

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



**TESIS DE GRADO**

RENDIMIENTO DE CEBADA Y AVENA COMO FORRAJE VERDE  
HIDROPÓNICO EN RELACIÓN A LA DENSIDAD DE  
SIEMBRA EN CARPA SOLAR

AUGUSTO IVAN QUISPE HUAYLLAS

La Paz, Bolivia  
2013

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

RENDIMIENTO DE CEBADA Y AVENA COMO FORRAJE VERDE  
HIDROPÓNICO EN RELACIÓN A LA DENSIDAD DE  
SIEMBRA EN CARPA SOLAR

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

AUGUSTO IVAN QUISPE HUAYLLAS

**Asesores:**

Ing. Agr. M. Sc. Rubén Trigo Riveros .....

Ing. Agr. Willams Alex Murillo Oporto .....

**Tribunal Examinador:**

Ing. Agr. Ph. D. David Cruz Choque .....

Ing. Agr. Bernardo Ticona Contreras .....

Ing. Agr. Freddy Carlos Mena Herrera .....

**Aprobada**

Presidente Tribunal Examinador .....

**2013**

***Dedicatoria:***

*A mis amados padres que son mi tesoro más grande en la vida, Domitilo y Virginia a mis queridos hermanos que son en mí el compromiso ímpetu y la fortaleza de ser mejores cada día.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco:

A Dios, a mis padres Domitilo Quispe y Virginia Huayllas, por darme la vida, salud, bienestar y educación.

A mis hermanos: Gerardo, Freddy, Jaqueline e Iber.

A la Universidad Mayor de San Andrés y a la Facultad de Agronomía, por haberme formado.

A mis Asesores:

Ing. Willams Alex Murillo Oporto, por su apoyo, sus consejos y su atención.

Ing. Agr. M. Sc. Rubén Trigo Riveros, por su colaboración.

A mis Revisores

Ing. Agr. Ph. D. David Cruz Choque.

Ing. Agr. Freddy Carlos Mena Herrera.

Ing. Agr. Bernardo Ticóna Contreras.

A todos mis maestros por mi formación.

A mis compañeros, amigos y trabajadores de la Facultad de Agronomía.

## RESUMEN

La producción de forraje en el altiplano se ve limitado por la variación climática constante, es así que el presente estudio se orientado al rendimiento de forraje hidropónico como una alternativa para la alimentación de los animales en épocas críticas, que por trámites burocráticos, el alimento no está a 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 de tres densidades de siembra 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, lavada y puesta en remojo para su imbibición, posteriormente se realizó su siembra en bandejas de  $0,5 \text{ m}^2$ , 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 rego con agua potable 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 altamente significativa entre especies, donde la especie más precoz fue la cebada con una germinación dl 3<sup>er</sup> día, mientras que la avena tuvo una germinación al 5<sup>to</sup> día, en el caso de altura de planta de las dos especies forrajeras, se tuvo una deferencia entre bloques, con una altura 17,91 cm en la cebada y 18, 24 cm en la avena, también en el presente estudio se determinó un rendimiento de forraje hidropónico de cebada de  $17,1 \text{ Kg MV/m}^2$  y la avena con  $16,98 \text{ Kg MV/m}^2$ , en el caso del rendimiento del porcentaje de materia seca la cebada alcanzó un 18,2 % de MS y la avena de 15,8 % de MS, en cuanto al beneficio costo, los mejores resultados se obtuvieron con la densidad  $5 \text{ kg/m}^2$  en ambas especies forrajeras con 0,94 en la cebada y 0,95 en la avena lo cual indica que no se tuvo ganancias.

## 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 m<sup>2</sup>, 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<sup>er</sup> dl day while oats was the 5<sup>th</sup> 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/m<sup>2</sup> barley and oats with 16.98 Kg MV/m<sup>2</sup>, 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/m<sup>2</sup> 0.94 forage species in barley and oats 0.95 indicating that it did not profit.

## CONTENIDO GENERAL

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
RESUMEN.....	iv
CONTENIDO GENERAL.....	v
CONTENIDO DE CUADROS.....	vi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Justificación .....	2
Objetivo General. ....	3
Objetivos Específicos. ....	3
2. REVISION BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 Origen y Distribución.....	4
2.1.1 La Cebada ( <i>Hordeum vulgare</i> sp).....	4
2.1.2 Rendimiento en Materia Seca de la Cebada.....	5
2.2.3 Clasificación Taxonómica.....	5
2.1.4 Rendimiento en Materia Seca de la Avena.....	6
2.1.5 Densidades de Siembra.....	7
2.2 Características de las Variedades Empleadas.....	8
2.2.1 La Variedad Cebada IBTA 80.....	8
2.2.2 La Variedad Gaviota en Avena.....	8

2.3 Cultivos Hidropónicos.....	8
2.3.1 Forraje Verde Hidropónico.....	8
2.3.2 Diferencias Principales Entre Cultivo Hidropónico y en Tierra.....	9
2.3.3 Origen .....	9
2.3.4 Historia de la Hidroponía.....	10
2.3.5 Importancia de la Hidroponía.....	11
2.3.6 Importancia del Forraje Hidropónico.....	11
2.4 Ventajas del Forraje Verde Hidropónico.....	12
2.4.1 Ventajas Tradicionales.....	12
2.4.2 Desventajas del Forraje Verde Hidropónico.....	13
2.4.3 Desinformación y Sobre Valoración de la Tecnología.....	14
2.5 Factores que Influyen en la Producción.....	14
2.5.1 Dosis de Siembra.....	14
2.5.2 Calidad de la Semilla.....	15
2.5.3 Germinación.....	15
2.5.4 Respiración Celular.....	16
2.5.5 Sustancias de Reserva.....	16
2.5.6 Iluminación.....	17
2.5.7 Temperatura.....	18
2.5.8 Humedad del Ambiente.....	18
2.5.9 Calidad del Agua de Riego.....	19
2.5.10 Dureza del agua.....	20
2.5.11 Acidez.....	21
2.5.12 Conductividad Eléctrica.....	22
2.5.13 Dióxido de Carbono.....	23

2.6 Fotosíntesis.....	24
2.7 Las Bandejas de Cultivo.....	25
2.8 Estantería o Armazón.....	26
2.9 Sistema de Riego.....	26
2.10 Ambientes Controlados.....	27
2.11 Cultivo Protegido.....	28
3. MATERIALES Y METODOS.....	29
3.1. Localización.....	29
3.1.1 Ubicación Geográfica.....	29
3.1.2 Condiciones Edafoclimáticas.....	29
3.1.3 Pisos Ecológicos.....	30
3.1.4 Riesgos Climáticos.....	30
3.2 Materiales.....	30
3.2.1 Material de Campo.....	30
3.2.2 Material de Gabinete.....	31
3.2.3 Materia Biológico.....	31
3.3 Metodología.....	31
3.3.1 Adecuación de la Carpa Solar.....	31
3.3.2 Construcción del Módulo Hidropónico.....	32
3.3.3 Construcción de Bandejas.....	32
3.3.4 Prueba Preliminar.....	33
3.3.5 Procedimiento.....	33

3.4 Diseño experimental.....	34
3.4.1 modelo Aditivo Lineal.....	35
3.4.2 Tratamientos.....	35
3.4.3 Croquis del Experimento.....	36
3.4.4 Manejo Cultural.....	36
3.5 Parametros de Evaluacion.....	37
3.5.1 Características Agronómicas.....	37
3.5.1 Días a la Germinación.....	37
3.5.3 Altura de las Plantas Forrajeras de Cebada y Avena.....	37
3.5.2 Rendimiento de Forraje Verde Hidropónico.....	38
3.5.4 Porcentaje de Materia Seca.....	38
3.5.5 Costos de Producción. ....	38
3.5.6 Análisis Económico.....	39
4. RESULTADOS Y DISCUCIONES.....	41
4.1 Descripción de las Temperaturas Registradas Durante el Desarrollo del cultivo de cebada y avena como Forraje Hidropónico.....	41
4.2 Días a la Germinación de las Semillas de Cebada y Avena.....	42
4.3 Altura de Planta.....	45
4.4 Rendimiento de Forraje Hidropónico.....	49
4.5 Porcentaje de Materia Seca.....	54
4.6 Costos de Producción.....	58
5. CONCLUSIONES.....	60
6. RECOMENDACIONES.....	62
7. BIBLIOGRAFIA.....	63

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.	Factores de Estudio. ....	35
Cuadro 2.	Distribución de los Tratamientos. ....	36
Cuadro 3.	Análisis de Varianza para Días a la Germinación de la Cebada y Avena .....	42
Cuadro 4.	Duncan para Días a la Germinación del Factor A (Especies). ....	43
Cuadro 5.	Tabla de Duncan Días a la Germinación del factor B (Densidad de Siembra).....	44
Cuadro 6.	Análisis de Varianza para Altura de Planta. ....	45
Cuadro 7.	Duncan para la Altura de Planta del Factor A (Especies).....	46
Cuadro 8.	Tabla de Duncan para Altura de Planta del Factor B (Densidad de siembra).....	46
Cuadro 9.	Análisis de Varianza para Rendimiento.....	49
Cuadro 10.	Duncan para Rendimiento del Factor A (Especies).....	50
Cuadro 11.	Tabla de Duncan para Rendimiento del Factor B (Densidad de Siembra).....	50
Cuadro 12.	Análisis de Varianza para Porcentaje de Materia Seca. ....	54
Cuadro 13.	Duncan para Porcentaje de Materia Seca del Factor A (Especies).....	54
Cuadro 14.	Duncan para Porcentaje de Materia Seca del Factor B (Densidad de siembra) .....	55
Cuadro 15	Relación Beneficio Costo del Rendimiento de Forraje Hidropónico de cebada y avena por Tratamientos.....	58
Cuadro 16	Relación Beneficio Costo del Rendimiento de Forraje Hidropónico de cebada y avena por Tratamientos con semilla convencional.....	59



## 1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático en la actualidad es un fenómeno que genera un desorden climatológico mundial, que comienza a incidir en la fenología de los cultivos fundamentales de la seguridad alimentaria de cada país, ocasionando bajas o altas temperaturas, sequía, exceso de lluvia, fuera de su ciclo habitual, afectando a la vulnerabilidad socioeconómica.

La vulnerabilidad socioeconómica está asociada a la vulnerabilidad de los cultivos tanto en Bolivia como en otros países Sudamericanos, los ecosistemas son los encargados de sostener las actividades agrícolas, que se encuentran con mayores riesgos de ser deteriorados debido a los efectos del manejo inadecuado ocasionados por el cambio climático (Ferradas, 2006).

El aumento de la temperatura global con la correspondiente elevación de la concentración del CO<sub>2</sub> tendrá efectos sobre la fisiología de los cultivos, suprimiendo la foto respiración y en consecuencia incrementando la eficiencia hídrica y del proceso fotosintético, por un lado, y por otro, incrementando las incertidumbres sociales, migraciones e incluso el incremento en los precios de los productos agrícolas.

Hoy se sabe que es posible cultivar en climas adversos, en regiones donde si se puede cultivar dentro de invernaderos, carpas o módulos hidropónicos y que también es posible cultivar sin necesidad del suelo a través de la técnica de cultivo sin suelo más conocida como hidroponía. Pero el agua ha sido y se será siempre el factor limitante para la implementación de toda actividad de producción agrícola.

El FVH o "Green fodder hydroponics" es un pienso o forraje vivo, de alta digestibilidad, calidad nutricional y muy apto para la alimentación animal, también conocido por otros autores como órganopónico, consiste en la germinación de

granos 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.

Matos (1996) indica que el forraje verde hidropónico representa un excelente aditivo para la ración diaria de los diferentes animales, por cuanto mejora la salud de estos últimos aumentando la cantidad y la calidad de los productos derivados de los animales como carne, huevo, leche, etc.

### **1.1 Justificación**

En muchas ocasiones han ocurrido pérdidas importantes de ganado y de animales menores como consecuencia del déficit alimentario por falta de forraje, heno, ensilajes o granos para alimentación animal. Estos fenómenos climatológicos adversos, vienen afectando negativamente la producción o limitando el acceso al forraje producido en forma convencional para alimentación de los animales.

En el Centro Experimental de Cota Cota se tiene un gran problema, en la alimentación de los animales, ya que el elevado costo del alimento balanceado hace que los trámites para sacar dinero y comprar alimento demore más de lo normal y por este motivo en muchas ocasiones no está a su debido tiempo teniendo como consecuencia un bajo rendimiento en producción de los animales.

El presente estudio se realizó precisamente para mitigar la alimentación de los animales en épocas críticas, también complementar en la ración diaria de los animales y bajar moderadamente los gastos que realiza en el Centro Experimental de Cota Cota.

Por lo señalado anteriormente se ha planteado los siguientes objetivos:

**Objetivo General:**

- Evaluar el rendimiento de cebada y avena como forraje hidropónico en relación a la densidad de siembra en carpa solar.

**Objetivos Específicos:**

- Determinar los días a la germinación de las semillas de cebada y avena.
- Evaluar la altura de la planta de forraje verde hidropónico en cebada y avena.
- Determinar el rendimiento de forraje verde hidropónico de cebada y avena en carpa solar.
- Cuantificar el Porcentaje de materia seca de forraje hidropónico de cebada y avena en carpa solar.
- Evaluar el beneficio costo de producción de forraje verde hidropónico en carpa solar.

## 2. REVISION BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Origen y Distribución

#### 2.1.1 La Cebada (*Hordeum vulgare* sp.)

Álvarez (2007), 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.

## 2.1.2 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 es 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.

## 2.1.3 Clasificación Taxonómica

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

- **Familia** : Poaceae
- **Género** : Hordeum
- **Espécie** : 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
- **Espécie** : 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.

#### **2.1.4 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 en 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/m<sup>2</sup> 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.

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

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

### **2.1.5 Densidades de Siembra**

Juzti y Chacón (1979), indican 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 triticale 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.

## **2.2 Características de las Variedades Empleadas**

### **2.2.1 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.

### **2.2.2 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.

## **2.3 Cultivos Hidropónicos**

### **2.3.1 Forraje Verde Hidropónico**

Carbadillo (2006), refiere que el forraje verde hidropónico (FVH), es el proceso de germinación de granos de cereales y destinadas para alimentos de animales, es un sistema de producción de biomasa vegetal de alta sanidad y calidad nutricional producido en poco tiempo (20 cm de altura), captando energía del sol, la tecnología del FVH es complementaria y no competitiva a la producción convencional de forraje convencional.

Alonso (2000), menciona que la hidroponía es un sistema eficiente para producir verduras, frutas, flores, hierbas aromáticas y forrajes de excelente calidad con un ahorro de agua, produciéndolos en espacios reducidos sin alterar ni agredir el medio ambiente.

Foraquita (1997), menciona que los cultivos hidropónicos o “cultivos sin tierra” son técnicas que permiten, con menor trabajo físico, pequeños espacios y reducido consumo de agua, pero con mucha dedicación y constancia, producir en forma económica hortalizas frescas, plantas ornamentales, arbustos medicinales y forraje verde, aprovechando principalmente la luz solar.

### **2.3.2 Diferencias Principales entre Cultivo Hidropónico y en Tierra**

Foraquita (1997), indica que en un cultivo hidropónico no existe enfermedades, nematodos ni insectos, no hay rotación de cultivos, no se hacen deshierbes, el sustrato se puede usar varias veces, el consumo de fertilizantes es mínimo a diferencia de los cultivos en tierra.

### **2.3.3 Origen**

En el primer curso práctico de hidroponía (2005), indica que el cultivo de plantas sin tierra, se desarrolló a partir de los descubrimientos llevadas a cabo para determinar que sustancias hacen crecer a las plantas. El trabajo empezó en los años 1600, con los jardines colgantes de Babilonia, los jardines flotantes de los aztecas en México y los de la China Imperial.

Según Howard (1997), indica que existe jeroglíficos egipcios echados cientos de años antes de cristo que describen los cultivos en agua, también antes de la época de Aristóteles (372 a.C.), Teophrasto (287 a.C.), que llevaron a cabo ensayos en nutrición vegetal, y los estudio botánicos de Dioscórides datan del siglo uno a.C.

La cebada, es el más antiguo de los cereales, que tuvo su origen en Asia y su cultivo en la China se registra hacia el 2.800 a.C., donde se utilizaba como alimento humano y animal. Igualmente y con los mismos fines, se cultivaba en lugares como Palestina, Siria, Valle del Eufrates, Egipto, Irán y Este de Afganistán, se encontraron formas de cebada que fueron usadas por antiquísimos pobladores antes de que se conocieran las variedades cultivadas. (Huterwal, 1979).

#### **2.3.4 Historia de la Hidroponía**

Según Howard (1997), 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 realizó germinaciones con distintos tipos de agua y comparó 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).

### **2.3.5 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 mas bajo(Howard, 1997).

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.

### **2.3.6 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).

(Huterwal 1979), 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).

## **2.4 Ventajas del Forraje Verde Hidropónico**

### **2.4.1 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.

#### **2.4.2 Desventajas del Forraje Hidrópico**

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

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).

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

### **2.4.3 Desinformación y Sobre Valoración de la Tecnología.**

Proyectos de FVH son vendidos a productores sin conocer exactamente las exigencias del sistema, la especie forrajera y sus variedades, su comportamiento productivo, plagas, enfermedades, requerimientos de nutrientes y de agua, óptimas condiciones de luz, temperatura, humedad ambiental, y niveles óptimos de concentración de dióxido de carbono (FAO, 2001).

## **2.5 Factores que Influyen en la Producción**

### **2.5.1 Dosis de Siembra**

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

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

FAO (2001), indica que la densidad de siembra adecuada para tener un rendimiento óptimo de forraje hidropónico es de 5 kg de semilla por metro

cuadrado, con una temperatura que oscila entre 16 a 20 °C y una humedad relativa de 85 %.

### **2.5.2 Calidad de la Semilla**

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

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

### **2.5.3 Germinación**

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

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

La absorción de agua por remojo causa el hinchamiento y la ruptura de la cubierta protectora, luego inicia la germinación, cuando la semilla inicia la actividad

enzimática y el metabolismo respiratorio, Comenzando a asimilar sus reservas que le ayudarán a emerger el embrión y su crecimiento de un día a otro se observa la emergencia de la raíz y posteriormente el tallo.

#### **2.5.4 Respiración Celular**

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 hidrólisis del o almidón.

#### **2.5.5 Sustancias de Reserva**

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

**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.

**Lípidos.** La principal fuente de reserva de los lípidos de las semillas son los triglicéridos como las lipasas que rompen los enlaces ester y liberan glicerol, ácidos grasos que al oxidarse liberan CoA como producto final.

**Proteínas.** En los granos de cereales las proteínas de reserva están localizados en los gránulos de la aleurona, acumulados a su vez, en una capa de células que rodea el endospermo.

**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.

### **2.5.6 Iluminación**

Según Palomino (2008), que al comienzo del ciclo de producción de FVH, la presencia de luz durante la germinación de las semillas no es deseable por lo que, hasta el tercer o cuarto día de sembradas, las bandejas, deberán estar en un ambiente de luz muy tenue pero con oportuno riego para favorecer la aparición de los brotes y el posterior desarrollo de las raíces.

La radiación solar es importante para el crecimiento vegetal, a la vez que estimula la síntesis de compuestos (por ejemplo: Vitaminas), los cuales serán de vital importancia para la alimentación animal (Howard, 1997).

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

La radiación solar es básico en el crecimiento vegetal, promotora de la síntesis de 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).

### **2.5.7 Temperatura**

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

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

Martínez (2001), cita que la temperatura es una de las variables más importantes en la producción de FVH, el rango óptimo para producción de FVH se sitúa siempre entre los 18°C y 26 °C. Es así que los granos de avena, cebada, y trigo, entre otros, requieren de temperaturas bajas para germinar, el rango de ellos oscila entre los 18°C a 21°C.

### **2.5.8 Humedad en el Ambiente**

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

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

Gutiérrez et al., (2000), manifiestan que es de gran importancia que la humedad del ambiente sea superior al 80%, puesto que esta ejerce una influencia directa en el trabajo que desempeñan los estomas, en caso de no existir suficiente humedad en el ambiente, no sería posible la absorción de CO<sub>2</sub>, 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).

### **2.5.9 Calidad del Agua de Riego**

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

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

Howard (1997), indica que en la elaboración de soluciones se puede utilizar: el agua de pozo, agua potable, de lluvia y finalmente las destiladas, pero cuando se emplean aguas de ríos y arroyos se debe tener cuidado de que no contengan elementos perjudiciales (minerales pesados), plomo, boro, sodio y que su contenido de sales minerales no sea superior a los 200 ppm.

Según Palomino (2008), la procedencia del agua puede ser de pozo, lluvia, o agua corriente de cañerías. Si el uso de agua no es potable se tendrá problemas fitosanitarios, nutricionales en el forraje hidropónico.

Con el sistema hidropónico de producción de forrajes en base a cereales se han reportado ahorros entre 50% a 70% de agua en comparación a cultivos no hidropónicos, también una relación semilla/producción de 1 a 9 kg de forraje fresco (Aráno, 1998).

### 2.5.10 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.

<b>Dureza</b>	<b>Dureza Total mg/L</b>
- 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 desbalanceará. Otro problema adicional con el bicarbonato es que muestra un pH alcalino, y cuando se encuentra en la solución nutritiva el pH se incrementará por encima del rango recomendado (Ramos, 1999).

Ramos (1999), 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 óptimo 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).

Ramos (1999), 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*.

### **2.5.11 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. (Ramos, 1999).

Según Howard (1997), 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<sup>+</sup>, 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 o cinta de pH o un (pH metro) y calibrar en una solución buffer antes de utilizarlo.

### **2.5.12 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 conductímetro, su medida varía, pero las más usuales son: CE, FC, PPM (Hidrocultivo, 2009).

La conductividad eléctrica se expresa en mili ohm por centímetro ó mili Siemens/cm (mS/cm), FC no es una medida científica pero representa cero para agua pura y 100 para una solución saturada de sales su equivalencia con mili Siems es  $1\text{mS/cm} = 10\text{FC}$ , PPM significa partes por millón, es decir, por cada gramo de sales que hay 1000 litros de agua (Hidrocultivo, 2009).

### **2.5.13 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 (National Aeronautics and Space Administration, organización del gobierno de Estados Unidos), ha experimentado con singulares resultados positivos la práctica de suministro de  $\text{CO}_2$  a cultivos hidropónicos

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

Arano (1998), el anhídrido carbónico enriquece constantemente el ambiente interno con altos niveles, promoviendo una mayor foto asimilación celular y el aumento de la masa vegetal. A título informativo, la NASA ha experimentado con singulares resultados positivos la práctica de suministro de  $\text{CO}_2$  a cultivos hidropónicos obteniéndose un excelente aumento en la producción de biomasa vegetal.

## 2.6 Fotosíntesis

Según Howard (1997), 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 de carbono o anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ) 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 ( $\text{O}_2$ ) y compuestos altamente energéticos (ATP y NADPH).

Según Matos (1996), La fotosíntesis es un proceso por el que la energía del sol es 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.  $\text{ADP} + \text{fosfato} + \text{energía} \rightarrow \text{ATP}$ . (Stevenson, 1989)

Villee (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 adenosín-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.

## 2.7 Las Bandejas de Cultivo

Gutiérrez (2000), indican que los recipientes que se usan para colocar la semilla para el desarrollo del cultivo, puede ser de diferentes materiales, como asbesto – cemento, lámina galvanizada, fibra de vidrio y material plástico con marcos de madera, sus medidas varían de 40 a 60 cm de ancho y 80 a 120 cm de largo y una profundidad de 2 a 5 cm.

De acuerdo a Huterwal (1989), es conveniente utilizar como sustrato un elemento neutro de suficiente consistencia para que las plantas al desarrollarse puedan fijar sus raicillas sin desplazarse y sin emplear demasiado esfuerzo, el sustrato debe presentar una granulación muy fina que permita el anclaje del delicado sistema radicular de las plantas.

Marulanda (2003), señala que los sustratos deben tener gran resistencia al desgaste o a la meteorización y es preferible que no tengan sustancias minerales solubles para no alterar el equilibrio químico de la solución nutritiva, el material no debe ser portador de ninguna forma de vida disminuir el riesgo de propagar enfermedades o causar daño a las plantas.

El mencionado autor indica que es importante tomar en cuenta las características de un buen sustrato para el crecimiento óptimo de las plantas, las que se mencionan a continuación.

- Partículas que tengan un tamaño entre 0,5 a 7,0 mm
- Que retengan una gran cantidad de humedad, pero que además faciliten la salida de exceso de agua de riego o de lluvia.
- No retengan mucha humedad en la superficie.
- Que tengan preferentemente coloración oscura.
- No tengan elementos nutritivos.

## **2.8 Estantería o Armazón**

Gutiérrez (2000), indica que el comprende toda la estantería para soportar el peso de las bandejas que se va a cultivar, esta puede ser de madera, metal, PVC, su altura debe ser tal que ofrezca comodidad en las diferentes labores del cultivo, cada módulo debe tener pendientes longitudinales y transversales para permitir el drenaje del agua excedente en todos los sentidos.

Generalmente se construyen estanterías de 4 a 6 niveles, separados entre si por calles de 1 m. para facilitar las labores de siembra, cosecha y aseo, los niveles van separados entre si cada 50 cm y el primer nivel dista de 30 cm del suelo, cada nivel debe tener una pendiente del 10% para drenar el agua excedente de las bandejas (Gutiérrez, 2000).

Guerrero (2002), señala que la estructura donde crecen es simple, bandejas de plástico negro, que deben estar colocadas con una pequeña inclinación, para evitar que el agua se encharque y se formen hongos.

## **2.9 Sistema de Riego**

Sampeiro (1997), señala que existen varios sistemas para proporcionar a la planta la humedad y alimento que requiere para producir una producción óptima. En la técnica de cultivo hidropónico, describiremos las formas más fáciles, usuales y económicas de hacerlo. Sistemas más usuales son:

- Riego por aspersión superficial.
- Riego por goteo.
- Riego por sub-irrigación.
- Riego por capilaridad.

Este mismo autor nos indica que el riego por aspersión superficial es recomendable para instalaciones domésticas, o cuando no se dispone de bombas

eléctricas o de gasolina, y se prefiere de riego manual para irrigar, se puede utilizar una regadera manual o algún otro recipiente que la sustituya. En este sistema se puede o no reciclar la solución nutritiva.

El riego debe hacerse por la mañana, entre las 6 y las 10 a.m. o bien por la tarde, entre las 5 y las 7 p.m. Esto es porque si se riega el cultivo cuando la temperatura ambiente es muy elevada, se corre el riesgo de que las plantas se quemen, pues ya se sabe que cuando hace mucho calor, el proceso de evaporación es más violento (Sampeiro, 1997).

Sánchez (1982), indica que el riego de las bandejas de FVH debe realizarse solo a través de micro aspersores, nebulizadores, y hasta con una sencilla pulverizadora o “mochila” de mano. El riego por inundación no es recomendado dado que causa generalmente excesos de agua que estimulan la asfixia radicular, ataque de hongos y pudriciones que pueden causar inclusive la pérdida total del cultivo.

## **2.10 Ambientes Controlados**

Alpi (1987), define que el invernadero es una construcción de hierro u otro material cubierta por cristales, calaminas plásticas u agrofilm, provista por lo general de calefacción y que a veces está iluminado artificialmente, donde se pueden cultivar hortalizas tempranas, flores, forraje verde, en épocas en que la temperatura y la luz del lugar donde se está cultivando no sean suficientes para su crecimiento y su fructificación.

Según Gallardo (1997), el ambiente de producción para hidroponía propuesto a sido denominado ITAYAPU, que en el idioma Aymara significa “casa de siembra”, ambiente diseñado para un piso ecológico, como el altiplano que tiene una variación de temperaturas a lo largo del año, este ambiente no mantiene una temperatura casi estable que oscila entre los 16 a 18°C, en todo el año.

Villele (1983), mencionado por Castilla (2005) define que el invernadero es una construcción que permite la delimitación de un compartimento de cultivo, en el cual el clima difiere del existente al aire libre, por las modificaciones que provoca el material de cerramiento en los intercambios entre el suelo, el sustrato y la masa vegetal con el entorno.

Gallardo (1997), señala que el ambiente de producción para hidroponía UTAYAPU, que en el idioma Aymara significa “casa de siembra”, ambiente diseñado para un piso ecológico frío, como el altiplano Boliviano, dominado por asentamientos aymaras y quechuas, este UTAYAPU tiene una similitud de la construcción a la de una casa.

## **2.11 Cultivo Protegido**

Según Howard (1997), el cultivo protegido es un sistema de producción especializado en la producción intensiva de los cultivos, acelerando su ciclo natural dándole las condiciones adecuadas de suelo, humedad, temperatura, radiación solar, viento.

Castilla (2005), define que el cultivo protegido es un sistema agrícola especializado en el cual se lleva a cabo un cierto control del medio edafo-climático alterando sus condiciones (suelo, temperatura, radiación solar, viento, humedad y composición atmosférica).

Este mismo autor indica que Mediante estas técnicas de protección se cultivan plantas modificando su entorno natural, alterando su ciclo convencional, aumentando los rendimientos y mejorar su calidad, estabilizar las producciones y disponer de productos cuando la producción al aire libre se encuentra limitada.

### **3. MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1. Localización**

##### **3.1.1 Ubicación Geográfica**

El estudio del trabajo se llevó a cabo en el Centro Experimental Cota Cota, dependiente de la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés, esta se encuentra situada a 15 km al sureste del centro de la ciudad de La Paz en la zona de Cota Cota, Provincia Murillo del Departamento de La Paz, a 3445 m.s.n.m. (IGM, 2003).

Según el IGM (2003), el Centro Experimental de Cota Cota se encuentra situada geográficamente entre las coordenadas:

- **Meridiano:** 68° 03' 44" de longitud Oeste.
- **Paralelos:** 16° 32' 04" de latitud Sur.

##### **3.1.2 Condiciones Edafoclimáticas**

El Centro Experimental de Cota Cota ubicado a 15 kilómetros del centro de la ciudad de La Paz, presenta un clima templado, con una precipitación anual promedio de 488,53 mm y tiene un promedio de humedad relativa de 46% (SENAMHI, 2008).

Entre las temperaturas registradas a campo abierto en el Centro Experimental de Cota Cota, se tiene una temperatura máxima promedio de 21.5°C, una media de 11.5°C y una mínima de - 6°C, (SENAMHI, 2008).

### **3.1.3 Pisos Ecológicos**

Según el mapa ecológico de Bolivia, el Centro Experimental de Cota Cota dependiente de la Facultad de Agronomía de la UMSA, se encuentra en la región subtropical, piso cabecera de valle, que cuenta con especies arbóreas como el molle, eucalipto, pino, acacia, álamo, olmo, entre los arbustos se tiene a la chilca entre otros.

La producción agrícola se realiza a campo abierto, mediante la rotación de cultivos, con una producción de maíz, papa, haba, arveja, cebolla, betarraga, nabo, coliflor, amaranto, también se tiene una producción en carpas solares como ser: lechuga, tomate, pepino, frutilla, acelga, pimentón.

### **3.1.4 Riesgos Climáticos**

Los principales problemas físicos que afectan al centro de producción intensiva de Cota Cota dependiente de la facultad de agronomía de la UMSA, son a consecuencia del rigor del clima que se manifiesta con la presencia de: heladas, granizos y sequías.

## **3.2 Materiales**

### **3.2.1 Material de Campo**

- 1 Cámara fotográfica digital
- 1 Flexómetro de 5m
- 1 Alicata
- 1 Martillo
- 1 Alambre de amarre
- 1 Pala
- 1 Picota
- 1 SERRUCHO

- 2 Kg Clavos de 4"
- 2 Kg Clavos de 1"
- 1 Nivel de hilo
- 1 Vigas
- 1 Listones
- 100 m<sup>2</sup> de Agrofilm de 2,5 micras
- 2 m<sup>3</sup> de Cascajo

### **3.2.2 Materiales de Gabinete**

- Planilla de evaluación
- Material de escritorio
- Calculadora
- Computadora
- Impresora

### **3.2.3 Material Biológico**

- 60 kg de Semilla de cebada variedad IBTA 80
- 60 kg de Semilla de avena, variedad Gaviota

## **3.3 Metodología**

### **3.3.1 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. Este módulo tiene una superficie de 72 m<sup>2</sup>, 12 m de largo y 6 m de ancho, este módulo tiene un armazón de madera y una cubierta de agrofilm de 2,5 micras de espesor.

### **3.3.2 Construcción del Módulo Hidropónico**

El módulo se construyó con durmientes de madera reciclada, estos durmientes fueron cortados con una sierra de carpintero eléctrica, volviéndolos en vigas, listones de 12 cm de altura y 76 cm de nacho, 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 será para dieciséis bandejas, La unión del armazón se lo realizo 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 hecho 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 realizo en los cuatro niveles del armazón.

### **3.3.3 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 sierra 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 cm de largo, las bandejas son de 0,5 metros cuadrados o sea de (1x 0,5 m).

El armado de las bandejas se lo realizó con la unión con carpicóla 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.

### **3.3.4 Prueba preliminar**

Se sembró diez bandejas experimentales previas al trabajo de Investigación con el fin de evaluar el módulo hidropónico

### **3.3.5 Procedimiento**

- Se realizó la prueba de viabilidad con las semillas.
- La semilla se desinfectó con una solución de hipoclorito de sodio al 1%, (10 ml de hipoclorito de sodio en 1 litro de agua) mojando bien la semilla con la solución por un minuto, para luego enjuagarla inmediatamente con agua.
- Posteriormente se remojaron las semillas con agua limpia en baldes de 20 litro por un lapso de 12 horas, luego se hizo el escurrimiento para que las semillas respiren por un lapso de una hora, luego se sumergieron nuevamente por 12 horas.
- Antes de la siembra se desinfectaron con esponja las bandejas de producción con solución de hipoclorito de sodio al 10% (100 ml de hipoclorito de sodio en 1 litro de agua).

- Una vez que se lavó las semillas se lo colocó en doble bolsa de polietileno negra de 40 x 30 cm con unos pequeños orificios en la parte inferior para evitar el agua excedente, la germinación de las semillas en las bolsas se dio en tres días en la cebada y cinco días en la avena.
- Se empezó a registrar los datos de temperatura en el módulo hidropónico.
- Una vez germinadas las semillas de cebada, se sembró 1,5, 2 y 2.5 kilos de semilla por bandeja distribuyéndolo de forma uniforme en las bandejas de 0.5 m<sup>2</sup>.
- Una vez que germinaron las semillas (3<sup>er</sup> día después de la siembra en la cebada y 5<sup>to</sup> día en la avena), luego se sembró en las bandejas 3, 4 y 5 Kg m<sup>2</sup> de semilla, posteriormente se empezó a regar con la pistola de agua en forma nebulizada cuatro veces al día, la primera a las 8 am, la segunda a las 11 am, la tercera a las 2 pm y la última a las 6 pm.
- El registro de los datos como la temperatura y la altura de planta, se las realizo todos los días hasta el día de la cosecha.
- En el día 18 después de la siembra de cebada y 20 en la avena se procedió a la cosecha del forraje, determinando el rendimiento de materia verde por tratamiento.

### **3.4 Diseño Experimental**

Según Guzmán (2006), se procedió a evaluar el presente trabajo con un arreglo Bifactorial combinatorio, llevado a cabo en un diseño de bloques al azar por existir condiciones homogéneas dentro la carpa solar, el mismo que consto de dos especies forrajeras y tres densidades de siembra con cuatro repeticiones, haciendo un total de 24 unidades experimentales.

### 3.4.1 Modelo Aditivo Lineal

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_k + \alpha_i + \gamma_j + (\alpha\gamma)_{ij} + \varepsilon_{k(ij)}$$

Dónde:

$Y_{ijk}$  = Unidad experimental que recibe la i-ésima especie y se encuentra en el j-ésimo bloque

$\mu$  = Media general del experimento

$\beta_k$  = Efecto del k – ésimo bloque

$\alpha_i$  = Efecto de la i – ésima especie

$\gamma_j$  = Efecto de la j – ésima densidad de siembra

$(\alpha\gamma)_{ij}$  = Interacción de la i – ésima especie con la j- ésima densidad de siembra

$\varepsilon_{ij}$  = Error experimental

### 3.4.2 Tratamientos

**Cuadro 1. Factores de Estudio**

<b>Factor A</b> <b>Especies Forrajeras</b>	<b>Factor B</b> <b>Densidades de Siembra de FVH</b>
<b>a1 = Cebada</b>	<b>b1 = 1.5 Kg</b>
<b>a2 = Avena</b>	<b>b2 = 2 Kg      Testigo</b>
	<b>b3 = 2.5 Kg</b>

### 3.4.3 Croquis del Experimento

**Cuadro 2. Distribución de los Tratamientos de FVH**

	<b>Tratamientos y Repeticiones</b>					
<b>Bloques</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>I</b>	a1b1	a2b3	a1b2	a1b3	a2b1	a2b2
<b>II</b>	a2b3	a1c1	a2b2	a1b1	a2b1	a1b2
<b>III</b>	a1b1	a2b3	a2b2	a1b3	a2b1	a2b2
<b>IV</b>	a2b2	a1b3	a2b1	a1b1	a2b3	a1b2

### 3.4.4 Manejo Cultural

El primer manejo cultural que se realizó dentro de la carpa solar para el presente trabajo en estudio, fue el colocado de dos cobertores de agrofilm en forma de techo, los cobertores tenían una medición de 6 x 6 metros, se colocaron por encima del módulo hidropónico, para bajar la temperatura existente dentro de la carpa solar de 48°C a 40°C, como el pico más elevado.

Los cobertores ayudaron para bajar las pérdidas de las semillas por cocción, esto porque en el tercer y cuarto bloque que estaban a 1,20 y 1,60 metros sobre el suelo, estos dos últimos bloques tuvieron un mayor impacto, por la cercanía a los cobertores de agrofilm, donde la deshidratación de las semillas fue un poco más rápido que el primer y segundo bloque.

El riego de las semillas en las bandejas se lo realizó en forma de regadera seis veces los primeros cinco días cada dos horas de 8 a.m. a 6 p.m. con una cantidad de 250 c<sup>3</sup> por bandeja en cada aplicación de riego, esto para mantenerlas húmedas e hidratadas a las semillas y no tener pérdidas por desecamiento.

El riego también se lo realizó en forma nebulizada para enfriar y mantener la humedad relativa del ambiente en la carpa solar y así tratar de tener una temperatura no muy elevada, conjuntamente la ventilación de las cuatro ventanas y la puerta más el riego nebulizado en el ambiente ayudaron a mantener una temperatura entre 28 y 35 °C en una gran parte del presente trabajo en estudio.

### **3.5 Parámetros de Evaluación**

#### **3.5.1 Características Agronómicas**

#### **3.5.2 Días a la Germinación**

La germinación de las semillas para cebada se obtuvo en un lapso de 3 y 5 días en la avena con un total de 80 % de semillas germinadas en bolsas de polietileno negro para simular el fototropismo negativo de las semillas, las bolsas presentaban pequeños orificios en la parte inferior para drenar del agua excedente.

#### **3.5.3 Altura de las Plantas Forrajeras de Cebada y Avena**

Para la medición de la altura de la planta primero se hizo la elección de las nueve muestras por bandeja esta elección de las plantas se lo realizó al azar, una vez elegidas, se demarcó las muestras con hilos de colores para diferenciarlas unas de otras y para facilitar la toma de datos, las mediciones se realizaron todos los días de 8 a 11 a.m.

La altura de la planta fue medida con una regla plástica de 30 cm, la medición se lo realizó desde el cuello hasta el ápice de la planta, esta medición se tomó cuando la planta empezó su crecimiento con la brotación de las primeras hojas, hasta llegar a su mayor tamaño a la cosecha.

### **3.5.2 Rendimiento de Forraje Verde Hidropónico**

El rendimiento de forraje verde hidropónico se obtuvo con la cosecha de las dos forrajeras a los 18 días en la cebada y 20 días en la avena, una vez cosechado se pesó el forraje verde de cada bandeja con una balanza electrónica, luego se lo resto el peso de la bandeja vacía para sacar el peso fresco del forraje hidropónico.

El rendimiento que se obtuvo fue con un promedio de cinco veces el aumento de peso de las semillas, el rendimiento de FVH se dio con la cosecha de las forrajeras a los 18 días en la cebada y 20 días en la avena, una vez cosechados se llevó las bandejas con el forraje a la balanza para pesarlos, luego se lo resto el peso de la bandeja para sacar el rendimiento del forraje.

### **3.5.4 Porcentaje de Materia Seca**

Para conocer el porcentaje de materia seca de cada uno de los tratamientos, se recolecto 250 gramos de forraje verde por cada unidad experimental, luego se llevaron estas muestras en bolsas de polietileno herméticamente cerradas al laboratorio, donde fueron sometidas a un secado por 48 horas a 105 °C en un horno, pesando las muestras antes y después del secado, por el método gravimétrico.

El porcentaje de materia seca se calculó mediante la siguiente formula (Cañas y Aguilar, 2002)

$$\% MS = \frac{\text{Peso Seco (g)}}{\text{Peso Húmedo (g)}} \times 100$$

### **3.5.5 Costos de Producción**

El análisis de costos de producción de FVH, que se presenta por su importancia en una sección específica del manual, revela que considerando los

riesgos de sequías, otros fenómenos climáticos adversos, las pérdidas de animales y los costos unitarios del insumo básico (semilla) el FVH es una alternativa económicamente viable que debe ser considerada por los productores.

En el desglose de los costos se aprecia la gran ventaja que tiene este sistema de producción por su significativo bajo nivel de Costos Fijos en relación a las formas convencionales de producción de forrajes. Al no requerir de maquinaria agrícola para su siembra y cosecha, el descenso de la inversión resulta evidente (FAO, 2001).

Investigaciones recientes sostienen que la rentabilidad de la producción del FVH es lo suficientemente aceptable como para mejorar las condiciones de calidad de vida del productor con su familia, favoreciendo de este modo su desarrollo e inserción social con la producción de conejos alimentados con FVH integrada a horticultura intensiva (Sánchez, 2004).

### **3.5.6 Análisis Económico**

El análisis de la relación beneficio costo del cultivo de forraje verde hidropónico se ha realiza en base a los cálculos de producción y beneficio, teniendo en cuenta los costos parciales de producción, beneficios brutos y netos, sugeridos por Perrin (1988), que propone una metodología sobre el presupuesto parcial, como herramienta útil para determinar las implicaciones económicas y bajo condiciones de manejo agro ecológico utilizando las siguientes fórmulas (Castro, 2007).

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

**Dónde:**

**R** =Rendimiento

**P**= Precio del producto

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

**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 perdidas

B / C = Menor a 1 no es rentable

La relación Beneficio costo **B/C= BB/C**

Dónde:

**BB=** es el beneficio bruto, resultado de la multiplicación del rendimiento ajustado con el precio del producto.

**BN=** Es el beneficio neto, que resulta entre la diferencia entre el beneficio bruto y el costo variable de producción.

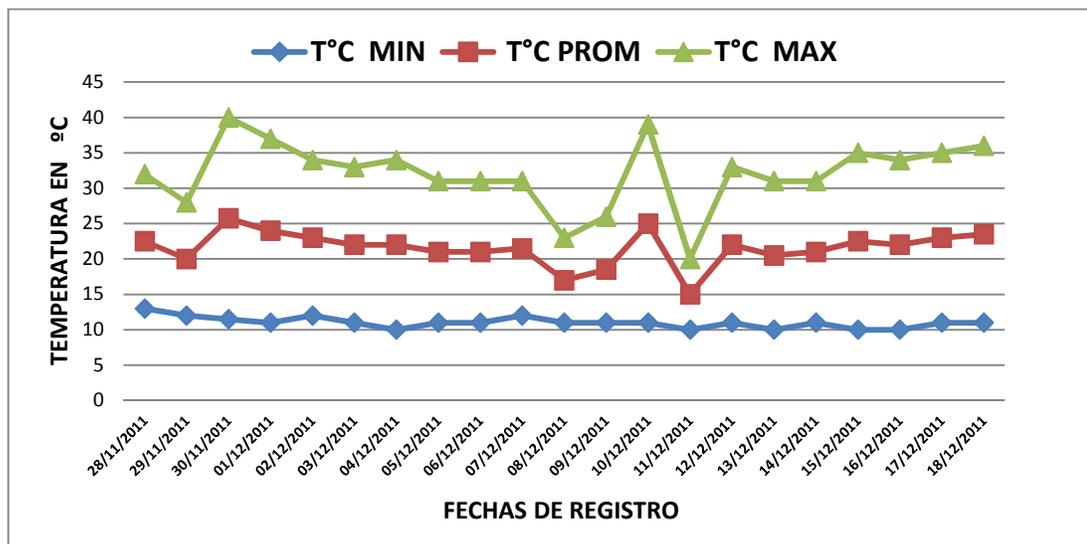
Cuando la relación B/C es menor a 1, significa que no existen beneficios, por lo tanto el ensayo de cultivar forraje verde hidropónico en bandejas en un módulo hidropónico no es rentable; si la relación B/C es igual a 1, los beneficios logrados solo compensan los costos de producción, por tanto, tampoco es rentable, y cuando la relación B/C es mayor a 1, los beneficios son mayores que los costos parciales de producción, por lo tanto el ensayo, es rentable (Mokate, 1998).

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos y con el objeto de mostrar el rendimiento en relación a su densidad de siembra de Cebada y Avena bajo sistema hidropónico, se abordaron primero los factores que influyen en la producción, para luego determinar el rendimiento por superficie, y cuantificar los costos de producción.

### 4.1 Descripción de las Temperaturas Registradas Durante el Desarrollo del cultivo de cebada y avena como Forraje Hidropónico.

Las variaciones de temperaturas máximas y mínimas en el interior de la carpa solar, se obtuvieron con el uso de un termómetro analógico ubicado a 1,4 m sobre el nivel del suelo, realizando un registro diario de las temperaturas que inició el 28 de noviembre hasta el 18 de diciembre, durante los 21 días se observó las variaciones térmicas dentro de la carpa solar.



**Fig. 1. Temperaturas Máximas y Mínimas Registradas en la Carpa Solar Durante el Periodo de Estudio.**

En la carpa solar se registró una temperatura promedio de 21.5 °C, con una máxima extrema de 40 °C y una mínima de 10 °C, según 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.

#### 4.2 Días a la Germinación de las Semillas

**Cuadro 3. Análisis de varianza para días a la germinación de la cebada y avena.**

Fuentes de Variación	G. L.	S. C.	C.M.	F. CAL	PR > F
<b>BLOQUE</b>	3	1,16	0,05	0,21	0,88 NS
<b>ESPECIE</b>	1	20,16	20,16	78,91	0,000 **
<b>DENSIDAD</b>	2	0,25	0,12	0,48	0,627 NS
<b>INTERACCION</b>	2	0,08	0,04	0,16	0,851 NS
<b>ERROR</b>	15	3,83	0,25		
<b>TOTAL</b>	23	24,50			

\*, \*\* Significativo al nivel de 0,05 y 0,01, respectivamente.  
C.V. 13,87 %

Según los resultados obtenidos del análisis de varianza (Cuadro 3) muestra la existencia de una alta significancia entre Especies al 5%; y en el factor "B" (Densidad) 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 13,87 % lo que nos indica que los datos son confiables.

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

**Cuadro 4. Prueba de Duncan para días a la germinación de la cebada y avena. Factor A (Especies)**

<b>Factor A ( Especies )</b>	<b>Promedios en Días</b>	<b>Duncan 5%</b>
Cebada	2,83	a
Avena	4,67	b

En el Cuadro 4 se observa la prueba de Duncan al 5% para la variable días a la germinación, en función del factor “A” (Especies) la cual muestra diferencias significativas entre las dos especies es decir se obtuvieron valores diferentes entre la avena y la cebada con 2,83 y 4,67 días respectivamente.

Los resultados encontrados en este estudio indican que las semillas de cebada presentan la mayor germinación a los 3 días y la avena a los 5 días, esto se debe a que la cebada y avena son diferentes especies, estos resultados obtenidos en el presente estudio son mayores en días de germinación a los reportados por Gonzales y Mendoza (1994), donde obtuvieron que la germinación de la cebada se produjo en 2 y 4 días en la avena con una temperatura de 20 °C. en condiciones de laboratorio.

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

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.

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

Romero (2009), indica para que la 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.

**Cuadro 5. Prueba de Duncan para días a la germinación del factor B (Densidad de siembra)**

<b>Factor B ( Densidad )</b>	<b>Promedios en Días</b>	<b>Duncan 5%</b>
2,5 kg	3,87	A
2 kg	3,87	A
1,5 kg	3,12	A

En el Cuadro 5 se observa la prueba de Duncan para la variable Días a la germinación al 5 % en función del factor B (densidad de siembra) la cual no muestra diferencias significativas entre las tres densidades, donde la densidad 3 kg/m<sup>2</sup> germinó en un periodo más corto con 3,12 días, la densidad 4 kg/m<sup>2</sup> (T<sub>0</sub>) y la densidad 5 kg/m<sup>2</sup> son los que obtuvieron valores similares de 3,87 días.

### 4.3 Altura de Planta

**Cuadro 6. Análisis de Varianza para Altura de Planta**

Fuentes de Variación	G.L.	S.C.	C.M.	F. CAL	PR > F
<b>BLOQUE</b>	3	8,23	2,7	19,59	0,0001 **
<b>ESPECIE</b>	1	0,48	0,48	3,44	0,0835 NS
<b>DENSIDAD</b>	2	1,24	0,62	4,45	0,0304 *
<b>INTERACCION</b>	2	0,02	0,01	0,06	0,9453 NS
<b>ERROR</b>	15	2,1	0,14		
<b>TOTAL</b>	23	12,08			

\*, \*\* Significativo al nivel de 0,05 y 0,01, respectivamente.  
C.V. = 8.2 % \* Significativo

Según los resultados obtenidos del análisis de varianza (Cuadro 6), se muestra la existencia de una alta significancia entre Bloques al 5% y el factor “B” Densidad; por el contrario el Factor “A” (Especies) 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 8,2 % los que indica que los datos son confiables.

Las diferencias altamente significativas entre bloques se debió a que hubo un efecto a causa de la radiación solar, con el aumento de la temperatura, la cual incidió en la humedad de las semillas con menor densidad de siembra, también influyo en la cantidad de veces al regar el módulo hidropónico y mantener una temperatura adecuada para el cultivo.

**Cuadro 7. Prueba de Media por Duncan para la Altura de Planta del Factor A (Especies)**

Factor A ( Especies )	Promedios de altura	Duncan 5%
Cebada	17,91	A
Avena	18,24	A

En el Cuadro 7 se observa la prueba de Duncan al 5% para la variable altura de planta en función del Factor “A” (Especies) la cual no muestra diferencias significativas entre las dos especies es decir se obtuvieron valores similares entre la avena y la cebada con 18,24 y 17,91 cm respectivamente.

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 17,7 cm 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.

**Cuadro 8. Prueba de Media de Duncan para Altura de Planta del factor B (Densidad de siembra)**

<b>Factor B (Densidad)</b>	<b>Promedios Altura</b>	<b>Duncan 5%</b>
4 kg/m <sup>2</sup> = T <sub>0</sub>	18,71	a
5 kg/m <sup>2</sup>	18,00	b
3 kg/m <sup>2</sup>	17,87	b

En el Cuadro 8 se observa la prueba de Duncan al 5% para la variable altura de planta. En función del Factor “B” Densidad de siembra la cual muestra diferencias significativas entre las tres densidades, donde la densidad 4 kg/m<sup>2</sup> fue la que obtuvo valores mayores con 18,71 cm, seguida por la densidad 5 kg/m<sup>2</sup> con 18,00 cm y la densidad que obtuvo menores valores fue la densidad 3 kg/m<sup>2</sup> con 17,87 cm.

Las diferencias de altura de planta que existe entre la densidad 4 kg/m<sup>2</sup> (T<sub>0</sub>) en relación a las densidades de 3 kg/m<sup>2</sup> y 5 kg/m<sup>2</sup> en cebada y avena, se debe al efecto competitivo entre plántulas por la luz difusa que existió en el módulo hidropónico, esto hizo que se desarrolle las plántulas que tuvieron la densidad adecuada de 4 kg/m<sup>2</sup>, y no así la densidad 3 kg/m<sup>2</sup> que no conservo mejor la humedad y tuvo un crecimiento menor; mientras que la densidad 5 kg/m<sup>2</sup> conservo mejor la humedad, pero hubo mayor competencia por la luz difusa por el número de plántulas, llegando a tener un crecimiento intermedio.

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 CO<sub>2</sub>, 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.

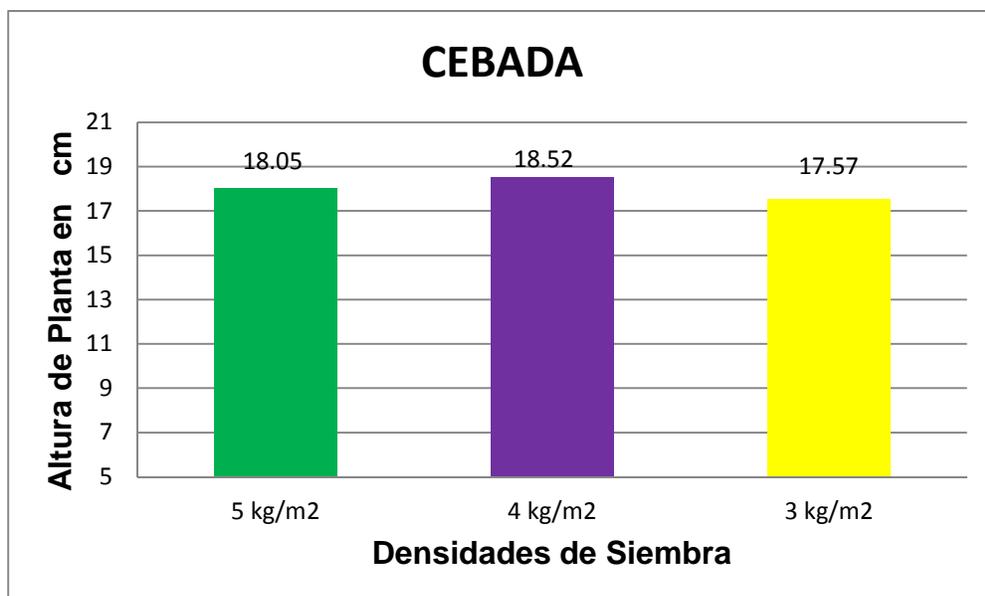
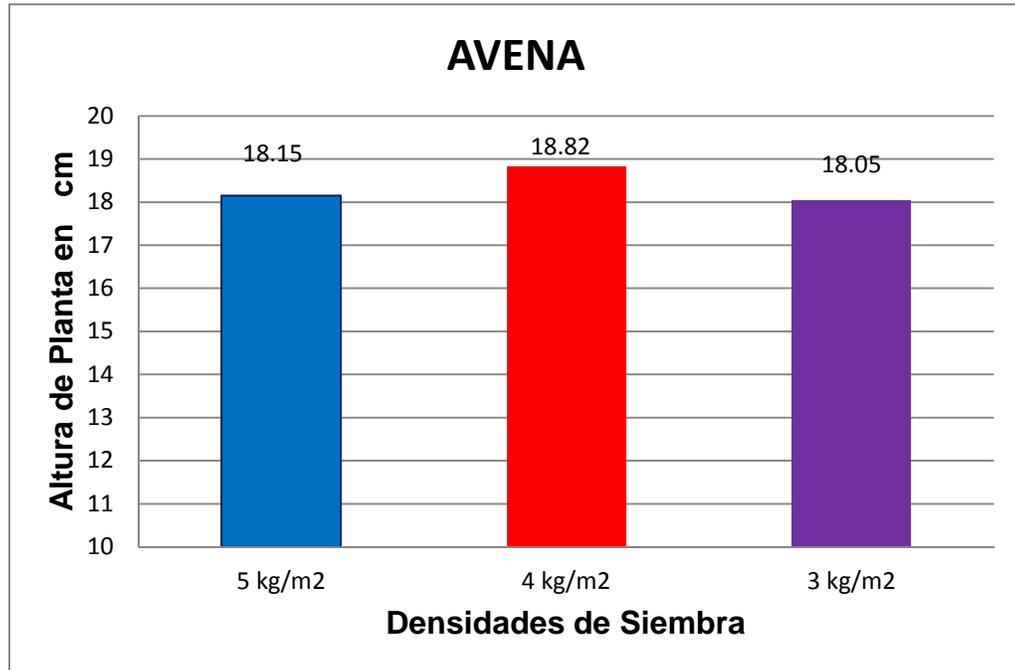


Fig. 1. Altura de planta entre densidades de siembra



**Fig. 2. Altura de planta entre densidades de siembra**



**Fig. 3. Curva de crecimiento del forraje hidropónico de cebada y avena durante el desarrollo del cultivo.**

El crecimiento en altura de planta durante el periodo de evaluación mostro una curva de crecimiento similar para ambas especies forrajeras, desde la germinación hasta la cosecha del forraje; sin embargo la cebada tuvo una germinación mas precoz, con 2 días de diferencia respecto a la avena, como se observa en la figura 3

#### 4.4 Rendimiento de Forraje Hidropónico

**Cuadro 9. Análisis de Varianza para Rendimiento**

Fuentes de Variación	G. L.	S. C.	C.M.	F. CAL	PR > F
<b>BLOQUE</b>	3	8,04	2,68	38,25	0,0001 **
<b>ESPECIE</b>	1	0,02	0,02	0,29	0,5973 NS
<b>DENSIDAD</b>	2	156,54	78,27	1116,84	0,0001 **
<b>INTERACCION</b>	2	0,30	0,15	2,16	0,1494 NS
<b>ERROR</b>	15	1,05	0,07		
<b>TOTAL</b>	23	165,95			

\*, \*\* Significativo al nivel de 0,05 y 0,01, respectivamente.  
C.V. = 9,5 %

Los resultados del análisis de varianza (Cuadro 9) muestra la existencia de una alta significancia al 5 % para la variable rendimiento en bloques, y el factor B (densidad de siembra), por el contrario el Factor "A" (especies), interacción de los factores fueron no significativa ya que no existe una dependencia de los factores para esta variable, Por otra parte el coeficiente de Variación fue de 9,5 % esto indica que los datos son confiables.

Las diferencias altamente significativas que existe en los Bloques es porque hubo un efecto de la temperatura en la parte superior de los bloques del módulo hidropónico, donde se tuvo pérdidas de humedad en las semillas por las elevadas temperaturas como consecuencia de radiación solar que ingreso a la carpa solar.

**Cuadro 10. Duncan para Rendimiento del Factor A (Especies)**

<b>Factor A ( Especies )</b>	<b>Promedios en kg/m<sup>2</sup></b>	<b>Duncan 5%</b>
cebada	17,1	a
Avena	16,98	a

En el Cuadro 10 se observa la prueba de Duncan al 5% para la variable rendimiento, en función del factor “A” Especies la cual no muestra diferencias significativas entre las dos especies es decir se obtuvieron valores similares. Los resultados obtenidos en el rendimiento promedio de cebada fue de 17,1 y la avena 16,98 kg/m<sup>2</sup>, esto se debe a que el periodo de producción de ambas especies forrajeras es muy corto.

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/ m<sup>2</sup> a los 15 días, estos resultados son similares a los obtenidos en el presente estudio con 17,1 kg/m<sup>2</sup>.

**Cuadro 11. Tabla de Duncan para rendimiento del factor B (Densidad de siembra)**

<b>Factor B (Densidad )</b>	<b>Promedios en kg/m<sup>2</sup></b>	<b>Duncan 5%</b>
5 kg/m <sup>2</sup>	23,62	a
4 kg/m <sup>2</sup>	16,32	b
3 kg/m <sup>2</sup>	11,2	c

En el Cuadro 11 se observa, la prueba de Duncan para la variable rendimiento al 5% en función del factor B densidad de siembra, la cual muestra diferencias altamente significativas entre las tres densidades, donde la densidad de 5 kg/m<sup>2</sup> es la que obtuvo valores mayores con 23,62 kg/m<sup>2</sup>, seguido de la

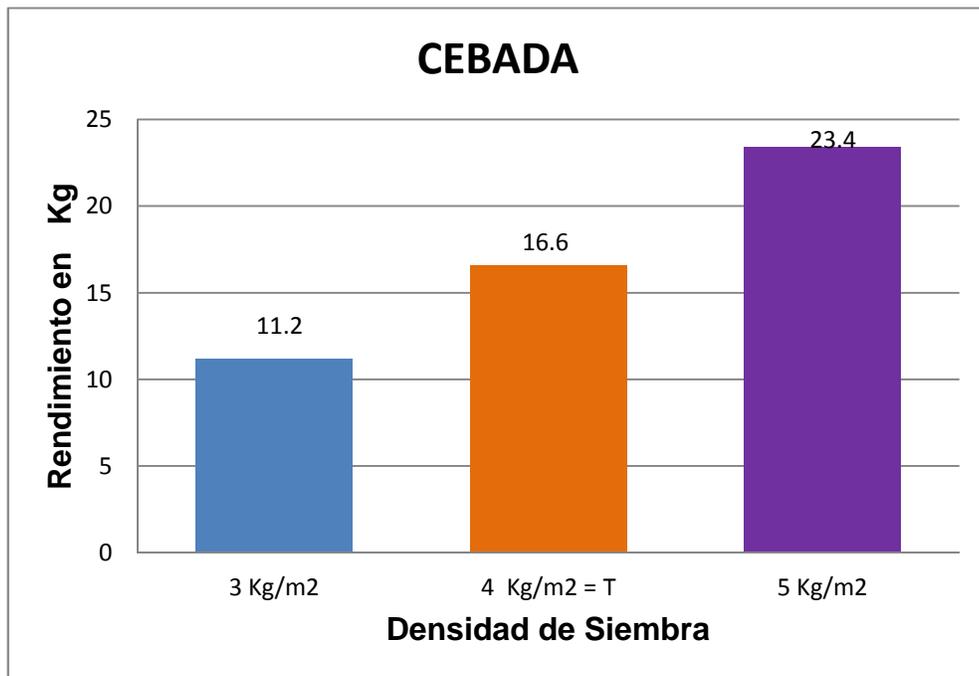
densidad de 4 kg/m<sup>2</sup> con 16,32 kg/m<sup>2</sup> y la densidad que obtuvo los valores más bajos fue la densidad de 3 kg/m<sup>2</sup> con 11.2 kg/m<sup>2</sup>.

Estos valores indican que por cada kilogramo de semilla, alcanza un rendimiento de 4,82 kg/m<sup>2</sup> con la densidad de 5 kg/m<sup>2</sup>, la segunda densidad de 4 kg/m<sup>2</sup> tuvo un rendimiento de 4,22 kg/m<sup>2</sup> por cada kilogramo de semilla, y con el menor rendimiento promedio esta la densidad de 3 kg/m<sup>2</sup> que alcanzo un rendimiento promedio de 3,8 kg/m<sup>2</sup> por cada kilogramo de semilla sembrada.

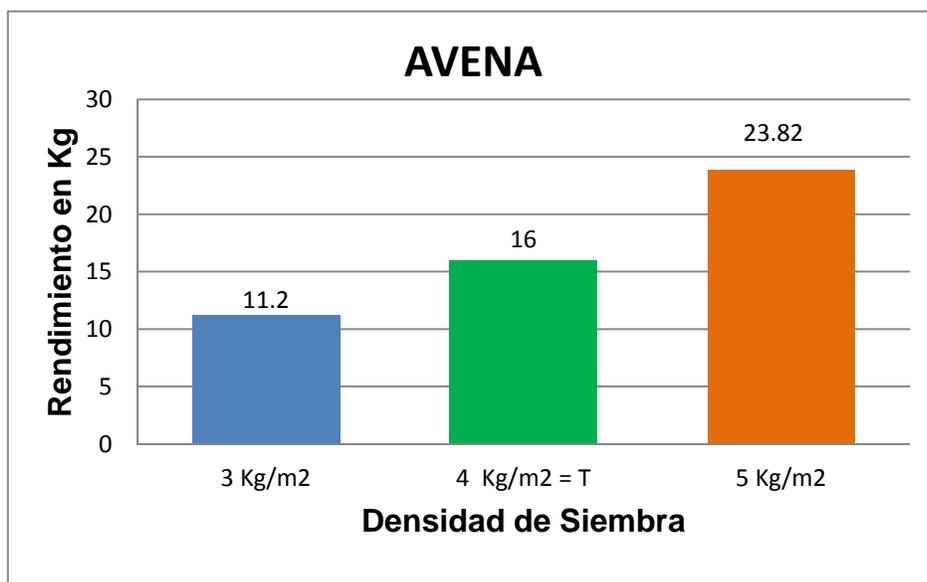
Las diferencia que existió entre las densidades de 3 Kg/m<sup>2</sup>, 4 Kg/m<sup>2</sup>, y 5 Kg/m<sup>2</sup>, se debe principalmente a la cantidad de plántulas en la densidad 5 kg/m<sup>2</sup>, puesto que a mayor cantidad de plántulas tuvo una mejor retención de humedad en las bandejas, favoreciendo a su crecimiento y rendimiento; en la densidad de 4 kg/m<sup>2</sup> al reducir la cantidad de plántulas no conservaron adecuadamente la humedad; asimismo con la densidad 3 kg/m<sup>2</sup> las pérdidas de humedad fueron mayores por el menor número de plántulas existentes y el efecto de la temperatura en las bandejas incidiendo en los bajos rendimientos.

Los resultados obtenidos son inferiores a los reportados por Carballo (2004), quien manifiesta que por cada Kilogramo de semilla se producen 18 a 24 kg de forraje hidropónico con la aplicación de soluciones nutritivas.

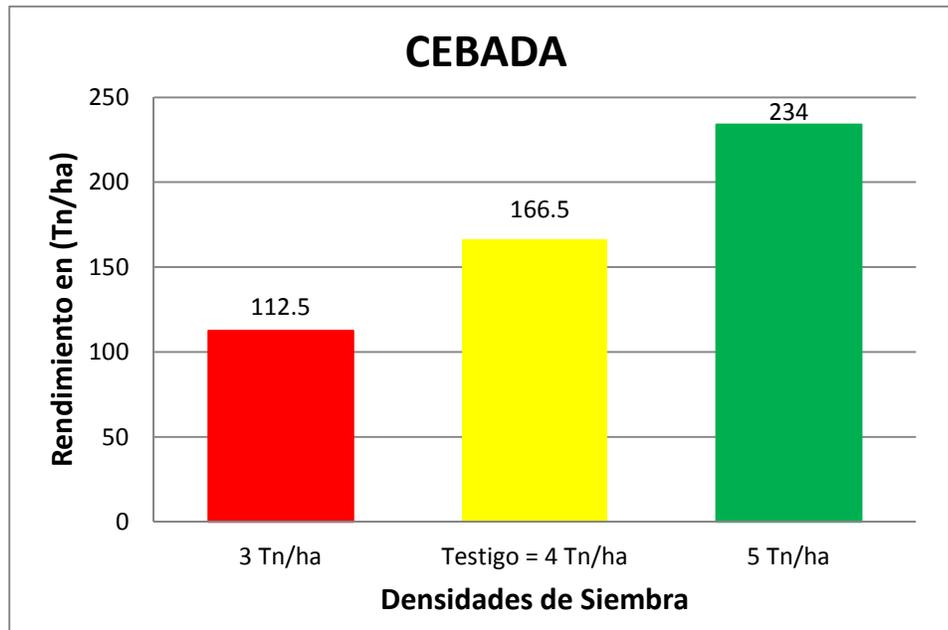
En los resultados obtenidos en la presente investigación, se acercan a los resultados obtenidos por Ralde (2000), con 10,2 Kg/m<sup>2</sup> y Gallardo (1996), con 9,6 Kg/m<sup>2</sup> porque estos autores suministraron solución nutritiva en sus cultivos y tuvieron un mejor manejo en la temperatura ambiente.



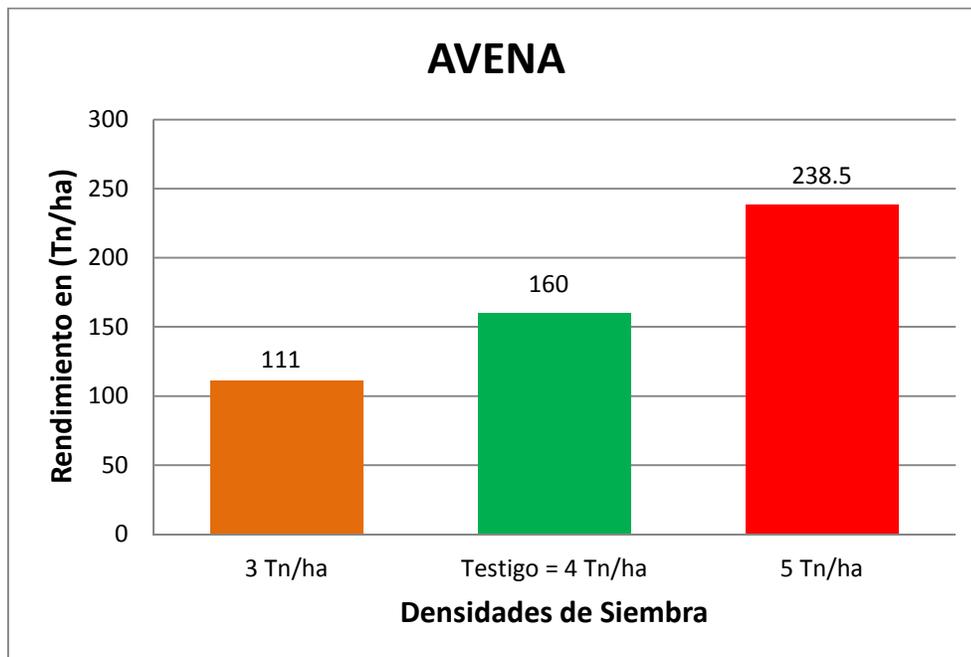
**Fig. 4. Rendimiento en kilogramos metro cuadrado del forraje hidropónico**



**Fig. 5. Rendimiento en kilogramos metro cuadrado del forraje hidropónico**



**Fig. 6. Rendimiento en toneladas por hectárea de forraje hidropónico**



**Fig. 7. Rendimiento en toneladas por hectárea de forraje hidropónico**

#### 4.5 Porcentaje de Materia Seca

**Cuadro 12. Análisis de Varianza para Porcentaje de Materia Seca**

Fuentes de Variación	G. L.	S. C.	C.M.	F. CAL	PR > F
<b>BLOQUE</b>	3	6,01	3,15	25,38	0,0001 **
<b>ESPECIE</b>	1	0,05	0,03	0,17	0,6852 NS
<b>DENSIDAD</b>	2	78,36	36,31	123,62	0,0001 **
<b>INTERACCION</b>	2	0,50	0,23	1,85	0,2345 NS
<b>ERROR</b>	15	2,21	0,05		
<b>TOTAL</b>	23	86,35			

\*, \*\* Significativo al nivel de 0,05 y 0,01, respectivamente.  
C.V. = 9,4 %

Los resultados obtenidos del análisis de varianza (cuadro 12) muestra la existencia de una alta significancia entre Bloques al 5%; en el Factor A (Especies) no se halló diferencias significativas, en el Factor "B" (Densidad de siembra) por el contrario hubo diferencias estadísticamente significativas; la Interacción de ambos factores mostro ser no significativa, es decir que no hubo una dependencia de los factores para esta variable, Por otra parte el coeficiente de Variación fue de 9,4 % lo que indica que los datos son confiables.

**Cuadro 13. Tabla de Duncan para % de MS del Factor A (Especies)**

Factor A ( Especies )	Promedios de % MS	Duncan 5%
Avena	18,2	a
Cebada	15,8	b

En el Cuadro 13 se observa la prueba de Duncan al 5% para la variable Porcentaje de Materia Seca, en función del Factor "A" Especies la cual muestra que existió diferencias significativas entre las dos Especies, no obstante hubo diferencia numérica donde la avena fue la que obtuvo valores mayores con 18,2 % de MS frente a la cebada que solo llego a pesar 15,8 % de Materia Seca.

Los rangos de rendimiento promedio de forraje hidropónico de cebada en porcentaje de materia seca es de 15,8 % por unidad de superficie obtenido durante el periodo de estudio (18 días) con 1,05 Kg/m<sup>2</sup> y la avena con 18,2 % de MS y con un peso de 1,84 Kg/m<sup>2</sup>.

Investigaciones realizadas por Agramat (1990) citado por Matos (1996), encontró resultados en la cebada con 12,2 % de MS, avena con 18% de MS, centeno con 18% de MS, estos mismos resultados son similares a los resultados obtenidos en el estudio realizado, donde la cebada tuvo un 15,2 % de MS y la avena con 18,2 % de MS.

Gallardo (1996), en el estudio realizado en la producción de cebada como forraje hidropónico bajo la aplicación de solución nutritiva, en ambiente UTAYAPU y con una temperatura promedio de 16 °C en todo el desarrollo del cultivo, obtuvo un 22 % de MS, estos resultados están por encima a los obtenidos en el presente estudio, el cual es 15,2 % de MS de cebada, el cual no se aplicó ninguna solución nutritiva.

**Cuadro 14. Tabla de Duncan para % de MS del Facto B (Densidad de Siembra)**

Densidades de Siembra	Promedios de % MS	Duncan 5%
3 kg/m <sup>2</sup>	16.05	a
4 kg/m <sup>2</sup>	15.75	b
5 kg/m <sup>2</sup>	15.25	b

En el Cuadro 14 se observa, la prueba de Duncan para la variable porcentaje de materia seca al 5% en función del factor B densidad de siembra, la cual muestra diferencias significativas entre las tres densidades, donde la densidad de 3 kg/m<sup>2</sup> es la que obtuvo valores mayores con 16,05 % de MS,

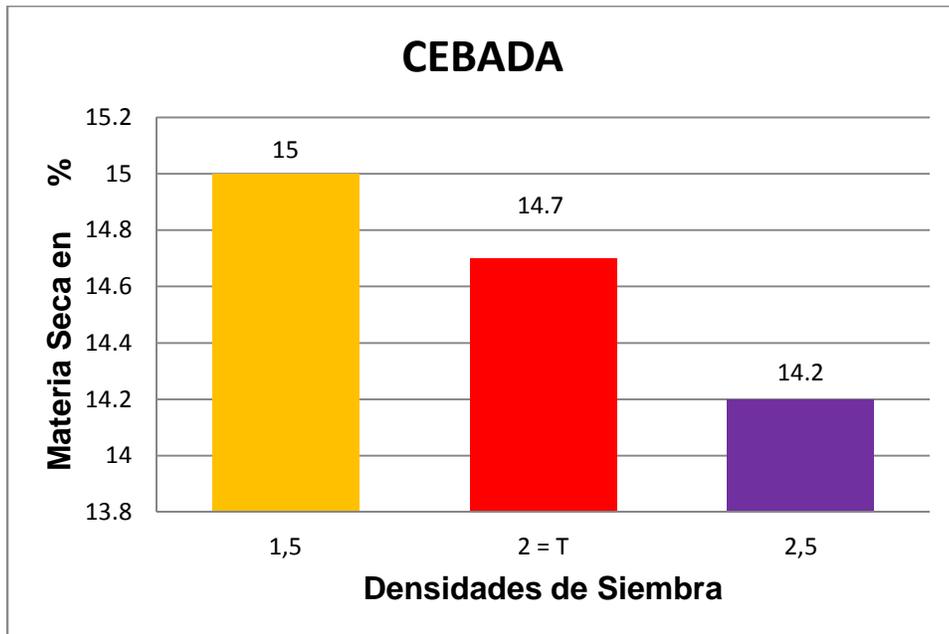
seguido de la densidad de 4 kg/m<sup>2</sup> con 15,75 % MS y la densidad que obtuvo los valores más bajos fue la densidad de 5 kg/m<sup>2</sup> con 15,25 % de MS.

Esta diferencia en el porcentaje de materia seca se debe a que hubo mayores pérdidas por deshidratación y muerte de las plántulas en crecimiento, la cual infirió en el porcentaje de materia seca de la densidad 3 kg/m<sup>2</sup>.

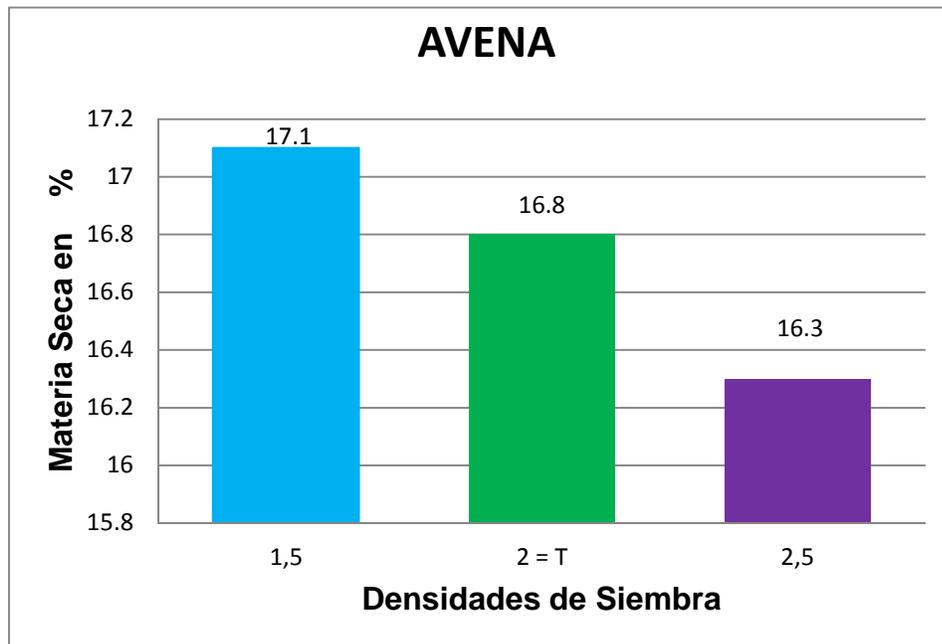
Paye (2005), según sus experiencias realizadas en el primer curso práctico de Hidroponía, en el análisis de materia seca de la cebada germinada (*Hordeum vulgare*), encontró un 15 % de materia seca, bajo el sistema de hidroponía a los 8 días con soluciones nutritivas de descarte del cultivo de tomate.

Carballo (2004) obtuvo en la producción de cebada un 18% de materia seca con la aplicación de soluciones nutritivas y una temperatura promedio de 17 °C, en un tiempo de 12 días, estos resultados están por encima a los obtenidos en el presente estudio, el cual no se aplicó soluciones nutritivas y se tuvo temperaturas mayores a las mencionadas por dicho autor.

Ralde (2000), en el estudio realizado en la producción de avena forrajera bajo sistema hidropónico en UTAYAPU encontró un 26 % de MS, estos resultados están por encima a los resultados obtenidos en el presente estudio que es de 18,2 % de MS de avena, esta variación posiblemente se debió a las condiciones estables del ambientales del UTAYAPU.



**Fig. 8. Porcentaje de materia seca del forraje hidropónico**



**Fig. 9. Porcentaje de materia seca del forraje hidropónico**

#### 4.6 Costos de Producción

Se obtuvo la relación Beneficio – Costo para los diferentes tratamientos el cual se muestra en el cuadro 15.

**Cuadro 15. Relación Beneficio Costo del rendimiento de forraje hidropónico de cebada y avena por tratamientos.**

	<b>Tratamientos</b>	<b>Ingreso Bruto</b>	<b>Costo Total</b>	<b>Relación B/C</b>
<b>Cebada</b>	3 kg/m <sup>2</sup>	56	84,74	<b>0,66</b>
	T <sub>0</sub> = 4 kg/m <sup>2</sup>	83	104,74	<b>0,79</b>
	5 kg/m <sup>2</sup>	117	124,74	<b>0,94</b>
<b>Avena</b>	3 kg/m <sup>2</sup>	56	84,74	<b>0,66</b>
	T <sub>0</sub> = 4 kg/m <sup>2</sup>	80	104,74	<b>0,76</b>
	5 kg/m <sup>2</sup>	118,25	124,74	<b>0,95</b>

El análisis del beneficio-costo por tratamiento en forraje hidropónico en avena y cebada a partir de los costos de producción y los ingresos de los mismos, muestra que el tratamiento 5 kg/m<sup>2</sup> obtiene un Beneficio-Costo de 0,94 en la cebada y en la avena 0,95; el tratamiento 4 kg/m<sup>2</sup> (t<sub>0</sub>) con 0,79 en cebada, 0,76 en la avena y por último el tratamiento 3 kg/m<sup>2</sup> obtuvo 0,66 en la cebada y 0,66 en la avena. Todos estos valores son menores a uno, lo que significa que no se tiene utilidad con los tratamientos.

No obstante, los rendimientos obtenidos durante el análisis del beneficio-costo por tratamiento en la producción de forraje en cebada y avena, el tratamiento 5 kg/m<sup>2</sup> obtuvo la mayor relación beneficio costo de 0,94 en cebada y 0,95 en avena en relación a los demás tratamientos.

**Cuadro 16. Relación Beneficio Costo del rendimiento de forraje hidropónico de cebada y avena por tratamientos con semilla convencional.**

	<b>T1 3 Kg/m<sup>2</sup></b>	<b>T2 4 Kg/m<sup>2</sup></b>	<b>T3 5 Kg/m<sup>2</sup></b>	<b>T1 3 Kg/m<sup>2</sup></b>	<b>T2 4 Kg/m<sup>2</sup></b>	<b>T3 5 Kg/m<sup>2</sup></b>
Costo de Producción	43.24	49.41	55.57	44.79	51.48	58.15
Rendimiento	22.4	33.2	46.8	22.4	32	47.3
Precio * kg	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
I.B = R * P	56	83	117	56	80	118.25
<b>B/C</b>	<b>1.30</b>	<b>1.68</b>	<b>2.11</b>	<b>1.25</b>	<b>1.55</b>	<b>2.03</b>

Según el cuadro 16 muestra el incremento de todos los tratamientos en la relación beneficio costo, en la que alcanzan valores mayores a uno, lo cual indica que es mucho más rentable a los valores obtenidos con semilla certificada del cuadro 15.

## 5. CONCLUSIONES

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

- De acuerdo a los resultados obtenidos con referencia al tiempo de germinación se concluye que la cebada llega a germinar en un lapso de 3 días en todas las densidades, en comparación a la avena que tiene un tiempo de germinación de 5 días, también en todas las densidades, debido a que son semillas de diferentes especies.
- Con respecto a la variable altura se concluye que la mayor altura en la cebada fue de 19,1 cm, obtenida con la densidad 4 kg/m<sup>2</sup> (t<sub>0</sub>), en el caso de la avena también alcanzó una mayor altura con la densidad 4 kg/m<sup>2</sup> (t<sub>0</sub>) con 19,1 cm.
- En cuanto a la variable rendimiento se concluye que el mejor rendimiento en la cebada se dio con la densidad 5 kg/m<sup>2</sup> que tuvo un rendimiento de 17,1 kg/m<sup>2</sup>, en la avena el mejor rendimiento también se dio con la densidad 5 kg/m<sup>2</sup> con 16,98 kg/m<sup>2</sup>.
- De acuerdo a los resultados obtenidos del porcentaje de materia seca, se concluye que la mejor porcentaje de materia seca se dio con la densidad 3 kg/m<sup>2</sup> con 15 % de MS, en la avena la mejor densidad también fue de 3 kg/m<sup>2</sup> con un 17,1 % de MS.
- En cuanto a la variable de análisis económico se concluye que el costo inicial para la instalación de una unidad de producción de forraje hidropónico, es mayor al de un sistema tradicional, pero es mínimo si se compara con la compra de maquinaria.
- De acuerdo a los datos obtenidos de la relación beneficio costo se concluye que la mejor relación B/C en la cebada se obtuvo con la densidad 5 kg/m<sup>2</sup>

con 0,94 Bs, en el caso de la avena también se obtuvo mejor B/C con la densidad 5 k/m<sup>2</sup> con 0,95 Bs.

- La producción de forraje hidropónico constituye una técnica de alternativa al uso de suplementos alimenticios en la producción pecuaria, ya que además de ser sana es nutritiva y resulta ser económicamente más rentable a largo plazo.

## 6. RECOMENDACIONES

- De acuerdo a los resultados y conclusiones obtenidas, es posible sugerir las siguientes recomendaciones:
- Para tener una buena producción de Forraje Hidropónico en cebada y avena se debe tener muy en cuenta el ambiente para no tener dificultades en el manejo, como temperatura y humedad, por tanto se recomienda que para la producción de forraje hidropónico se lo realice en un ambiente UTAYAPU esto porque mantiene una temperatura de 16 °C a 24 °C, lo cual es bueno para la producción de forraje hidropónico.
- Para tener una mayor rentabilidad en cuanto a la relación beneficio-costos, 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.
- Otra de las recomendaciones que se debe tomar muy en cuenta es la ventilación esto para que no haya la proliferación de hongos, para mitigar las pérdidas por deshidratación de las semillas y también de las plántulas de forraje hidropónico a causa de elevadas temperaturas como efecto de la radiación UV – B que llega con mayor intensidad a las zonas altas y descubiertas de vegetación como lo es el altiplano boliviano.
- Se recomienda no comprar semilla de alto valor económico puesto que hará bajar enormemente las ganancias y no tener una relación beneficio costo buena, ya que es probable que con la semilla convencional se puede obtener altas utilidades.

## 7. BIBLIOGRAFIA

ALVAREZ, M. 2007. Técnica de Producción de Forraje para el ganado lechero. Lima, Perú.. Disponible en: [www.alfinal.com/cgi-bin/search.cgi](http://www.alfinal.com/cgi-bin/search.cgi) Consultado 17 de jul. 2012.

ALONSO, j. 2000. La Hidroponía México p. 45.

ALPI, A. 1987. Cultivo en Invernadero Trad. del Italiano por José de la Iglesia Gonzales 2da Edición Editorial Mandí Prensa, Madrid – España p.123.

ARANO, C. 1998. Forraje Verde Hidropónico y Otras Técnicas de Cultivos sin Tierra. Buenos. Aires, Argentina. p. 250.

BARCELO J. NICOLÁS G, SABATER B. SÁNCHEZ R. (1992), “Fisiología Vegetal” Ediciones Pirámide, S. A. Madrid – España. Pp. 85-87.

CABALLERO, W. 1998, Hidroponía un nuevo campo para la agricultura: Tercer curso-taller del Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral, Lima, Perú. Pp. 59-64.

CARBALLIDO, C. 2006. Técnicas de Producción de Forraje verde Hidropónico. Santiago - Chile. Disponible en: <http://www.rlc.fao.org/prior/segalim/prodalim/prodveg/hidrop/pdf/hidro1.pdf>. Consultado el 6 de mayo de 2013.

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 2011.

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.

CAÑAS, R. y AGUILAR, C. 2002. Uso de la Bioenergética en Producción de Bovinos. en: Simulación de Sistemas Pecuarios. RISPAL – IICA, San José - Costa Rica. Pp. 7 – 100.

CASTILLA, N. 2004. Invernaderos de Plástico Tecnología de Punta Ediciones Mundi Prensa, Almería – España, Pp: 442

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 2013.

CASTRO, R. 2007. Rendimiento de tomates híbridos (*Lycopersicon sculentum*) bajo sistema hidropónico en sustrato en el centro experimental de Cota Cota Universidad Mayor de San Andrés La Paz – Bolivia. Pp. 80.

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. 2002. El Cultivo Protegido en Clima Mediterráneo, Manual preparado por el grupo de cultivos hortícolas, dirección de producción y protección vegetal Pp. 27.

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](http://www.rlc.fao.org/pubs). Consultado el 15 de Septiembre de 2012.

FERRADAS, P. 2006. Análisis de la vulnerabilidad, los medios de vida y los desastres, Tecnología y Sociedad –Revista Latinoamericana No. 7, Soluciones Prácticas-ITDG, Lima, Perú, Pp. 22-35.

FORAQUITA, S. 1997. Manual Práctico de Hidroponía Puno – Perú. p. 57.

GALLARDO G. 1997. Producción de Forraje Verde Hidropónico de Cebada (*Hordeum vulgare*) en ambiente controlado, con tres soluciones nutritivas en dos concentraciones. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía, Tesis de Grado, La Paz – Bolivia. p. 115.

GUTIERREZ, I. 2000. Cultivos Hidropónicos. Fascículo 9. Bogotá – Colombia. Edit. Géminis. Pp. 1 – 9.

GUERRERO J. 2002. Cultivo Hidropónico de centeno forrajero: densidad de Utilización y Respuesta en Cuyes Criollos en crecimiento. Facultad de Zootecnia, Universidad Nacional “Pedro Ruiz Gallo” Lambayeque, Perú. p. 165.

GONZALES, Y. y MENDOZA, F. 1994. Comportamiento de la germinación y la viabilidad en semillas de cebada y avena para la producción de pastos forrajeros Pp. 131 – 135.

GONZALES, Y. 1995. La Avena como Cultivo Forrajero Disponible en: [www.produccion-animal.com.ar](http://www.produccion-animal.com.ar) Consultado el 03 de Marzo de 2013.

HOWAR, R. 1997. Cultivos Hidropónicos. Editorial Mandí Prensa Cuarta Edición Barcelona España. p. 493.

HUTERWAL, G. 1979. Hidroponía cultivo de plantas sin tierra. Buenos Aires, Argentina. Edit. Albatros. p. 247.

IDESIA Departamento de Química, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Tarapacá Arica – Chile, Efecto de la radiación UV – B sobre las plantas 2009 Disponible en: [http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-34292009000300009&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-34292009000300009&script=sci_arttext). Consultado el 20 de mayo de 2013.

IGM (Instituto Geográfico Militar). 2003. Determinación de coordenadas y altitud.

IZQUIERDO, J. 2001. El forraje verde hidropónico (FVH) como tecnología apta para pequeños productores agropecuarios, Consultado el 5 de jul. 2013 Disponible en: [http://www.elmejorguia.com/hidroponia/Forraje\\_Verde\\_Hidroponico/introduccion.htm](http://www.elmejorguia.com/hidroponia/Forraje_Verde_Hidroponico/introduccion.htm).

IZQUIERDO, J. 2003. Producción de Forraje Verde Hidropónico (en línea). Santiago, Chile. Disponible en: <http://www.fao.org/prior/segalim/forraje.htm> Consultado el 5 de jul. 2013

JUTZI S. y CHACON J. 1979. Cereales Menores en Siembra de Invierno para Producción Forrajera. En Experiencias en Cultivos Forrajeros II. CIF La Violeta UMSS, COTESU, SEFO-UMSS. Cbba - Bolivia. Pp: 57- 59.

MARULANDA, D. 2003. Hidroponía Familiar; Ed. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Santiago, Chile, p 71.

MARTÍNEZ, E. 2001. Producción de cultivos hidropónicos populares. Editorial Mangutano. Maldonado - Uruguay.

MATOS 1996. Producción ininterrumpida de forraje hidropónico. Copiado de la materia de fisiología vegetal, facultad de agronomía UMSA. La Paz – Bolivia. Pp: 5 – 19.

MATILLA, A. 2003. Ecofisiología de la germinación de la semilla. Cap. 29 (p. 901-922). En: M.J. Reigosa, N. Pedrol y A. Sánchez-Moreiras, eds. La Ecofisiología Vegetal. Una ciencia de síntesis. Paraninfo S. A., Madrid. p: 22.

MOKATE, K. 1998. Evaluación financiera de proyectos de inversión. Ediciones Unidas. Santa Fe de Bogotá –Colombia. p 108.

PEÑAFIEL, W. 1996. Informe mensual de Agosto de la Granja Demostrativa Kallutaca. Programa de fomento Lechero (PROFOLE).

PERRIN, R; WINKELMANN, D. MOSCARDI, E. ANDRESON, J .1998. Manual Metodológico de la Evaluación Económica. La formulación de recomendaciones de datos agronómicos CIMMYT. México DF. 77pag.

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 – Bolivia. Pp: 34 – 48

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. p. 95.

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

RAMOS, C. 1999. El Uso de Aguas Residuales en Riegos Localizados y en Cultivos Hidropónicos. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. Valencia, España.

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

SAMPEIRO, G 1997. Hidroponía básica. 1a ed. México, México. Edit. Diana p.33

SANCHEZ, J. 1982. Cultivos Hidropónicos. SENA. Medellín, Colombia. Pp. 2,3

SEFO 1990. Producción de Semillas Forrajeras. Disponible en: [http://www.avpa.ula.ve/eventos/xi\\_seminario/Conferencias/Articulo-5.pdf](http://www.avpa.ula.ve/eventos/xi_seminario/Conferencias/Articulo-5.pdf). Consultado el 25 de mayo de 2011.

SENAMHI, 2008. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología La Paz, Bolivia. p. 56.

SERNA, E. y J. DELGADILLO. 1983. Evaluación de la Cebada en tres épocas de siembra. VII Reunión Nacional de Pastos y Forrajes, V Reunión Nacional de Ganadería. Potosí - Bolivia. Pp: 285 – 292.

STEVENSON, B. 1989. Anatomía vegetal. Editorial Limusa noriega. P. 215.

VILLEE, C. 1994. Biología, cuarta edición, Editorial Universitaria de Buenos Aires – Argentina. p. 728.

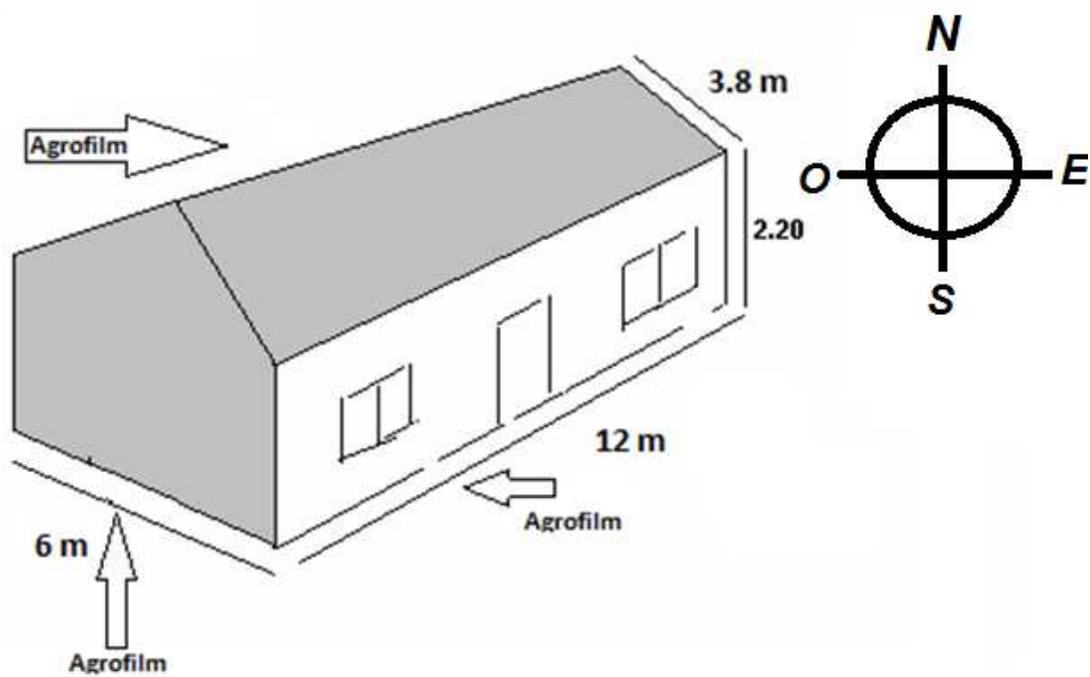
VILLELE, O. 1983. La serre, Agente Modificador del Clima. Dans: L. INRA Paris. Pp. 21 – 27.



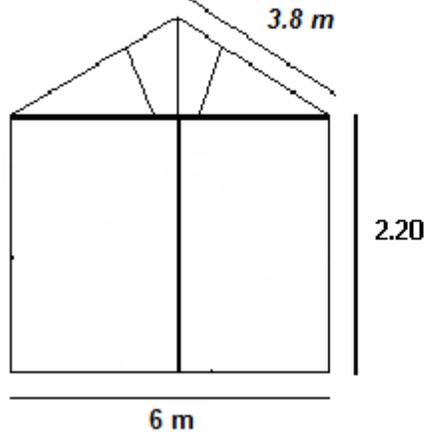
# **ANEXOS**

# ANEXO 1

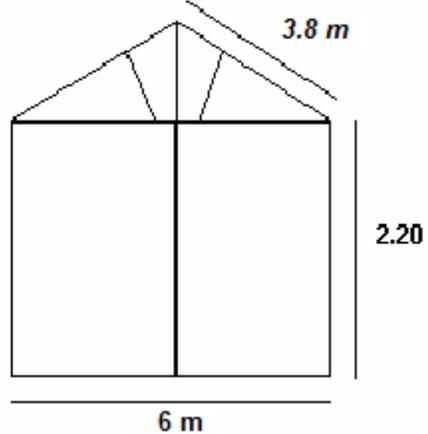
## DETALLES DE LA CARPA SOLAR



Elevación oeste

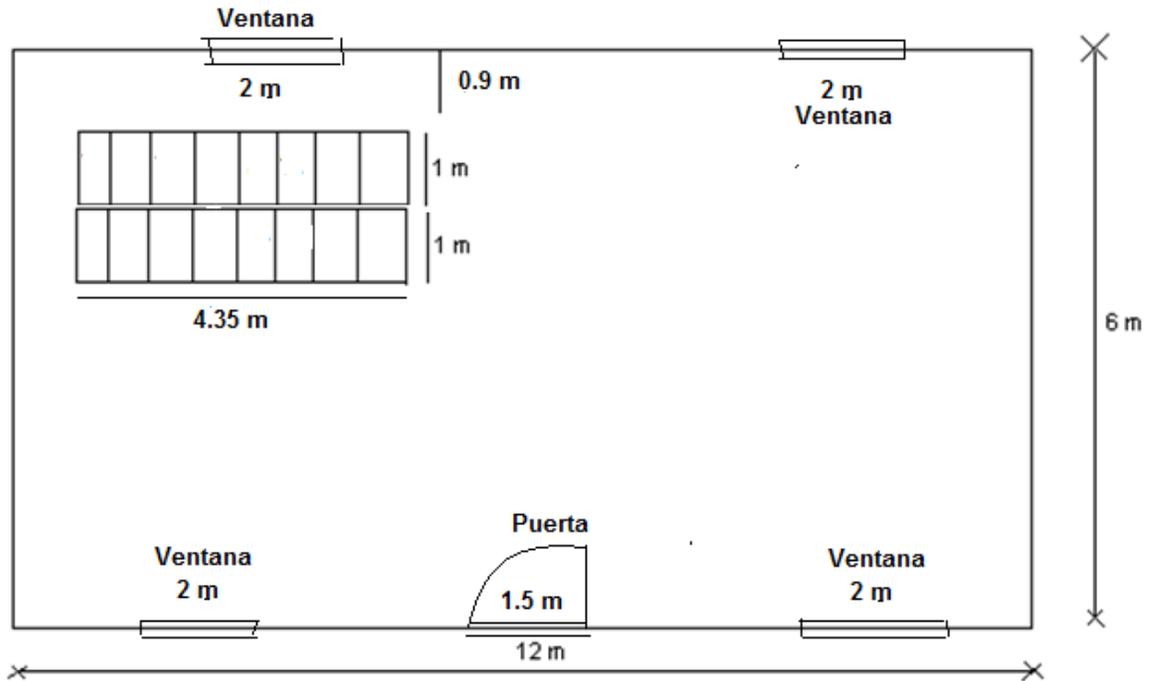


Elevación este

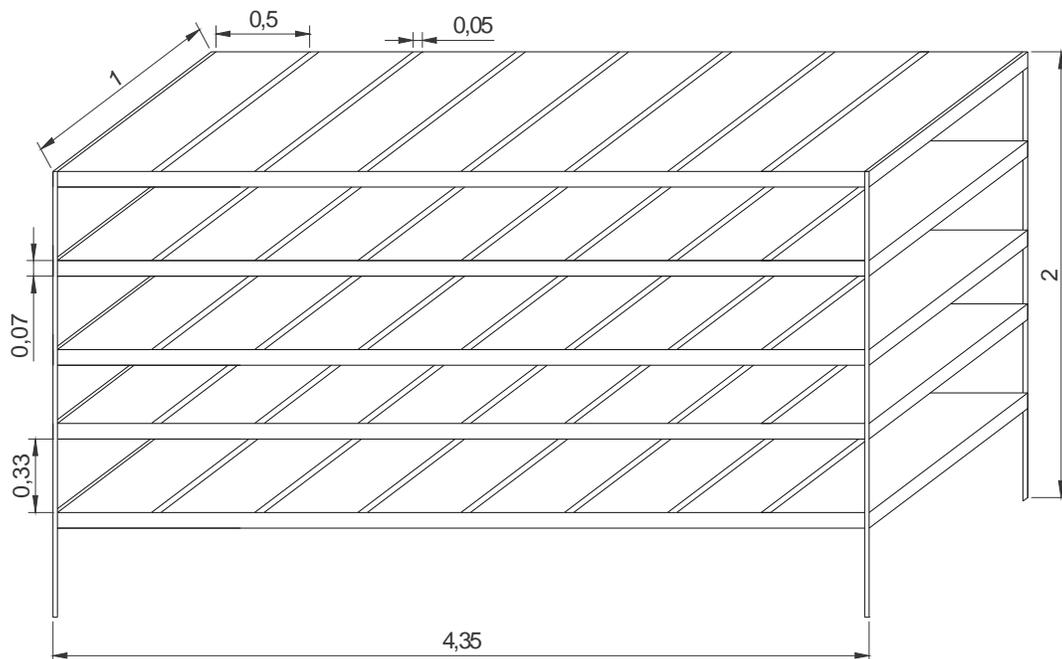


## ANEXO 2

### PLANO DE LA CARPA SOLAR PARA LA PRODUCCION DE FORRAJE HIDROPONICO



### DIMENSIONES DEL MÓDULO HIDROPÓNICO PARA LA PRODUCCION DE FORRAJE



## **ANEXO 3**

### **REGISTRO FOTOGRAFICO**



**Módulo de producción**



**Bandejas en construcción**



**Recepción de las semillas para el remojo en agua**



**Semillas germinadas en las bolsas de nilón**



**Desarrollo del forraje hidropónico**



**Distribución de los bloques en el módulo hidropónico**



**Medición de altura de planta**

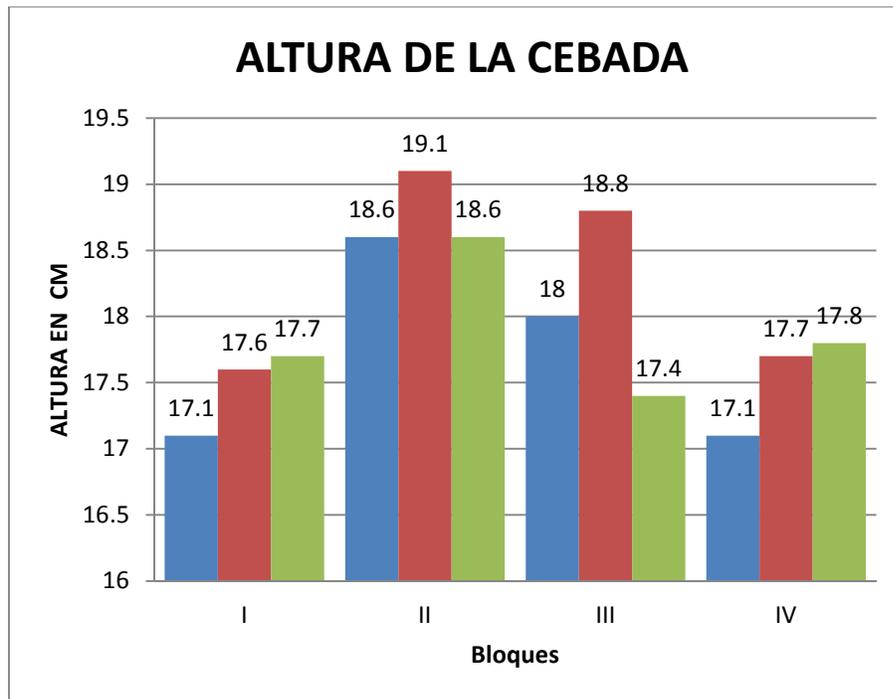


**Cosecha del forraje**

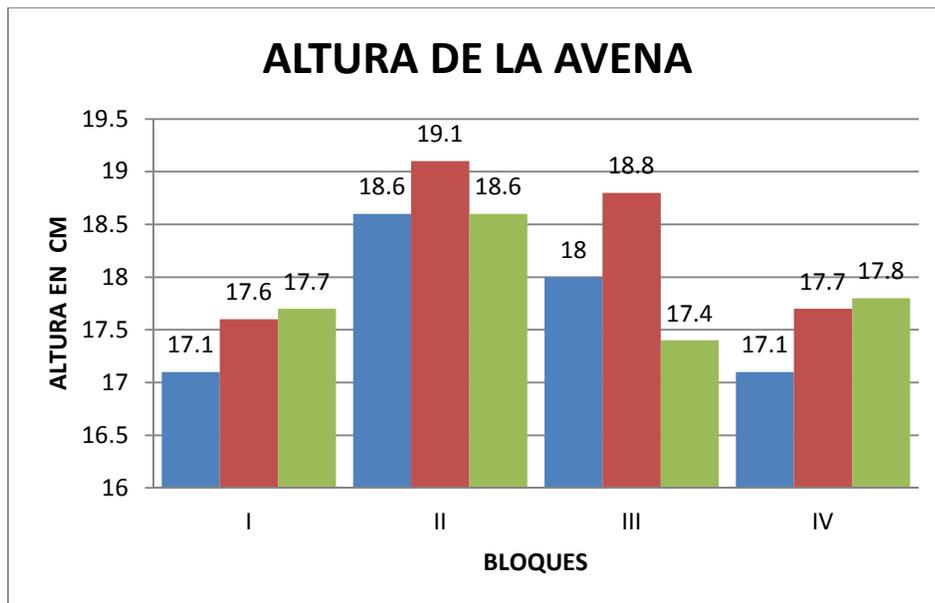


**Determinación del rendimiento  
de forraje hidropónico**

## ANEXO 4

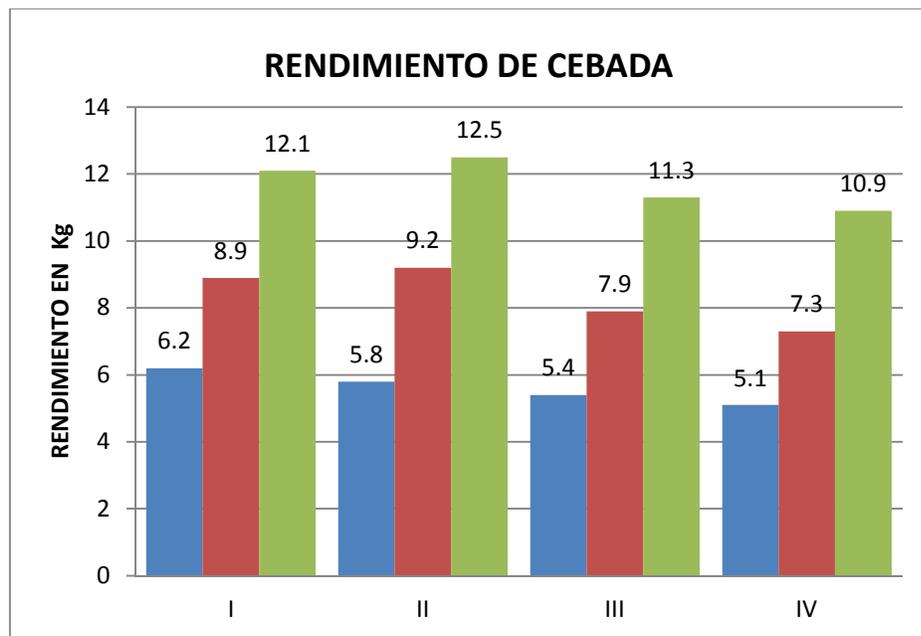


Altura de planta del forraje verde de cebada a los 18 días

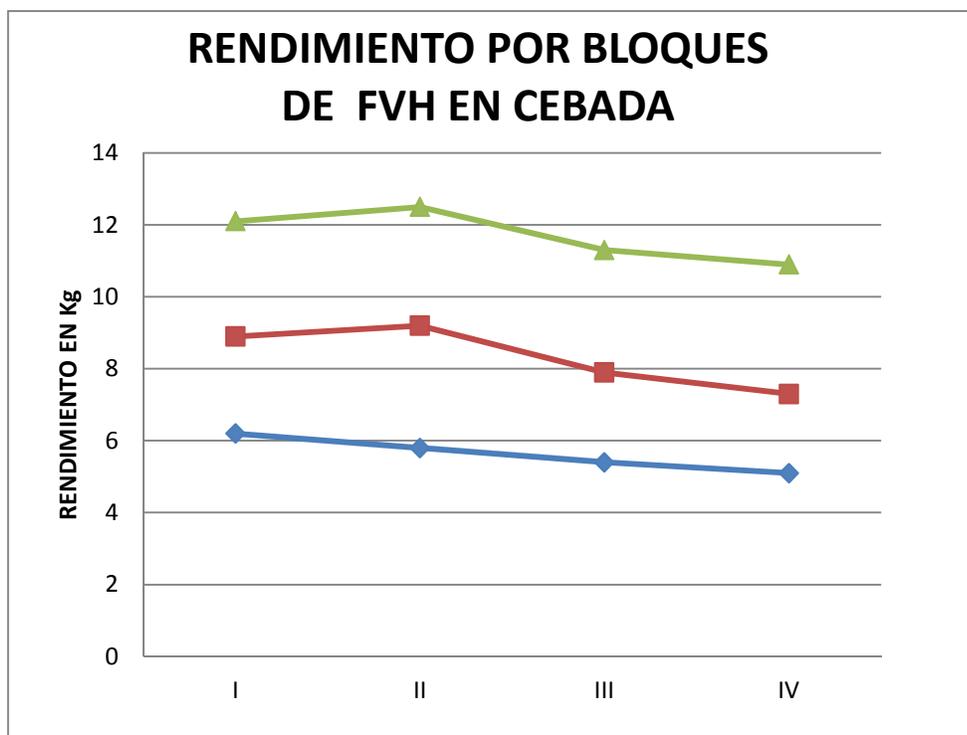


Altura de planta del forraje verde de avena a los 18 días

## ANEXO 5

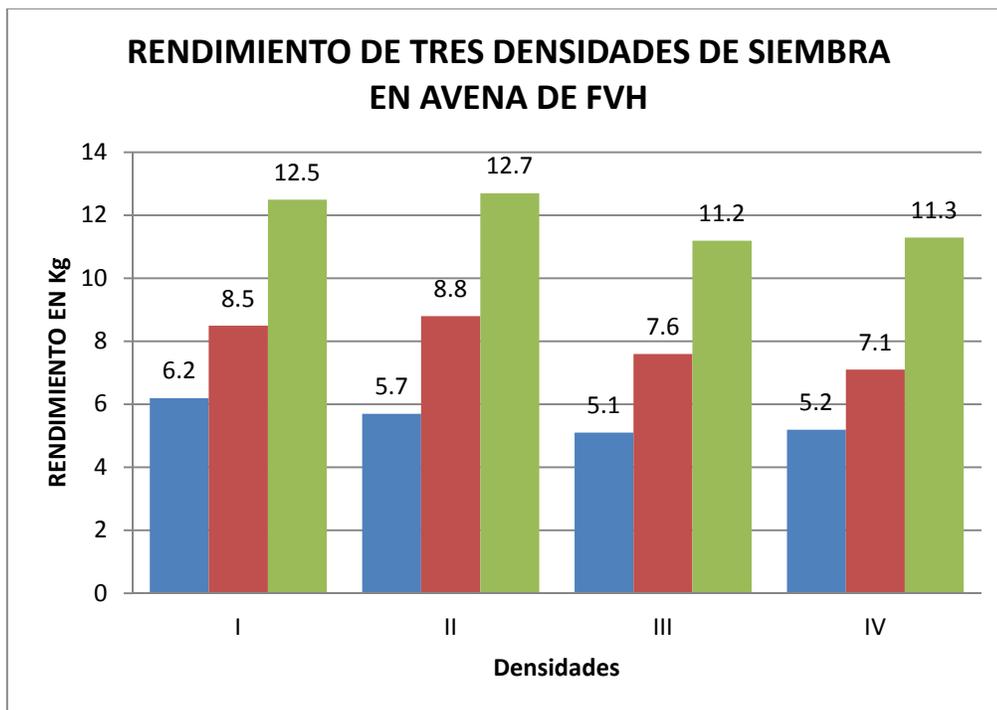


Rendimiento de forraje hidropónico de las tres densidades por bloque en cebada

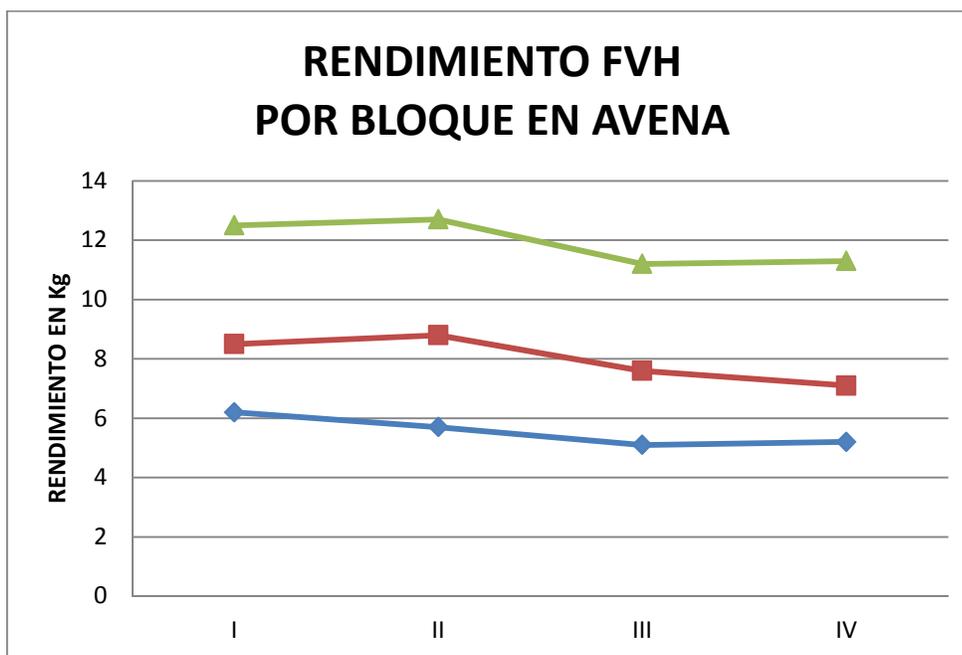


Rendimiento de forraje hidropónico de las tres densidades por bloque.

## ANEXO 6



Rendimiento de forraje hidropónico de las tres densidades por bloque



Rendimiento de FVH en cebada de las tres densidades de Siembra por bloque

## ANEXO 7

### Costos de Producción de cebada y avena hidropónico

ITEM	CEBADA			AVENA		
	T1 3 Kg/m <sup>2</sup>	T2 4 Kg/m <sup>2</sup>	T3 5 Kg/m <sup>2</sup>	T1 3 Kg/m <sup>2</sup>	T2 4 Kg/m <sup>2</sup>	T3 5 Kg/m <sup>2</sup>
<b>Costos Fijos Vida Útil 5 Años</b>						
Viagas	0,7	0,8	0,9	0,10	0,11	0,12
Agrofilm 2.5 micras	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19
Nailon Negro	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
clavos	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Alambre de Amarre	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
cascajo	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Manguera	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Pistola de Agua	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Total Costos Fijos en Bs	4.24	4.24	4.24	4.24	4.24	4.24
<b>Costos Variables</b>						
Agua	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
semilla	18,5	24,67	30,83	20,05	26,74	33,41
Mano de Obra	20	20	20	20	20	20
<b>Total Costos Variables</b>	39	45,2	51,3	40,5	47,2	53,9
<b>Total por Trat. en Bs.</b>	43,2	49,4	55,6	44,8	51,5	58,1
<b>Costo Total en Bs.</b>						

302,6

## ANEXO 8

### Costos de Producción de cebada y avena hidropónica con semilla convencional

ITEM	CEBADA			AVENA			
Costos Fijos Vida Util 5 Años	T1 3 Kg/m <sup>2</sup>	T2 4 Kg/m <sup>2</sup>	T3 5 Kg/m <sup>2</sup>	T1 3 Kg/m <sup>2</sup>	T2 4 Kg/m <sup>2</sup>	T3 5 Kg/m <sup>2</sup>	
Viagas	0,7	0,8	0,9	0,10	0,11	0,12	
Agrofilm 2.5 micras	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	
Nilon Negro	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	
clavos	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	
Alambre de Amarre	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	
cascajo	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	
Manguera	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	
Pistola de Agua	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
Total Costos Fijos	4.24	4.24	4.24	4.24	4.24	4.24	
<b>Costos Variables</b>							
Agua	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
semilla	60	80	100	60	80	100	
Mano de Obra	20	20	20	20	20	20	
<b>Total Costos Variables</b>	<b>80.5</b>	<b>100.5</b>	<b>120.5</b>	<b>80.5</b>	<b>100.5</b>	<b>120.5</b>	
<b>Total por Tratamiento en Bs.</b>	<b>84.74</b>	<b>104.74</b>	<b>124.74</b>	<b>84.74</b>	<b>104.7</b>	<b>124.74</b>	
<b>Costo Total</b>							<b>628.44</b>

### Relacion Beneficio Costo

	Cebada			Avena		
	T1 3 Kg/m <sup>2</sup>	T2 4 Kg/m <sup>2</sup>	T3 5 Kg/m <sup>2</sup>	T1 3 Kg/m <sup>2</sup>	T2 4 Kg/m <sup>2</sup>	T3 5 Kg/m <sup>2</sup>
Costo de Producción	43.24	49.41	55.57	44.79	51.48	58.15
Rendimiento	22.4	33.2	46.8	22.4	32	47.3
Precio * kg	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
I.B = R * P	56	83	117	56	80	118.25
<b>B/C</b>	<b>1.30</b>	<b>1.68</b>	<b>2.11</b>	<b>1.25</b>	<b>1.55</b>	<b>2.03</b>

## ANEXO 9

### Temperaturas Mínimas y Máximas Dentro y fuera del Modulo Hidropónico, en la Estación Experimental de Cota Cota.

FECHA	Dentro del Modulo Nov - Dic 2011		Fuera del Modulo Nov - Dic 2011	
	T°C Min	T°C Max	T°C Min	T°C Max
28/11/11	13	32	9	25
29/11/11	12	28	8	21
30/12/11	11,5	40	8	28
01/12/11	11	37	7	27
02/12/11	12	34	8	26
03/12/11	11	33	7	26
04/12/11	10	34	6	26
05/12/11	11	31	7	19
06/12/11	11	31	7	20
07/12/11	12	31	8	18
08/12/11	11	23	7	16
09/12/11	11	26	7	17
10/12/11	11	39	7	28
11/12/11	10	20	6	15
12/12/11	11	33	7	22
13/12/11	10	31	6	19
14/12/11	11	31	7	21
15/12/11	10	35	6	23
16/12/11	10	34	6	23
17/12/11	11	35	7	23
18/12/11	11	36	7	24
<b>PROMEDIO</b>	<b>11,0</b>	<b>32,1</b>	<b>7,0</b>	<b>22,2</b>