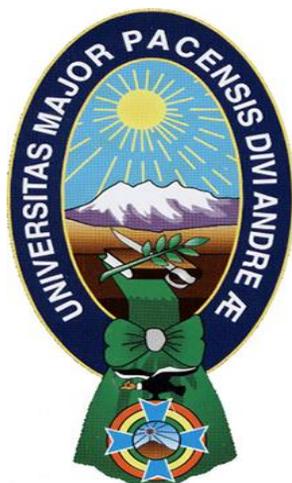


UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES
FACULTAD DE AGRONOMIA
CARRERA DE INGENIERIA AGRONOMICA



TESIS DE GRADO

**RESPUESTA DEL FORRAJE VERDE HIDROPONICO A LA
APLICACIÓN DE DOS SOLUCIONES NUTRITIVAS EN AVENA (*Avena*
sativa) Y CEBADA (*Hordeum vulgare*) EN CARPA SOLAR**

NESTOR JONNY ALVAREZ MOLLO

LA PAZ BOLIVIA

2018

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

**RESPUESTA DEL FORRAJE VERDE HIDROPONICO A LA
APLICACIÓN DE DOS SOLUCIONES NUTRITIVAS EN AVENA (*Avena
Sativa*) Y CEBADA (*Hordeum vulgare*) EN CARPA SOLAR**

Tesis de Grado presentado como requisito
Parcial para optar el Título de
Ingeniero Agrónomo

NESTOR JONNY ALVAREZ MOLLO

Asesores:

Ing. PH. D. Emilio García Apaza.....

Tribunal Examinador:

Ing. Bernardo Ticona Contreras.....

Ing. Msc Carlos Mena Herrera

Ing. Msc Rubén Trigo Riveros

Aprobada

Presidente Tribunal Examinador.....

2018

Dedicatoria:

Dedico este trabajo a la
Memoria de mi querido padre:
Saturnino Alvarez Abelo (+) y a
mi madre Antonia Mollo Dorado (+)

AGRADECIMIENTOS

A Dios Padre por su inmenso amor.

A mis padres Saturnino Álvarez abelo y Antonia Mollo dorado, y a toda mi querida familia que son mi tesoro más grande el compromiso ímpetu y la fortaleza de ser mejores cada día.

A la Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía, Carrera de Ingeniería Agronómica por acogerme como universitario de esta prestigiosa casa superior de estudios.

A mis docentes quienes fueron los que me dieron los conocimientos y la sabiduría para mi formación profesional.

Mi agradecimiento a mi asesor; Ing. PH. D. Emilio García Apaza que fue la guía por su valioso tiempo por la atención realizada en el estudio del presente trabajo y por sus consejos.

A mis revisores: Ing. Agr. Freddy Carlos Mena Herrera, Ing. Agr. Bernardo Ticóna Contreras, Ing. Agr. M. Sc. Rubén Trigo Riveros, por sus conocimientos, orientaciones y sugerencias, quienes mostraron ser mis amigos y tuvieron paciencia para la elaboración de mi tesis.

A todos mis amigos y compañeros, por brindarme su apoyo y colaboración durante nuestro ciclo universitario.

A todos muchas gracias....

RESUMEN

La producción de forraje en el altiplano se ve limitado por la variación climática constante, es así que el presente estudio se orienta al rendimiento de forraje hidropónico como una alternativa para la alimentación de los animales en épocas críticas, y por esta razón, los alimentos no estarían disponibles en su debido tiempo, el estudio se realizó en la Estación Experimental de Cota Cota, Provincia Murillo del departamento de La Paz, con el objetivo de evaluar el rendimiento de forraje al ser aplicado dos soluciones nutritivas en un cultivo.

Para ello se utilizó semilla de Cebada IBTA 80 y Avena GAVIOTA; el cultivo se realizó en un módulo de cuatro pisos, la semilla fue desinfectada con hipoclorito de sodio al 1%, lavada y puesta en remojo para su imbibición, posteriormente se realizó su siembra en bandejas de 0,25 m². , luego fueron cultivadas en un ambiente protegido en condiciones de alta temperatura, humedad y de luminosidad clara, al tercer día después de la siembra brotaron las hojas; se regó con agua potable y las sustancias nutritivas 4 veces al día con 1lt/bandeja hasta realizar la cosecha.

Los resultados que se obtuvieron en días a la germinación de las semillas, mostro una diferencia significativa entre especies, donde la avena presento un promedio de 60,29 %, mientras que la cebada tuvo una germinación de 63,04%. En el caso de altura de planta de las dos especies forrajeras, no se tuvo una deferencia entre los tratamientos, para el caso de del área foliar se obtuvieron valores diferentes entre las gramíneas con valores de 13,8 cm² para el caso de la avena y 11,3 cm² para el caso de la cebada

En cuanto a la biomasa se presentaron diferencias significativas en las soluciones nutritivas siendo las sustancias nutritivas los que mejores valores obtuvieron con 5,45 Kg./m² por encima del té de humus de lombriz con un valor de 4,25 Kg. /m².

En el caso de la rentabilidad el tratamiento tres (Sustancias nutritivos + Avena), presento mayor ganancia con respecto a los otros tratamientos con un valor de B/c de 1,37.

ABSTRACT

Forage production in the highlands is limited by climatic variation constant, so the present study was oriented hydroponic forage yield as an alternative for animal feed at critical times, that red tape, the food does not is in due time, the study was conducted at the Experimental Station of Cota Cota, Murillo Province, Department of La Paz, in order to evaluate forage yield three planting densities in culture.

We used seed Barley and Oats IBTA 80 SEAGULL, the cultivation was performed in a four-story module, the seed was disinfected with sodium hypochlorite, washed and put to soak for imbibition, subsequently performed planting in trays 0.5 m², then were cultured in a protected environment under high temperature, humidity and light brightness on the third day after seeding sprouted leaves; was irrigated with water 4 times a day to perform 1lt/tray harvest.

The results were obtained on days to germination of seeds, showed a highly significant difference between species, where the species was earlier barley germination 3^{er} dl day while oats was the 5th day germination in if plant height two forage species, it had a deference between blocks with a height 17,91 cm in barley and 18, 24 cm in oats, also in this study was determined forage yield hydroponic 17.1 Kg MV/m² barley and oats with 16.98 Kg MV/m², if the performance of the dry matter percentage reached 18.2% barley MS and oats

15.8% of MS, in terms of cost benefit, the best results were obtained with both 5 wt Kg/m² 0.94 forage species in barley and oats 0.95 indicating that it did not profit.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	2
2.1 Objetivo general.....	2
2.2 Objetivos específicos.....	2
3. REVISION BIBLIOGRAFICA.....	3
3.1 Historia de la Hidroponía.....	3
3.2 Importancia de la Hidroponía.....	3
3.3 Importancia del Forraje Hidropónico.....	4
3.4 Ventajas del Forraje Verde Hidropónico.....	5
3.4.1 Ventajas tradicionales.....	5
3.5 Desventajas del Forraje Hidropónico.....	6
3.6.1 materia verde y materia seca.....	6
3.6.1.1 La Cebada (Hordeum vulgare sp.).....	7
3.7 Rendimiento en Materia Seca de la Cebada	7
3.7.1 Clasificación Taxonómica	8
3.8 Rendimiento en Materia Seca de la Avena.....	9
3.9 Densidades de Siembra.....	10
3.10 Características de las Variedades Empleadas.....	10
3.10.1 La Variedad Cebada IBTA – 80.....	10
3.10.2 La Variedad Gaviota en Avena.....	11
3.11 Características de los invernaderos.....	13
3.12 Factores que Influyen en la Producción.....	14
a) Dosis de Siembra.....	14
b) Calidad de la Semilla.....	15
c) Germinación.....	15
d) Respiración Celular.....	16
e) Sustancias de Reserva.....	16
f) Glúcidos.....	16
g) Lípidos.....	17
h) Proteínas.....	17
i) Ácidos Nucleicos.....	17

j) Iluminación.....	17
k) Temperatura.....	18
l) Humedad en el Ambiente.....	19
m) Calidad del Agua de Riego.....	20
n) Dureza del Agua.....	21
o) Acidez.....	22
p) Conductividad Eléctrica.....	23
q) Dióxido de Carbono.....	23
r) Fotosíntesis.....	24
3.12 Te de humus de lombriz.....	25
3.13 Humus de lombriz.....	25
3.13.1 Composición del humus de lombriz.....	26
3.13.2 Características del humus de lombriz.....	27
3.13.3 Propiedades del humus de lombriz.....	28
a) Propiedades químicas.....	28
b) Propiedades físicas.....	29
c) Propiedades biológicas.....	29
d) Propiedades nutritivas.....	29
3.14 Acción del té de humus como abono foliar.....	30
a) Lixiviados de compost.....	31
b) Extractos de compost.....	31
c) Té de compost.....	31
3.14.1 Acción del Té de humus en la hidroponía.....	31
3.14.2 Solución nutritiva de (FAO 2001).....	31
3.14.3 Soluciones nutritivas.....	32
3.14.4 Elementos nutrientes utilizados por las plantas.....	32
3.15 Fertilizantes usados en hidroponía.....	33
3.16 Propiedades de los fertilizantes.....	34
a) Solubilidad.....	34
b) Reacción.....	34
c) Higroscopicidad.....	34
d) Riqueza o concentración de un fertilizante.....	34

3.17 Características de los fertilizantes utilizados.....	35
a) Urea.....	35
b) Nitrato potásico.....	35
c) Nitrato cálcico.....	36
d) Sulfato magnésico.....	36
e) Fosfato diamónico.....	36
f) Cloruro potásico.....	36
g) Fuentes de micronutrientes.....	37
3.18 Formulación de la solución nutritiva.....	37
4. LOCALIZACIÓN.....	38
4.1 Ubicación.....	38
4.1.1 Aspectos climáticos.....	38
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	39
5.1 Materiales y métodos.....	39
5.2 Material de Gabinete	39
5.3 Metodología por flujograma.....	40
5.3.1 Preparación de la semilla.....	40
5.3.2 Preparación de sustancias nutritivas.....	40
5.3.3 Riego localizado.....	40
5.4 Metodología.....	41
5.4.1Adecuación de la Carpa Solar.....	41
5.4.2 Construcción del Módulo Hidropónico.....	41
5.4.3 Construcción de Bandejas.....	42
5.4.4Diseño experimental.....	43
6. RESULTADOS Y METODOS.....	45
6.1 Temperaturas Registradas en el Ambiente.....	45
6.2 Cantidad de Agua Consumida por las Plantas.....	46
6.3 Variables de respuesta.....	47
6.3.1 Variables agronómicas.....	47
6.3.1.1 Germinación (%).....	47
6.3.1.2 Altura de la planta (cm).....	49

6.3.1.3 Área foliar (cm ²).....	51
6.3.1.4 Biomasa total (Kg/m ²).....	53
6.3.1.5 Densidad de la raíz (Kg./m ²).....	55
6.3.1.6 Rendimiento (Kg/m ²).....	56
6.7 Variable Económica.....	57
6.7.1 Presupuesto parcial.....	57
6.7.2 Relación Beneficio /Costo.....	58
6.7.3 Beneficio Neto.....	60
6.7.4 Análisis de dominancia.....	60
7. Conclusiones.....	62
8. Recomendaciones.....	64
9. BIBLIOGRAFÍA.....	65
10. ANEXOS.....	69

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente la producción forrajera para la alimentación del ganado, sea este mayor o menor, generalmente es de forma convencional utilizando grandes extensiones de tierras y volúmenes de agua importantes para la obtención del producto final, sin embargo, el crecimiento de la frontera agrícola preocupa hoy en día, debido a la falta de tierra y que este no se pueda ampliar, debido a que solo la cuarta parte del globo terráqueo es tierra.

Una alternativa a estos problemas futuros de escasez de tierra y agua en el mundo, es la producción de forraje verde hidropónico (FVH), como alternativa de producción de forraje para el ganado, el cual se produce en ambientes controlados (carpas solares), con la utilización de agua para riego controlado y calcular el uso eficiente de agua (UEA), utilizando dos especies de gramíneas Cebada y Avena.

Es necesario mencionar, que la producción de FVH, no reemplaza a las forrajeras que se producen hoy en día en forma convencional; sin embargo, es un buen suplemento para épocas de escasez de forrajes en zonas que tienen estos problemas.

Se sabe que el forraje verde hidropónico representa un excelente aditivo para la ración diaria de los diferentes animales, por cuanto mejora la producción de estos últimos aumentando la cantidad y la calidad de los productos derivados de los animales como carne, huevo, leche, etc.

Existen diferentes procesos de producción de cultivos en hidroponía como el uso de sustratos neutros como el aserrín, grava, mezclas entre ellos; el uso de plasto formo colocados sobre agua para el sostén de las plántulas, métodos más tecnificados como los que funcionan con bombas que hacen circular el agua, nebulizadores automáticos y otras formas de producción.

2 OBJETIVOS

2.2 Objetivo general

Evaluar el rendimiento de avena y cebada en la producción del forraje verde hidropónico en relación a lixiviados de humus de lombriz y solución nutritiva FAO en carpa solar.

2.3 Objetivos específicos

- Determinar el efecto de humus de lombriz en el rendimiento de materia verde en avena y cebada en medio hidropónicos.
- Analizar el efecto de solución nutritiva FAO en el rendimiento de materia verde en avena y cebada en medio hidropónico.
- Analizar económicamente el rendimiento de forraje verde hidropónico de avena y cebada en dos soluciones nutritivas.

3. REVISION BIBLIOGRAFICA

3.1 Historia de la Hidroponía

Según Gallardo (1998), los cultivos a raíz desnuda, tienen antecedentes desde hace más de tres siglos atrás, uno de los primeros en reportar estas prácticas fue Robert Boyle (Irlanda 1627 – 1692), en donde realizaba cultivos de semilla en agua, a finales del mismo siglo John Woodwadr realizo germinaciones con distintos tipos de agua y comparo las diferentes concentraciones con los resultados de la composición del germinado de granos regados con esas aguas; sin muchos resultados.

Según FAO, (2001), el Botánico Alemán Julio Von Sachs en 1860, considera las primeras conclusiones científicas que probaban la posibilidad de efectuar cultivos sin tierra, sumergiendo las raíces en una solución acuosa que contuviese sales de Nitrógeno (N), Fosforo (P), Azufre (S), Potasio (K) Calcio (C) y Magnesio (Mg).

El pionero en este aspecto, fue el doctor William F. Gericke, de California, EEUU, que en 1930 realizó el cultivo hidropónico en tomate a gran escala, que de inmediato la experiencia se difundió por los EEUU primero, y por el resto del mundo después, dando lugar a la aparición de innumerables empresas que emplean la hidroponía en sus cultivos (Camargo, 1991).

3.2 Importancia de la Hidroponía

En el Primer curso práctico de hidroponía (2005), indica que dentro del contexto de la llamada agricultura urbana, la hidroponía puede ser muy bien aplicada en las ciudades con tecnologías más sencillas y de bajo costo, en zonas de extrema pobreza, como una manera de incentivar el autoconsumo en hortalizas y de forraje para los animales, mejorando los ingresos económicos.

La hidroponía es un medio excelente para crecer plantas frescas, no solamente en los países que tengan poca tierra cultivable, sino también en aquellos países que

tienen una pequeña superficie pero tengan gran población, en la cual puedan proveer alimentos frescos, en menos tiempo y con un costo más bajo (Gallardo, 1998).

FAO (2002), señala que un gran porcentaje de los alimentos que se consumen contienen elementos nocivos para la salud, las verduras y frutas son las más expuestas, por ser las que transportan directamente a la mesa los residuos de insecticidas, plaguicidas, que ingresan al organismo de los animales y de allí pasan a los alimentos que consumimos.

3.3 Importancia del Forraje Hidropónico

Investigadores como Donald Wiseman, Profesor de Assyriology, Universidad de Londres, menciona que el rey Nabucodonosor II mejoro y realizó mantenimiento a los jardines colgantes de Babilonia hacia el año 700 a.C., basados en sistemas hidropónicos, debido a que el agua fresca rico en oxígeno e enriquecido con nutrientes irrigaba estos jardines, una de las siete maravillas del mundo antiguo (Castillo, 2001).

(Gallardo, 1998).En el siglo XVII los científicos Jan Baptista Van Helmont, Belga, Robert Boyle, Irlandés y Jhon Woodward, realizaron los primeros experimentos con diferentes cultivos en agua, Woodward comparaba diferentes concentraciones con fertiriego y el forraje resultante, obteniendo un crecimiento promedio de 3 a 4 cm en un periodo de 12 a 15 días.

En los siglos XVII y XIX la producción de forraje hidropónico en Francia y Alemania, eran para animales estabulados. Sin embargo la tecnología no era avanzada y presentaban dificultades en el control de temperatura, humedad, sistema de manejo y principalmente en la carencia de los principios básicos de nutrición animal (Carballo, 2004).

3.4 Ventajas del Forraje Verde Hidropónico

3.4.1 Ventajas tradicionales

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.

3.5 Desventajas del Forraje Hidrónico

- 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.

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).

Gallardo (1998), 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.

3.6.1 Materia verde y materia seca

Según Orozco (s/f) "Materia Verde": Se refiere a la cantidad total de material producido por un forraje una vez que es cortado. La materia verde involucra todas las partes de la planta que se cosechan para ser utilizadas.

"Materia Seca": Se refiere a la cantidad de material que queda después de que el forrajeo el alimento ha sido sometido a un proceso de secado, o sea cuando se le ha extraído el agua. En la Materia Seca es donde se encuentran los nutrimentos del forraje.

3.6.1.1 La Cebada (*Hordeum vulgare* sp.)

Gallardo (1998), la cebada es de origen asiático, cultivo introducido por los españoles a Bolivia, teniendo una importancia enorme en el siglo pasado como alimento para ganado, equino y ganado de carga, es un cultivo de clima frío pero se puede producir desde los 2000 msnm hasta los 4.300 msnm.

Según el P.D.L.A. (2005), la cebada es una especie de cultivo anual de la familia de las gramíneas, cultivado ampliamente en el altiplano norte y altiplano central, esto por su buena adaptabilidad a las zonas altas que tienen diversas condiciones climáticas a lo largo del año, tiene una densidad de siembra de 80 a 100 kg/ha.

Según Romero (2000), la cebada pertenece a la familia de las gramíneas, y esta familia incluye muchas plantas de importancia económica y de alimentación por ejemplo los cereales como el trigo, el maíz el arroz, el centeno, la avena, el sorgo, otras plantas como la caña de azúcar y los pastizales, su importancia radica en:

- Contiene nutrientes de forma concentrada
- Son fáciles de almacenar.
- Son fáciles de transportar.
- Se conservan por mucho tiempo.
- Se transforman con facilidad en otros alimentos.
- Se los puede utilizar como materia prima o como productos elaborados.

3.7 Rendimiento en Materia Seca de la Cebada

Según el P.D.L.A. (2005), la cebada es uno de los importantes cultivos en el altiplano porque es más precoz que la avena, de germinación más rápida, resistente a condiciones adversas, de ciclo vegetativo más corto asegurando la cosecha y tiene un rendimiento promedio de 5,25 ton/ha en materia seca.

Carballido (2006), indica que el aporte de las proteínas en materia seca 1,9 g/100 g y en materia verde 2,6 g/100 g que es un valor nutritivo muy importante para la alimentación del ganado en parte la cebada es usada como grano en estado verde o paja y para la alimentación humana como harina.

3.7.1 Clasificación Taxonómica

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

- Familia: Poaceae
- Género: Hordeum
- Especie: Vulgare
- Nombre científico: Hordeum vulgare
- Nombre común: Cebada
- Variedad: IBTA 80

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

- Familia: Poaceae
- Género: Avena
- Especie: Sativa
- Nombre científico: Avena sativa
- Nombre común: Avena
- Variedad: Gaviota

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.

3.8 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.

(Gallardo, 1997). 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.

3.9 Densidades de Siembra

(Gallardo, 1997).indica que trabajando con siembras en diferentes épocas, emplearon densidades de siembra de 80 Kg/ha con la variedad Texas, Ajax, Noire de Moyencourt y Bannock, obteniendo rendimientos de materia seca en verano de 6,86 ton/Ha, 6,67 Tn/ha en el periodo de otoño/invierno y en el periodo de invierno/primavera solo 3,7 ton/ha.

Matilla (2003), en una evaluación que hicieron de triticales forrajero en tres épocas de siembra, emplearon densidades de 120, 130, 140, 150 y 170 Kg/ha, para las tres primeras densidades obtuvieron rendimientos promedios de 3,66, 4,56 y 4,16 ton de M.S/ha respectivamente y para las dos últimas los rendimientos fueron decreciendo a medida que se incrementaba las densidades.

Según experiencias de Gallardo (1995), al sembrar avena (*Avena sativa*), en la Granja Demostrativa de Huayrocondo bajo el sistema hidropónico en un ambiente controlado, llegó a obtener por kg de semilla un rendimiento promedio de 4.8 kg de rendimiento.

3.10 Características de las Variedades Empleadas

3.10.1 La Variedad Cebada IBTA - 80

La Corporación Regional de Desarrollo de La Paz (2000), indica que la cebada variedad IBTA 80, fue obtenida en la estación de San Benito de Cochabamba, habiendo mostrado una buena producción de materia seca y grano aunque en los últimos años también se ha vuelto susceptible a la roya; sin embargo es una variedad precoz cumpliendo un ciclo biológico de 120 días.

Según P.D.L.A. (2005), fue liberada en el año de 1984 con un rendimiento promedio en materia seca de 5,25 ton/ha, un ciclo de producción de 76 días como forraje y su madurez fisiológica fue alcanzada en 97 días, con una altura de 94 cm por planta.

3.10.2 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. significado de la palabra Hidroponía es: trabajo en agua "hidro" significa "agua" y "ponos" significa "trabajo".

La Hidroponía es la producción de cultivos con soluciones nutritivas compuesta por minerales en vez de suelo (Cultivos sin suelo).

Las plantas pueden ser cultivadas y crecer con sus raíces solo en una solución de nutrientes minerales o en un medio inerte, como la perlita, grava, lana de roca, arena, etc. (Gallardo, 1997).

La eficiencia en el uso del agua en el riego se integra por varios componentes, considerando las pérdidas de éste recurso desde su almacenamiento, conducción y aplicación a las parcelas de los regantes.

También deben aclararse algunos enfoques erróneos al estimar estas eficiencias, ya que no siempre el agua que aparentemente se pierde es desperdiciada.

En forma general, se define como eficiencia en el uso del agua, a la relación entre el volumen de agua utilizado con un fin determinado y el volumen extraído o derivado de una fuente de abastecimiento con ese mismo fin. (Gallardo, 1997).

El Concepto de "uso eficiente del agua" incluye cualquier medida que reduzca la cantidad de agua que se utiliza por unidad de cualquier actividad, y que favorezca el mantenimiento o mejoramiento de la calidad de agua. (Gallardo, 1997).

Al respecto Vargas (2008), indica que el uso eficiente del agua es cualquier reducción o prevención de pérdida del agua que sea de beneficio para la sociedad. Visto de esta manera, el uso eficiente del recurso es de suma importancia para la conservación. Al

mismo tiempo, la definición de la conservación sugiere que las medidas de eficiencia deben tener sentido social y económico, además de reducir el uso del vital líquido por unidad de actividad.

La producción de forraje verde hidropónico (FVH), es una alternativa de producción de forraje fresco en condiciones adversas climáticas recomendadas para todo tipo de zonas y especialmente en zonas de escasez de agua.

El forraje verde hidropónico (FVH) es una metodología de producción de alimento para el ganado que resulta propicia para evadir las principales dificultades encontradas en zonas áridas y semiáridas para la producción convencional de forraje. Las zonas áridas han sido consideradas como terrenos marginales para el desarrollo del sector agropecuario, siendo las razones principales para esta consideración la escasez permanente de lluvia, alta evaporación, y suelos y aguas de riego de baja calidad. No obstante estas limitaciones, la creciente demanda de productos agropecuarios ha ocasionado que tanto la agricultura como la ganadería hayan sido introducidas en ecosistemas frágiles de zonas áridas y semiáridas, los cuales son muy susceptibles a la degradación y en donde es improbable sostener Altos rendimientos de manera sostenible para intentar satisfacer las necesidades. (Gallardo, 1997).

Para la producción de FVH, es necesario contar con un ambiente cerrado (carpa solar), donde se desarrolla la producción, durante un período promedio de 12 a 15 días, además de contar con módulos para el sostén de las bandejas.

Según FAO (2001), El FVH o “green fodder hydroponics” es un pienso o forraje vivo, de alta digestibilidad, calidad nutricional y muy apto para la alimentación animal.

El FVH consiste en la germinación de granos (semillas de cereales o de leguminosas) y su posterior crecimiento bajo condiciones ambientales controladas

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

Según Vargas A. (2012), El Forraje Verde Hidropónico se produce en bandejas plásticas colocadas en sistemas modulares, en cada bandeja de 60 x 40 x 5 cm (largo x ancho x alto ... medidas de ejemplo) se coloca 1.25 kilos de semilla de cebada (también se puede trabajar con avena, trigo y maíz) que al cabo de 2 semanas se convertirá en una biomasa forrajera de 6 a 8 kilos, la misma que es consumible en su totalidad (raíces, tallos, hojas y restos de semillas) constituyendo un alimento de primera calidad para un óptimo desarrollo de nuestros cuyes.

El FVH es un sistema de producción de biomasa vegetal de alta sanidad y calidad nutricional producido muy rápidamente (9 a 15 días), en cualquier época del año y en cualquier localidad geográfica, 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 (avena, mezclas de trébol y gramíneas, alfalfa, etc.) para cultivo forrajero convencional (FAO, 2001).

El FVH fue creado para eliminarle al productor ganadero la dependencia y limitación que generan la pobreza de suelo y condiciones climatológicas adversas, tales como nieve, sequías, etc.; posibilitando que el ganadero cuente con un forraje verde en la cantidad deseada, de alta calidad y aun valor sustancialmente más económico que el forraje convencional; sustituyendo así los grandes espacios de terreno que son imprescindibles para obtener pasturas de manera tradicional, creando granjas competitivas de reducidas dimensiones y altas producciones, inclusive en las zonas donde el suelo y el clima son adversos. (Izquierdo, 2001).

3.11 Características de los invernaderos

Matos, (1996) menciona que La tecnología de última generación con la que se construyen los invernaderos industriales de producción se desarrolló para climas extremos. Cuentan con sistemas de sombreado, riego y fertilización automatizados,

instalaciones de refrigeración y calefacción al objeto de mantener los cultivos en un estado adecuado. No obstante el productor debe supervisar el mantenimiento del clima ideal sea cual sea, tanto en caso de frío como de calor, ya que de otro modo se pueden llegar a arruinar los cultivos.

Los distintos elementos que se han investigado para el desarrollo de estos invernaderos son todos aquellos factores que inciden en la producción de los cultivos, tales como humedad, temperatura, luz, nutrientes etc. De este modo se pueden lograr aumentos significativos en la producción de frutas y hortalizas y cambiar la estacionalidad de los mismos. Este modelo de producción permite los niveles adecuados de las distintas variables de la planta en su fase de desarrollo y se transfiere a un sistema de control en los invernaderos que permiten optimizar su gestión.

La generación de puestos de trabajo fijos en el invernadero agrícola es otro factor importante a considerar versus a los cultivos del campo. El cultivo en campo se hace por fases y en distintas épocas del año de forma que el empleo es solamente de temporada. Por el contrario el trabajo en invernadero mantiene unas constantes debido a las actividades diferentes que se deben hacer en el interior de los mismos.

Se estima que por cada 3.000 metros cuadrados de invernadero se precisan 6 personas fijas y otras 15 indirectas de donde se induce que los invernaderos agrícolas industrializados son un factor importante para el desarrollo de las zonas rurales. El sistema automatizado ahorra mano de obra para el riego evitando asimismo posibles errores humanos y con incrementos de la producción de hasta el 75%.

3.12 Factores que Influyen en la Producción

a) 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 Vargas (2008), 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 oC y una humedad relativa de 85 %.

b) 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.

c) 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.

FAO (2001), indica que 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 ayudaran a emerger el embrión y su crecimiento de un día a otro se observa la emergencia de la raíz y posteriormente el tallo.

d) Respiración Celular

FAO (2001), indica que en las semillas rehidratadas 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 hidrolisis del o almidón.

e) Sustancias de Reserva

Tras la hidratación de los distintos tejidos que forman la semilla, tienen lugar en ellos una serie de reacciones metabólicas de hidrolisis que transforman las sustancias nutritivas de reserva en moléculas más sencillas y accesibles para el embrión. (FAO, 2001).

f) Glúcidos. El almidón es la principal reserva energética, donde intervienen varios enzimas en los que se destaca la amilasa que progresivamente incrementa la

degradación del almidón durante el proceso de germinación, primero lentamente y luego en forma más rápida que termina con la desaparición del polisacárido.(FAO, 2001).

g) Lípidos. La principal fuente de reserva de los lípidos de las semillas son los triglicéridos como las lipasas que rompen los enlaces estos y liberan glicerol, ácidos grasos que al oxidarse liberan Coa como producto final. (FAO, 2001).

h) Proteínas. En los granos de cereales las proteínas de reserva están localizadas en los gránulos de la aleurona, acumulados a su vez, en una capa de células que rodea el endospermo. (FAO, 2001).

i) Ácidos Nucleicos. La replicación del ADN suele ser un fenómeno relativamente tardío en el proceso de germinación, pues se inicia después de que haya tenido lugar la síntesis de suficiente cantidad de proteínas, también se comprobó que existe un incremento en la síntesis de ARN mensajero por el incremento de los enzimas hidrolíticos que intervienen en el proceso de germinación. (FAO, 2001).

j) 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 (Camargo, 1991).

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 tenue 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).

k) 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 oC 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.

(FAO, 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.

I) Humedad en el Ambiente

Castillo (2001), 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).

Caeballor, (2004), 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 fungosas difíciles de combatir y eliminar e incrementar los costos operativos, excesiva ventilación

deseca el ambiente y disminución 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).

m) Calidad del Agua de Riego

Carballido (2005), 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, provoco 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.

Carballido (2005), 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 (Ralde, 2000).

n) Dureza del Agua

La cantidad de carbonatos de Calcio y Magnesio presentes en el agua determinan la dureza del agua (Ramos. 1999), da la clasificación del agua según su dureza.

Dureza	Dureza Total mg/L
- agua blanda	0-75
- agua semidura	75-150
- agua dura	151-300
- agua muy dura	>300

Si se utiliza una concentración normal de nutrientes con agua dura de acuerdo con Rodríguez (1982), los niveles de calcio y magnesio serán tan altos que el nutriente se desbalanceara. Otro problema adicional con el bicarbonato es que muestra un pH alcalino, y cuando se encuentra en la solución nutritiva el pH se incrementara por encima del rango recomendado (Caballero, 1998).

Caballero (1998), señala que el valor de pH del agua de riego debe oscilar entre 5,2 y 7 las semillas utilizadas (cereales mayormente) usualmente en FVH, no se comportan eficientemente por encima del valor 7, también recomienda que el agua a usarse no debe superar los 100 miligramos de carbonato de calcio por litro.

El pH optimo del agua para una solución se sitúa en el valor de 5,5 con este valor, es fácil alcanzar con la adición de sales, un nivel de pH final cercano a 6 en el punto de

descarga; es decir, el valor de mayor disponibilidad para la mayor parte de los elementos esenciales (Izquierdo, 2001).

Caballero (1998), indica que la norma bacteriológica de calidad establece que el agua debe estar exenta de patógenos de origen entérico y parasitario intestinal que son los responsables de transmitir enfermedades como salmonelosis, shigelosis y amebiasis.

o) Acidez

Según Castilla (2005), el pH es la presencia o ausencia de iones hidrogeno (H^+) en el suelo, que se mide en una escala numérica que mide el grado de acidez o alcalinidad de una sustancia, esta escala se mueve entre 0 y 14, el agua tiene un pH de 7 porque se dice es neutra.

El valor de pH del agua de riego debe oscilar entre 5,2 y 7 y salvo raras excepciones como son las leguminosas, que pueden desarrollarse hasta con pH cercano a 7,5 el resto de las semillas utilizadas (cereales mayormente) usualmente en FVH, no se comportan eficientemente por encima del valor 7. (Caballero, 1998).

Según Carballido (2005), el pH es una función logarítmica, el cambio de una unidad en el pH supone un cambio de diez veces en la concentración del H^+ , por tanto cualquier cambio de unidad en el pH puede tener un amplio efecto en la disponibilidad de iones para las plantas que una mayoría prefiere un nivel de pH superior entre 6 y 7 para la absorción óptima de los nutrientes.

En el Primer curso práctico de hidroponía (2005), señala que el pH debe mantenerse dentro del rango de 5,5 y 6,5 para eso recomienda que se debe hacer el uso de una cinta de pH o un (pH metro) y calibrar en una solución buffer antes de utilizarlo.

p) 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 ml/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 conductivímetro, su medida varia, pero las más usuales son: CE, FC, PPM (Hidrocultivo, 2009).

La conductividad eléctrica se expresa en mili ohm por centímetro o 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).

q) 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 (Nacional Aeronautics and Space Administration, organización del gobierno de Estados Unidos), ha experimentado con singulares resultados positivos la práctica de suministro de CO₂ a cultivos hidropónicos.

La concentración de anhídrido carbónico en el ambiente del módulo hidropónico incrementa sustancialmente el proceso fotosintético, generara 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 CO₂ a cultivos hidropónicos obteniéndose un excelente aumento en la producción de biomasa vegetal.

r) Fotosíntesis

Según Ralde (2000), que la fotosíntesis es el proceso mediante el cual las plantas, utilizando la energía solar, sintetizan compuestos orgánicos a partir de sustancias orgánicas, en la fotosíntesis el paso más importante, químicamente, es la conversión del dióxido carbono o anhídrido carbónico (CO₂) y del agua en hidratos de carbono y oxígeno.

Castilla (2005), La fotosíntesis es el proceso de conversión de energía solar en energía química en los tejidos vegetales, esta energía química es almacenada en forma de Hidratos de carbono, principalmente (ATP y NADPH), mediante este proceso se fija el carbono en la molécula de los hidratos de carbono y se liberan oxígeno (O₂) y compuestos altamente energéticos (ATP y NADPH).

Según Matos (1996), La fotosíntesis es un proceso por el que la energía del son captada por la clorofila, se convierte en energía química. Esta energía química se utiliza para reproducir compuestos orgánicos, principalmente glucosa, a partir de las sustancias inorgánicas que entran en la planta.

Una ecuación generalizada y no equilibrada de la fotosíntesis en presencia de luz es:
 $6 \text{ CO}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ O}_2$ La clorofila es una proteína asociada con un metal (Mg). La clorofila absorbe la energía (fotones) del sol y combina con ADP con un grupo fosfato para formar ATP en un proceso llamado fosforilación. $\text{ADP} + \text{fosfato} \rightarrow \text{ATP} + \text{energía}$. (Vargas, 2008).

Matos (1994), señala que la fotosíntesis es la conversión de materia inorgánica en materia orgánica gracias a la energía que aporta la luz, en este proceso la energía luminosa se transforma en energía química estable, siendo el adenosin-trifosfato (ATP) la primera molécula en la que queda almacenada esa energía química, en la cual el ATP se usa para sintetizar moléculas orgánicas de mayor estabilidad.

3.12 Té de humus de Lombriz.

El té de humus es nada más que una difusión líquida de una rica composta. Es un fertilizante muy potente para la alimentación de cualquier tipo de plantas, árboles, hortalizas y jardines. Con el proceso de “extraer” los minerales y microorganismos que están en el humus de la composta se produce un líquido de manera 100% natural y orgánico. Para todos que quieren alimentar sus plantas sin agroquímicos.

El té de humus se puede usar para jardines chicas, medias y grandes igual para cualquier tipo de agricultura. Solo depende del volumen de la disolución que se prepara. ¿Qué necesito para preparar té de humus? Los componentes pueden variar, según lo que cada uno tiene a mano. Algunos ingredientes se pueden comprar en tiendas de jardinería y viveros.

3.13 Humus de Lombriz

Riveros (2010), indican que el humus de lombriz es una fuente de abono utilizada en la producción de cultivos. Resulta de la recolección de deyecciones de lombrices, las cuales son mantenidas en criaderos acondicionados para tales fines, denominados camas lombriceras, es un sustrato estabilizado de gran uniformidad, contenido

nutrimental y con una excelente estructura física, porosidad, aireación, drenaje y capacidad de retención de humedad (Izquierdo, 2001).

Se llama HUMUS a la materia orgánica degradada a su último estado de descomposición por efecto de microorganismos. En consecuencia, se encuentra químicamente estabilizada como coloide; regula la dinámica de la nutrición vegetal en el suelo. Esto puede ocurrir en forma natural en los bosques en un periodo de 5 años promedio o en un lapso de un año en el cual la materia defecada es comida por otras lombrices y así sucesivamente miles de veces. (matos, 1996).

3.13.1 Composición del Humus de Lombriz

El abono producido por las lombrices no tiene restricciones para su uso y contribuye a lograr resultados positivos en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Es un material natural que no es tóxico para los humanos, los animales, las plantas o el ambiente a diferencia de los fertilizantes químicos, este puede ser utilizado puro, sin riesgo de afectar a las plantas, además de mejorar la producción de ellas, también conserva e incrementa la fertilidad de los suelos, mejora su estructura, retiene de manera óptima el agua y el aire, reduce la contaminación y tiene sustancias activas que favorecen las condiciones del suelo y de las plantas que crecen sobre el. (Matos, 1996).

La composición y calidad de la lombricomposta está en función del valor nutritivo de los desechos que consume la lombriz. Un manejo adecuado de los desechos, una mezcla bien balanceada, permite obtener un material de excelente calidad (Labrador, 2001).

Sin embargo, se puede mencionar que esta contiene altas tasas de microorganismos como bacterias, actinomicetos, y hongos (Labrador, 2001). También contiene niveles medios de fitohormonas como citoquininas, giberelinas, y auxinas. Así mismo se ha consignado que tiene un alto nivel de actividad enzimática de los grupos deshidrogenasa, fosfatasa y ureasa.

Es sobresaliente su contenido de materia orgánica (55-70%), humina, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos su pH generalmente oscila entre 6.7 y 7.2, contiene la mayoría de los nutrientes esenciales requeridos por las plantas (macro y micronutrientes) (Labrador, 2001).

3.13.2 Características del Humus de Lombriz

FAO (2001), hace una comparación entre el humus de lombriz y otros abonos orgánicos en la cual resalta las siguientes características.

- Es muy concentrado (1 tonelada de humus de lombriz equivale a 10 toneladas de estiércol).
- No se pierde el nitrógeno por la descomposición.
- El fósforo es asimilable; en los estiércoles.
- Tiene un alto contenido de microorganismos y enzimas que ayudan en la desintegración de la materia orgánica (la carga bacteriana es un billón por gramo).
- Tiene un alto contenido de auxinas y hormonas vegetales que influyen de manera positiva en el crecimiento de las plantas.
- Tiene un pH estable entre 7 y 7.5.
- La materia prima de alimento de las lombrices puede ser cualquier tipo de residuo o desecho orgánico, también se utiliza la arte orgánica de la basura. Entre otros se debe tomar en cuenta los siguientes parámetros:
 - pH neutro, en un rango entre 6.8 a 7.2.
 - Contenidos de materia orgánica superiores a 28%.
 - Nivel de nitrógeno superior a 1.5%.
 - Relación C/N en un rango entre 9 y 13.
 - Contenidos de cenizas no superiores a 30%.

Las características más importantes del HUMUS de lombriz son:

- Alto porcentaje de ácidos húmicos y fúlvicos. Su acción combinada permite una entrega inmediata de nutrientes asimilables y un efecto regulador de la nutrición, cuya actividad residual en el suelo llega hasta cinco años.
 - Alta carga microbiana (40 mil millones por gramo seco) que restaura la actividad biológica del suelo.
 - Opera en el suelo mejorando la estructura, haciéndolo más permeable al agua y al aire, aumentando la retención de agua y la capacidad de almacenar y liberar los nutrientes requeridos por las plantas en forma sana y equilibrada.
 - Es un fertilizante bio-orgánico activo, emana en el terreno una acción biodinámica y mejora las características organolépticas de las plantas, flores y frutos.
- Su pH es neutro y se puede aplicar en cualquier sustancia nutritiva sin ningún riesgo de quemar las plantas. La química del HUMUS de lombriz es tan equilibrada y armoniosa que nos permite colocar una semilla directamente en él sin ningún riesgo.

3.13.3 Propiedades del Humus de Lombriz

En cuanto a las propiedades del humus de lombriz (Villalba, s/f; Capistrán et al., 2004) se puede clasificar en:

a) Propiedades Químicas

- Incrementa la disponibilidad de Nitrógeno, Fósforo y Azufre, fundamentalmente Nitrógeno.
- Incrementa la eficiencia de la fertilización, particularmente Nitrógeno.
- Estabiliza la reacción del suelo, debido a su alto poder de tampón inactiva los residuos de plaguicidas debido a su capacidad de absorción
- Inhibe el crecimiento de hongos y bacterias que afectan a las plantas.

b) Propiedades Físicas

- Mejora la estructura, dando soltura a los suelos pesados y compactos y ligosos de los suelos sueltos y arenosos, por consiguiente mejora su porosidad.
- Mejora la permeabilidad y ventilación.
- Reduce la erosión del suelo. Incrementa la capacidad de retención de humedad.
- Confiere un color oscuro en el suelo ayudando a la retención de energía calorífica.
- Favorece un buen desarrollo de las raíces de las plantas.

c) Propiedades Biológicas

- El lombrihumus es fuente de energía la cual incentiva a la actividad microbiana.
- Al existir condiciones óptimas de aireación, permeabilidad, PH y otros, se incrementa y diversifica la flora microbiana.
- El lombricompost contiene altas poblaciones de microorganismos que colaboran en los procesos de formación del suelo, solubilizan nutrientes para ponerlos a disposición de las plantas y previenen el desarrollo de altas poblaciones de otros microorganismos causantes de enfermedades en las plantas.

d) Propiedades Nutricionales

- Es importante tener presente que el lombricompost contiene, además de los macronutrientes nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio y calcio, pequeñas cantidades de micronutrientes como boro, zinc, hierro, manganeso y cobre. Significa que el lombricompost proporciona una dieta completa a las plantas.

3.14 Acción del Té de Humus como Abono Foliar

Paye (2005) indica “Como se sabe, los nutrientes se absorben directamente a través de las hojas de la planta ellos se abren camino por las raíces, pero también estimulan la actividad en las hojas, que a su vez estimula el desarrollo de raíces, ya que la planta comienza a exigir más agua.”

Camargo (1991), Mencionan que el humus de lombriz sólido puede ser tratado con agua y obtener soluciones acuosas que contienen la concentración de los elementos solubles más importantes presentes en el mismo a lo que se denomina comúnmente como “humus líquido” que al ser aplicado foliarmente actúa como estimulador del crecimiento, además de proveer al cultivo de algunos de los principales nutrientes solubles en el mismo.

El Grupo Técnico de Biofábricas y Plátano (2004), recomienda el método de decantación para obtener dichas soluciones, sin embargo, pueden existir otros métodos que sean más efectivos que este.

El té de composta se ha utilizado en la agricultura con dos objetivos preferentes, la adición de nutrientes y la supresión de enfermedades fundamentalmente para inhibir el crecimiento de hongos. Puede ser aplicado al suelo por medio de sistemas de goteos continuos o irrigación por inundación para aumentar del desarrollo radicular. También vía foliar, con equipos aspersores convencionales de alta precisión en las primeras horas de la mañana o al final de la tarde. Comparando el té de composta con la composta sólida, este da un control de patógenos inmediato pero de corto plazo en las superficies tratadas; por el contrario, los compost solidos aplicados al suelo actúan más lento por un largo periodo de tiempo (Labrador, 1996).

(Matilla, 2003) menciona que las terminologías que se aplica a los lixiviados, extractos y té de compost, es a veces confusa, por lo que vale la pena precisar lo siguiente:

a) Lixiviados de Compost. Se obtienen directamente de las pilas de compostaje, son ricos en sustancias nutritivas y contienen abundantes microorganismos.

b) Extractos de Compost. Proviene de la mezcla fermentada que se obtiene al colocar en un saco o bolsa el material de compost y llevarlo a un recipiente con agua durante un periodo de 7 a 14 días. El primer beneficio es como fertilizante líquido.

c) Té de Compost. Es una técnica moderna, donde se coloca material maduro de compost en agua y se recoge un extracto fermentado, por lo general es alimentado con una fuente energética (melaza), que permite un mayor crecimiento de microorganismos.

3.14.1 Acción del Té de Humus en la Hidroponía

El humus de lombriz es considerado el abono orgánico con mejor potencial de la utilización, ya que se produce fácilmente en bajos costos. Gonzales (2003), informa que la utilización de abonos orgánicos, como humus de lombriz, tiene signos muy favorables en la producción de forraje hidropónico, en México Nicola (2002), trabajando con vermicompost, llegó a la conclusión de que esta se puede utilizar como fuente nutricional a la lechuga cultivo en sistema hidropónico, pero si se utiliza aislada, que no ofrece una adecuada concentraciones para el crecimiento del cultivo, debido a la baja concentración de nitrógeno, siendo necesarios complementación con nutrientes inorgánicos además de elegir la solución nutritiva, la determinación del período ideal de cosecha es también importante en el sistema de producción de forraje hidropónico.

3.14.2 Solución Nutritiva de (FAO 2001)

Solución A Fosfato de Amonio 492 gm, Nitrato de Calcio 2.100 kg, Nitrato de Potasio 1.100 kg.

Solución B, Sulfato de Magnesio 492 g, Sulfato de Cobre 0.48 g (1/2 g), Sulfato de Manganeso 2.5 g, Sulfato de Zinc 1.2 g, Ácido Bórico 6.2 g, Molibdato de Amonio 0.02 g, Nitrato de Magnesio 920 cc, Quelato Hierro 8.5 g.

Procedimiento de elaboración: Se vierten los productos de la solución A en un recipiente con 6 litros de agua y se completa a 10 litros, los productos de la solución B se vierten en un recipiente con 2 litros de agua y luego se completa a 4 litros, de acuerdo a la capacidad de nuestro contenedor se aplica 5 cc por litro de la solución, A y 2 cc por litro de la solución B, (FAO 2001).

3.14.3 Soluciones Nutritivas.

En el cultivo tradicional, el agua disuelve los elementos nutritivos presentes en el suelo; así se obtiene el líquido nutritivo que las plantas absorben. En el sistema hidropónico de cultivos, el agua es preparada de manera artificial y se le conoce como solución nutritiva, que consta de sales minerales disueltas en agua y en ella se regula el pH, en caso necesario (Izquierdo, 2002).

En hidroponía, las necesidades nutrimentales que tienen las plantas son satisfechas con los nutrimentos que se suministran en la solución nutritiva. La cantidad de nutrimentos que requieren las plantas depende de la especie, la variedad, la etapa fenológica y las condiciones ambientales (Matilla, 2003)

Según (Matilla, 2003) las soluciones nutritivas consisten en agua con oxígeno y los nutrimentos esenciales en forma iónica. Algunos compuestos orgánicos como los quelatos de hierro forman parte de la solución nutritiva, la misma debe ser una solución verdadera, todos los iones se deben encontrar disueltos.

Existen muchas fórmulas de soluciones nutritivas, lo importante es utilizar aquella fórmula que se pueda preparar con fertilizantes que se pueden conseguir sin dificultad, la finalidad es reducir los costos de producción y permitir una producción sostenida (Red Hidroponía. 2002).

3.14.4 Elementos Nutrientes Utilizados por las Plantas.

Los elementos químicos que utiliza la planta para sus distintas síntesis y funciones vitales constituyen los nutrientes, el crecimiento y desarrollo normal de los vegetales

está determinado por la disponibilidad de ciertos elementos químicos esenciales para el metabolismo de sus órganos. Cada elemento es vital en la nutrición de la planta, la falta de uno solo limitará su desarrollo, porque la acción de cada uno es específica y ningún elemento puede ser reemplazado por otro (Rodríguez, 1982).

Al molibdeno, níquel, cobre, zinc, manganeso, boro, hierro y cloro, se denominan, micronutrientes, la cantidad en que se encuentran en la materia seca de la mayoría de las plantas es menor a un gramo; mientras que, el nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, etc. los denominados macronutrientes, se encuentran siempre presentes en por lo menos un gramo por kilogramo de materia seca (Matilla, 2003)

3.15 Fertilizantes Usados en Hidroponía.

Cualquier abono líquido o sólido de alta solubilidad, es susceptible de ser empleado, siempre y cuando establezcan una composición garantizada y fiable (Universidad Agraria La Molina, 2005).

Castillo (2001), señala que los micronutrientes pueden ser surtidos por varias fuentes, así el Fe, Mn, Cu y Zn pueden ser suministrados por sales sulfatadas; pero indica que los mismos abastecidos como sulfatos tienden a no estar disponibles si el pH es más alto que lo recomendado.

La Red Hidroponía (2000), recomienda que los micronutrientes sean suministrados como quelatos, los cuales son menos afectados en su disponibilidad por cambios en el pH de la solución.

Usualmente el boro se suministra como ácido bórico o bórax, el bórax se disuelve con más rapidez, en tanto el molibdeno es abastecido como molibdato de sodio o molibdato de amonio (Castillo, 2001)

3.16 Propiedades de los Fertilizantes.

Entre las principales propiedades químicas y físicas de los fertilizantes que determinan tanto su comportamiento, como su manipulación y conservación, destacan las siguientes: (Infoagro, 2007).

a) Solubilidad.

Los abonos utilizados deben ser abonos líquidos o sólidos especiales de alta solubilidad, es decir, cuyo residuo insoluble en agua a 15 °C, a la mayor dosis de empleo recomendada, sea inferior a 0,5 %. (Universidad Agraria La Molina, 2005).

b) Reacción.

Viene determinada por el índice de acidez o basicidad del fertilizante, que se corresponde con la cantidad de cal viva que es necesaria para equilibrar el incremento de acidez del suelo (fertilizantes de reacción ácida) o producir un incremento de pH equivalente (fertilizantes de reacción básica) (Infoagro, 2007).

c) Higroscopicidad.

La higroscopicidad es la capacidad de absorber agua de la atmósfera a partir de un determinado grado de humedad de la misma. Esta absorción puede provocar que una parte de las partículas se disuelvan, lo que afecta la estructura física del fertilizante. Generalmente, cuanto mayor es la solubilidad del fertilizante en agua, mayor es su higroscopicidad. Esta absorción puede provocar que una parte de las partículas se disuelvan, con lo que se deshace la estructura física del fertilizante (Infoagro, 2007).

d) Riqueza o Concentración de un Fertilizante.

El contenido en elementos fertilizantes asimilables por las plantas. Para un determinado elemento, se expresa en tanto por ciento de unidades fertilizantes (Infoagro, 2007).

La legislación establece unas cantidades mínimas para poder considerar que un determinado producto contiene el elemento en cuestión, el contenido de cada uno de los elementos que determinan la riqueza garantizada de cada producto, se expresa de la siguiente forma y en el siguiente orden: (Infoagro, 2007).

N, P₂O₅, K₂O, CaO, MgO, SO₃, B, Cl, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn, para todas las formas del elemento nutriente (Infoagro, 2007).

3.17 Características de los Fertilizantes Utilizados.

Las particularidades de empleo y los valores estándar de los fertilizantes usados en el presente estudio se detallan a continuación: (Cepeda, 1991).

a) Urea.

Las plantas absorben nitrato (NO₃⁻) y amonio (NH₄⁺) pero no nitrito (NO₂⁻). Se recomienda una relación de 3 nitrato: 1 amonio. La concentración óptima de nitrógeno es de 200 ppm o 200 mg/L. Por lo tanto, de esta concentración 150 ppm debería estar aportado por nitrato y 50 ppm por amonio (La Molina, 2007).

Es muy utilizado en fertirrigación de cultivos en suelo, su riqueza es de (46% N como norma general el contenido de biuret debe ser inferior al 0,3 % por su empleo en fertirrigación (Infoagro, 2006).

b) Nitrato Potásico.

Constituye la fuente potásica más utilizada, su ley es de (13-46-0). Frecuentemente se cubren las necesidades del potasio con el uso exclusivo de este fertilizante. Una disolución de 0,5 g/l en agua pura presenta una C.E. de 693 mS/cm, es decir, muestra incremento en la C.E. relativamente elevados. (Infoagro, 2006).

c) Nitrato Cálcico.

Es un fertilizante muy utilizado, su riqueza es de (15,5% N y 27% CaO). El suministro de cantidades de calcio adicionales al contenido presente en el agua de riego resulta a veces beneficioso ante excesos relativos de sodio y de magnesio o para prevenir fisiopatías ocasionadas por deficiencias cálcicas. Una pequeña parte de su nitrógeno está en forma amoniacal y puede ser suficiente para cubrir las exigencias de esta forma nitrogenada en cultivos hidropónicos en situaciones de gran demanda. Una disolución de 0,5 g/l presenta una C.E. de 605 mS/cm, muestra niveles medios de incrementos de C.E. (Infoagro, 2006).

d) Sulfato Magnésico

Es la fuente de magnesio generalmente utilizada (16% MgO y 31% SO₃), ya que se aporta el magnesio adicional necesario sin modificar el equilibrio NPK. Una disolución de 0,5 g/l tiene una CE de 410 mS/cm, es un abono que provoca incrementos de la CE bajos. (Infoagro, 2006).

e) Fosfato Diamónico.

Es el abono fosfatado (18% N y 46% P₂O₅) sólido más empleado en fertirrigación. En cultivos hidropónicos su uso está limitado ya que la totalidad de su nitrógeno está en forma amoniacal, en el suelo, su empleo está siendo cada vez más desplazado por la utilización de ácido fosfórico como fuente de fósforo. Una disolución de 0,5 g/l muestra una C.E. en el agua pura de 455 mS/cm, es decir, provoca incrementos bajos de la C.E. (Infoagro, 2006).

f) Cloruro Potásico.

Fertilizante barato y de gran riqueza en K (60% K₂O), con lo que su uso queda restringido a aguas de buena calidad, con niveles de cloruros nulos o muy bajos, o bien a situaciones en que se dé prioridad al precio del abono. Una disolución de 0,5 g/l presenta una CE de 948 mS/cm, provoca incrementos de CE muy altos (Infoagro, 2006).

g) Fuentes de Micronutrientes.

Como fuente de micronutrientes se pueden usar fertilizantes foliares que en cuya formulación estén presentes micronutrientes que además suelen venir como quelatos (Barros, 1999).

Fetrilon Combi 2 y Fetrilon Combi 2C son fertilizantes de alta solubilidad y fácilmente asimilables, contienen todos los micros nutrientes esenciales para las plantas. Su uso principal es vía foliar, pueden usarse también en fertirriego y en mezclas con sustratos., al estar quelatizados con EDTA, son compatibles con la mayoría de los productos fitosanitarios de uso común. (COMPO. AGROChile. 2006).

Para hacer viable la hidroponía y bajar los costos al mínimo, se puede emplear Fetrilom Combi, aunque, no aporta la concentración óptima de boro y hierro, por ello se hace necesario agregar ácido bórico y un quelato de hierro a la formulación (Red Hidroponía, 2001).

3.18 Formulación de la Solución Nutritiva

Es recomendable el análisis químico del agua para determinar su riqueza mineral, conductividad eléctrica y pH, aquellas aguas que resulten con valores de más de 2 o 2,5 mS/cm debemos obligatoriamente descartarlas, salvo que las corriamos con agua limpia de lluvia. (Sánchez, 2001).

Antes de elaborar cualquier disolución nutritiva, es conveniente determinar los cationes Ca^{2+} , Mg^{2+} y Na^{+} , así como los aniones Cl^{-} y SO_4^{2-} , pueden encontrarse en cantidades excesivas respecto a las necesidades de la planta, por lo que conviene tenerlo en cuenta a la hora de escoger los fertilizantes y las cantidades relativas a aportar (Fertiberia, 2007).

4. LOCALIZACIÓN

4.1 Ubicación

El experimento se realizará en el Campus Universitario de la Zona de Cota Cota entre 3550 msnm al sud este de la ciudad de La Paz en el margen derecho del río Jillusaya ladera este con exposición oeste provincia Murillo del Departamento de La Paz, T_{máx.} 21,5 C, T_{mín.} de -0,6 C, T_{media} de 11,50 C, ubicado a 16°32'14" de Latitud Sur y 68°03'44" Longitud Oeste.

4.1.1 Aspectos Climáticos

La zona presenta una precipitación de 488,53 mm en promedio (DC, 2009). Datos actuales del SENAMHI (2011) presenta un precipitación de 558.33 mm/año.

Trool (1959), menciona que pertenece a clima tropical de alta montaña o tropical de ritmo diario comprende una superficie total de 7,850 m²

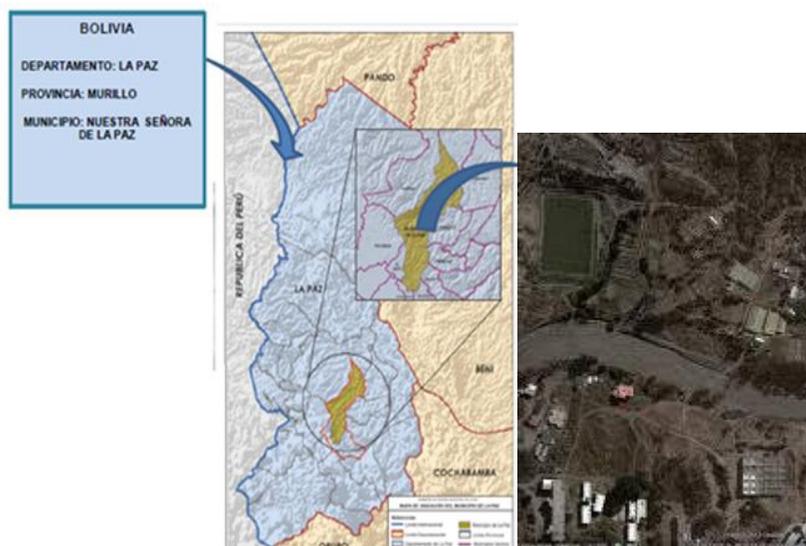


Figura1. Ubicación del lugar donde se desarrolló el estudio.

5 MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Materiales y Métodos

Los materiales que se utilizaron en el presente estudio fueron los siguientes:

- Termómetros de máximas y mínimas.
- Módulos para colocar las bandejas de FVH
- Bandejas
- Regadora
- Cubos con medidas para el agua
- Semillas (cebada y Avena)
- Urea
- Fosfato di amónico
- Agua
- Te de humus de lombriz

En el método de investigación se utilizaron los módulos, que son los armazones que se construyeron para el sostén de las bandejas que tienen la capacidad de contener 72 bandejas por módulo, cada bandeja tiene una superficie de 0.25 m² el cual en total equivalen a 18 m² útiles de FVH. Cada módulo ocupará un espacio en la carpa solar de 5 m².

5.2 Material de Gabinete

- Equipo de computación
- Material de escritorio
- Tablas de registros

5.3 Metodología por Flujograma

5.3.1 Preparación de la Semilla.

Para la preparación de la semilla se remojaron 12 horas en agua, posteriormente se hizo orear por una o dos horas luego se vuelve a remojar por el mismo tiempo y luego se lleva a la oscuridad por 24 horas, cubriendo con tela negra y posteriormente se colocaron en los módulos para su desarrollo y cosecha.

5.3.2 Preparación de Sustancias Nutritivas.

Para los nutrientes se prepararon dos tipos de sustancias nutritivas: el primero fue solo una sustancia nitrogenada a 200 ppm, se remojó 14 hrs. el humus de lombriz en agua determinada y se aplicó al tercer día hasta los 15 días y la segunda solución nutritiva FAO la solución A en un recipiente con 6 litros de agua y se completa a 10 litros, los productos de la solución B se vierten en un recipiente con 2 litros de agua y luego se completa a 4 litros, de acuerdo a la capacidad de nuestro contenedor se aplica 5 cc por litro de la solución, A y 2 cc por litro de la solución B,(FAO 2001).

5.3.3 Riego Localizado.

El riego fue localizado y se proporcionó a la planta el agua en dosis adecuadas (seis veces al día) con pequeñas caudales utilizando pulverizadores. De esta manera mantenemos a las bandejas con agua constante. Se tomó datos iniciales de volumen de agua más la sustancia y temperatura interior como humedad relativa.

5.4 Metodología

5.4.1 Adecuación de la Carpa Solar

El módulo hidropónico fue un préstamo del Centro Experimental de Cota Cota, dependiente de la Facultad de Agronomía de la UMSA. Una vez que se tuvo armados los módulos, se prepararon las bandejas que tienen una medida de 50 x 50 cm, o sea 0.25 m² de superficie, donde se colocó la semilla en las bandejas y se regaron dependiendo del nivel de agua, la temperatura y el consumo de agua por la planta.

5.4.2 Construcción del Módulo Hidropónico

El módulo se construyó con durmientes de madera reciclada, estos durmientes fueron cortados con una cierra de carpintero eléctrica, volviéndolos en vigas, listones de 12 cm de altura y 76 cm de ancho, tiene 4,3 m de largo con una altura de 2 m y 1 m de ancho entre armazones, cuenta con cuatro pisos o niveles de 50 cm de altura cada uno, cada nivel son para 16 bandejas.

La unión del armazón se lo realizó con clavos de 2,5 plg. El armado del módulo de las bandejas se lo realizó cuidadosamente con el calado de la madera de los postes verticales cada 50 cm y de los soportes horizontales cada 2 m el calado de la madera es para que tenga mejor agarre la estructura y para que se mantenga nivelada, sin que unos estén más arriba o más abajo esto gracias al trabajo con el nivel.

Una vez realizado el empalme entre las maderas caladas se llegó a clavar con tres clavos de 2,5 plg para mantener estable y como una sola pieza la estructura de madera, este clavado de las maderas se lo realizó en los cuatro niveles del armazón.

5.4.3 Construcción de Bandejas

Las bandejas se hicieron de madera reciclada, esta madera se recolectó de los escombros votados de la demolición del edificio viejo de la Facultad de Agronomía, la madera fue cortada con una cierra eléctrica en marcos de 2,2 cm de ancho y 5 cm de alto, los marcos tienen un largo de 55 cm. de ancho y 1,05 m de largo, las bandejas son de 50 x 50 cm, o sea 0.25 m² de superficie.

El armado de las bandejas se lo realizó con la unión con carpicola de madera como pegamento, luego inmediatamente se llegó a clavar con 3 clavos de 1,5 plg en las cuatro esquinas del armazón para la caja, las cajas fueron forradas con agrofilm amarillo de 1,2 m. de largo x 0,7 m de ancho, para darle la forma de una caja.

Primero se hizo el clavado del agrofilm en la parte superior más angosta de la caja, luego se hizo el tezado del agrofilm cuando la temperatura ambiente estaba en su pico más alto, esto para que el agrofilm se dilate y este más flexible para tener un tezado tirante cuando la temperatura ambiente baje, una vez terminado el tezado de agrofilm amarillo, se volvió a clavar las bandejas con nilón negro de 1,2 m de largo y 0,7 m de ancho, esto para simular un suelo oscuro ya que las raíces tienen un fototropismo negativo.



Figura 2. Colocado de la fase oscura.

5.4.4 Diseño experimental.

Se procedió a evaluar con un Diseño bloques completamente al Azar (Ochoa 2007).

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} = Una observación

μ = Media poblacional

α_i = Efecto del i - esimo nivel del factor A

β_j = Efecto de la j - esimo nivel del factor B

$\alpha\beta_{ij}$ = Efecto del i – esimo nivel del factor A, con el j – esimo nivel del Factor B (interacción A x B)

ε_{ijk} = Error experimental de la parcela menor (Eb)

Factor A: GRAMINEA

- Cebada (IBTA 80)
- Avena (GAVIOTA)

Factor B: SUSTANCIAS NUTRITIVAS (FAO)

- Té de humus de lombriz
- sustancia nutritiva

Combinación de tratamientos

GRAMINEA	SUSTANCIAS NUTRITIVAS	COMBINACIONES	NUMERO
G ₁	D ₁	G ₁ D ₁	tratamiento 1
G ₂	D ₁	G ₁ D ₂	tratamiento 2
G ₁	D ₂	G ₂ D ₁	tratamiento 3
G ₂	D ₂	G ₂ D ₂	tratamiento 4

		FACTOR SUSTANCIAS	
		Humus de lombriz	Sustancia nutritiva (FAO)
FACTOR GRAMINEA	Avena	Avena + humus de lombriz	Avena +sustancia nutritiva
	cebada	Cebada + humus de lombriz	Cebada + sustancia nutritiva

Figura 3. Disposición de los factores en una repetición para el experimento de uso eficiente de agua.

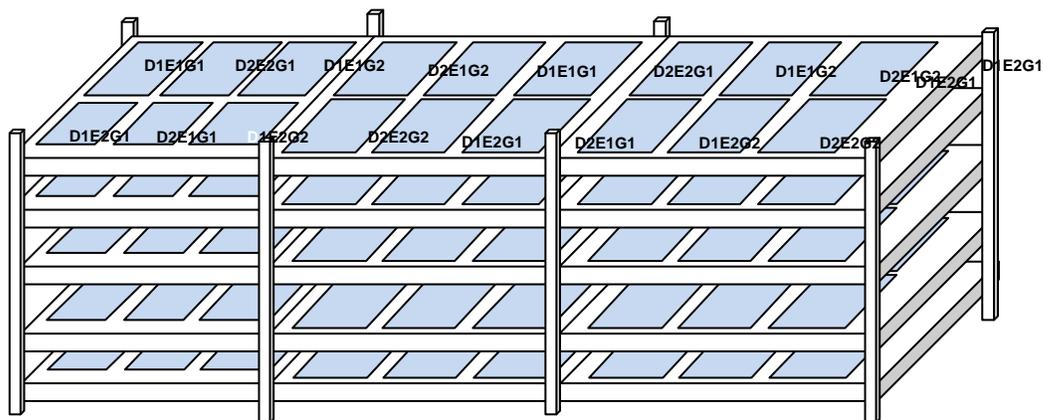


Figura 4. Disposición espacial de las unidades de experimentación en el uso eficiente de agua.

6. RESULTADOS Y METODOS

De acuerdo a los resultados obtenidos y con el objeto de mostrar el rendimiento en relación a su respuesta del forraje verde hidropónico a la aplicación de dos soluciones nutritivas en avena (*Avena sativa*) y cebada (*Hordeum vulgare*) en carpa solar, se abordaron primero los factores propuestos que influyen en la producción, para luego determinar el rendimiento por superficie, y cuantificar los costos de producción.

6.1 Temperaturas Registradas en el Ambiente.

Las variaciones de temperaturas máximas, medias y mínimas dentro 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 durante el estudio.

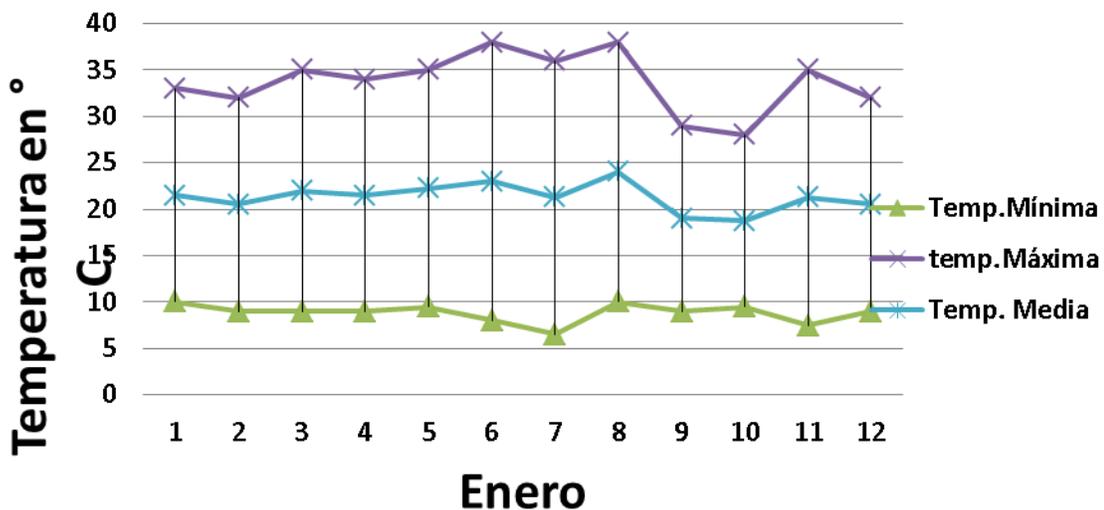


Figura 5. Temperaturas Máximas y Mínimas Registradas en la Carpa Solar Durante el Periodo de Estudio.

En la figura 4. podemos observar que dentro de la carpa solar se registró una temperatura promedio de 21.29 °C, con una máxima extrema de 33,75 °C y una mínima de 8,33 °C, al respecto Izquierdo (2003) las temperaturas cercanas a los 15 °C son apropiadas para el cultivo de forraje hidropónico, al registrarse temperaturas

altas como 40 °C, esta indica que el ambiente recibió mucha radiación solar, la cual debe limitarse para obtener temperaturas adecuadas para el crecimiento del cultivo.

6.2 Cantidad de Agua Consumida por las Plantas

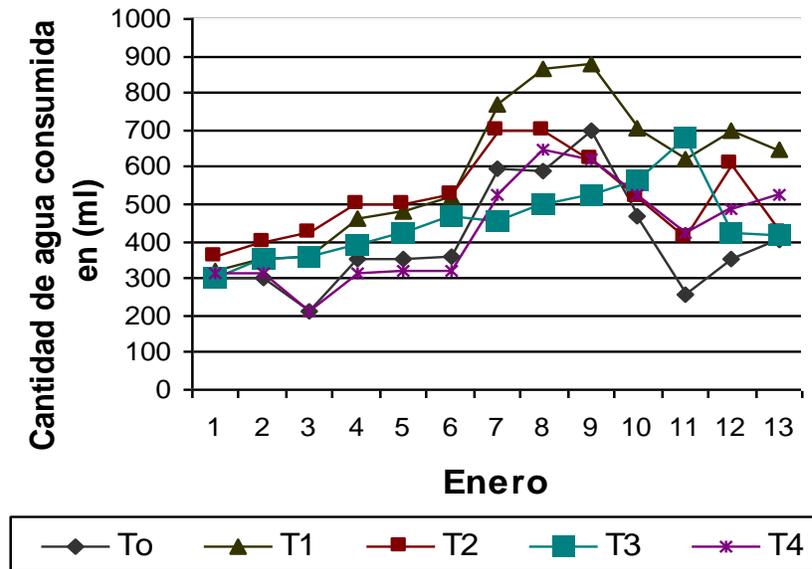


Figura 6. Cantidad de Agua Consumida por las Plantas Registradas en la Carpa Solar Durante el Periodo de Estudio.

En la figura 5. podemos observar la cantidad de agua consumida por las plantas, es decir la cantidad de agua que se regaba cada día menos la cantidad que escurrió. así mismo se debe tener en cuenta la calidad de agua de riego. al respecto 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 hidropónicos.

6.3 Variables de Respuesta

6.3.1 Variables Agronómicas

6.3.1.1 Germinación (%)

Cuadro 1. Análisis de varianza para la germinación de la cebada y avena.

Fuente de variación	G.L.	CM	SC	Fc	Ft(0,05)	Sig.
Gramíneas	1	82395,445	82395,45	4,945699	4,35	*
sustancias nutritivas	1	37252,315	37252,32	2,236031	4,35	ns
Interacción	3	32443,88	64887,76	3,894819	5,85	ns
Error	20	6,78	16660,02			
Total	24					

* **Significativo al nivel de 0,05.**

C.V. 13,03%

Según los resultados obtenidos del análisis de varianza (Cuadro 1) muestra la existencia de una significancia entre las gramíneas empleadas en el experimento al 5%; y en el factor sustancias nutritivas y la interacción de ambos factores no hubo diferencias significativas ya que no existió dependencia de los factores en esta variable, por otra parte el coeficiente de variación fue de 13,03% lo que nos indica que los datos son confiables.

Estos valores indican que hay diferencias significativas en el factor A (Gramíneas), en el caso de la interacción los factores son independientes en la germinación.

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 %. Gallardo (1996), en el estudio realizado en la producción de forraje hidropónico (cebada) obtuvo la germinación de la cebada a los 3 días, con una temperatura estable de 16 a 18 °C, estos resultados son similares a los que se obtuvo en el presente estudio, con la diferencia que la temperatura era muy variante, entre 10 y 22 °C.

Cuadro 2. Prueba de Duncan para la germinación de la cebada y avena. Factor A.

Gramíneas	Promedio (%)	Duncan (5%)
Avena	60,29	a
Cebada	63,04	b

En el Cuadro 2 se observa la prueba de Duncan al 5% para la variable días a la germinación, en función del factor “A” (Gramíneas) la cual muestra diferencias significativas entre las dos gramíneas es decir se obtuvieron valores diferentes entre la avena y la cebada con 60,29 y 63,04 %respectivamente.

Los resultados encontrados en este estudio indican que las semillas de cebada y avena presentan diferente porcentaje de germinación esto se debe a que son dos son diferentes especies.

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.

Romero (2009), indica para que la cebada germine en 3 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.

6.3.1.2 Altura de la planta (cm)

Cuadro 3. Análisis de Varianza para altura de planta en cebada y avena.

Fuente de variación	G.L.	CM	SC	Fc	Ft(0,05)	Sig.
Gramíneas	1	1330,3	1330,3	5,59	4,35	ns
sustancias nutritivas	1	1345,7	1345,7	5,66	4,35	ns
Interacción	3	687,3	1374,7	5,78	5,85	ns
Error	20	8,5	237,9			
Total	24					

***, Significativo al nivel de 0,05.**

C.V. 14,77%

Según los resultados obtenidos del análisis de varianza (Cuadro 3), se muestra no existen diferencias significativas para el caso de las gramíneas y para el caso de las sustancias nutritivas y en la interacción de ambos factores no hubo diferencias significativas ya que no existió dependencia de los factores en esta variable, por otra parte el coeficiente de Variación fue de 14,77 % los que indica que los datos son confiables.

La presencia de diferencias no significativas para el caso de los dos factores fue posiblemente a causa de que las sustancias nutritivas planteadas, no causaron ningún efecto sobre la altura de la planta (13,8 cm avena y 11,3 cm cebada), como también se puede observar que los factores ambientales no influyeron en esta variable altura de planta.

Gallardo (1996), en el estudio realizado en la producción de forraje hidropónico (cebada) con la aplicación de soluciones nutritivas en ambiente controlado "HUTAYAPU" obtuvo un rendimiento en altura de 17,7cm en 15 días, estos resultados son aparentemente similares a los que se obtuvo en el presente estudio con 17,95 cm de altura promedio.

Ralde (2000), en un estudio realizado en la producción de avena forrajera en un cultivo hidropónico, con la aplicación de soluciones nutritivas, obtuvo una altura de planta de 18,8 cm en 15 días, estos resultados son casi similares a los que se obtuvo en el presente estudio con 18,24 cm de altura promedio.

Según Langhams (1997), mencionado por Castila (2005), indica que el movimiento del aire afecta al crecimiento de las plantas al afectar a las transferencias de energía, a la transpiración y a la absorción de CO₂, de modo que hay una influencia en el tamaño de la hoja, el crecimiento del tallo y en la producción.

Howard (1997), señala que en la hidroponía la plantas llegan a competir por la luz y no así por el alimento de tal manera que en una densidad de siembra excesiva obliga a la planta a un mayor esfuerzo por obtener luz disponible y tiende a reducir los resultados de la cosecha.

6.3.1.3 Área foliar (cm²)

Cuadro 4. Análisis de Varianza para área foliar de la cebada y avena.

Fuente de variación	G.L.	CM	SC	Fc	Ft(0,05)	Sig.
Gramíneas	1	3476,3	3476,3	7,2	4,35	*
sustancias nutritivas	1	1572,2	1572,2	3,3	4,35	ns
Interacción	3	1395,5	2790,9	5,8	5,85	ns
Error	20	8,6	480,6			
Total	24					

***, Significativo al nivel de 0,05.
C.V. 14,66 %**

Según los resultados obtenidos del análisis de varianza (Cuadro 4), se muestra que existen diferencias significativas para el caso del factor Gramíneas, esto posiblemente a que los factores externos dentro de la carpa solar llegaron a influir sobre este factor reflejando esto en el limbo de la hoja. Para el caso del factor “B” que son las soluciones nutritivas no llegaron a presentar diferencias significativas, esto se debió posiblemente a que estas soluciones tuvieron un comportamiento similar sobre las dos Gramíneas, así mismo en la interacción de ambos factores no hubo diferencias significativas ya que no existió dependencia de los factores en esta variable, por otra parte el coeficiente de Variación fue de 14,66 % los que indica que los datos son confiables.

Según Uhart (1995), citado por Hoyos, afirma que los adecuados contenidos de N incrementan las tasas de división y diferenciación celular y la actividad fotosintética, esto se traduce en mayor biomasa vegetativa o reproductiva en los cultivos por una alta eficiencia en la interceptación y conversión de la radiación.

También Galván (1994), menciona que como sucede en todos los vegetales, el ritmo de crecimiento al estar regulado por acciones metabólicas y a su vez ellas catalizadas por diferentes enzimas, la temperatura juega un rol fundamental en determinar la velocidad, la tasa de incremento de materia fresca o seco.

Capdevilla (1981), indica que al incorporar fertilización, se incrementa la CIC lo cual es favorable para la planta por que estimula la absorción de nutrientes intercambiando de esta forma el crecimiento y desarrollo de la planta.

Cuadro 5. Prueba de Duncan para área de la cebada y avena. Factor A.

Gramíneas	Promedio (cm²)	Duncan (5%)
Avena	13,8	a
Cebada	11,3	b

En el Cuadro 5, se observa la prueba de Duncan al 5% para la variable Gramíneas, la cual muestra diferencias significativas entre las dos gramíneas es decir se obtuvieron valores diferentes entre la avena y la cebada con 13,8(cm²) y 11,3(cm²) respectivamente.

Duran, F. (2009) menciona que el crecimiento de las diferentes partes de la planta se suele determinar por la altura, el área foliar o el peso seco, en relación con el tiempo transcurrido durante el ciclo de vida. La diferenciación es el proceso mediante el cual se forman y reproducen clases de células.

6.3.1.4 Biomasa total (Kg/m²)

Cuadro 7. Análisis de varianza para biomasa total de la cebada y avena.

Fuente de variación	G.L.	CM	SC	Fc	Ft(0,05)	Sig.
Gramíneas	1	228,6	228,6	4,25	4,35	ns
sustancias nutritivas	1	191,0	191,0	3,55	4,35	*
Interacción	3	115,7	231,3	4,30	3,49	ns
Error	20	2,7	53,8			
Total	24					

***, Significativo al nivel de 0,05.**

C.V. 7,07%

En el cuadro 6, de análisis de varianza podemos observar que para el caso del factor Gramíneas no existen diferencias significativas lo que posiblemente paso por que al ser las dos plantas con características similares tuvieron un desarrollo similar uno con respecto al otro, pero si podemos observar que para el caso del factor soluciones nutritivas si presentan diferencias significativas, lo que se podría explicar que las soluciones tuvieron un diferente comportamiento proporcionando estas diferentes nutrientes y minerales que favorecieron al cultivo, también se puede observar que no se presentaron diferencias significativas para el caso de la interacción de los factores.

Según Sánchez (1997), el FVH producido representa un forraje limpio e inocuo, asegurando la ingesta de un alimento conocido por su valor alimenticio y su calidad sanitaria.

De acuerdo a la FAO (2001), utilizando la técnica de producción de FVH se puede obtener forraje de buena calidad nutricional para alimentar diversos tipos de ganado.

El Forraje Verde Hidropónico, es un succulento forraje verde y de plena aptitud comestible para nuestros animales.

La mayor riqueza nutricional de un FVH se alcanza entre los días 7 y 8 por lo que un mayor volumen y peso de cosecha debe ser compatibilizado con la calidad dado que el factor tiempo pasaría a convertirse en un elemento negativo para la eficiencia de la producción.

Cuadro 7. Prueba de Duncan para biomasa total de la cebada y avena. Factor B

sustancias nutritivas	Promedio (Kg/m ²)	Duncan (5%)
Sustancia nutritivo (FAO)	5,45	a
Te de humus de lombriz	4,25	b

En el cuadro 7. Anterior se muestra la comparación Duncan realizada para el factor soluciones nutritivas, muestra que hubo una diferencia presentando las sustancias nutritivas un valor promedio de 5,45 Kg/m² por encima del té de humus de lombriz el cual presento un valor promedio de 4,25 Kg/m².

Ñíguez (1988), menciona que se ha documentado que períodos de tiempo de 7 a 10 días son más que suficientes para completar el ciclo en un cereal sembrado para forraje hidropónico. Ciclos más largos no serían convenientes debido a la disminución de materia seca y de calidad en general del FVH resultante.

Duran, F. (2009) menciona que en una planta el crecimiento y la diferenciación transcurren paralelamente y por ello, parecería tratarse de un solo proceso que llamamos desarrollo. Una vez que han aparecido las raicillas y las primeras hojas, la planta está capacitada para obtener los nutrientes del medio externo y demás elementos para fabricar su propio alimento (fotosíntesis), motivo por el cual se debe exponer a condiciones óptimas de luminosidad, oxigenación y nutrición.

6.3.1.5 Densidad de la raíz (Kg. /m²)

Cuadro 8. Análisis de Varianza para densidad de raíz de la cebada y Avena.

Fuente de variación	G.L.	CM	SC	Fca.	Ft(0,05)	Sig.
Gramíneas	1	1,0	1,0	0,71	4,35	ns
sustancias nutritivas	1	1,2	1,2	0,84	4,35	ns
Interacción	3	0,7	1,4	0,94	3,49	ns
Error	20	0,1	1,5			
Total	24					

***, Significativo al nivel de 0,05.**

C.V. 1,58%

En el cuadro 8, de análisis de varianza podemos observar que no se presentan diferencias significativas para el caso del factor especies, esto se debe posiblemente a que estas dos especies son cereales porque tienen un comportamiento similar en cuanto al desarrollo de sus raíces.

Así mismo se puede observar que el factor soluciones nutritivas, tampoco presenta diferencias significativas, esto se debería a que las raíces absorbieron cantidades similares de nutrientes y minerales necesario para su desarrollo, también se observa que no hay diferencias significativas en la interacción de los factores.

También se observa que presenta un coeficiente de variación de 1,58% lo cual muestra la confianza del estudio.

6.3.1.6 Rendimiento (Kg/m²)

Cuadro 9. Análisis de Varianza el rendimiento de la cebada y avena.

Fuente de variación	G.L.	CM	SC	Fc	Ft(0,05)	Sig.
Gramíneas	1	137,1	137,1	4,46	4,35	*
sustancias nutritivas	1	112,0	112,0	3,64	4,35	ns
Interacción	3	68,7	137,3	4,47	3,49	ns
Error	20	1,5	30,7			
Total	24					

***Significativo al nivel de 0,05.**

C.V. 6,12%

En el cuadro 9, anterior se muestra el análisis de varianza para la variable Rendimiento, en donde podemos observar que el caso del factor Gramíneas, presentaron diferencias significativas, esto debido a que tuvieron mayor desarrollo en cuanto se refiere al limbo de la hoja, y para el caso de las soluciones nutritivas no se encontraron diferencias nutritivas, como también sucedió con la interacción de los factores.

Por otra parte se puede observar que se presentó un coeficiente de variación del 6,12 % mostrando un buen nivel de confianza.

Cuadro 10. Prueba de Duncan para el rendimiento de la cebada y avena. Factor A.

Gramíneas	Promedios (Kg. /m ²)	Duncan (5%)
Avena	4,9	a
Cebada	2,6	b

En el cuadro 10, anterior se muestra la comparación Duncan realizada para el factor especies, el cual muestra que hubo una diferencia presentando un valor promedio superior de la avena con un valor de 4,9 kg/m² por encima de la cebada el cual presento un valor de 2,6 Kg/m².

Sánchez (2004), en el trabajo realizado en la producción de cebada, bajo sistema hidropónico y sin la aplicación de soluciones nutritivas obtuvo por cada kilogramo de semilla un en rendimiento de 9 kg/m² a los 15 días.

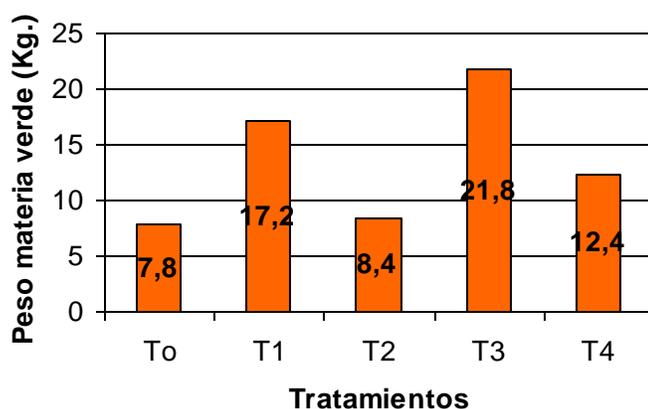


Figura 7. Rendimiento General por cada Tratamiento.

6.7 Variable Económica

6.7.1 Presupuesto Parcial

Para obtener el presupuesto parcial se calculó la relación Beneficio / Costo, beneficio Bruto, Beneficio Bruto, Costos variables de los tratamientos, todos los cálculos fueron transformados para una hectárea como se recomienda el método (CYMMYT, 1998).

$$I.B. = R * P$$

Dónde:

R = Rendimiento

P = Precio del producto

6.7.2 Relación Beneficio /Costo

Si la relación Beneficio / Costo es menor a la unidad, indica que no existe beneficio económico, por tanto el cultivo no es rentable, cuando la relación Beneficio / Costo es igual a la unidad muestra que los ingresos logran cubrir solo los costos de producción y el cultivo tampoco es rentable, si la relación Beneficio / Costo es mayor a la unidad, indica que los ingresos económicos son mayores a los gastos de producción y por lo tanto el cultivo es rentable.

Se calculó el total de los ingresos, los egresos y la relación Beneficio / Costo para cada tratamiento lo que se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 11. Relación Beneficio Costo del rendimiento de forraje hidropónico de cebada y avena por tratamientos.

Ítem	T1	T2	T3	T4
Semilla	0,60	0,50	0,60	0,50
Humus de lombriz	0	0	3	3
Sustancias nutritivos	4	4	0	0
Bandejas	25	25	25	25
Regaderas	10	10	10	10
Módulos	25	25	25	25
Total egresos	64,60	64,50	63,60	63,50
Cantidad Cosechada	17,2	8,4	21,8	12,4
Precio	4	4	4	4
Total ingresos	68,8	33,6	87,2	49,6
B/C	1,07	0,52	1,37	0,78

En el cuadro 11, se muestra el ingreso y los egresos de cada tratamiento, donde se puede observar que el tratamiento 1 muestra un B/C de 1,07 lo que muestra que por cada peso boliviano invertido se gana solo 0,07 centavos, por otra parte el tratamiento 3 muestra un valor de 1,37 lo que indica que por cada peso invertido se gana 37 centavos.

Por otra parte se muestra que el tratamiento 2 y el tratamiento 4 muestran pérdidas con valores de 0,52 y 0,78 respectivamente.

$$I.N. = I.B. - C$$

I.N. = Ingreso Neto

I.B. = Ingreso Bruto

C = Costo de Producción

Relación Beneficio Costo

B / C

Dónde:

B = Beneficio

C = Costo variable de producción en Bs/ha, considerando los costos de insumos mano de obra y herramientas.

Cuando:

B / C = Mayor a 1 es rentable

B / C = Igual a 1 sin pérdidas

B / C = Menor a 1 no es rentable

6.7.3 Beneficio Neto

Es la relación del Beneficio Bruto que percibirá menos el total de los costos de producción.

Los resultados obtenidos son mostrados en el siguiente cuadro:

Cuadro 12. Beneficios netos de cebada y avena por tratamientos.

Ítem		T1	T2	T3	T4
Rendimiento Medio	(Kg./Ha)	88500	42000	109000,0	62000
Rendimiento Ajustado	(Kg./Ha)	75225,0	35700,0	92650,0	52700,0
Beneficio Bruto	(Kg./Ha)	263287,5	124950	324275	184450
Costos Variables					
Costo semilla	(Bs./Ha)	4000	3500	4000	3500
Costo Fertilizante	(Bs./Ha)	50000	50000	26500	26500
Otros	(Bs./Ha)	4000	4000	4000	4000
Total Costos Variables	(Bs./Ha)	58000	57500	34500	34000
Beneficio Neto	(Bs./Ha)	205287,5	67450	289775	150450

en el siguiente (cuadro 12), se observa el rendimiento medio obtenido para cada uno de los tratamientos convertido a una hectárea, posterior a ello posterior a esto se observa reducido a 15%, con el fin de reflejar la diferencia entre el rendimiento experimental y que el productor podría obtener con la implementación de los tratamientos, al respecto CIMMYT (1998), indica que como una regla general aplica un ajuste del 5 al 30 %, y para el presente trabajo de investigación se redujo en 15% debido al manejo minucioso y cuidadoso en la cosecha.

6.7.4 Análisis de dominancia

En el siguiente cuadro se observa los tratamientos dominados y los tratamiento no domina dos que presento el experimento.

Cuadro 13. Análisis de Dominancia de los tratamientos.

Tratamientos	Costo Total (Bs./Ha)	Beneficio Neto (Bs./Ha)	Dominancia
Té de humus de lombriz + Avena	58000	205288	ND
Té de humus de lombriz + Cebada	57500	67450	D
Sustancias nutritivos + Avena	34500	289775	ND
Sustancias nutritivos + Cebada	34000	150450	D

En el (cuadro 13), se observa que los tratamientos se encuentran en forma creciente según sus costos, los tratamientos no dominados es decir con mayor beneficio neto y menor costo, resultaron 1 (Té de humus de lombriz + Avena) y el tratamiento 3 (Sustancias nutritivos + Avena).

Cuadro 14. Comparación de rendimientos de producción de avena y cebada.

	Rendimiento Medio de MS (t/ha)		Beneficio Neto (Bs/ha)	
	AVENA	CEBADA	AVENA	CEBADA
FVH	65,25	85,5	13636	11005
PRODUCCION CONVENCIONAL	21	18	3837	2841

7. Conclusiones

En base a los resultados obtenidos y los objetivos planteados en el presente estudio se concluye:

- Para el caso del efecto del humus de lombriz se puede indicar que la avena y la cebada pueden llegar a presentar la misma altura de planta sin importar las soluciones nutritivas que se aplicaron, es decir el té de humus de lombriz y la sustancia nutritiva (FAO).
- Por otra parte en el caso de la variable Biomasa total se concluye que las Gramíneas no presenta diferencias entre sí, pero si presentaron valores diferentes en el caso de las soluciones nutritivas, con valores de 5,45 Kg. en el caso de la sustancia nutritiva (FAO) y 4,45 Kg. Para el té de humus de lombriz respectivamente.
- Con respecto al efecto de la solución nutritiva podemos concluir que la variable Área Foliar, se concluye que las Gramíneas (Avena y Cebada), llegaron a presentar valores de 13,8 y 11,3 centímetros respectivamente.
- Con respecto al rendimiento podemos concluir que las gramíneas presentaron diferencias en el caso de la avena se obtuvo 4,9 Kg. En promedio y en caso de la cebada se logró obtener 2,6 Kg.
- Para el caso de la variable económica podemos concluir que el tratamiento 3 (Sustancias nutritivos + Avena), fue el que mayor rentabilidad, presentó mostrando un valor de 1,37 como valor de Beneficio / Costo lo que demuestra que por cada peso invertido ganaremos 37 centavos.

- En el presente estudio se concluye que el tratamiento “(Té de humus de lombriz + Cebada), es el que menos rentabilidad con un valor por debajo de la unidad por lo tanto se pierde inversión y no tiene ganancia.

8. Recomendaciones

De acuerdo a los resultados y conclusiones obtenidas, es posible sugerir las siguientes recomendaciones:

- Para tener una mayor rentabilidad en cuanto a la relación beneficio-costo, se recomienda que se construya el modulo hidropónico con material que se pueda reciclar, ya sea como madera, plásticos, bidones etc.
- Para darle un nuevo uso y no tener mayores gastos, también tener un proveedor de semilla confiable u obtenerlas de nuestra propia cosecha.
- Es que se debe tener muy en cuenta la ventilación del ambiente no solo para contralar la temperatura sino también como una manera de prevenir la presencia de patógenos.
- En cuanto al material biológico es necesario obtener semilla de muy buena calidad para de esta manera garantizar un buen rendimiento del cultivo lo que se verá reflejado en mayores ingresos.
- Es necesario hacer otros estudios en diferentes tipos de carpas puesto que es muy importante controlar los factores internos pero sin dejar de lado los factores externos que podrían afectar el normal desarrollo y crecimiento de nuestro cultivo.
- También se recomienda que si a un principio se puede utilizar material reciclable se recomienda también tecnificar con el paso del tiempo lo cual podría influir en los beneficios económicos del productor.

6. BIBLIOGRAFÍA

ALMAGUER L. JUAN, REYES L. VLADIMIR, REYES H. ALFREDO, VILLA P. ONIEL, 2012. "Evaluación del efecto del humus líquido obtenido por tres métodos, en condiciones de maceta y de campo, utilizando maíz (zea mays.l.) y remolacha azucarera (beta vulgaris, l) respectivamente" revista científica delos. desarrollo local sostenible vol 5, nº 15 universidad de sancti spiritus. p. 35.

CAMARGO, C.1991. Efecto de pre-tratamientos y distintas láminas de riego sobre la composición química del forraje hidropónico de avena y Producción de aflatoxinas. México D.F. Pp. 275.

CASTILLO, C. 2001. La Hidroponía como alternativa de producción vegetal. Maracaibo - Venezuela. Pág. 199. Disponible en: <http://www.virtual.chapingo.mx/dona/paginaIntAgronomia/hidroponia2.pdf>. Consultado el 27 de junio de 2014.

CARBALLO, C. 2004. Manual de procedimientos para la producción de Forraje Verde hidropónico. Sinaloa, México. Disponible en: <http://biotu.org/download/ecoaldea/agricultura-organica/Forraje%20Verde%20Hidroponico%20%28Eco-Agro%29.pdf>. Consultado el 12 de septiembre de 2016.

CARBALLIDO, C. 2005. Forraje Verde Hidropónico. Artículos Silvoagropecuarios: Forraje Verde hidropónico (en línea). Disponible en: www.ofertasagricolas.cl/articulos/print.php?id=88. Fecha de consulta 21 de marzo de 2012.

CABALLERO, W. 1998, Hidroponía un nuevo campo para la agricultura: Tercer curso-taller del Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral, Lima, Perú.

Corporación Regional de Desarrollo de La Paz, 2000. Variedades de Avena, Cebada y su utilización en la producción animal e industrial. Disponible en:

<http://www.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR25802.pdf>. Consultado el 2 de Noviembre de 2012.

FAO. 2001. Manual Técnico Forraje Verde Hidropónico. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago – Chile. Disponible en: www.rlc.fao.org/pubs. Consultado el 15 de Septiembre de 2014.

GALLARDO, G. 1997. Producción de forraje hidropónico de cebada en ambiente controlado con tres soluciones nutritivas en dos concentrados. Tesis, La Paz. Universidad Mayor de San Andrés. 48p.

GALLARDO, G. 2000. Producción de Forraje Verde Hidropónico. Manual N2º. Bogotá, Colombia.

GRUPO TÉCNICO DE BIOFÁBRICAS Y PLÁTANO. 2004. Humus líquido y tecnología de obtención y aplicación. Minagri. p.5.

HUTERWAL, G. 1979. Hidroponía cultivo de plantas sin tierra. Buenos Aires, Argentina. Edit. Albatros.

IZQUIERDO, Juan. 2001. Manual Técnico “Forraje Verde Hidropónico” de FAO para América Latina y el caribe. Ediciones FAO Santiago – Chile.

LABRADOR, M. J. 2001. La Materia Orgánica en los Agrosistemas. Ediciones Mundi-Prensa. Barcelona, ES. p. 68-70

MATILLA, A. 2003. Ecofisiología de la germinación de la semilla. En: M.J. Reigosa, N. Pedrol y A. Sánchez-Moreiras, eds. La Ecofisiología Vegetal. Una ciencia de síntesis. Paraninfo S. A., Madrid.

MATOS 1996. Producción ininterrumpida de forraje hidropónico. Copiado de la Materia de fisiología vegetal, facultad de agronomía UMSA. La Paz – Bolivia.

Orozco (s/f)" Bancos forrajeros P. 8 (en línea). Disponible en: www.ofertasagricolas.cl/articulos/print.php?id=88. Fecha de consulta 21 de marzo de 2012.

PAYE, V. 2005. Primer curso Práctico de Hidroponía, Centro Experimental de Cota Cota, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz

P.D.L.A. 2005. Producción de Forrajes Programa de Desarrollo Lechero del Altiplano. Editorial Grafica Offset "VELOZ" Oruro – Bolivia. Pp. 80 - 95

PAYE, V. 2005. Primer curso Práctico de Hidroponía, Centro Experimental de Cota Cota, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz.

PALOMINO, K. 2008. Producción de forraje hidropónico. Primera edición. Empresa editora Macro EIRL. Miraflores Perú. 59p

PARSONS, D. (1989), Manual de edición Agropecuaria en *triticales* Cebada avena, Segunda edición Editorial Trillas México p. 9-58. □ 90

QUINO, V. 1993. Evaluación Comparativa de las Gramíneas Cultivadas en la Alimentación de los Cuyes (Tesis Para Optar el Título de Técnico Superior). Universidad Católica Boliviana. Tiahuanaco – Bolivia.

ROMERO, O. y BERATTO, E. 2000. Variedades de Avena y su Utilización en Producción Animal e Industrial Temuco – Chile. Pp 23, 24.

RIVEROS, A. S. 2010. Inducción de Resistencia de las Plantas. Interacción. Planta– Patógeno. Universidad de Tolima Ibagué. San José C.R.

RALDE V. 2000. Producción de Avena Forrajera (*Avena sativa*) en Cultivo Hidropónico con Diferentes Densidades de Siembra y Frecuencias de Riego. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía, Tesis de Grado, La Paz – Bolivia. p: 79

SAMPEIRO, G 1997. Hidroponía básica. 1a ed. México, México. Edit. Diana.

WING JR, ROJAS BA (2006) Nitrógeno Orgánico y químico en sorgo negro con cobertura permanente de mani forrajero. II. Fraccionamiento de la proteína. Agron. Costarrica.

VARGAS R. 2008. Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. Agronomía mesoamericana. 233-240p.

ANEXOS



Figura8. Ubicación de las bandejas donde se desarrolló el estudio.

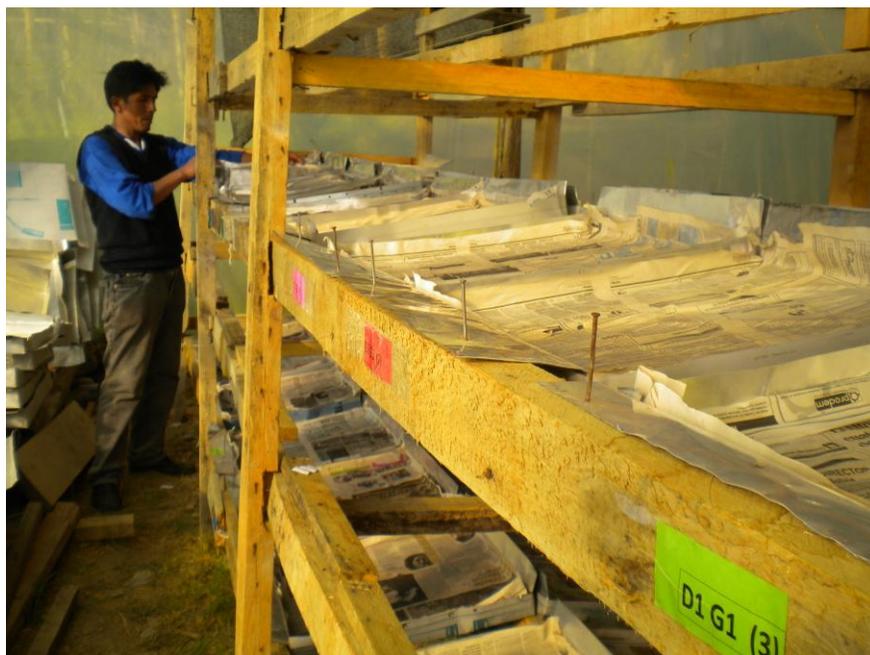


Figura 9. Distribución de los tratamientos dentro de la carpa solar.



Figura 10. Preparación de las semillas dentro de las bandejas.



Figura 11. Germinación de las plantas de cebada que fueron parte del estudio.



Figura 12. Pesado de la materia fresca después de la cosecha.



Figura 13. Cosecha del forraje hidropónico verde.