770 b              |
| DMSH     | 4.9622                                           | 2.089               | 1.3984      | 2.445                 |

DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; <sup>t</sup> = Medias con la misma letra dentro de la columna son estadísticamente iguales (P = 0.05)

Los tratamientos de 50 y 100 % de la concentración de la solución nutritiva son estadísticamente iguales en rendimiento existiendo solo diferencias entre la solución al 100 % y sin solución (0 %), alcanzando rendimientos de hasta  $31,33 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ , estos valores están por encima de los reportados en otras investigaciones, Santos (1987) menciona rendimientos en cebada de  $20 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ .

Los tratamientos de 100 % y 50 % son también estadísticamente iguales en materia seca y cenizas, los tratamientos con 50 % y sin solución no presentan diferencias significativas para dichas variables, la única diferencia fue entre la solución al 100 % y el tratamiento sin solución, lo que indica que la aplicación de solución nutritiva incrementa la acumulación de materia seca en el forraje. Resultados similares han sido reportados por Maldonado *et al.* (2013) quienes obtuvieron 10.55 % de materia seca en trigo en un periodo de producción de 15

días, Vargas (2008) por su parte reporto en sorgo hidropónico 11.48 % de materia seca y 11.54 % en maíz por su parte García *et al.* (2003) mencionan que el suministro adecuado de nutrientes, especialmente nitrógeno (N), es un factor determinante que impacta la acumulación de materia seca en cultivos sometidos a altas densidades de siembra, como en el Forraje Verde Hidropónico.

Como se señaló anteriormente al aplicar solución nutritiva al 50 y 100 % no solo se incrementa la acumulación de materia seca si no que además el porcentaje de cenizas se ve aumentado, beneficiando la calidad nutrimental del forraje, el resultado obtenido con la solución nutritiva al 100 % fue de 7.95 % de cenizas, valores que son muy altos respecto a los reportados por otros autores, como Maldonado *et al.* (2013) que obtuvieron un valor de 3.48 % en trigo, Vargas (2008) reportó porcentajes de cenizas para el sorgo y maíz de 6,54 % y 2.41 % respectivamente.

Para la variable de proteína cruda, se observa que el valor mas alto fue de 22.6 % obtenido con la concentración al 100 % a los 13 días de producción, siendo estadísticamente igual a la concentración de 50 % con un 21.54 % de proteína, ambos tratamientos presentan diferencias significativas con el tratamiento sin solución en el cual se obtuvo un valor de 19.52 % de proteína. Respecto al contenido de proteína cruda, en estudios previos se reportó menor PC en Forraje Verde Hidropónico de maíz obtenido sin aplicación de soluciones nutricionales (únicamente irrigado con agua a suficiencia) en comparación con el PC de FVH fertilizado (Salas *et al.*, 2010), lo cual muestra la importancia de la

aplicación de soluciones nutritivas de al menos 50 % de lo aplicado para obtener forraje de mejor calidad proteica. Herrera *et al.* (2010), en trigo encontraron concentraciones de proteína cruda de 13.4, 21.5 y 12.6 %, analizadas a los 8, 10 y 12 días después de la siembra; por su parte, Carballido (2005) cosechando a edades de 12 días, obtuvo 18.80 % para Forraje Verde Hidropónico de maíz, 25.75 % para cebada cervecera y 19,4 % para cebada blanca y Espinoza *et al.* (2004) encontraron en maíz hidropónico un promedio de 19,44 % de proteína cruda. Sin embargo, el contenido mínimo de proteína cruda que debe tener un FVH es de 7 %, lo que garantiza que se pueda dar como mínimo la fermentación de los carbohidratos estructurales a nivel de rumen (Van Soest, 1994).

### 4.3 Identificación de hongos

La identificación se realizó en trigo y cebada, ambas especies forrajeras presentaron contaminación similar, la finalidad de la identificación fue definir si los hongos presentes eran de importancia fitosanitaria, ya que existen hongos que producen micotoxinas las cuales tiene una acción de intoxicación en animales y humanos (Carrillo, 2003). Según Carrillo (2003), *Rhizopus* es un género que no presentan problemas de producción de micotoxinas, es un hongo muy abundante en el ambiente pero no es fitotóxico. Sin embargo *Alternaria* es un género productor de micotoxinas.

En las muestras de forraje se observaron crecimientos micelares de hongos los cuales se identificaron a través de su morfología con ayuda de un microscopio óptico, encontrándose dos especies de hongos.

La primera especie fue *Alternaria alternata*, debido a que su micelio fue verde grisáceo como lo describe Fraire *et al.* (2010) (Figura 9), y su estructura morfológica presenta: conidios muriformes, de color marrón dorado, de longitud de 3-8 septos transversales y generalmente 1-2 septos longitudinales, características que pertenecen a esta especie según las claves de Rotem (1994) y Simmons (1995) (Figura 10).



Figura 9 Micelio *Alternaria alternata*

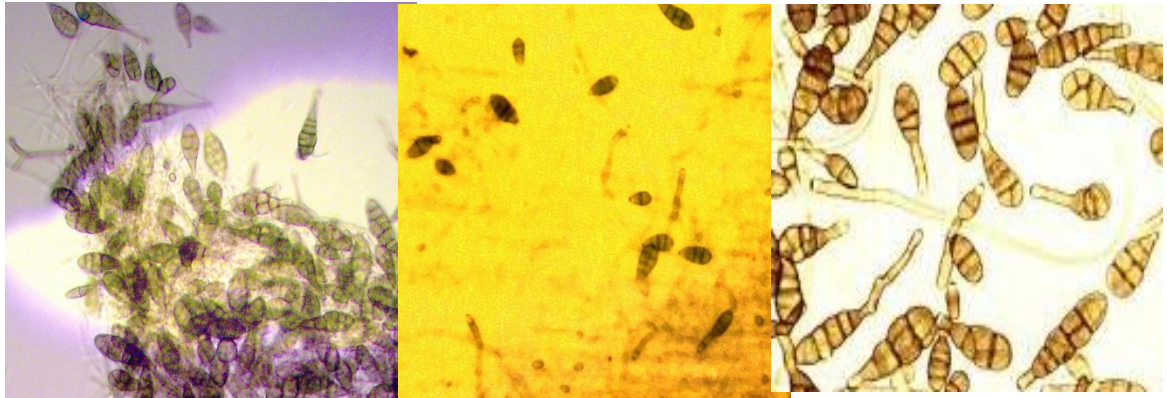


Figura 10 Morfología de *Alternaria alternata*

La segunda especie identificada como *Rhizopus* spp. que presenta micelio fue blanco algodonoso donde destacan puntos negros al final del micelio (Figura 11), y su estructura morfológica muestra: hifas gruesas y aceptadas, esporangio café y redondo (Figura 12) como describen Ferrera *et al.* (2007).



Figura 11 Micelio *Rhizopus* spp

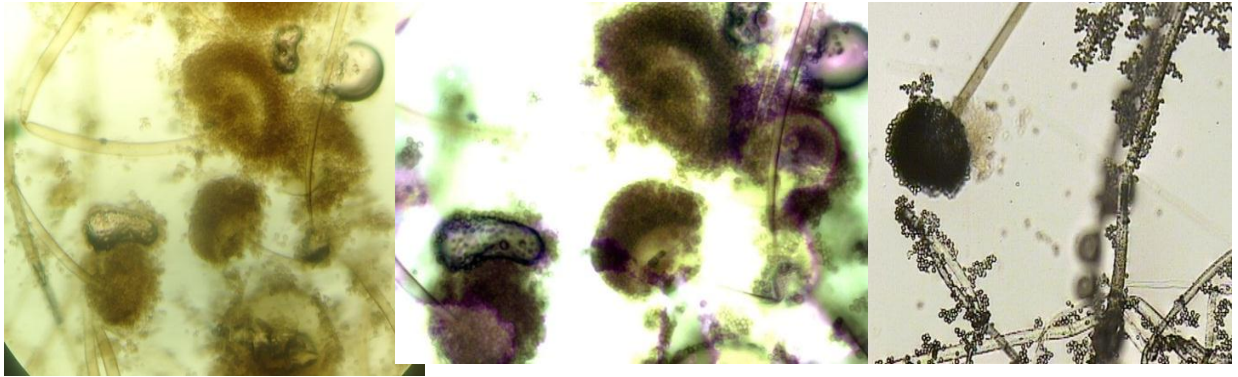


Figura 12 Morfología de *Rhizopus* spp

Es importante destacar que en todos los tratamientos de desinfección de semilla se presentó micelio correspondiente a *Rhizopus spp.*, únicamente se presentó micelio correspondiente a *A.alternata* en los tratamientos de sales cuaternarias de amonio y peróxido de hidrógeno, lo que indica que el cloro y la cal, protegieron de este hongo al forraje. Se sugiere que al observar los micelios de *Alternaria alternata* se elimine el lote completo ya que puede ser tóxico para la alimentación animal.

## V. CONCLUSIONES.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación y en las condiciones en las que se llevó a cabo, se concluye:

1. El mejor método de desinfección para trigo y cebada fue cal al 1 % durante 3 horas, bajo el sistema de riego por inundación.
2. La densidad de siembra óptima en trigo para una mayor producción de forraje hidropónico es de  $5.5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ , con lo que se puede obtener un rendimiento de  $27.23 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$  de forraje, es decir, una relación de conversión de semilla a forraje de 6:1 y para cebada de  $4.5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ , con lo que se obtienen rendimientos de  $30.297 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$  con una relación de conversión de semilla a forraje de 5:1, a los trece días de siembra.
3. La aplicación de solución nutritiva para la producción de trigo y cebada como Forraje Verde Hidropónico es recomendable ya que incrementa el contenido nutrimental comparado con el forraje irrigado sin solución nutritiva, el forraje hidropónico presenta mayor acumulación de materia seca con un valor de 11 % aproximadamente para ambas especies, lo que involucra mayor rendimiento y además el contenido de proteína se ve significativamente mejorado con la aplicación de nutrientes al agua durante la producción alcanzando porcentajes de 24.18 % de proteína en trigo y 22.60 % de proteína en cebada.
4. La producción de forraje verde hidropónico es una alternativa viable para la producción de forrajes para consumo animal, es posible obtener un forraje inocuo de alta calidad nutrimental.

## VI. LITERATURA CITADA.

CANUL, C. V. V. 1997. Evaluación de métodos de desinfección de semillas y de duración del ciclo de cultivo de forraje verde hidropónico. Tesis profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México 74 p.

CARBALLIDO, C. 2005. Forraje verde hidropónico. Artículos silvoagropecuarios: Forraje verde hidropónico (en línea). Chile. Disponible en: <http://www.ofertasagricolas.cl/articulos/88> . Ultimo acceso 4-octubre-2013

CARRILLO, L. 2003. Los hongos de los alimentos y forrajes. Universidad Nacional de Salta. ISBN 987-9381-19-X. 23 p.

CASSMAN, K. G 1999 Ecological intensification of cereal production systems: yield potential, soil quality, and precision agriculture. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 96:5952-5959.

CHRISTENSEN C. M. 1987. Field and Storage Fungi. pp. 211-232 *In*: Beuchat LR, ed. Food and Beverage Mycology. New York, Van Nostrand Reinhold.

CNC. 2011. Informes del senador Gerardo Sánchez. En: [www.cnc.org.mx/presidencia/informes](http://www.cnc.org.mx/presidencia/informes) ultimo acceso: 22-mayo-2013

DOSAL A, J. J. M. 1987. Efecto de la Dosis de Siembra, Época de Cosecha y Fertilización sobre la Calidad y Cantidad de Forraje de Avena Producido Bajo Condiciones de Hidroponía. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de Concepción, Sede Chillán. Chile. 106 p.

ELIZONDO, J. 2005. Forraje verde hidropónico. Una alternativa para la alimentación animal. Revista ECAG informa. 32:36-39.

ENDO T.; YAMAMOTO S.; HONNA T.; TAKASHIMA M.; IIMURA I.; LÓPEZ R.; BENSON M. 2000. Behaviour and distribution of salts under irrigated agriculture in the middle of Baja California, México. Jap. J. Soil Sci. Plant Nutr. 71:18-26.

ESPINOZA, F.; ARGETI, P.; URDANETA, G.; AREQUE, C.; FUENTES, A.; PALMA, J.; BELLO, C. 2004. Uso del forraje del maíz (*Zea mays*) hidropónico en la alimentación de toretes mestizos. Venezuela. Revista Zootecnia Tropical 22(4):303-315.

EVANS, L. T. 1983. Fisiología de cultivos. Ed. Hemisferio Sur. Buenos Aires. Argentina. 402 p.

FAO, 1993. Manual de técnicas para laboratorio. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. México, D.F. En: <http://www.fao.org/docrep/field/003/ab489s/AB489S00.htm#TOC>

Ultimo acceso: 22-junio.2014.

FAO. 2001. Manual técnico forraje verde hidropónico. Oficina regional de la FAO para América latina y el Caribe, Santiago de Chile. 69 p. En: [http://www.omarbolso60.com.uy/forraje%20\(1\).pdf](http://www.omarbolso60.com.uy/forraje%20(1).pdf)

Ultimo acceso: 03-marzo-2013

FERRERA P., R. E; ZAMBRANO V., A. E; ORTIZ M., F. 2007. Identificación de hongos asociados a enfermedades del fruto de la fresa en el municipio Jáuregui del estado Táchira. Rev. Fac. Agronom. Universidad de Pamplona, Colombia. 24:269-281.

FRAIRE C., M. L; NIETO A., D; CÁRDENAS S., E; GUTIÉRREZ A., G; BUJANOS M., R; VAQUERA H., H. 2010. *Alternaria tenuissima*, *A. alternata* y *Fusarium oxysporum* hongos causantes de la pudrición del florete de brócoli. Revista Mexicana de Fitopatología. 28(1):25-33.

GARCÍA E. A.; KOHASHI S. J.; BACA C. G. A.; ESCALANTE, E. J. A. S. 2003. Rendimiento y asignación de materia seca de una variedad de frijol en un sistema hidropónico y suelo. Terra Latinoamericana 21(4): 471-480.

HERRERA, T. E.; CERRILLO S., M. A.; JUÁREZ R., A. S.; MURILLO, O. M.; RÍOS, R. F. G.; REYES, E. O.; BERNAL, B. H. 2010. Efecto del tiempo de cosecha sobre el valor proteico y energético del forraje verde hidropónico de trigo. Interciencia. 35(4): 284-289.

LOMELÍ Z., H. 2000. El Forraje verde hidropónico. El forraje del futuro. Agrocultura. México. no. 63.

LÓPEZ A., R; MURILLO A., B; RODRÍGUEZ Q., G. 2009. El forraje verde hidropónico (FVH): una alternativa de producción de alimento para el ganado en zonas áridas. Interciencia, Caracas, Venezuela. 34(2): 121-126.

LUGO, P. I. 1987. Producción de forraje en hidroponía. Tesis profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México 97 p.

MALDONADO, T. R.; MA. ÁLVAREZ, S. E.; CRISTÓBAL, A. D.; RÍOS, S. E. 2013. Nutrición mineral de forraje verde hidropónico. Revista Chapingo Serie Horticultura 19(2): 211-223.

MARTÍNEZ B., A. 1981. La Ganadería en Baja California Sur. Vol. I. Editorial J.B. La Paz, BCS, México. 229 p.

MOONEY, J. 2005. Growing cattle feed hydroponically. 2002 Scholarship Report. Australian Nuttfield Farming Scholars Association. Australia. 30 p.

MORALES O., A. F. 1987. Forraje Hidropónico y su utilización en la alimentación de Corderos precozmente destetados. Facultad de Ciencias

Agropecuarias y Forestales de la Universidad de Concepción, Sede Chillán. Chile.

MORALES, G. J. 2003. Densidades de siembra y contenido nutrimental de forraje verde hidropónico y su efecto en la ganancia de peso en ganado ovino. Tesis de Licenciatura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México 52 p.

MORENO, D. 1976. Raciones Hidropónicas. La Serenísima. Argentina 29: 4-19.

MORGAN, J.V.; HUNTER R., R.; O'HAIRE, R. 1992. Limiting Factors in hydroponic barley grass production. Eighth International Congress on Soilless Culture. Proceedings. International Society for Soilless Culture. Ireland pp. 241-261

OBRAZTSOV A., S.; PIUTIKIN S., N.; GEORDIADI, N. I. 1986. Study of dry substance balance of hydroponic fodder under different methods of cultivation. Soviet Agricultural Sciences 1: 28-31.

POUND, W. G.; CHURCH, D. C.; POUND, K. R. 1995. Basic animal nutrition and feeding. Fourth edition. John Wiley and Sons. New York, United States of America. 608 p.

RESH H. M. 1992. Cultivos Hidropónicos. Nuevas técnicas de producción. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España pp. 174-179

ROBLES, S. R. 1990. Producción de granos y forrajes. Quinta edición. Ed. UTEHA. México 664 p.

RODRÍGUEZ R., H. E.; RODRÍGUEZ M., A; FLORES M., I.; SÁNCHEZ E., A.; GRADO, A. 2003. Utilización del forraje verde hidropónico como suplemento para vacas lactantes durante la sequía. Hidroponía. Lo más cerca del futuro: pp. 147-149.

RODRÍGUEZ, A; CHANG, M; HOYOS, M; FALCÓN, F. 2000. Manual Práctico de Hidroponía. Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral. Lima, Perú. 100 p.

ROJAS E., S.I. 1996. Aportaciones a la generación de un paquete tecnológico para la producción de forraje en hidroponía. Tesis de licenciatura. Departamento de Fitotecnia. Chapingo. Universidad Autónoma Chapingo. Estado de México. 67 p.

ROJAS G., M.; ROVALO, M. 1985. Fisiología Vegetal Aplicada. McGraw-Hill. D. F. 302 p.

ROMERO V., M. E.; CÓRDOVA D., G.; HERNÁNDEZ G., E. O. 2009. Producción de Forraje Verde Hidropónico y su Aceptación en Ganado Lechero. *Acta Universitaria*, Universidad de Guanajuato, México. 19(2):11-19.

ROTEM, J. 1994. The Genus *Alternaria*: Biology, Epidemiology and Pathogenicity. American Phytopathological Society. St Paul, MN. USA. 326 p.

SAGI, V. L. 1976. Cultivos Hidropónicos. La Serenísima. Argentina. 31: 4-19

SALAS, P. L.; PRECIADO, R. P.; ESPARZA R., J. R.; ÁLVAREZ R., V.; PALOMO G., A.; RODRÍGUEZ D., N.; MÁRQUEZ H., C. 2010 Rendimiento y calidad de forraje hidropónico producido bajo fertilización orgánica. *Terra Latinoam.* 28: 355-360.

SALAS, P. L; ESPARZA, R. J; PRECIADO, R. P; ÁLVAREZ, R. P; MEZA, V. J. A; VELÁZQUEZ, M. J. R; Y MURILLO, O. M. 2012. Rendimiento, calidad nutricional, contenido fenólico y capacidad antioxidante de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays*) producido en invernadero bajo fertilización orgánica. *Interciencia.* 37(3):215-220 pp.

SÁNCHEZ DEL C., F.; ESCALANTE E., R. 1988. Hidroponía. 3ra edición. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 194 p.

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

En:[http://www.mtss.gub.uy/index.php?option=com\\_content&task=view&id=1635&Itemid=1635](http://www.mtss.gub.uy/index.php?option=com_content&task=view&id=1635&Itemid=1635) Acceso. 23-noviembre-2013

SÁNCHEZ DEL C., F.; PONCE J., O.; MORALES J., G. 2001. Tecnología para la producción de forraje verde hidropónico. Sexto simposio internacional de fertirrigación, Mesa 3: invernaderos. Morelia, Michoacán.

SANTOS, A. R. 1987. Hydroponic green forage in animal nutrition. Agricultura Spain. Spain 56 (654):40-42.

SIMMONS, E. G. 1995. Alternaria themes and variations (112-144). Mycotaxon. 55: 55-163.

SNEATH, R.; MCINTOSH, F. 2003. Review of hydroponic fodder production for beef cattle. On farm. Meat & Livestock Australia Limited. Australia. 54 p.

SOSA. M. E., 1985. Compendio de prácticas de laboratorio (curso de nutrición animal I). Departamento de Zootecnia, Chapingo, México. 36 p.

SWANSON B., G. 1987. Mycotoxins on fruits and vegetables. Acta Horticulturae 207:49 -61.

VALDIVIA, B. E. 1996. Producción de forraje verde hidropónico. Curso taller internacional de hidroponia. Lima, Perú pp. 201-206.

VALDIVIA, B. E. 1997. Producción de Forraje Verde Hidropónico. Conferencia Internacional de Hidroponía Comercial. Memorias. Universidad Nacional Agraria La Molina. Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral. Lima Perú 59 p.

VAN SOEST, P. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. New York. Cornell University Press. 2 ed. 463 p.

VARGAS R., C. F. 2008. Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. Agronomía Mesoamericana, Universidad de Costa Rica. 19(2): 233-240.

YÁÑEZ R., J. N. 2002. III. Nutrición y regulación del crecimiento en hortalizas y frutales. Simposio Tecnología, Comercio y Servicios Agrícolas Mundiales. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 22 p.

YOUNG A. 1999. Is there really spareland- A critique of estimate of available cultivable land in developing countries. Env. Dev. Sustain. 1:3-18.