

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA INGENIERIA AGRONÓMICA



TESIS DE GRADO

**PRODUCCION DE AVENA (*Avena sativa*) COMO FORRAJE VERDE
HIDROPÓNICO CON TRES MÉTODOS DE
PRODUCCIÓN, EN EL DISTRITO 8 DE LA CIUDAD DE EL ALTO.**

Jesús Delgado Acarapi

La Paz – Bolivia
2016

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES
FACULTAD DE AGRONOMIA
CARRERA DE INGENIERIA AGRONOMICA

**PRODUCCION DE AVENA (*Avena sativa*) COMO FORRAJE VERDE
HIDROPÓNICO CON TRES MÉTODOS DE
PRODUCCIÓN, EN EL DISTRITO 8 DE LA CIUDAD DE EL ALTO.**

Tesis de grado presentado como requisito

parcial para optar el grado de

Ingeniero Agrónomo

Jesus Delgado Acarapi

Asesores:

Ing. M.Sc. Celia María Fernández Chávez

Tribunal Examinador:

Ing. Ph. D. David Cruz Choque

Ing. Agr. Lucio Tito Villca

Ing. Agr. Bernardo Ticona Contreras

APROBADO

Presidente Tribunal Examinador:

DEDICATORIA

A Dios por su inmenso amor, por guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los momentos difíciles y es por el que alcancé cada meta propuesta.

A mis padres: Juan Delgado Bautista y Martha Acarapi Fernández, por su amor y apoyo incondicional.

A mis hermanos Sofía, José, Lili, Camila y Vidal, por su comprensión, cariño y permanente apoyo.

A mi enamorada Betty Khuno Choque por brindarme todo su amor y apoyo.

A mis amigos y amigas: Leo, Eddy, Marcelo, Ruben, Abdél, Cristian, Alcira, Betshebe, Grecia, Susam, Katy por su cariño y apoyo permanente durante toda la carrera.

A mi amiga Marisol Nina, por el por el cariño y apoyo brindado durante toda la carrera y elaboración de tesis.

AGRADECIMIENTOS

A ti Dios por bendecirme y guiarme, para llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad este sueño anhelado.

A mis padres: Juan Delgado Bautista y Martha Acarapi Fernández, por su amor y apoyo incondicional, comprensión, sacrificio y confianza, para poder concluir la carrera y el presente trabajo. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

A mis hermanos Sofía, José, Lili, Camila y Vidal por su comprensión, cariño y permanente apoyo.

A la UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS por darme la oportunidad de estudiar y realizarme como profesional.

A mis asesores de tesis Ing. M.Sc. Celia María Fernández Chávez, por la orientación y ayuda que me brindo para la realización de la tesis, por su apoyo y amistad que me permitieron aprender mucho más, por su rectitud en su profesión como docente, por sus consejos, que ayudaron a mi formación como profesional.

Por otro lado también expreso mi gratitud a la señora Lidia Kfuno, por brindarme el apoyo para la realización de ese trabajo.

A mis revisores. Ing. Ph. D. David Cruz Choque, Ing. Agr. Lucio Tito Villca y Ing. Agr. Bernardo Ticona Contreras. Quienes colaboraron con sus conocimientos en mi trabajo.

Al Ing. Marisol Nina por su apoyo y aporte en el proceso de la elaboración de tesis.

A mis amigos. Leo, Eddy, Marcelo, Ruben, Abdel, Cristian, Alcira, Betshabe, Grecia, Susam, Katy por el cariño y apoyo brindado durante toda la carrera y elaboración de tesis.

A mi enamorada Betty Kfuno Choque por brindarme todo su amor y todo el apoyo durante la elaboración de la tesis.

Gracias a todas las personas que ayudaron directa e indirectamente en la realización de esta tesis.

Para ellos: Muchas gracias y que Dios los bendiga.

RESUMEN

La hidroponía o cultivo sin tierra, es una metodología productiva vegetal que mantiene los sistemas de control balanceados en base a nutrientes y tecnología. En las unidades de producción hidropónica, las plantas se desarrollan adecuadamente porque reciben una nutrición óptima y condiciones favorables para su desarrollo.

La presente investigación tiene por objetivo determinar el rendimiento del cultivo de la avena, esta utilizada en nuestros medios de producción como forrajera, bajo el efecto de tres métodos de producción hidropónica, las cuales son el método de: Tarrillo, de la FAO y el de la Molina, donde se evaluaron distintas variables de respuesta, como la altura de planta, así también se determinó el rendimiento de los tres métodos en un ambiente semi protegido como son las carpas solares y por último evaluando los costos de producción de forraje hidropónico en los diferentes métodos de producción.

Los resultados obtenidos fueron que durante la germinación el mayor porcentaje se dio a los cinco días de puesto la semilla en las bandejas a temperaturas de 20°C. En cuanto al rendimiento en peso verde del forraje se obtuvo que el método de FAO obtuvo 9.60 (kg/0,24m²), en comparación a los otros métodos empleados en la tesis.

Con respecto a la altura de planta el método de la FAO fue el que dio mejores resultados de 27.5 cm en promedio a comparación de los otros dos métodos. En el crecimiento de la raíz los resultados no fueron tan significativos en los tres métodos empleados, ya que la diferencia es menor, sin embargo el método de Tarrillo dio en promedio 3.79 cm y los siguientes métodos FAO y La Molina dieron como resultado 3.48 cm y 3.31 cm respectivamente.

De acuerdo a la relación beneficio/costo, entre factores se observa una relación $B/C > 1$; en el método de la FAO con 2,80 Bs, seguido del método Tarrillo 2,38 Bs, frente al método La Molinade 2,30 Bs.

En conclusión se observó analíticamente que el método de la FAO fue el que obtuvo mejores efectos en la producción de forraje verde hidropónico, por lo que se recomienda utilizar este método para la producción en hidroponía.

SUMMARY

Hydroponics or cultivation without soil, is a production method that maintains plant control systems based on balanced nutrients and technology. In hydroponic production units, plants develop properly because they receive optimal nutrition and favorable conditions for their development.

This research aims to determine the crop yield of oats, is used in our production as fodder, under the effect of three methods of hydroponic production, which are the method: Tarrillo, FAO and the Molina, where different response variables such as plant height and yield of the three methods was also determined in a semi protected environment such as solar tents were evaluated and finally evaluating production costs hydroponic forage in different production methods.

The results were that during germination percentage was the highest five days since the seed in trays at temperatures of 20 ° C. As for the yield of green forage weight it was obtained that the method of FAO gained 9.60 (kg/0,24m²) compared to other methods used in the thesis.

With regard to plant height FAO method was the one that gave better results 27.5 cm on average compared to the other two methods. In the root growth results they were not as significant in the three methods used, since the difference is smaller, however the method of Tarrillo gave on average 3.79 cm and the following FAO and La Molina methods resulted in 3.48 cm and 3.31 cm respectively.

According to the benefit / cost relationship between factors $B / C > 1$ shows; in the FAO method with 2.80 Bs, followed by method Tarrillo Bs 2.38, compared with 2.30 La Molina Bs method.

In conclusion analytically it observed that FAO method was the one that obtained better effects in the production of hydroponic green forage, so it is recommended to use this method of hydroponics production.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	1
Objetivo General:	3
Objetivos Específicos:.....	3
2. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA.....	4
2.1 Hidroponía	4
2.2 Cultivos Hidropónicos	5
2.3 Forraje Verde Hidropónico (FVH).....	5
2.3.1 Utilización de Nutrientes	6
2.3.2 Consumo de Agua por Biomasa Producida	6
2.4 Utilización de Forraje Verde Hidropónico.....	7
2.5. Ventajas y desventajas del forraje verde hidropónico	8
2.5.1 Ventajas del forraje verde hidropónico.....	8
2.5.2 Desventajas del Forraje verde Hidropónico	9
2.6 Requerimientos para la producción de FVH	11
2.6.1 Dosis de Siembra.....	11
2.6.2 Calidad de la Semilla	11
2.6.3 Germinación	12
2.6.4 Respiración Celular.....	12
2.6.5 Sustancias de Reserva	12
2.6.6 Iluminación.....	13
2.6.7 Temperatura	14
2.6.8 Humedad en el Ambiente	14

2.6.9 Calidad del Agua de Riego	15
2.6.10 Conductividad Eléctrica	16
2.6.11 Dióxido de Carbono	17
2.6.12 Especies Empleadas	17
2.6.13 Tipo de Bandeja.....	18
2.6.14 Nutrición Vegetal.....	19
2.7.2 Partes de la semilla.....	20
2.7.3 Semilla seleccionada	20
2.8 Avena (<i>Avena sativa</i> , L).....	20
2.8.2 Clasificación Taxonómica	21
2.8.3 Origen y Distribución.....	22
2.8.5 Rendimiento en Materia Seca de la Avena	23
2.8.6 Valor Nutritivo de la Materia Seca de FVH.....	23
2.9 Métodos de Producción	25
2.9.1 Método de la FAO.....	25
2.9.2 Según La Molina (2005).....	26
2.9.3 Según Tarrillo (2008)	27
3. MATERIALES Y METODOS	28
3.1 Ubicación.....	28
3.2 Materiales y Equipos.....	30
3.2.1 Ambiente Hidropónico.....	30
3.2.2 Características del Ambiente Hidropónico	30
3.2.3 Material Biológico.....	30

3.2.4 Material de Laboratorio	31
3.2.5 Material de Cultivo e Instrumento de Medición	31
3.2.6 Material de Gabinete.....	32
3.2.7 Instrumentos de Meteorología	32
3.3 Metodología	32
3.5 Diseño Experimental	34
3.5.1 Modelo Lineal Aditivo.....	34
3.5.2 Croquis del Diseño Experimental.....	35
3.6 Unidad Experimental.....	36
3.7 Unidad de Muestreo.....	36
3.8 Variables de Respuesta	36
3.8.1 Porcentaje de Germinación	36
3.8.2 Rendimiento en Materia Verde	37
3.8.3 Altura de Desarrollo del Follaje.....	37
3.8.4 Desarrollo de la Masa Radicular	37
3.9 Costo de Producción.....	37
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
4.1 Descripción de las Temperaturas Registradas Durante el Desarrollo del	39
Cultivo de avena como Forraje Hidropónico.	39
4.2 Porcentaje de germinación	40
4.3 Rendimiento en Peso Verde	41
4.4 Altura de Planta.....	43
4.5 Longitud de Raíz	44

4.6 Tasa de Conversión de Grano a Forraje Hidropónico.....	45
4.7 Conversión de Forraje Verde Hidropónico a Materia Seca	46
4.8 Costos de Producción	47
5. CONCLUSIONES.....	48
6. RECOMENDACIONES	50
BIBLIOGRAFÍA	51

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Valor Nutritivo de la Materia Seca de FVH	24
Cuadro 2 . Análisis Bromatológico de la Avena.....	24
Cuadro 3. Diferencia de métodos en la producción de forraje verde hidropónico .	33
Cuadro 4. Conversión de grano de avena a forraje verde hidropónico.	45
Cuadro 5. Conversión de Forraje Verde Hidropónico a Materia Seca.....	46
Cuadro 6. Relación beneficio/costo para la producción de FVH bajo tres métodos de producción estándar.	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1, localización.....	29
Figura 2, Distritos de la Ciudad de El Alto	29
Figura 3, Distrito 8 de la Ciudad de El Alto.....	29
Figura 4. Croquis experimental de las bandejas de producción de forraje hidropónico.....	35
Figura 5. Temperaturas máximas y mínimas durante la producción de forraje de avena en invernadero.....	40
Figura 6. Promedios de los rendimientos del forraje hidropónico en los diferentes métodos empleados.	42
Figura 7. Promedios de altura de avena en los diferentes métodos empleados. .	43
Figura 8. Promedios de desarrollo de la raíz en los diferentes métodos empleados.....	44

1. INTRODUCCIÓN

El forraje verde hidropónico, es una nueva tecnología de producción de biomasa vegetal obtenido a partir del crecimiento inicial de las plantas, en los estados de germinación y crecimiento temprano de plántulas a partir de granos viables.

La hidroponía o cultivo sin tierra, es una metodología productiva vegetal que mantiene sistemas de control balanceado. En las unidades de producción hidropónica, las plantas se desarrollan adecuadamente porque reciben una nutrición óptima y condiciones favorables para su desarrollo (Aruquipa, 2008).

Según Rodríguez (2004), Menciona que el Forraje Verde Hidropónico (FVH), es el resultado del proceso de germinación de granos de cereales o leguminosas como avena, avena, trigo, maíz y sorgo; que han crecido por un periodo de 9 a 15 días, logrando alcanzar una altura de 20 a 25 cm. Esto en función a las condiciones micro climático en que se produce, tales como: luz, temperatura y humedad. El FVH o forraje vivo, de alta digestibilidad, calidad nutricional y muy apta para la alimentación animal.

La producción hidropónica de forraje, permite aprovechar áreas reducidas, ofrece diversidad, calidad, alta productividad y mayor eficiencia en el uso del agua.

De todo lo mencionado el presente trabajo busca precisar la técnica de producción de forraje verde hidropónico para obtener una elevada producción y establecer el grado de aceptación de dicho forraje en la producción de un hato de ganado lechero típico de la región y para todo tipo de ganado, (Duran,2009).

En nuestro medio, esta tecnología de producción es poco estudiada y utilizada, existiendo una serie de dudas sobre la incidencia de factores de manejo en la producción de forraje verde hidropónico y tratar de ofrecer otras alternativas productivas al agricultor, (Penningsfeld,1983).

El cultivo de la avena forrajera en verde bajo producción hidropónica, 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. Duran (2009), menciona que se realiza durante un periodo de 12 a 20 días, alcanzando una altura promedio de 25 centímetros; el animal consume la parte aérea formada por el tallo y las hojas verdes, los restos de semilla y la raíz. Usualmente se utilizan semillas de avena, avena, maíz, trigo, sorgo y alfalfa.

Las áreas de producción agropecuaria se ven seriamente afectadas por el incremento de la cobertura poblacional y sus consecuentes efectos urbanísticos. Por este motivo, las áreas de cultivo de forrajes se ven más reducidas y los problemas en el campo pecuario van aumentando considerablemente, por lo que se debe innovar nuevas tecnologías para la producción de forrajes.

La región del altiplano boliviano presenta fenómenos climáticos, como la sequía y las heladas tempranas (bajas temperaturas) y la disponibilidad de agua. Esa serie de problemas, que desafía la agricultura, también afecta a la ganadería, pues la relación entre ambas se establece desde el momento en que las diversas especies pecuarias demandan para su alimentación, granos y forrajes en cantidad y calidad adecuada.

En el altiplano la producción de forraje es de gran importancia, sin embargo su abastecimiento es escaso o estacional, por tener a lo largo del año periodos largos de sequía lo que obliga al productor a utilizar, buena parte del año, forrajes resecos y de poco contenido nutricional en la alimentación del ganado mayor y menor.

En la cuenca lechera del altiplano central existen sistemas ganaderos establecidos que básicamente dependen en un 95 % de las pasturas naturales el resto proviene de plantas forrajeras introducidas. Sin embargo los ovinos, bovinos y camélidos, son especies que desde décadas atrás están sub alimentadas especialmente en periodos de sequía que abarcan más de ocho meses.

El forraje en el Municipio de El Alto, está condicionado por factores climáticos adversos como bajas temperaturas, una opción importante es el empleo de los invernaderos para la producción de forraje verde hidropónico (FVH), que puede proveer de forraje en cantidad y calidad a todo tipo de ganado, no se requiere de grandes extensiones de tierras, periodos largos de producción, ni formas de conservación y almacenamiento.

De tal manera el presente trabajo busca producir FVH con un alto contenido nutricional en espacio reducido, mediante la aplicación de tres métodos de producción.

Los objetivos del presente estudio son:

Objetivo General:

- ✓ Determinar el rendimiento del cultivo de la avena, como forrajera bajo el efecto de tres métodos en producción hidropónica.

Objetivos Específicos:

- ✓ Evaluar la altura de la planta de forraje verde hidropónico de avena con los tres métodos de producción.
- ✓ Determinar el rendimiento de los tres métodos de producción de forraje verde hidropónico de avena en carpa solar.
- ✓ Analizar los costos de producción de forraje hidropónico a los diferentes métodos de producción.

2. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

2.1 Hidroponía

Douglas (1987) e Izquierdo (2000), indican que el término "hidropónico" deriva de dos palabras griegas. Hydro = agua y Ponos = trabajo o cultivo, que al conjuncionarse significan trabajo en agua y es una alusión al empleo de agua y fertilizantes químicos u orgánicos para el cultivo de plantas sin tierra.

Howard (1987), define a la hidroponía como la ciencia del crecimiento de las plantas, sin utilizar el suelo en su lugar utiliza un medio inerte, como grava, arena, turba, piedra pómez o aserrín, a los cuales se añade una solución de nutrientes que contiene todos los elementos esenciales necesitados por la planta para su normal crecimiento y desarrollo. Puesto que muchos de estos métodos hidropónicos emplean algún tipo de medio de cultivo, se los denomina a menudo "cultivos sin suelo", mientras que el cultivo solamente en agua sería el verdadero hidropónico.

La hidroponía en general, es considerada como un sistema de producción agrícola apto para la producción de hortalizas, forrajes, plantas ornamentales y medicinales, almácigos, producción de algas y semillas certificadas, en lugares donde estos productos son caros y escasos, pudiendo ser posible la obtención de varias cosechas al año y de la misma especie (Cultivos Hidropónicos, 1992).

Con la producción hidropónica sin suelo, se puede obtener forrajes de excelente calidad y sanidad, y se asegura un uso más eficiente del agua y fertilizantes. Los rendimientos por unidad de área cultivada son altos, por la mayor densidad y la elevada productividad por planta (La Molina, 2000).

Una respuesta para la producción continua de forraje, es el uso de técnicas hidropónicas para su cultivo, que se realiza en el sitio de consumo, no siendo necesario ni el almacenamiento ni el ensilado, ya que el forraje fresco se produce diariamente. Este forraje puede crecer en un área muy pequeña en comparación

con los campos destinados a la producción de forraje para la alimentación animal (Resh, 1987).

2.2 Cultivos Hidropónicos

Penningsfeld (1983), menciona que los cultivos hidropónicos representan un gran avance en la técnica, pueden ser utilizados tanto en grandes explotaciones como en pequeñas y medianas, representando bastantes ventajas sobre los cultivos clásicos en tierra. Para su desarrollo se han basado en los adelantos, tanto de las modernas ciencias naturales como de la técnica, constituyendo el complemento de otros avances de la ciencia tales como la regulación de la temperatura en los invernaderos, la iluminación o sombreado y las formas de cultivo sin suelo.

Con la ayuda de este método no solo se mejora la cosecha en cantidad, peso o calidad, sino que de forma importante se ha comprobado también que aumenta la productividad en el trabajo, con la consiguiente reducción de la mano de obra.

Izquierdo (2000), afirma que los cultivos hidropónicos son cultivos sin suelo, éste es reemplazado por un sustrato inerte donde los nutrientes (el alimento) que necesita la planta para vivir y producir son aplicados en el riego. También son cultivos hidropónicos aquellos que se cultivan en agua con nutriente. En un sistema hidropónico se puede cultivar todo tipo de plantas como por ejemplo, hortalizas, flores, pastos para forraje, plantas ornamentales, condimentos, plantas medicinales y hasta cactus.

2.3 Forraje Verde Hidropónico (FVH).

El FVH es un sistema de producción de biomasa vegetal de alta sanidad y calidad nutricional, es producido en pocos días entre 9 a 15 en cualquier época del año y en cualquier lugar, siempre y cuando se establezcan las condiciones mínimas necesarias para ello. La tecnología FVH es complementaria y no competitiva a la producción convencional de forraje a partir de especies aptas como la avena, mezclas de trébol y gramíneas, alfalfa, entre otros (FAO, 2001).

El uso de este forraje ha dado excelentes resultados tanto en animales mono gástricos como poligástricos debido a que el animal consume todo el colchón formado por el forraje verde hidropónico donde se encuentran las raíces, semillas sin germinar y la parte verde de la planta, este colchón aporta nutrientes como vitaminas, enzimas, coenzimas y aminoácidos libres (Rodríguez, 2003).

Para la producción de FVH es necesario tener en cuenta variables ambientales y una buena selección de las semillas o granos que logren la germinación y la obtención de un producto óptimo y a bajo costo para la alimentación de los animales. (Sánchez, 2005).

2.3.1 Utilización de Nutrientes

Izquierdo (2000) y Marulanda (2003), definen a la solución nutritiva como el producto que contiene todos los elementos que necesitan las plantas para crecer y desarrollarse como: Nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, calcio, magnesio, hierro, manganeso, cobre, molibdeno y zinc. Estos elementos vienen en forma de sales minerales.

2.3.2 Consumo de Agua por Biomasa Producida

Tarrillo (2008), menciona que en un sistema de producción de F.V.H. el agua puede ser re circulada, de tal forma que solo existe perdida por evapotranspiración de la planta, pero esta es reducida al mínimo, ya que el F.V.H. se produce dentro de invernaderos, que evita la exposición directa del cultivo a los rayos del sol. Por ejemplo en un invernadero de 480 bandejas requiere de 1000 litros de agua al día, (para riego, lavado, desinfección de semilla, etc.) pero este módulo produce 500 kgde forraje / día. Por lo tanto se requiere un aproximado de 2 litros de agua por cada kilo de forraje producido. Consumos de agua muy inferiores a producciones a campo abierto, donde las pérdidas de agua se dan por percolación, escorrentía, evaporación y evapotranspiración. Se estima que para producir un kilo de alfalfa fresca bajo riego por aspersion se requiere de 300 litros de agua, y de 100 litros de agua para producir 1 kilo de maíz forrajero bajo el mismo sistema de riego.

- 1 kilo de alfalfa (300 litros de agua)
- 1 kilo de Maíz forrajero (100 litros de agua)
- 1 kilo de F.V.H. (2 litros de agua)

Para el riego del forraje verde hidropónico, se recomienda el uso de agua potable o de subsuelo, para evitar una posible contaminación del cultivo, pero en la práctica se ha observado que este cultivo se puede desarrollar sin mayor problema con agua de riego y aun con cierto grado de salinidad.

2.4 Utilización de Forraje Verde Hidropónico

El forraje verde hidropónico representa una alternativa de suplementación tratada para el ganado en zonas de ganadería extensiva donde la época seca es prolongada (Dosal, 1987).

Las mejoras que se obtienen con el uso de forraje verde hidropónico en la alimentación animal se dan en ganancia de peso, mejor conversión alimenticia, producción de leche y sólidos totales en la leche. De la misma manera, en vacunos lecheros aumenta la producción de leche, contenido de grasa, mejora en la condición corporal, mejora en el pelaje. En caballos rápida ganancia de peso, sustitución progresiva del alimento concentrado, mejora del pelaje.

En los cuyes se presenta una mayor producción de leche (mayor número de crías logradas), excelente fuente de vitamina C, cubre los requerimientos de agua (Tarrillo, 2005).

Cultivos Hidropónicos (1992), por otra parte menciona:

El forraje verde hidropónico brinda vitaminas libres y solubles, haciéndolas más asimilables, lo que no ocurre con el grano seco. El uso del forraje verde hidropónico puede evitar el uso de vitaminas sintéticas y cualquier otro suplemento nutritivo, ya que todas las vitaminas se presentan en estado de alta digestibilidad.

La vitamina E, por ejemplo, es completamente asimilable y está en libre circulación por toda la planta joven.

Al suministrar forraje verde hidropónico en la dieta alimenticia, se evitan trastornos digestivos causados por los cambios de composición y procedencia de los alimentos proporcionados a los animales.

Rodríguez, Chang, Hoyos y Falcón (2000), indican dos aspectos centrales sobre la producción de FVH:

En un sistema hidropónico, el agua y los nutrientes están más disponibles, por lo tanto, el crecimiento es más rápido y la planta se desarrolla más vigorosa.

El uso de agua potable o de pozo, garantiza que el cultivo hidropónico sea un producto libre de contaminación y de enfermedades.

2.5. Ventajas y desventajas del forraje verde hidropónico

2.5.1 Ventajas del forraje verde hidropónico

Camargo (1998), se refiere que los cultivos desarrollados mediante el sistema hidropónico tiene una serie de ventajas sobre los tradicionales, entre las cuales se pueden señalar las siguientes:

- ✓ Se cultiva en interiores, balcones, terrazas, patios, espacios reducidos, etc.
- ✓ Requiere una superficie menor para obtener igual cantidad de producción
- ✓ Acorta el período de cultivo.
- ✓ Requiere menor mano de obra, ya que no es necesaria la remoción del suelo, efectuar trasplantes, limpiar de malezas, aplicar fertilizantes, etc.
- ✓ La presentación de los productos obtenidos es superior a la de los cultivados en tierra.
- ✓ Mantiene los cultivos en medios fitosanitario, facilita el control de las plagas.

- ✓ Permite la incorporación de personal, que por sus características (avanzada edad, discapacitados, etc.) no podrían realizar tareas en los cultivos tradicionales
- ✓ Resuelve el problema del cansancio del suelo.
- ✓ Las cantidades requeridas para la manutención de los animales se programan con facilidad.
- ✓ Se puede producir todo el año.
- ✓ Obtención de un forraje de alta calidad nutritiva, ya que suministra una proteína barata y de alta calidad.
- ✓ Producción de un forraje de alta palatabilidad
- ✓ No requiere del uso de maquinaria pesada
- ✓ No depende del clima.
- ✓ Presenta menos problemas de plagas y enfermedades.
- ✓ No requiere de grandes superficies de tierras, ni períodos largos de producción.
- ✓ Está protegido de las lluvias, bajas temperaturas y de la exposición directa de los rayos del sol.

2.5.2 Desventajas del Forraje verde Hidrópico

- ✓ Desinformación y sobre valoración de la tecnología.
- ✓ Costo de instalación elevado.
- ✓ Requiere cierto conocimiento técnico de fisiología vegetal y química inorgánica.
- ✓ No aplicar correctamente el procedimiento técnico (luz, temperatura, etc.).
- ✓ No se recupera la semilla.

Gallardo (2000), indica que la producción del forraje verde hidropónico tiene las siguientes ventajas:

- ✓ Su producción es posible durante los 365 días del año evitándose por tanto la estacionalidad del cultivo y las alteraciones digestivas emergentes del cambio de dieta.
- ✓ No existe el cansancio del suelo, pues este no se utiliza en el proceso de producción.
- ✓ Para su producción no se utilizan hormonas y pueden desecharse el uso de productos químicos y fertilizantes.
- ✓ El cultivo es muy limpio evitándose los costos en el uso de pesticidas y fungicidas.
- ✓ Por sus características de producción, se ahorra el uso de maquinaria agrícola.
- ✓ Para su producción se requiere un menor empleo de mano de obra.
- ✓ Se logra una importante reducción del consumo de agua (en el suelo se requiere de 300 a 800 litros de agua por kilogramo de materia seca producida y en hidroponía apenas 2,5 litros).
- ✓ El animal consume el total del forraje verde hidropónico proporcionado.
- ✓ Su digestibilidad es superior al 80%.
- ✓ Con este forraje, se puede complementar eficientemente la alimentación del ganado vacuno, camélido, porcino, caprino, equino y conejos.
- ✓ Existe menor incidencia de enfermedades en los animales que lo consumen.
- ✓ Se logra un importante aumento en la fertilidad.
- ✓ En el caso de vacas lecheras se ha notado un incremento del orden de 30% en la producción de leche, estos resultados se explican por las dosis particularmente elevadas en proteína, vitaminas y glúcidos.

Camargo (1998), señala que las condiciones de temperatura y humedad son ideales para la proliferación de microorganismos de tipo fúngico (hongos) y el hongo puede producir toxinas que generen diversos grados de intoxicación. (Se recomienda un tratamiento previo de la semilla para evitar el desarrollo de hongos).

Martínez (2001), señala que si en el módulo hidropónico existe una mayor temperatura y humedad, estas serán adecuadas para la aparición de plagas (moscas) y de hongos en las bandejas de producción de FVH, incrementando las pérdidas económicas.

2.6 Requerimientos para la producción de FVH

2.6.1 Dosis de Siembra

Las dosis óptimas de semillas a sembrar por metro cuadrado oscilan entre 2 a 3,4 kilos considerando que la disposición de las semillas o "siembra" no debe superar los 1,5 centímetros de altura en la bandeja Para ello se distribuirá una delgada capa de semillas pre- germinadas (Izquierdo, 2001).

Según Ramírez (2001), indica que la dosis exacta es de 3 kilos de semilla por metro cuadrado, distribuidos uniformemente, el ambiente debe tener una humedad del 80%.

FAO (2001), indica que la densidad de siembra adecuada para tener un rendimiento óptimo de forraje hidropónico es de 5 kg de semilla por metro cuadrado, con una temperatura que oscila entre 16 a 20 °C y una humedad relativa de 85 %.

2.6.2 Calidad de la Semilla

FAO (2001), indica que el éxito del FVH comienza con la elección de una buena semilla, tanto en calidad genética como fisiológica. Si bien todo depende del precio y de la disponibilidad, la calidad no debe ser descuidada. La semilla debe presentar como mínimo un porcentaje de germinación no inferior al 75% para evitar pérdidas en los rendimientos de FVH.

Howard (1997), indica que el porcentaje de germinación debe ser mayor al 76 % para no tener pérdidas económicas y no hacer fracasar el nuevo emprendimiento en un módulo de FVH.

2.6.3 Germinación

Matilla (2003), define la germinación como el conjunto de procesos metabólicos y morfo-genéticos que tienen como resultado la transformación de un embrión en una plántula capaz de valerse por sí misma y transformarse en una planta fotosintéticamente competente. La germinación de una semilla es pues, uno de los procesos más vulnerables por los que atraviesa el ciclo vital de una planta ya que de ella depende el desarrollo de la nueva generación.

Según Matilla (2001), es una unidad de reproducción sexual por excelencia en las plantas superiores, encargada de propagar la especie y dispersarla, tanto en el tiempo como en el espacio, permaneciendo durante largos periodos de tiempo en un estado en el que las actividades vitales se reducen al mínimo, en espera de unas condiciones ambientales favorables que permitan la germinación.

La absorción de agua por remojo causa el hinchamiento y la ruptura de la cubierta protectora, luego inicia la germinación, cuando la semilla inicia la actividad enzimática y el metabolismo respiratorio, Comenzando a asimilar sus reservas que le ayudarán a emerger el embrión y su crecimiento de un día a otro se observa la emergencia de la raíz y posteriormente el tallo.

2.6.4 Respiración Celular

En las semillas re hidratadas son funcionales tres rutas respiratorias: la glicolisis, ciclo de Krebs y vía de las pentosas- fosfato. Estos tres procesos metabólicos generan distintos compuestos intermedios y fundamentalmente gran cantidad de energía química en forma de ATP. Los procesos de obtención de energía metabólica se basan en la degradación oxidativa de moléculas orgánicas, principalmente glucosa o fructosa procedentes de la hidrólisis del o almidón.

2.6.5 Sustancias de Reserva

Tras la hidratación de los distintos tejidos que forman la semilla, tienen lugar en ellos una serie de reacciones metabólicas de hidrólisis que transforman las

sustancias nutritivas de reserva en moléculas más sencillas y accesibles para el embrión.

2.6.6 Iluminación

Según Palomino (2008), que al comienzo del ciclo de producción de FVH, la presencia de luz durante la germinación de las semillas no es deseable por lo que, hasta el tercer o cuarto día 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. La radiación solar es importante para el crecimiento vegetal, a la vez que estimula la síntesis de compuestos (por ejemplo: Vitaminas), los cuales serán de vital importancia para la alimentación animal (Howard, 1997).

FAO (2001), señala que si no existiera luz dentro de los recintos para FVH, la función fotosintética no podría ser cumplida por las células verdes de las hojas y por lo tanto no existiría producción de biomasa. La radiación solar es por lo tanto básica para el crecimiento vegetal, los cuales serán de vital importancia para la alimentación animal.

La radiación solar es básico en el crecimiento vegetal, promotora de la síntesis en compuestos (Vitaminas), vitales en la alimentación animal, la presencia de luz en la germinación de las semillas no es recomendable hasta el tercer o cuarto día de siembra en las bandejas, la luz del ambiente debe ser muy oscura para el desarrollo de las raíces. (Izquierdo, 2001).

La exposición de las bandejas con semillas germinadas a la exposición directa de la luz del sol, trae consecuencias negativas (aumento de la evapotranspiración, endurecimiento de las hojas, quemaduras de las hojas), en los últimos días de cultivo, se expone las bandejas con forraje a la acción de la luz, para que obtengan su color verde y complete su riqueza nutricional. (Caballero, 1998).

2.6.7 Temperatura

Parsons (1981), indica que la cebada se cultiva principalmente en zonas templadas, sin embargo la planta puede crecer en áreas con altas temperaturas, en condiciones de baja humedad. La temperatura adecuada para el cultivo de esta planta varía entre una mínima 3 – 4 °C y una máxima de 25 – 35°C. Las semillas y las plántulas de cereales soportan temperaturas mínimas. Requiere una precipitación de 400 – 1300 mm de agua por año.

Según Palomino (2008), la variabilidad de las temperaturas óptimas para la germinación y posterior crecimiento de los granos de FVH es diverso, porque los granos de avena, cebada y trigo entre otros, requieren temperaturas bajas para germinar de 18° C a 21°C.

Martínez (2001), cita que la temperatura es una de las variables más importantes en la producción de FVH, el rango óptimo para producción de FVH se sitúa siempre entre los 18° C y 26 ° C. 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.

2.6.8 Humedad en el Ambiente

Castilla (2005), indica que la humedad ambiental no interviene directamente en la fotosíntesis, en condiciones adecuadas de suministro hídrico y en ausencia de problemas de salinidad, puede ocurrir que, en condiciones de muy alta demanda evaporativa coincidentes con baja humedad o con dificultades de suministro hídrico desde las raíces.

La humedad relativa del recinto de producción no puede ser inferior al 90%. Valores de humedad superiores al 90% sin buena ventilación pueden causar graves enfermedades fungosas difíciles de combatir y eliminar, además de incrementar los costos operativos, una excesiva ventilación provoca la desecación de las semillas y disminución de la producción de FVH (FAO, 2001).

Gutiérrez et al., (2000), manifiestan que es de gran importancia que la humedad del ambiente sea superior al 80%, puesto que esta ejerce una influencia directa en el trabajo que desempeñan los estomas, en caso de no existir suficiente humedad en el ambiente, no sería posible la absorción de CO₂, y por lo tanto no tendría lugar la asimilación.

La humedad relativa del módulo hidropónico no debe ser inferior al 90%, valores superiores carentes de ventilación causan problemas fitosanitarios fungos difíciles de combatir y eliminar e incrementar los costos operativos, excesiva ventilación deseca el ambiente y disminuye significativamente la producción por deshidratación (Izquierdo, 2001).

El cuidado de la humedad en el interior del recinto de producción es muy importante, la humedad relativa no puede ser inferior a 90%. Valores 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 (FAO 2002, citado por Matilla 2003).

2.6.9 Calidad del Agua de Riego

Ramos (1999), señala que la calidad de agua no puede ser descuidada, un experimento en Uruguay indica que la utilización de agua proveniente de una cañada del lugar, provocó una muy severa aparición de enfermedades fungosas, al igual que una elevada presencia de colibacilos fecales en el cultivo., establece criterios en el uso de aguas para cultivos hidropónico respecto a:

- ✓ Contenido en sales y elementos Fito tóxicos (sodio, cloro y boro);
- ✓ Contenido de microorganismos patógenos;
- ✓ Concentración de metales pesados;
- ✓ Concentración de nutrientes y compuestos orgánicos.

Howard (1997), indica que en la elaboración de soluciones se puede utilizar: el agua de pozo, agua potable, de lluvia y finalmente las destiladas, pero cuando se

emplean aguas de ríos y arroyos se debe tener cuidado de que no contengan elementos perjudiciales (minerales pesados), plomo, boro, sodio y que su contenido de sales minerales no sea superior a los 200 ppm.

Según Palomino (2008), la procedencia del agua puede ser de pozo, lluvia o agua corriente de cañerías. Si el uso de agua no es potable se tendrá problemas fitosanitarios, nutricionales en el forraje hidropónico. Con el sistema hidropónico de producción de forrajes en base a cereales se han reportado ahorros entre 50% a 70% de agua en comparación a cultivos no hidropónicos, también una relación semilla/producción de 1 a 9 kg de forraje fresco (Aráno, 1998).

2.6.10 Conductividad Eléctrica

La conductividad eléctrica del agua (CE), nos indica cual es la concentración de sales en una solución, el rango óptimo de la (CE) en el agua estaría entre 1,5 a 2,0 mS/cm, la cantidad de carbonato de sodio no debe superar los 100 mg/L de agua y la concentración de cloruros debe estar entre 50 – 150 mg/L de agua (Ramos, 1999).

En el primer curso práctico de hidroponía (2005), indica que la conductividad eléctrica mide el contenido de sales del agua o solución nutritiva, la C.E. se expresa en desiSiemens por metro (dS/m), miliSiemens por centímetro (mS/cm) o miliMhos por centímetro (mMho/cm), se recomienda aguas de baja salinidad (< 1,0 dS/m) o aguas de media salinidad (1,0 a 1,5 dS/m). Utilizada para medir la cantidad de sales disueltas en soluciones hidropónicas conocida como factor de conductividad (FC) que es un indicador de la cantidad de nutrientes disponibles en la solución para ser adsorbidos por el sistema de raíces de la planta. Se mide con un conductímetro, su medida varía, pero las más usuales son: CE, FC, PPM (Hidrocultivo, 2009).

La conductividad eléctrica se expresa en mili ohm por centímetro ó mili Siemens/cm (mS/cm), FC no es una medida científica pero representa cero para agua pura y 100 para una solución saturada de sales su equivalencia con mili

Siems es $1\text{mS/cm} = 10\text{FC}$, PPM significa partes por millón, es decir, por cada gramo de sales que hay 1000 litros de agua (Hidrocultivo, 2009).

2.6.11 Dióxido de Carbono

Según Vargas (2008), el control automatizado del dióxido de carbono, en ambientes hidropónicos, promueve la mayor foto asimilación celular y el aumento de masa vegetal. La NASA (NationalAeronautics and SpaceAdministration, organización del gobierno de Estados Unidos), ha experimentado con singulares resultados positivos la práctica de suministro de CO_2 a cultivos hidropónicos

La concentración de anhídrido carbónico en el ambiente del módulo hidropónico incrementa sustancialmente el proceso fotosintético, generará mayor biomasa. De esta manera, se pretende provocar un aumento significativo en la producción y cosecha de forraje hidropónico, a través del control atmosférico dentro del ambiente de producción (Izquierdo, 2001).

Arano (1998), el anhídrido carbónico enriquece constantemente el ambiente interno con altos niveles, promoviendo una mayor foto asimilación celular y el aumento de la masa vegetal. A título informativo, la NASA ha experimentado con singulares resultados positivos la práctica de suministro de CO_2 a cultivos hidropónicos obteniéndose un excelente aumento en la producción de biomasa vegetal.

2.6.12 Especies Empleadas

Se recomienda utilizar semillas de cereales provenientes de lotes limpios de impurezas y que procedan de plantas que estén libres de plagas y enfermedades, no debiendo utilizarse semillas tratadas con fungicidas o perseverantes. Además las semillas tienen que ser idóneas, igual que las necesarias para la siembra en el campo. La semilla debe ser entera, seca y tener por lo menos un 85% de poder germinativo. Las semillas a utilizar podrán ser de avena (grano blanco), trigo o avena; para climas fríos o en condiciones de sierra, mientras que para la costa en

verano, selva o climas calurosos (temperaturas mayores a 30°C) se recomienda trabajar con semillas de maíz, (Tarrillo, 2008).

Cultivos Hidropónicos (1992), menciona que se utilizan semillas de cereales o leguminosas que deben provenir de lotes limpios de maleza y estar libres de plagas y enfermedades y con un porcentaje alto de germinación. No se deben utilizar semillas tratadas con fungicidas o preservativos. La humedad de la semilla debe ser del 12% y debe haber tenido un reposo para que cumpla con los requisitos de madurez fisiológica. Las especies más empleadas son el maíz, la avena, avena, el sorgo.

Según Marulanda (2003), en términos ideales, se debería usar semilla de buena calidad, de origen conocido, adaptadas a las condiciones locales, disponibles y de probada germinación y rendimiento. Es muy conveniente también que las semillas elegidas para nuestra producción de forraje, se encuentren libres de piedras, paja, tierra, semillas partidas las que son luego fuente de contaminación, semillas de otras plantas y fundamentalmente saber que no hayan sido tratadas con otras semillas, agentes pre-emergentes o algún otro pesticida tóxico.

2.6.13 Tipo de Bandeja

Se recomienda trabajar con bandejas de plástico o de fibra de vidrio, evitar bandejas de metal ya que estas pueden reaccionar con la solución nutritiva. Las bandejas deberán tener orificios a un lado para permitir el drenaje del agua (Tarrillo, 2008).

El cultivo puede estar instalado en bandejas de plástico provenientes del corte longitudinal de envases descartables; estantes viejos de muebles a los cuales se les forra con plástico; bandejas de fibra de vidrio, de madera pintada o forrada de plástico las cuales a veces son hechas especialmente para este fin (FAO, 2001). Un trabajo realizado en la producción de forraje hidropónico en el Municipio de Umala. Proyecto SUMA UMA, del Departamento de La Paz, para la producción

de forraje verde, utilizo bidones desechables de aceite de capacidad de 5 litros, estos son cortados a la mitad (Aquino, 2010).

2.6.14 Nutrición Vegetal

Marulanda (1993), indica que los nutrientes para las plantas cultivadas en hidroponía son suministrados en forma de soluciones nutritivas, preparadas a partir de la disolución de sales puras o de soluciones que se consiguen en el comercio agrícola. Las soluciones nutritivas concentradas contienen todos los elementos esenciales que las plantas requieren para su correcto desarrollo y adecuada producción de raíces, bulbos, tallos, flores y frutos o semilla.

La solución nutritiva para cultivos hidropónicos generalmente está dividida en dos grupos. Los minerales requeridos en grandes cantidades, llamados macro-nutrientes, como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre y los minerales requeridos en pequeñas cantidades, llamados **micro-nutrientes** que son el hierro, manganeso, boro, zinc, cobre y molibdeno. Cada uno de estos minerales está clasificado como un nutriente esencial, esto significa que las plantas no crecerán sin ellos (Rodríguez, Chang, Hoyos y Falcón, 2000).

2.7 SEMILLAS.

2.7.1 Concepto de semilla

Una semilla es una unidad de disseminación y reproducción sexual que se desarrolla a partir de los óvulos de las flores. Para que una semilla se desarrolle debe producirse en primer lugar una polinización, llegada del grano de polen al estigma de la flor, seguida de la fecundación del óvulo. A partir de este momento empiezan a producirse una serie muy compleja de procesos, (desarrollo del embrión, órganos de almacenamiento y cubiertas de las semillas), que finalizan con el desarrollo del fruto y con la disseminación. Los frutos son cubiertas exteriores procedentes del desarrollo de los ovarios que pueden ser de tipo

carnoso como la manzana y ciruela, o secos como el avellano en cuyo interior se encuentran las semillas propiamente dichas (Rojas, 1994).

2.7.2 Partes de la semilla.

a) *Tegumento*: capa que recubre la semilla, brinda protección e impermeabilidad (Rojas, 1994);

b) *Albumen*: reserva rica en azúcares y almidones, brinda alimento para el comienzo (Rojas, 1994);

c) *Embrión*: Información genética (Rojas, 1994).

2.7.3 Semilla seleccionada

Casas, (2008) dice que ante todo, se debe seleccionar cuidadosamente la semilla, atendiendo a que los granos estén en buen estado (ni rotos, ni maltratados) y, particularmente, a que no hayan sido tratados con pesticidas o productos tóxicos. Casas (2008) indica que la humedad de la semilla debe estar en un 12% y debe haber tenido un reposo para que cumpla con los requisitos de madurez fisiológica. Las especies más empleadas son el maíz, cebada, sorgo y últimamente se está experimentando con arroz.

2.8 Avena (*Avena sativa*, L).

2.8.1 Características de la avena

Las características principales de la avena son: raíz fibrosa, caña herbácea, crece de 0.5 a 1.5 metros, hojas color oscuro, su lígula es en forma ovalada, ramificaciones largas sosteniendo cada una espigas, y su fecundación es autógena. La avena es exigente en humedad del suelo debido a sus altos requerimientos de agua (más que otros cereales), para la síntesis de un kilogramo de materia seca (Parsons, 1994).

La avena es una planta que puede adaptarse a una gran variedad de climas desde semicálidos a fríos y a alturas desde 0 a 3.000 msnm. Aunque en general se siembra en regiones de clima frío seco o húmedo. Produce una cosecha anual (Parsons, 1994).

La avena ocupa los primeros lugares en importancia de cereales a nivel mundial, debido al uso para alimentación humana y animal principalmente. En este último se ha utilizado tanto en grano como en forraje ya sea en forma de heno o con animales en pastoreo. Se diferencian dos métodos de cosecha ya sea para forraje o para grano. Al implementar la avena para forraje, se puede cortar alrededor de los 105 días y el grano llega a su madurez fisiológica a los 160 días, teniendo producciones de forraje de 45 a 50 Toneladas por ha y un 16% proteína. En grano de 3.7 toneladas por ha con un 18% de proteína (ICA-Gualcalá).

Para emplear la avena como forraje, éste se debe cortar cuando el promedio de las plantas se encuentran alrededor de 8cm, debido a que en si no se corta se tendría los mismos efectos del sobrepastoreo y por ende menos recuperación del cultivo. Al emplearse como heno tiene un porcentaje promedio de 8.2 % de proteína (Parsons, 1994).

La temperatura óptima se encuentra entre 10 a 12°C que permite un crecimiento continuo de la planta, éste puede cesar si baja la temperatura a 4.4°C (Parsons, 1994):

Mínima: 4.8 °C
Optima: 10 a 12°C
Máxima: 31 a 37 °C.

2.8.2 Clasificación Taxonómica

Rojas (1990), clasifica a la avena de la siguiente manera:

- ✓ **Familia** : Poaceae
- ✓ **Género** : Avena
- ✓ **Espécie** : Sativa

- ✓ **Nombre científico** : Avena sativa
- ✓ **Nombre común** : Avena
- ✓ **Variedad** : Gaviota

2.8.3 Origen y Distribución

Según P.D.L.A. (2005), la avena es una planta anual de la familia de las gramíneas adaptada al valle y altiplano boliviano por sus características, resulta ser el cultivo de mayor importancia para la alimentación del ganado, que tiene una densidad de siembra de 80 a 90 kg/ha, con un 90 a 95 días a la cosecha y con un rendimiento de 8,2 ton de MS.

Caballero (1998) la avena diploide y triploide tiene su centro de origen en la región mediterránea occidental y las hexaploides en Asia central, procedentes de un complejo ancestral desconocido de época más reciente, es una gramínea que se cultiva en Europa y Oriente Próximo desde hace 4.500 años como alimento para el hombre y los animales.

Quino (1993), señala que ocupa el quinto lugar en la producción mundial de cereales, siendo el cereal de invierno de mayor importancia en los climas fríos del Hemisferio norte. En cultivo de invierno su producción está restringida a zonas de inviernos suaves, o donde la nieve ejerce de cubierta protectora de las plantas durante el período de bajas temperaturas.

2.8.4 La Variedad Gaviota en Avena

Según P.D.L.A. (2005), fue liberada en 1989, con un rendimiento promedio en materia seca 8.2 ton/ha, con un número de días para la cosecha de 95, la madurez fisiológica alcanza en 135 días, con una altura promedio de 1,50 m.

2.8.5 Rendimiento en Materia Seca de la Avena

Según el P.D.L.A. (2005), la avena es uno de los cultivos forrajeros que está siendo más difundido y cultivado por los productores, con 95 días a la cosecha, es resistente a la roya y tiene un rendimiento promedio de 8,2 Tn/ha en materia seca.

Ralde (2000), en el estudio realizado en la producción de avena forrajera bajo sistema hidropónico en ambiente UTAYAPU, obtuvo un rendimiento de materia seca de 2,1 kg/m² en un tiempo de 15 días.

Castillo (2001), indican que trabajando con nueve variedades y líneas forrajeras de avena, se encontró que los rendimientos variaron desde 5,9 hasta 7,8 Tn de M.S/ha, resaltando claramente la variedad CIF – 81.7

Juzti y Chacón (1979), indican que los rendimientos dependen grandemente de la época de siembra, el estudio de cuatro cereales menores para la producción forrajera en el periodo de invierno, en las que se consideró a la avena forrajera, la variedad Texas solo produjo 4,46 ton de M.S., lo que equivale al 50% de las variedades de buen comportamiento en siembras de verano.

Según Romero y Beratto (2000), el rendimiento de avena en el periodo invernal en la variedad Strigosa fue de 2, Tn de M.S. y Llaofén con 3,2 Tn de M.S., la diferencia entre las dos variedades es que la variedad Strigosa presenta una mayor precocidad de producción en los dos primeros cortes.

2.8.6 Valor Nutritivo de la Materia Seca de FVH

Falcón (2000), indica que los valores nutricionales de la avena en base a materia seca, corresponden a:

Cuadro 1. Valor Nutritivo de la Materia Seca de FVH

Comparación de la Materia Seca				
	Materia verde de avena	Paja de avena	Heno de avena	Ensilaje de avena
Materia seca:	88%	30,38%	87%	35%
Proteínas:	8,6 - 13,09%	2,21 - 3,38%	8,7%	8,7%
Material no nitrogenada:	46,07%	51,05%		
Celulosa:	29,32%	49,09%		
Total carbohidratos:	75,39%	91,14%		
Materia grasa:	2,56%	1,98%		
Ceniza:	8,9%	4,66%		
Energía Mcal:	2,11%	1,4%	2,04%	2,04%

El valor nutricional del forraje de avena en diferentes formas en materia seca y comparada con otras formas de avena como fuente de alimentos, donde se puede apreciar su ventaja en todos los indicadores de calidad por alimento.

Cuadro 2. Análisis Bromatológico de la Avena

Comparación bromatológica de la avena en diferentes formas				
Análisis nutritivo de la avena:	Avena hidropónica	Avena concentrada	Heno de avena	Paja de avena
Energía (Kca)/KgMS:	3216	3000	1680	1392
Proteína cruda:	25%	30%	9,2%	3,7%
Digestibilidad:	81,6%	80%	47%	39%
Kcal. Digestible/Kg:	488	2160	400	466
Kg Proteína digestible/Tm:	46,5	216	35,75	12,41

Fuente: Falcón (2000)

2.9 Métodos de Producción

El procedimiento a seguir para una buena producción de FVH, debe considerar los siguientes métodos:

2.9.1 Método de la FAO

Según la Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura(2001), indica que para tener éxito en la producción de forraje verde hidropónico se debe realizar los siguientes pasos

- ✓ Selección de las especies de granos utilizados en FVH. Esencialmente se utilizan granos de avena.
- ✓ Selección de la Semilla. Se debería usar semillas de buena calidad, de origen conocido, adaptadas a las condiciones locales, disponibles y de probada germinación y rendimiento.
- ✓ El lavado de la semilla. La semilla debe lavarse y desinfectarse con una solución de hipoclorito de sodio al 1% “solución de lejía”, (preparado en 10 ml de hipoclorito de sodio por cada litro de agua). El lavado tiene por objeto eliminar hongos y bacterias contaminantes. El tiempo que dejamos la semilla en la solución, debe ser tres minutos. Finalizado el lavado se procede a un enjuague riguroso de las semillas con agua limpia.
- ✓ Remojo y germinación de las semillas. Consiste en colocar las semillas dentro de una bolsa de tela y sumergirlas completamente en agua limpia por un período no mayor a las 24 horas lograr una completa imbibición. Este tiempo lo dividimos a su vez en 2 periodos de 12 horas cada uno. A las 12 horas de estar las semillas sumergidas procedemos a sacarlas y orearlas durante 1 hora. Después la sumergimos nuevamente por 12 horas para
- ✓ Finalmenterealizar el último oreado. Está pre germinación nos asegura un crecimiento inicial del FVH, El cambiar el agua cada 12 horas facilita y ayuda a una mejor oxigenación de la semillas.

- ✓ Dosis de Siembra. La dosis de óptima de semilla a sembrar por metro cuadrado oscilan entre 2,2 kilos a 3,4 kilos considerando que no debe superar los 1,5 cm de altura en la bandeja.
- ✓ Siembra de la Bandeja e Inicio de los Riegos. Se procede a la siembra definitiva de la semillas en la bandejas. Para ello se distribuirá una delgada capa de semillas pre-germinadas.
- ✓ Riego de las bandejas. El riego del FVH debe realizarse al comienzo de los primeros 4 días no deben aplicarse más de 0,5 litros por metro cuadrado por día hasta llegar a una promedio de 0,9 a 1,5 litros por metro cuadrado.
- ✓ Riego con Solución Nutritiva. Apenas aparezcan las primeras hojas, entre el cuarto y quinto día, se comienza el riego con una solución nutritiva.
- ✓ Cosecha y rendimiento. Se han obtenido cosechas con una altura promedio de 30 cm y una productividad de 12 a 18 kilos de FVH producidos por cada kilo de semilla utilizada a los 15 días y en un clima favorable para el desarrollo del mismo.

2.9.2 Según La Molina (2005)

Para la Universidad Agraria La Molina, mediante su centro de investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral, menciona que una buena producción de forraje verde hidropónico consta de una serie de pasos, las cuales constan de:

- ✓ Pesar la semilla de avena.
- ✓ Escoger las semillas para eliminar la presencia de semillas partidas, semillas de otras plantas, piedras, pajas, etc.
- ✓ Lavar las semillas con agua para obtener semillas limpias.
- ✓ Las semillas deben ser lavadas y desinfectadas previamente con una solución de lejía al 1% (10 mL de lejía en 1 L de agua), dejando remojar en esta solución por 1 hora luego se enjuaga con agua.
- ✓ Las semillas se remojan a 24 horas, añadiendo agua hasta sumergirlas completamente. Cambiar el agua si se enturbia, esto permite una mayor oxigenación de las semillas.

- ✓ Transcurrido el tiempo se procede a escurrir el agua y lavar las semillas. La capa de semilla se nivela en la bandeja. y se realiza el riego, para mantener húmedas las semillas. La capa de semilla no debe no debe exceder de 1,5 cm.
- ✓ Cuando aparece las primera hojita, aproximadamente al cuarto día.
- ✓ La cosecha se realiza a los 10 días, con una altura promedio de 20 a 25 cm y se obtiene alrededor de 1800 g de forraje por 300 g de semilla de avena, es decir, una relación de 1:6 aproximada mente.

2.9.3 Según Tarrillo (2008)

- ✓ Selección de semillas. Se recomiendan utilizar semillas de cereales provenientes de lotes limpios de impurezas.
- ✓ Lavado. Las semillas son lavadas con el objeto de eliminar el polvo que contienen, ya que en ella se encuentra una gran cantidad de microorganismos, este lavado se realiza sumergiendo las semillas en agua y agitándolas por unos segundos, para luego eliminar el agua sucia, procedimiento que se repite hasta tres veces, dependiendo del grado de suciedad de estas.
- ✓ Desinfección. Las semillas son desinfectadas con el objeto de eliminar microorganismos de la putrefacción y esporas de hongos, para evitar problemas durante el proceso de germinación y producción. Este proceso se realiza sumergiendo las semillas en una solución de agua con lejía (hipoclorito de sodio) al 1 %, (10 ml de lejía por cada litro de agua) por espacio de 2 horas.
- ✓ Remojo. Las semillas son puestas en remojo con agua por espacio de 24 horas, con el objeto de activar la vida latente del grano e iniciar su actividad enzimática; además de ablandar la cutícula que recubre al grano y facilitar la germinación.
- ✓ Oreo. Terminado el proceso de remojo, las semillas son enjuagadas con agua y puestas en un depósito que presenta orificios en la parte inferior,

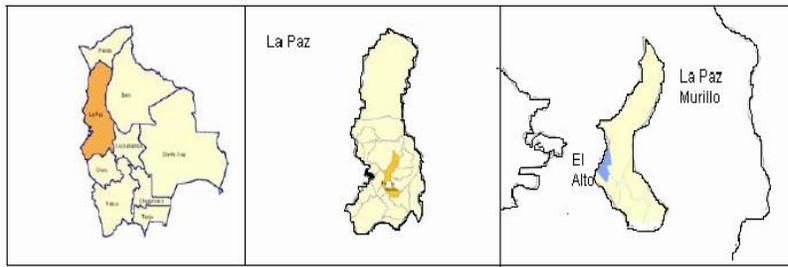
que permite el drenaje del agua, además el depósito será tapado, para evitar una pérdida de humedad. En esta etapa las semillas no son regadas y permanecerán por espacio de uno a dos días, hasta la aparición del “Punto de Brote” en la semilla.

- ✓ Germinación. Esta etapa se inicia con la siembra de las semillas en las bandejas, a una densidad de 5 kilos de semilla seca por metro cuadrado de bandeja, es decir una altura de cama de semillas de 1,5 cm. Luego las bandejas son colocadas en un estante de germinación, y son regadas con agua tres veces al día. Luego de 4 a 6 días las bandejas son trasladadas al estante de producción.
- ✓ Producción. Para esta última etapa, las bandejas son trasladadas a estantes de producción. Pudiendo utilizarse; solución nutritiva. La etapa de producción del FVH dura entre 4 a 8 días.
- ✓

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Ubicación

La ciudad de El Alto cuenta actualmente con una superficie aproximada de 1.042 km², limitando al Norte con el Cantón de Zongo del Municipio de La Paz, al sur con la primera sección de la provincia Ingavi (Viacha), al este con la tercera sección de la Provincia Murillo (Achocalla) y al Oeste con la Segunda Sección de la Provincia de Los Andes (Laja). Así el presente trabajo se realizó en el distrito 8 de la Ciudad de El Alto como se observa en las figuras 1 y figura 2 a continuación:



Fuente: Plan de Desarrollo Municipal de la Ciudad de El Alto

Figura 1, localización.

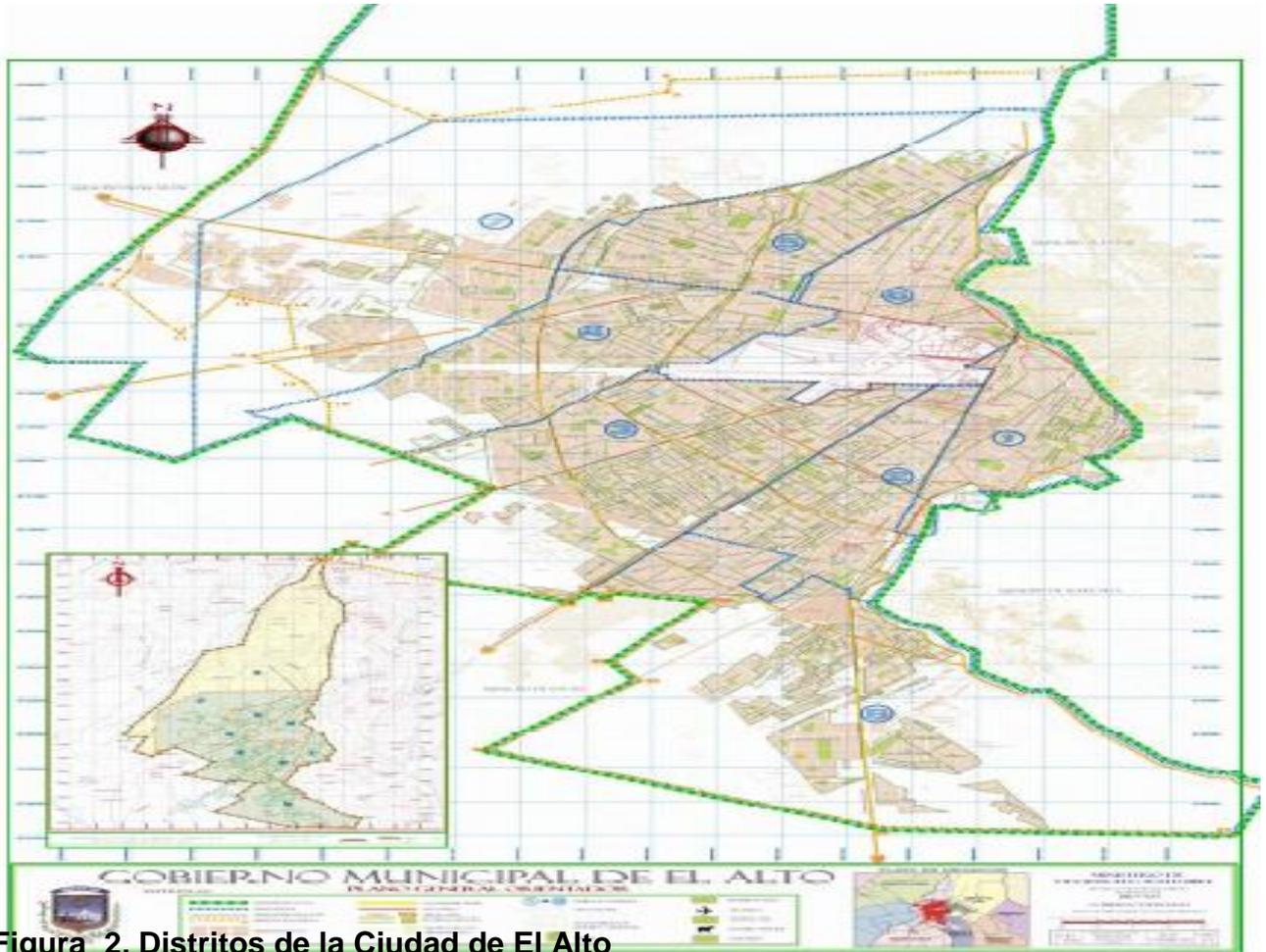


Figura 2, Distritos de la Ciudad de El Alto

Fuente: Plan de Desarrollo Municipal de la Ciudad de El Alto.

3.2 Materiales y Equipos

3.2.1 Ambiente Hidropónico

Para la producción de forraje verde hidropónico, es necesario que el invernadero cumpla los siguientes requerimientos:

- Protección de los rayos directos del sol.
- Protección de vientos fuertes.
- Protección de bajas y altas temperaturas debe mantener estable entre los 18 a 25°C.
- Mantener una adecuada humedad interna de 70%
- Permitir ingreso adecuado de luz.
- Proteger del ingreso de agentes externos.

3.2.2 Características del Ambiente Hidropónico

El experimento se realizó en las instalaciones de Invernaderos Hidropónicos Bolivia S.R.L., en la localidad de Viacha; el modelo de carpa es de una caída con una superficie total de 27 m², de 6 m de largo y 4,50 m de ancho, cuya estructura es de piedras, cemento, ladrillos, vigas y listones. El ambiente protegido tiene una pared alta de 3 m y las paredes bajas de sus laterales son de 2,50 m de alto, la superficie útil es de 2,77m².

El material de cubierta del techo es con policarbonato color blanco de 5 mm de espesor.

3.2.3 Material Biológico

Para el ensayo se utilizó 10 Kg de semilla certificada de avena (*Avena sativa*) de la variedad Gaviota, de la empresa productora de semilla forrajera SEFO – UMSS

de la ciudad de Cochabamba. Es un cereal rustico para producción de forraje, se adapta desde los 2000 a 4500 m.s.n.m. Tolera condiciones de sequía y es medianamente tolerante a la salinidad, (SEFO, 2008).

3.2.4 Material de Laboratorio

Los materiales e instrumentos que se utilizó en el análisis de la calidad de semilla fueron:

- Balanza digital de 200g.
- Balanza digital de 8000 g.
- Pinza.
- Alcohol etílico al 70%
- Agua destilada.
- Hipoclorito de sodio al 0,5%
- Papel secante.
- Bandejas plásticas de 0,20·0,12 m
- Piseta de 250 ml.
- Cámara de germinación tiene una capacidad para 44 bandejas

3.2.5 Material de Cultivo e Instrumento de Medición

Los materiales de cultivo e instrumentos de medición que se usaron en el desarrollo del presente estudio fueron:

- Módulo de producción hidropónica de forrajes (invernadero).
- Nueve bandejas de siembra 0,191 m².
- Hipoclorito de Sodio 1%.
- Tres baldes para lavado y remojo de granos 15 L.
- Dos tachos de 30 L y 1 de 10 L para oreo.

- Balanza de combo 10 kg.
- Masquin para marbete.
- Dos jarras de plástico graduadas de 1000 ml y uno 250 ml.
- Jeringa de 10 ml.
- Regadera 2,50 L.

3.2.6 Material de Gabinete

- Material de escritorio: marcadores, lápiz, bolígrafo, estilete, cuaderno de registro.
- Regla de 30 y 50 cm
- Flexo metro de 50 cm
- Cámara fotográfica
- Equipo de computación e impresora

3.2.7 Instrumentos de Meteorología

- Termómetro de máxima y mínima (100°C)
- Higrómetro digital

3.3 Metodología

El procedimiento para la producción de FVH, considero las siguientes etapas:

- a) Etapas** - Se realizó la limpieza y desinfección del ambiente de producción y de las bandejas que se utilizaron para la producción.
- Así mismo se realizó la limpieza y desinfección de los recipientes de riego y germinación.
 - Se utilizó granos de Avena de la variedad Gaviota.
 - Se realizó el pesaje de la semilla de avena la cual se utilizó para la producción en el estudio.

- En cuanto al lavado de la semilla (se realizó un lavado profundo hasta que el agua quede completamente limpia), esto para quitar cualquier rastro de polvo o suciedad que tuviera la semilla.
- La densidad de siembra de la semilla que se utilizó según la recomendación de Tarrillo (2008), fue de 5 kilos por metro cuadrado.
- La semilla se desinfecto por 24 horas ,1 hora y 3 minutos respectivamente para los métodos Tarrillo, La Molina y la FAO, con una solución de hipoclorito de sodio al 1% “solución de lejía”, preparada diluyendo 10 ml de hipoclorito de sodio por cada litro de agua. El lavado tuvo por objeto eliminar hongos y bacterias contaminantes, liberarlas de residuos y dejarlas bien limpias.
- También se realizó la eliminación del agua con lavandina, enjuagando el grano tres veces.
- Para el oreó, se colocaron las semillas en un recipiente tapado con plástico donde se las dejo reposar por 2 días para el método Tarrillo, para La Molina no se dejó reposar y 1 hora para el método FAO hasta la aparición de “punto de brote”.

b) Siembra en bandejas

- Se retiró el grano de los recipientes de “punto de brote” y se las sembró en bandejas de plástico, colocando una capa de 1,5 cm. de grano como máximo, procurando cubrir toda la superficie de la bandeja. Se colocó las bandejas en el área de germinación.
- El riego se realizó hasta el inicio del verdeo, del 4to - 5to día, se aplicó 0,5 litros de agua por bandeja al día hasta llegar a un promedio de 2 litros por bandeja diarios. Las cantidades de agua de riego se dividieron en tres aplicaciones por día, el primer riego se hizo a las 8:00 horas, el segundo riego a las 13:30 horas y el tercer riego a las 18:00 horas.

Cuadro 3. Diferencia de métodos en la producción de forraje verde hidropónico

PASOS	METODOS		
	TORRILLO	MOLINA	FAO
DESINFECCION	24 HORAS	1 HORA	3 MINUTOS
REMOJO		24 HORAS	12 HORAS
			1 HORA OREO
			12 HORAS DE REMOJO
OREO	2 DIAS	NADA	1 HORA

3.5 Diseño Experimental

Los ensayos para determinar los factores de producción de Forraje Verde Hidropónico, se evaluaron con el diseño experimental completamente al azar, con tresfactores y tres repeticiones.

Factores a Evaluar:

F 1: Método Tarrillo

F 2: Método La Molina

F 3: Método la FAO (Testigo)

3.5.1 Modelo Lineal Aditivo

Este diseño estadístico tiene el siguiente modelo lineal aditivo:

$$\gamma_i = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij}$$

Donde:

γ_i = Una observación cualquiera.

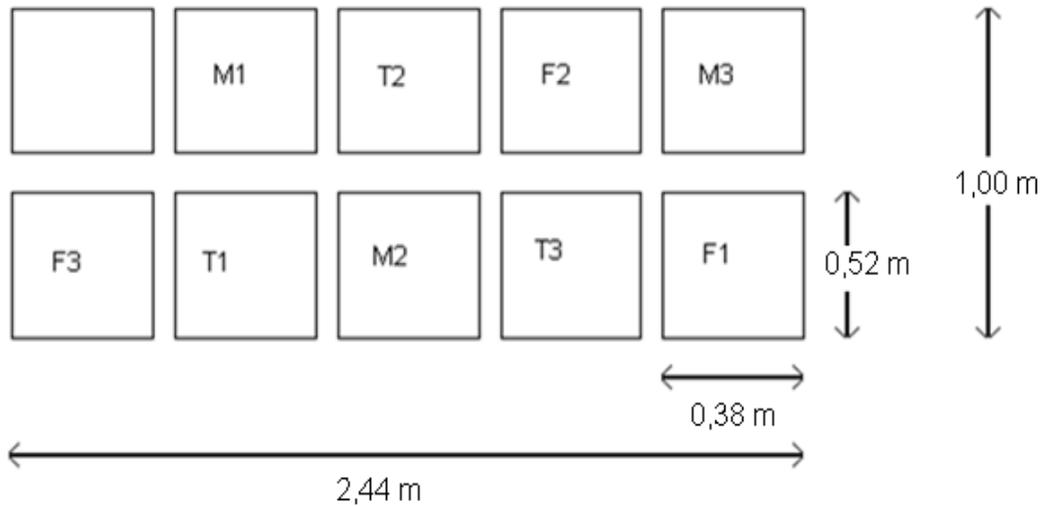
μ = Media general.

α_i = Efecto del i-ésimo método.

ϵ_{ij} = Error experimental.

3.5.2 Croquis del Diseño Experimental

Figura 3. Croquis experimental de las bandejas de producción de forraje hidropónico.



3.6 Unidad Experimental

La unidad experimental constituyó la bandeja de una superficie 0,24 m².

3.7 Unidad de Muestreo

La unidad de muestreo fue la parte central de cada bandeja, para la cual se definió una dimensión de 0,10 m · 0,10 m.

3.8 Variables de Respuesta

3.8.1 Porcentaje de Germinación

Esteanálisis de germinación se realizó de dos maneras; con tratamiento pre germinativo, utilizando una solución de hipoclorito de sodio al 0,5% durante 1 minuto y sin tratamiento pre germinativo, con el conteo de 100 semillas.

3.8.2 Rendimiento en Materia Verde

Se determinó el rendimiento total de forraje hidropónico en materia verde por factor en kilogramos por metro cuadrado.

3.8.3 Altura de Desarrollo del Follaje

La altura de planta, se obtuvo midiendo en longitud de la parte vegetativa del cuello al ápice, expresada en centímetros, ésta característica se evaluó hasta llegar a su mayor crecimiento bajo el sistema de producción hidropónico.

3.8.4 Desarrollo de la Masa Radicular

Comprende la longitud de las raicillas hasta la parte vegetativa del cuello de la planta, ésta medición se realizó en cuatro zonas de cada bandeja y se midió en centímetros.

3.9 Costo de Producción

Los costos de producción estaban basados en costos fijos y costos variables, para determinar el costo actual de producción de un kilogramo de forraje verde, buscando minimizar la inversión.

3.9.1 Evaluación Económica

El análisis económico de acuerdo al manual metodológico del CIMMYT (Perrin, 1988), consiste en el cálculo del Beneficio Neto y las relaciones Beneficio Costo (B/C) en base a los rendimientos y costos obtenidos por cada tratamiento con la siguiente relación:

- Ingreso Bruto:

Donde:

I.B.= Ingreso bruto

R. = Rendimiento

P. = Precio

- Ingreso Neto o Utilidad del Cultivo

$$\mathbf{I.N. = I.B. - C}$$

Donde:

I.N. = Ingreso neto

I.B. = Ingreso bruto

C. = Costo de producción

$$\mathbf{I.B. = R \cdot P}$$

- Relación Beneficio Costo

La relación de beneficio/costo, es la comparación sistemática entre el beneficio o resultado de una actividad y el costo de realizar esa actividad.

(B/C)

Donde:

B = Beneficio

C = Costo de producción

IBTA Y PROINPA (1995), indican que la regla básica de beneficio/costo (B/C), es que una inversión será rentable, si los beneficios son mayores que la unidad ($B/C > 1$), es aceptable cuando es igual a la unidad ($B/C = 1$), y no es rentable si es menor a la unidad ($B/C < 1$).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos y con el objetivo de mostrar el efecto de los diferentes métodos en la producción forraje de avena bajo sistema hidropónico, se abordaron primero los factores que influyen en la producción, para luego

determinar el rendimiento por superficie, el valor nutritivo, así como el índice de producción de forraje por unidad de semilla y los costos de producción.

4.1 Descripción de las Temperaturas Registradas Durante el Desarrollo del Cultivo de avena como Forraje Hidropónico.

Las variaciones de temperaturas máximas y mínimas en el interior de la carpa solar, se obtuvieron con el uso de un termómetro analógico ubicado a 1,4 m sobre el nivel del suelo, realizando un registro diario de las temperaturas que inició el 06 de agosto hasta el 29 de septiembre, durante los 24 días se observó la variaciones térmicas dentro de la carpa solar.

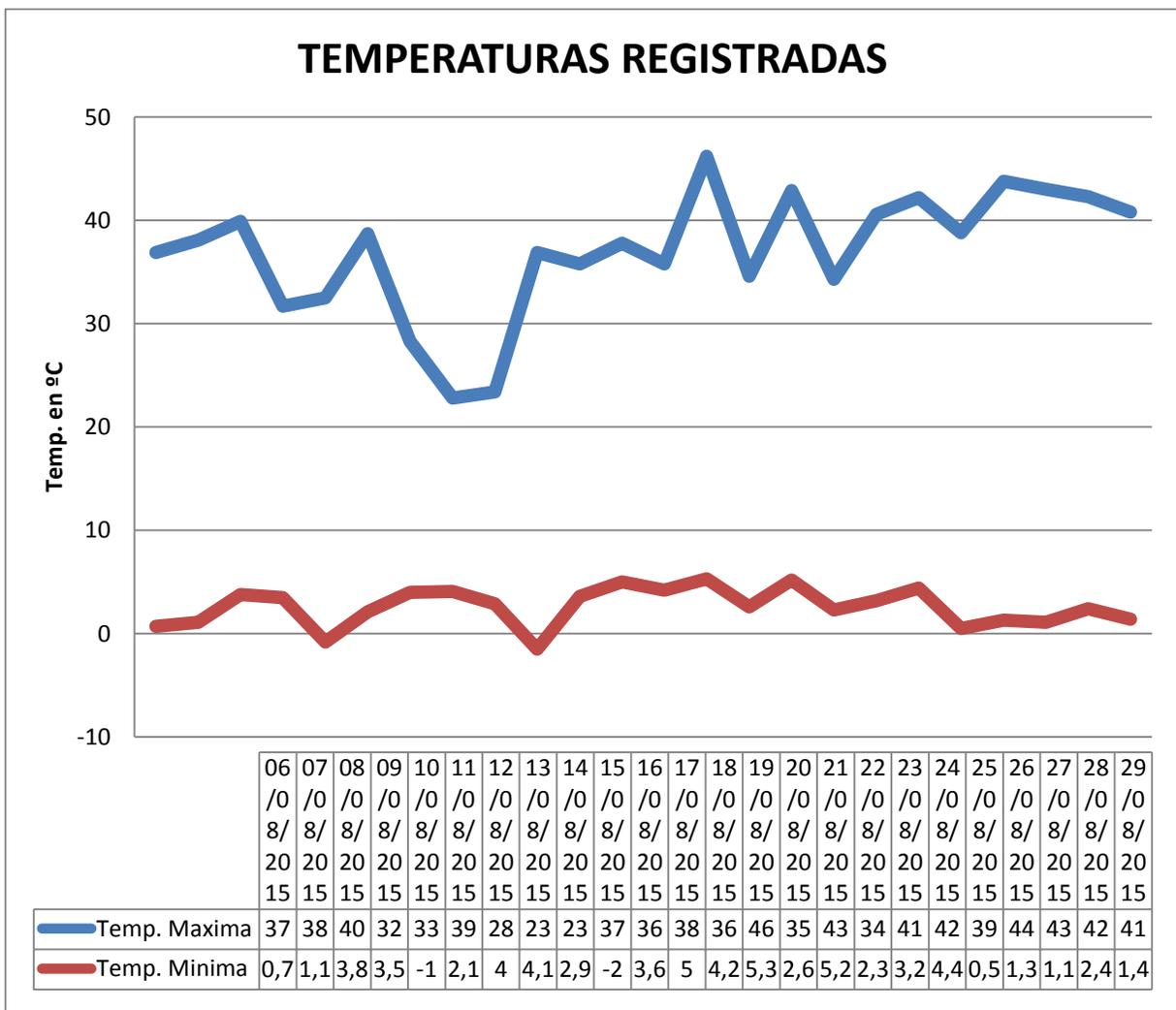


Figura 4. Temperaturas máximas y mínimas durante la producción de forraje de avena en invernadero.

En la Figura anterior, se aprecia la variación de la temperatura durante el experimento. Se observa que el rango de temperatura se mantuvo constante en el recinto de producción, registrándose como promedio mínimo 2.7 y 37°C como promedio máximo.

Al respecto la FAO (2001), manifiesta que las temperaturas requeridas para la producción de FVH en el que se desarrolla óptimamente se sitúan entre 18 y 26°C, con temperaturas máximas de 29°C y mínimas de 5°C.

Estos datos no coinciden con los rangos registrados en el estudio, los cuales son superiores a los indicados, sin embargo se puede aseverar que las variaciones en temperatura no afectaron a la asimilación de nutrientes del forraje hidropónico y en consecuencia no se observaron alteraciones ni deficiencias visibles en la planta.

4.2 Porcentaje de germinación

Los resultados encontrados en este estudio indican que las semillas de avena presentan la mayor germinación a los 5 días, estos resultados obtenidos en el presente estudio son mayores en días de germinación a los reportados por Gonzales y Mendoza (1994), donde obtuvieron que la germinación de la avena está entre 3 y 4 días con una temperatura de 20 °C. En condiciones de laboratorio.

Las pruebas de germinación indican que la semilla utilizada tiene una viabilidad de 84 % de germinación y 99% de pureza física, con un valor cultural de 83,1 lo que significa que de cada 100 kg de semilla 83,1 kg es material vegetativo, según Sánchez (2004), Dosal, (1987) y Gallardo, (1997) el porcentaje de germinación 84 % está dentro del rango aceptable para su uso en la producción de forraje hidropónico que es mayor a 80 %.

Según Matos (1996), para que las semillas puedan germinar, se requiere que los granos contengan un 50% de humedad, una buena oxigenación para que tenga respiración aeróbica y una temperatura adecuada para los distintos procesos metabólicos de la semilla y se tenga en los granos de cebada, avena una germinación del 90% en 2 y 4 días respectivamente.

Romero (2009), indica para que la avena germinen en 5 días, debe haber condiciones favorables de temperatura, humedad, luz y oxígeno, en la cual primero la semilla se hincha y aumenta de tamaño a medida que absorbe agua, estos resultados de germinación coinciden con los resultados obtenidos en el presente estudio.

4.3 Rendimiento en Peso Verde

Definimos el rendimiento como la masa (Peso) del producto obtenido por unidad de superficie, en éste caso lo expresamos en kilogramos de materia verde.

La prueba de Rango Múltiple de Duncan, indico que existen diferencias estadísticas para los diferentes métodos de producción de avena hidropónica, donde el Método de la FAO alcanzo un valor mayor con 9.60 (kg/0,24m²), seguido por el Método de Tarrillo 8,17 (kg/0,24m²); y el Método la Molina con 7,90 (kg/0,24m²) como se puede observar en la figura 6.

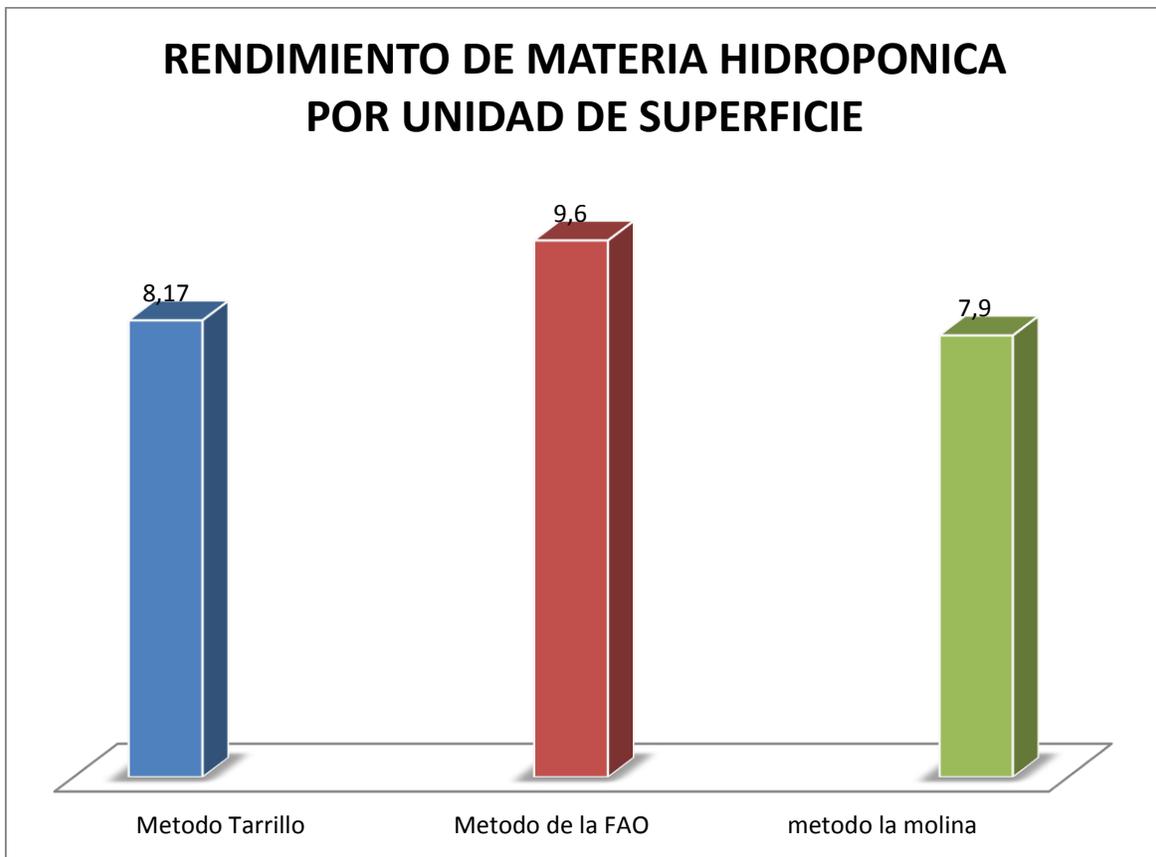


Figura 5. Promedios de los rendimientos del forraje hidropónico en los diferentes métodos empleados.

Estos datos son superiores a los reportados por Mendoza (2009) y Clavijo (2001), en estudios realizados en la zona de Humachua y Achocalla obtuvieron rendimientos de 8,07 kg/0,5m², durante un periodo de 11 días y 5,47 kg/0,5 m², respectivamente.

Asimismo Gallardo (1997), en estudios realizados en Huayrocondo (Provincia Los Andes), obtuvo un rendimiento de 6,13 kg/0,5 m², en un periodo de cosecha de 15 días.

Por lo mostrado anteriormente, se asume que el mayor rendimiento registrado en el presente estudio se debe principalmente a la diferencia de métodos utilizados

para la producción de FVH, en el cuál se observa claramente que el método de la FAO está por delante del método Tarrillo y La Molina. Esta superioridad en rendimiento del método de la FAO con respecto a los demás se atribuye a la eficiencia y la facilidad de manejo del proceso productivo.

4.4 Altura de Planta

La variable altura de planta en el estudio fue medida en centímetros desde la parte vegetativa del cuello al ápice, para cada factor durante el desarrollo del ensayo.

En la prueba de Rango Múltiple Duncan, indica que existen diferencias estadísticas para los diferentes métodos de producción en la avena hidropónica, donde el Método de la FAO alcanzo un valor mayor con 27.4 cm, seguido por el método de La Molina con 26.3 cm. y finalmente el método Tarrillo con 24.5 cm como se muestra en la figura 7 a continuación:

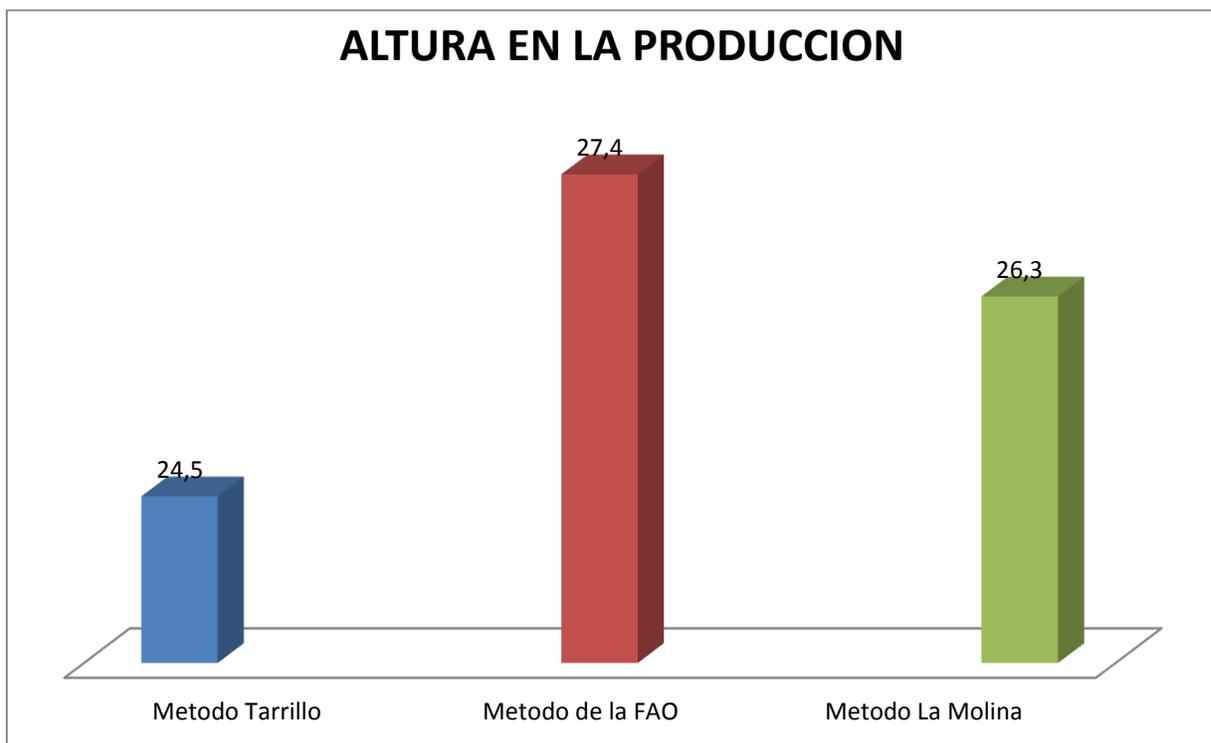


Figura 6.Promedios de altura de avena en los diferentes métodos empleados.

En general, las alturas de plantas registradas en el ensayo fueron comparativamente iguales a lo descrito por la FAO (2001), que sugirió que el FVH es un suculento alimento de aproximadamente 20 – 30 cm. en condiciones de invernadero (18 – 26oC y 90% HR). Por otra parte, el análisis de varianza para la variable altura de planta presentada, muestra que no existen diferencias significativas entre los métodos de producción, poniendo al método de la FAO como el mejor en cuanto a la altura de planta se refiere.

4.5 Longitud de Raíz

Esta característica comprende la longitud de la raíz hasta la parte vegetativa del cuello de la planta, fue tomada en centímetros para todos los métodos.

En la prueba de rango múltiple Duncan realizada mostro que existen diferencias estadísticas para los diferentes métodos de producción en cuanto a la longitud de la raíz de avena hidropónica, donde el Metodo Tarrillo alcanzo un valor mayor con 3,79 cm seguido del Metodo La Molina con 3,48 cm, frente al Metodo de la FAO con 3,31 cm. En el análisis de varianza para la variable longitud de raíz se pudo observar que hay diferencias significativas entre la aplicación de los diferentes métodos de producción, por lo que se pudo observar que el método Tarrillo presentó mayor longitud de raíz a diferencia del Método La Molina y del Método FAO. La diferencia de las longitudes de raíz influyo directamente en el desarrollo de follaje y crecimiento de éste como se muestra en la figura 8.

Figura 7. Promedios de desarrollo de la raíz en los diferentes métodos empleados.

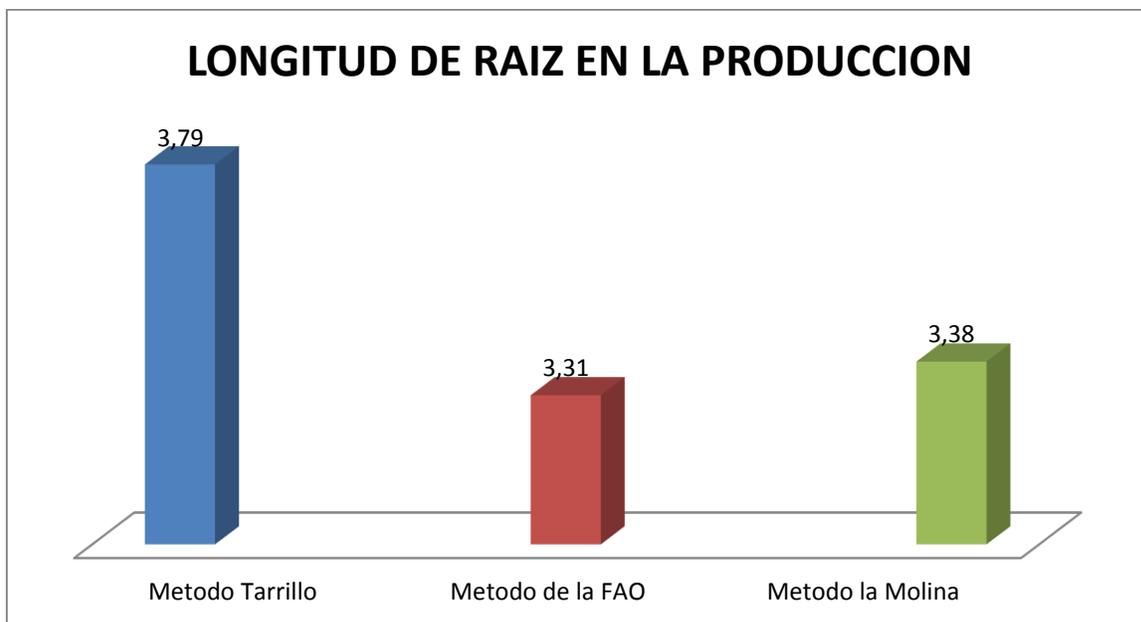


Figura 8. Promedios de desarrollo de la raíz en los diferentes métodos empleados.

4.6 Tasa de Conversión de Grano a Forraje Hidropónico

En el cuadro 4 podremos observar lo que se refiere al peso de FVH obtenido por cantidad de semilla, expresado en kilogramos de materia verde por kilogramo de semilla.

Cuadro 4. Conversión de grano de avena a forraje verde hidropónico.

Métodos	Densidad Kg/0,24 m ²	Peso (MV Kg/0,24 m ²)	Peso (MV kg/m ²)	Tasa de Conversión Grano:FVH
Método Tarrillo	1	8.17	34.04	1:8.17
Método de la FAO	1	9.60	40	1:9.60
Método La Molina	1	7.90	32.90	1:7.90

El cuadro anterior se muestra que el método de la FAO alcanzó un mayor valor en la conversión de semilla de FVH, en el cual indica que por 1Kg de semilla se obtuvo 9.60 kg de FVH, seguido del método tarrillo que alcanzó por cada 1 kg de semilla 8.17kg de FVH y finalmente el método La Molina de 7,90 kg de FVH por 1 kg de semilla de avena

Los resultados de conversión obtenidos en el ensayo Cuadro 8, fueron superiores a los obtenidos por Aquino (2010), quién obtuvo un rendimiento de 6,0 kilos de forraje verde hidropónico por cada kilo de semilla utilizado. El mayor valor en conversión fue el del método FAO, podría explicarse por el gran desarrollo foliar experimentado por el cultivo, el cual es debido a las reservas almacenadas en el grano y adicionalmente por una tasa de respiración que supera la tasa de fotosíntesis durante el desarrollo inicial.

4.7 Conversión de Forraje Verde Hidropónico a Materia Seca

El rendimiento en materia seca Cuadro 5, obtenido en el presente estudio es mayor a los rendimientos de avena en condiciones de campo y a secano como forraje a los 137 días, con 3750 kg/MS/ha (0,375 (kg/MS/m²) reportado por Gonzales (1995).

Cuadro 5. Conversión de Forraje Verde Hidropónico a Materia Seca.

Métodos	Densidad Kg/0,24 m ²	Peso (MV Kg/0,24 m ²)	Peso (MV kg/m ²)	Tasa de Conversión Grano:FVH
Método Tarrillo	1	1.76	7.33	1:1.76
Método de la FAO	1	1.71	7.12	1:1.71
Método La Molina	1	1.69	7.04	1:1.69

Los rangos de rendimiento promedio de FVH de avena en materia seca por unidad de superficie, obtenido durante el periodo de estudio (14 días) fue 7.33 (kg/m²) del método Tarrillo, seguido por el método FAO de 7.12 (kg/m²) y 7.04 (kg/m²) por el método La Molina.

Por su parte la FAO (2001), utilizando la técnica de producción de FVH se puede cosechar anualmente 15-25 ton de materia seca, lo cual indica que el sistema hidropónico es más eficiente en la producción de biomasa, frente al cultivo tradicional.

4.8 Costos de Producción

A continuación en el Cuadro 6, se resume los efectos de los costos de producción de forraje verde hidropónico en los diferentes métodos de producción.

Cuadro 6. Relación beneficio/costo para la producción de FVH bajo tres métodos de producción estándar.

RELACION BENEFICIO COSTO			
METODO	Costo Total	Ingreso Neto	B/C
M. Tarrillo	72	171.57	2.38
M. de la FAO	72	201.6	2.8
M. la Molina	72	165.9	2.30

En el cuadro se observa los costos totales, los ingresos netos y la relación beneficio/costo por métodos de producción de FVH.

De acuerdo a la relación beneficio/costo, entre factores se observa una relación $B/C > 1$; en el método de la FAO (testigo) con 2,380 Bs, seguido del método Tarrillo de 2,38 Bs, frente al método La molina 2,30 Bs.

El Cuadro 6, también muestra que por cada 1Bs de inversión se obtuvo 1,80/100 Bs de beneficio para el método de la FAO. Para el caso del método de Tarrillo se obtuvo un dividendo de 1,38/100 Bs. y por último por cada 1 Bs invertido en el método de La Molina, el ingreso es de 1,30/100 Bs

La diferencia en el ingreso se debe básicamente a la cantidad en peso del forraje verde hidropónico obtenido a la cosecha y la venta de los mismos. Cuyos rendimientos para el método Tarrillo fueron superiores con 8.17 kg MV, en relación al método FAO fue el más superior con 9.60 kg MV y al método La Molina 7.9 kg MV. Estos pesos se obtuvieron a los 24 días de producción.

5. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en el estudio, así como de los análisis y la discusión de los mismos se llega a las siguientes conclusiones:

-En cuanto a la altura de la planta de forraje verde hidropónico de avena se tiene que se empleó tres métodos de la FAO, Molina y el método Tarrillo, que según prueba Duncan el método de la FAO la planta de forraje verde hidropónico alcanzo una altura de 27.4 cm a comparación de los otros métodos empleados dando como resultado que el método de la Molina tan solo alcanzó una altura de 26.3 cm y el método de Tarrillo tan solo alcanzó una altura de 24.5 cm, en esto se concluye que el método de la FAO dio mejores resultados en cuanto a la altura de la planta del forraje verde hidropónico.

- En cuanto al rendimiento del forraje verde hidropónico de igual manera se empleó tres métodos la de la FAO, método Molina, método Tarrillo, con una densidad de 0.9 Kg/bandeja en donde se puede concluir que según el método de

la FAO a comparación de los otros dos métodos dio mejores resultados donde el método de la FAO obtuvo un rendimiento de 9.60 kg/bandeja, el método de la Molina dio un rendimiento de 7.9 kg/bandeja y el método de Tarrillo dio un rendimiento de 8.17 kg/bandeja, según los resultados obtenidos se puede concluir que tiene mucha influencia la estimulación del embrión de la semilla y la desinfección y el oreo de las semillas que tuvo se colocaron las semillas en un recipiente tapado con plástico donde se las dejó reposar por 2 días para el método Tarrillo, para La Molina no se dejó reposar y 1 hora para el método FAO hasta la aparición de “punto de brote”.

- En el periodo de estudio para la obtención de forraje verde hidropónico se tomó en cuenta tres métodos de los cuales se obtuvieron los siguientes resultados en cuanto a materia seca según el método de Tarrillo dio como datos en materia seca 7.33 kg/m², en cuanto al método de la FAO dio como resultado 7.12 kg/m² y por último el método Molina dio como resultado 7.04 kg/m² en esto podemos observar que el método de Tarrillo dio mejores resultados en cuanto a materia seca

- En cuanto al beneficio/costo según los tres métodos empleados el método de la FAO, método Molina y el método de Tarrillo se pudo observar que el beneficio/costo es más alto en el método de la FAO dando como resultado de 2.80 Bs a comparación de los otros dos métodos donde el beneficio costo del método de Tarrillo se obtuvo costo de 2.38, y finalmente el método de La Molina es de 2.30 Bs. Así podemos concluir que el método de la FAO dio mejores resultados y es recomendable.

6. RECOMENDACIONES

- Según el estudio realizado se recomienda realizar forraje verde hidropónico debido a que las soluciones nutritivas que se utilizan en la producción son de más bajo costo a comparación de los fertilizantes químicos que son los que se utilizan en los cultivos y que además son más difíciles de conseguir.
- Viendo el estudio realizado en el forraje verde hidropónico también se puede recomendar que para una mejor manipulación del forraje durante la etapa de crecimiento se pueda utilizar bandejas de 0.24 metros cuadrados
- Según el estudio realizado el método de la FAO es más recomendable a comparación de los otros métodos empleados en este estudio ya que puede brindar un mejor manejo, se vio buenos resultados en la etapa de crecimiento y por tanto el rendimiento fue mejor a comparación de los otros métodos empleados en el forraje verde hidropónico.
- Si se realizara la producción de forraje verde hidropónico se recomienda tecnificar el módulo de producción, esto para aumentar el rendimiento por unidad de superficie, para facilitar y a la vez disminuir la mano de obra que este requeriría si la producción fuese para medianos y grandes productores en esta área.
- Para estudios futuros se recomienda evaluar el cultivo de avena en una unidad de producción intensiva, pero así mismo se recomienda hacer estudios en otros forrajes para una producción a gran escala viendo los rendimientos que darán cada forraje.

BIBLIOGRAFÍA

AQUINO, E. 2010. Producción, Manejo y usos de Forraje Verde Hidropónico Para Zonas de Altura. Primera edición. JICA (Agencia de Cooperación Internacional del Japón - Proyecto Suma Uma) La Paz - Bolivia. pp..... 35.

ARANO, C. 1998. Forraje Verde Hidropónico y Otras Técnicas de Cultivos sin Tierra. Primera Edición. Ed.Chivilcoy Continuos. Buenos Aires, Argentina. pp..... 250.

ARUQUIPA, C. 2008. Producción de cuatro variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) bajo dos sustratos (sólidos y líquidos) en el municipio de El Alto Tesis de Agronomía. La Paz. Universidad Mayor de San Andrés. pp..... 80.

BIDWELL, R. 1993. Fisiología. A. G. T. Editor, S.A. México D.F. pp..... 585.
CHANG, M. 2004. Producción de Forraje Verde Hidropónico. Ed. Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral. Lima. Perú. pp..... 235.

CASA, C. Efecto de la utilización del forraje verde Hidropónico de avena, cebada, maíz y trigo en la alimentación de cuyes. (en línea). Riobamba, Ecuador. Consultado el 11 de junio de 2015 disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1724/1/17T0809.pdf>

CHURCH, D. 1988. El Rumiante. Fisiología digestiva y nutrición. Ed. Acribia, S.A. Zaragoza, España. pp..... 641.

CIMMYT, 1988, Manual Metodológico de evaluación económica, México D.F. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo.

CLAVIJO, G. 2001. Efecto de Soluciones de Nitrato de Amonio y Densidades de Siembra sobre el contenido de Proteína de Avena (*Hordeum vulgare*), Producida en el Sistema hidropónico. Tesis de Agronomía. La Paz. Universidad Mayor de San Andrés. pp..... 46.

CORONA, R.L.A. 2011. Producción de forraje verde hidropónico. (en línea). México. Consultado 11 de junio de 2015 disponible en: www.chihuahua.gob.mx/.../producción%20de%20forraje%20verde.pdf.

CULTIVOS HIDROPÓNICOS. 1992. Revista Aprende Fácil, N° 9, Forraje Verde Hidropónico. Ed. Ver. Bogotá, Colombia.

D. A. 2004. Manual Práctico de Hidroponía. Cuarta Ed. La molina. Lima. Perú. pp..... 100. , S. 2006. Forraje Verde Hidropónico. Segunda Edición. Editorial diana. México. pp..... 113.

DEVLIN, P. 1982. Fisiología vegetal. Editorial Omega, S.A. Barcelona España. pp..... 59. DOSAL, 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. Ed. Universidad de Concepción. Ch. pp..... 252.

DOUGLAS, J. 1987, Hidroponía, como cultivar sin tierra, cuarta edición, El Ateneo, Buenos Aires – Argentina. pp..... 93.

DURAN, R. F. 2009. Forraje Verde Hidropónico, Grupo latino Editores, Bogotá, pp..... 208.

FAO. 2001. Forraje verde hidropónico: Manual técnico Forraje verde hidropónico. 2001. Consultado el 10 de oct de 2015, disponible en <www.fao.org/docrep/fao/field/009/ah472s/ah472s00.pdf>

FAO, 2002. Manual de forraje verde hidropónico. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (en línea). Santiago de Ch. disponible en: <http://www.fao.org/prior/segalim/prodalim/prodveg/hidro/pdf>. , 2001 Manual Técnico. Forraje verde Hidropónico. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. Santiago de ch. pp..... 68. 2001. Forraje Verde Hidropónico. Primera Edición. Santiago Ch. pp..... 34

GALLARDO, G. 1997. Producción de Forraje Hidropónico de Avena (*Hordeumvulgare*) en Ambiente Controlado con tres Soluciones Nutritivas en dos

Concentraciones. Tesis de Agronomía. La Paz. Universidad Mayor de San Andrés. pp..... 48 , G. 2000. Producción de forraje verde hidropónico. Manual N° 2. Bogotá. Colombia.

GONZÁLEZ, G. 1995. Determinación del Estado Optimo Forrajero de Avena (*Hordeumvulgare*) Mediante el rendimiento de Materia Seca y Digestibilidad in situ en Cinco Estados de Desarrollo, en dos fechas de Siembra. Tesis en Agronomía La Paz. Universidad Mayor de San Andrés. pp..... 37.

HOWARD, M. 1987, Cultivos hidropónicos, Ediciones Mundi – Prensa, Madrid - España. pp..... 150.

IZQUIERDO, J. 2000. Hidroponía escolar (en línea). Santiago de ch. Consultado 20 de Nov. 2012. Disponible en: <http://www.rlc.fao.org/prior/segalim/prodalim/prodveg/hidrop/pdf/hidro1>.

, J. 2002. Producción de Forraje Verde Hidropónico (en línea). Santiago Ch. Consultado 11 de junio de 2015. Disponible en: <http://www.fao.org/prior/segalim/forraje.htm>

LOPEZ R. 2009. El forraje verde hidropónico. (en línea). Argentina. Vol. 34, Num. 2. Consultado 11 de junio de 2015. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/416/41611810002.pdf>.

MARULANDA, C. 1993. La Huerta Hidropónica Popular. Primera edición. FAO. Santiago, Chile. pp..... 116.

MENDOZA, R. 2009. Producción de Avena (*Hordeumvulgare* L.) bajo Sistema Hidropónico, en cuatro Soluciones Nutritivas. Tesis de Agronomía. La Paz. Universidad Mayor de San Andrés. pp..... 99.

ÑIGUEZ, C. 1988. Producción de Forraje en Condiciones de Hidroponía Selección de Especies y Evaluación de Avena y Trigo. Ed. Universidad de Concepción. Chile. pp..... 59. PDM (Plan de Desarrollo Municipal de Viacha). 2007. Alcaldía Municipal de Viacha. pp..... 233.

PDM (Plan de Desarrollo Municipal) 2003. Características de la Ciudad de El alto. 210 p.

PENNINGSFELD, F. 1983, Cultivo Hidropónico y en Turba, editorial Mundi-Prensa, segunda edición, España. pp..... 256.

Parsons, D. 1994. Trigo, cebada, avena. Trillas 2da edición. México. 58 p.

Purves, W., D. Sadava, G. Orians & C. Heller. 2001. Vida: La ciencia de la biología. 6ta edición. Editorial medica Panamericana. Madrid, España. 1133 p.

QUISPE, Q. 1999. Estudio comparativo de la variación de forraje de avena (A. sativa), avena (H. vulgare) y triticale (T. aestivum x S. cereale) en la localidad de choquenaira. Tesis Superior en Agronomía. La Paz. Universidad Mayor de San Andrés. Pp..... 54.

RESH, H. 1987. Cultivos Hidropónicos. Segunda edición. Ed. ICTHUS, Madrid, España. pp..... 296.

Rodríguez, A. 2003. Forraje verde hidropónico: cómo producir con facilidad, rapidez y óptimos resultados. Editorial Diana. México. 113 p.

RODRÍGUEZ, A., CHANG, I., HOYOS, R. y FALCON, G. 2000. Manual práctico de hidroponía. Mekanobooks. E. I. R. L. La Molina. Lima, Perú. pp..... 96.

ROMERO, V. M. 2009. Producción de Forraje Verde Hidropónico y su Aceptación en Ganado Lechero. (en línea). México. Vol.19. Num.2. pp..... 11 - 19. Consultado 11 de junio de 2015. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=41611810002>

SANCHEZ, A. 1997. Informes Técnicos de Estadía. Informes Internos de la Dirección Nacional de Empleo. Montevideo, Uruguay. pp..... 125. ,

SEFO, 2008. Empresa de Semillas Forrajeras. Cartilla. La Violeta (CIF_UMSS), (SEFO-SAM). Cbb. Bolivia.

TARRILLO, H. 2005. Manual de Producción de Forraje Verde Hidropónico. Segunda Edición. Ed.Forraje Hidropónico E.I.R.L. Perú. pp..... 41.

UNIVERSIDAD AGRARIA LA MOLINA. 2005. Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral. (en línea). Lima, Pe. 10 de oct. De 2015. Disponible en:

<http://www.lamolina.edu.pe/FACULTAD/ciencias/hidroponia/default.htm>

UNIVERSIDAD AGRARIA LA MOLINA. 2007. Hidroponía. (en línea). Lima, Pe. Consultado 10 de oct. De 2015. Disponible en: www.lamolina.edu.pe/hidroponia/

ANEXOS

ANEXO 1, COSTOS DE PRODUCCION

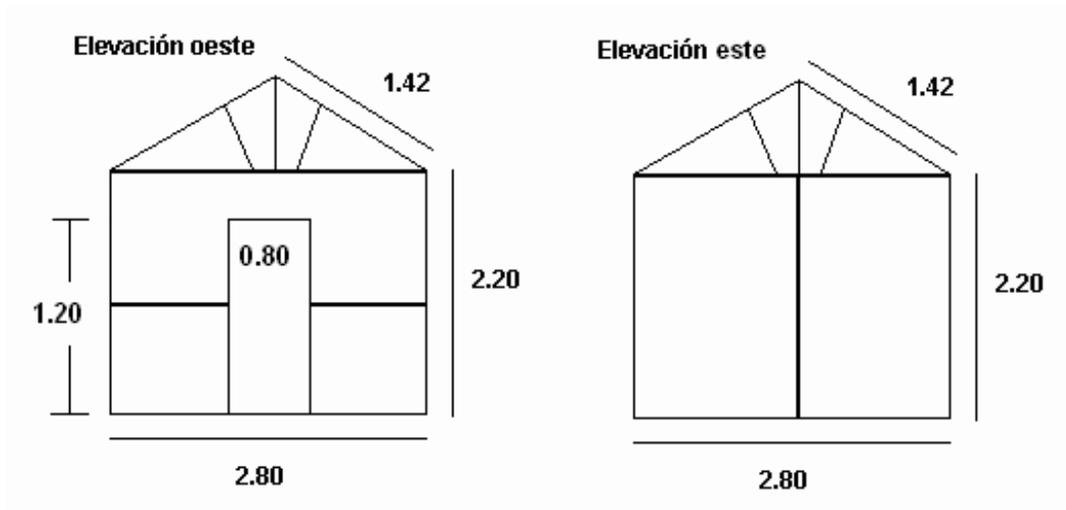
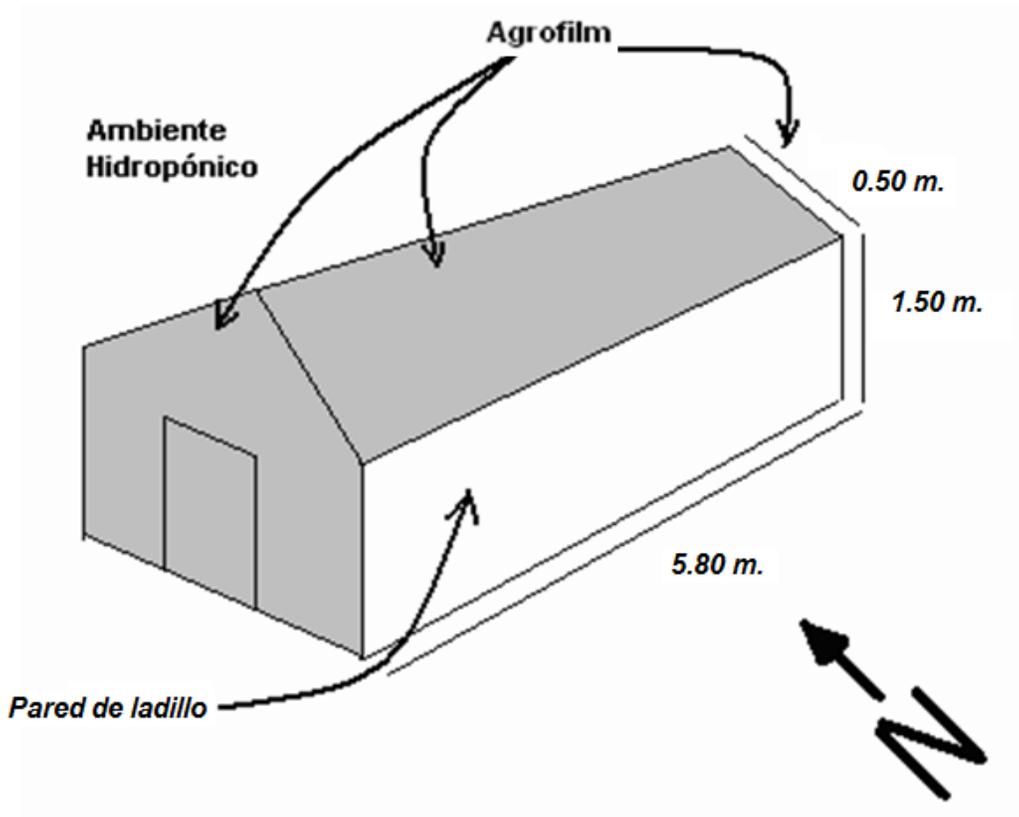
RELACION BENEFICIO/COSTO PARA LOS METODOS DE PRODUCCION DE FORRAJE VERDE HIDROPONICO (Bs.)				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL
A.LABOATORIO				
Hipoclorito de sodio	Litros	1	10	10
Sub total A				10
B. PREPARACION DE LA CARPA				
Malla semi sombra	MT.	15	2.5	37.5
Sub total B				37.5
C. INSUMOS / MATERIALES				
C.1 Siembra				
Semilla	Kg.	9	10	90
Bandejas		9	6.5	58.5
Sub total C				148.5
E. MATERIAL DE CAMPO				
Regadera	Unidad	3	10	30
Sub total E.				30
Sub total (A+B+C+D+E)				226
TOTAL				226 Bs.

INGRESO BRUTO			
METODO	PRODUCCION Kg.	PRECIO UNITARIO Kg.	TOTAL
M. Tarrillo	24.51	7	171.57
M. de la FAO	28.8	7	201.6
M. la Molina	23.7	7	165.9

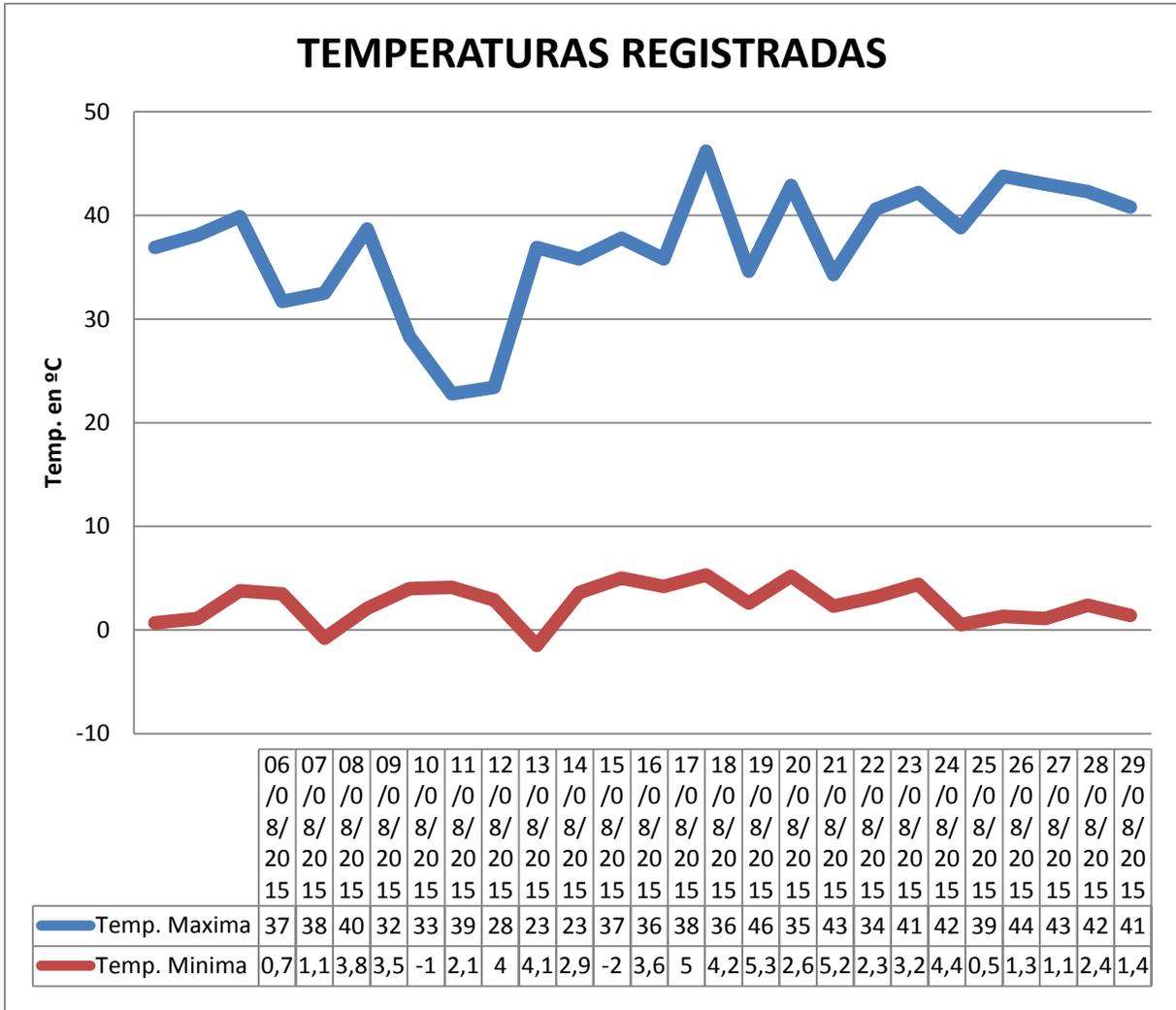
Detalle	M. Tarrillo (Bs.)	M. de la FAO (Bs.)	M. la Molina (Bs.)
Semilla	30	30	30
Malla semi sombra	12.5	12.5	12.5
Regaderas	10	10	10
Bandejas	19.5	19.5	19.5
TOTAL	72	72	72

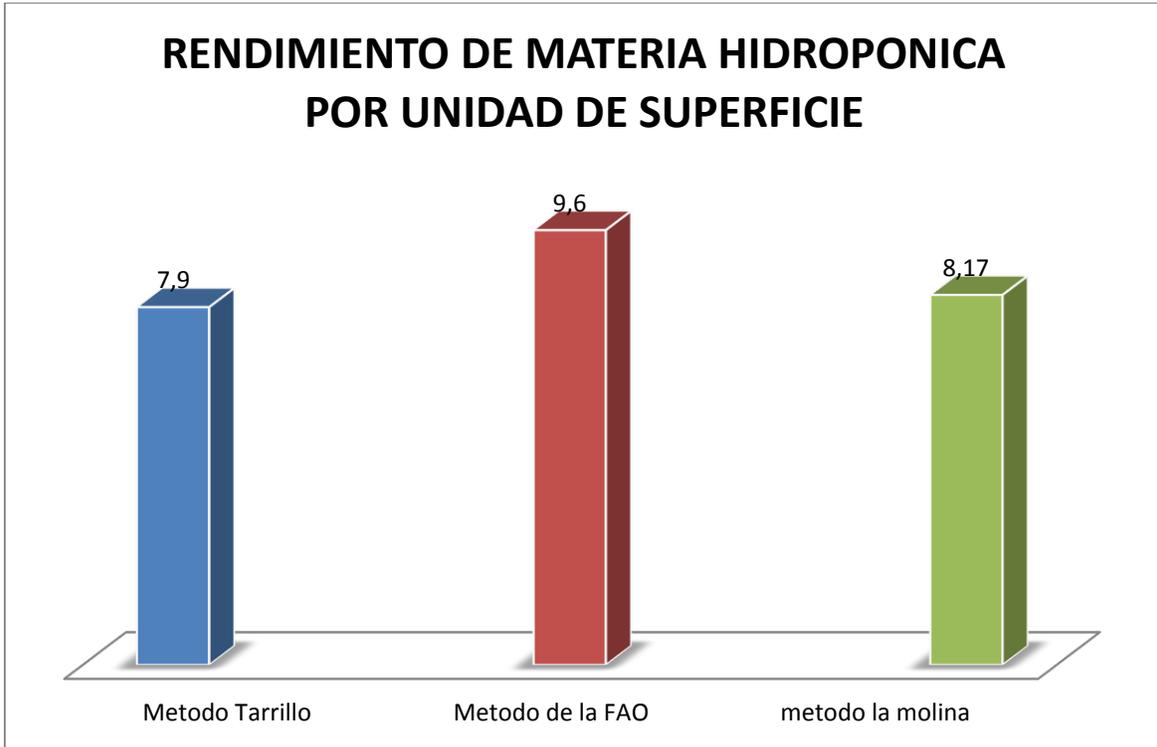
RELACION BENEFICIO COSTO			
METODO	Costo Total	Ingreso Neto	B/C
M. Tarrillo	72	171.57	2.38
M. de la FAO	72	201.6	2.8
M. la Molina	72	165.9	2.30

ANEXO 2, INSTALACION DEL AMBIENTE ATEMPERADO



ANEXO 3 DATOS REGISTRADOS DURANTE EL TRABAJO DE INVESTIGACION





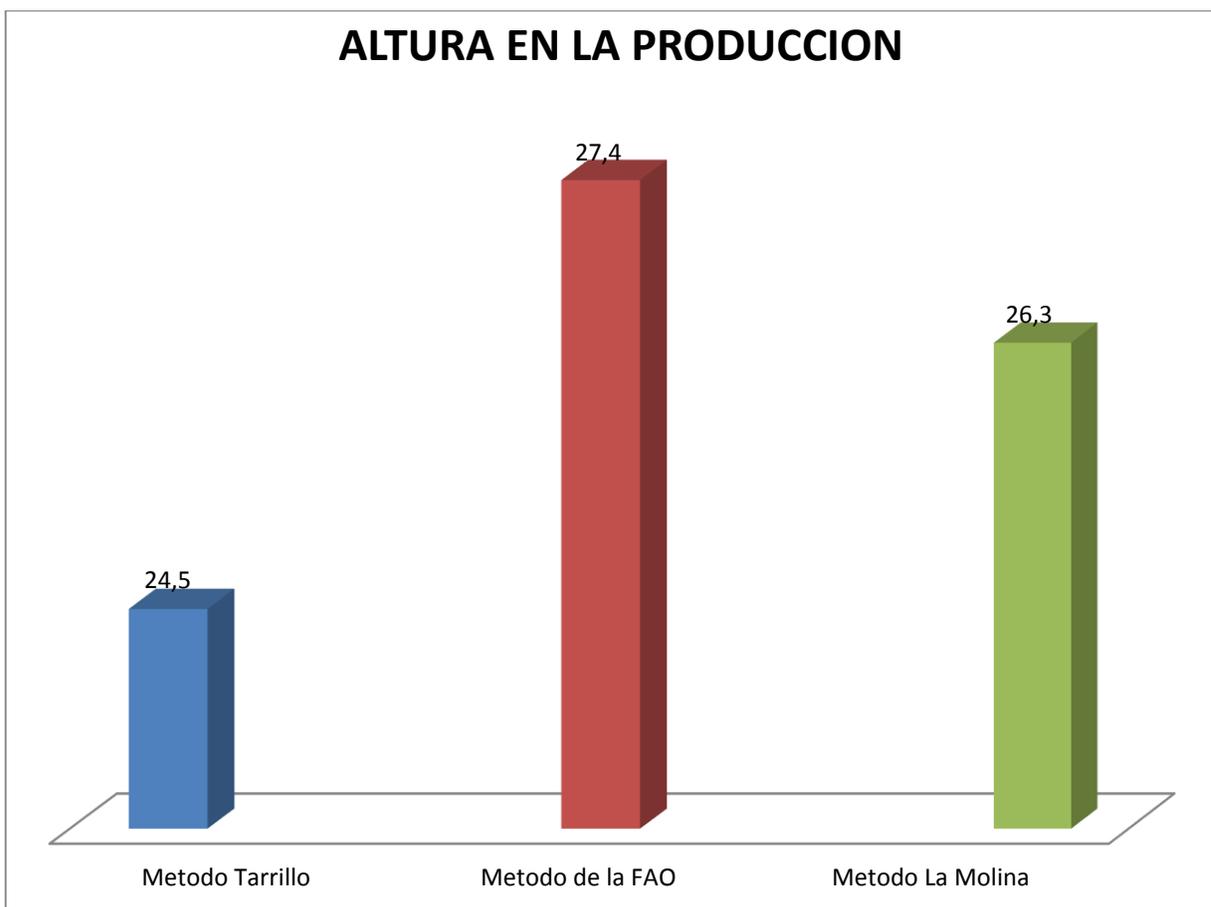
Rendimientos del forraje hidropónico en los diferentes métodos empleados.

Análisis de varianza para rendimiento de avena verde hidropónica.

FV	GL	SC	CM	F cal	Pr>F
Var	2	0.27293067	0.13646533	4.91	0.0545 *
Error	6	0.16659933	0.02776656		
total	8	0.43953000			

* Significativo al nivel de probabilidad de 0,05

C.V. = 8.08 %



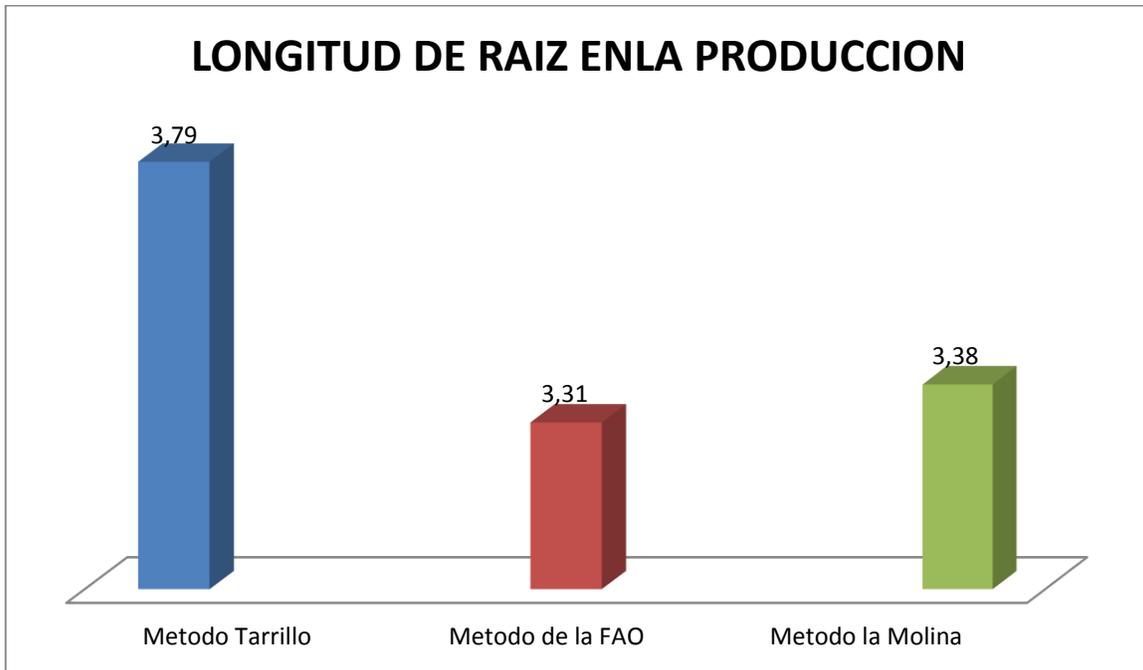
Promedios de altura de avena en los diferentes métodos empleados.

Análisis de Varianza para Altura de Planta en el forraje verde hidropónico de avena.

FV	GL	SC	CM	F cal	Pr>F
Var	2	1.238	6.191	3.40	0.1031 N.S.
Error	6	1.093	1.822		
Total	8	2.331			

* Significativo al nivel de probabilidad de 0,05

C.V. = 5.18 %



Promedios de desarrollo de la raíz en los diferentes métodos empleados.

Análisis de varianza para longitud de raíz, en el forraje verde hidropónico de avena.

FV	GL	SC	CM	F cal	Pr>F
Métodos	2	0.44	0.220	5.8	5.14*
Error	6	0.27	0.046		
Total	8	0.62			

* Significativo al nivel de probabilidad de 0,05

C.V. = 6,09 %

ANEXO 4 REGISTRO FOTOGRAFICO.



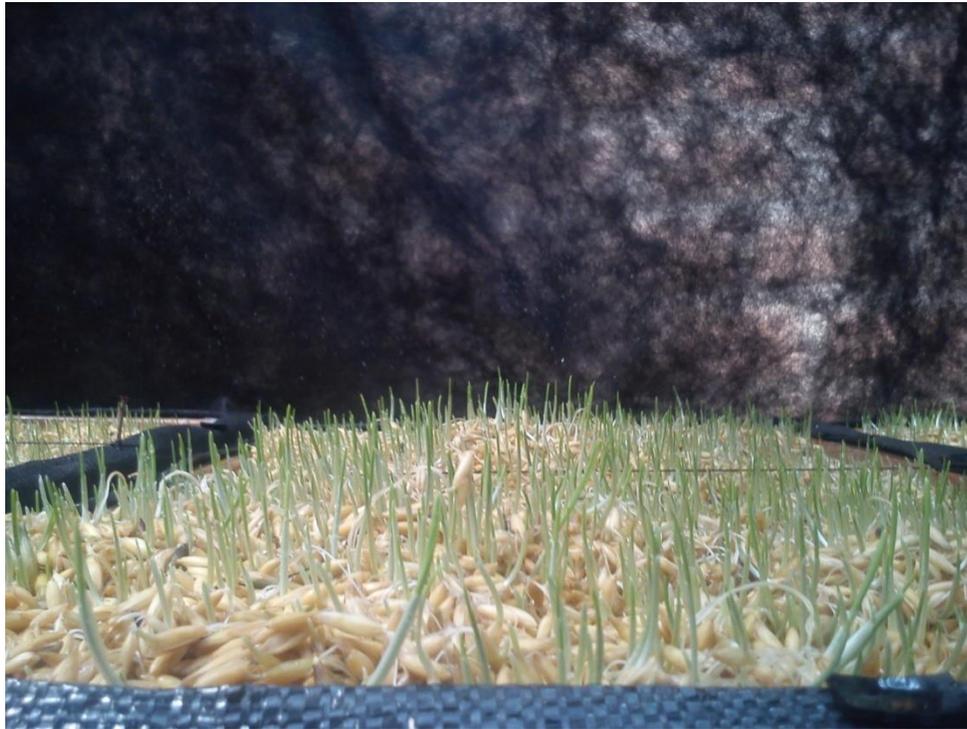
Lavado de las semillas



Semillas germinadas en las bolsas de nilón



Siembra en las bandejas



Primera semana, empezando el desarrollo foliar.



Crecimiento foliar del forraje verde hidropónico.



Registro de la temperatura para el trabajo de investigación.



Medición de altura de planta





Distribución de los bloques en el módulo hidropónico



Riego en los diferentes métodos de producción.



Cosecha del Forraje verde Hidroponico



Determinación del rendimiento de forraje hidropónico