

**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO
AREA DE CIENCIAS AGRICOLAS, PECUARIAS Y
RECURSOS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



TESIS DE GRADO

**EVALUACIÓN DE DOS BIOREGULADORES CON DIFERENTES
DENSIDADES DE SIEMBRA DE CEBADA (*Hordeum vulgare L.*),
EN LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO**

POR:

PATRICIO HUGO CASTAÑO SILVESTRE

EL ALTO – BOLIVIA

2014

**AREA DE CIENCIAS AGRICOLAS, PECUARIAS Y
RECURSOS NARURALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA DE INGENIERÍA
AGRONÓMICA**

**EVALUACIÓN DE DOS BIOREGULADORES CON DIFERENTES DENSIDADES DE
SIEMBRA DE CEBADA (*Hordeum vulgare L.*), EN LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE
VERDE HIDROPÓNICO**

*Tesis de grado presentado como requisito
para optar el Título de Ingeniero en
Ingeniería Agronómica*

PATRICIO HUGO CASTAÑO SILVESTRE

Tutores

Ing. M.Sc. Eddy Diego Gutiérrez Gonzales

Tribunal Revisor:

Ing. Simón Cocarico Yana

Ing. Beatriz Mamani Sánchez

Ing. Gabriel Pari Flores

APROBADA

Director de Carrera:

Ing. Laoreano Coronel Quispe



DEDICATORIA

Con mucho cariño y agradecimiento, a mi esposa Faustina Quispe, a mis hijos Christian Álvaro, Edson y Yesmin Norka; que me brindaron todo su apoyo incondicional en todo momento, además que estuvieron siempre pendientes de mi persona a lo largo de mi etapa de formación profesional.



AGRADECIMIENTOS

Dejo en constancia mi agradecimiento.

Mi profundo agradecimiento a Dios todopoderoso, por haber concedido la sabiduría e inteligencia en cada instante.

A mis padres, hermanos y sobrinos que con su esfuerzo y cariño, fueron ejemplo de trabajo, justicia y dedicación en nuestra vida y la culminación de esta carrera universitaria, en especial a mis padres Severo Castaño e Isabel Silvestre.

A la Universidad Pública de El Alto UPEA, Carrera de Ingeniería Agronómica, al plantel docente y administrativo por haberme acogido y brindarme los conocimientos necesarios para mi formación profesional.

Al Ing. M.Sc. Eddy Diego Gutiérrez Gonzales, por haberme brindado como asesor en el desarrollo de Tesis de Grado y por ardua

A los miembros del Tribunal de Tesis: Dr. Simón Cocarico Yana, Ing. Beatriz Mamani Sánchez e Ing. Gabriel Pari Flores, quienes con valioso conocimiento y experiencia me encaminaron en el desarrollo del presente Trabajo de investigación.

Finalmente y de manera especial a los amigos, compañeros, todas y cada una de las personas que de una u otra forma me brindaron con su apoyo incondicional para llegar a la culminación de este trabajo, en especial a los: Ing. Juan Carlos López, Juliano Aruquipa y Julio R. Mamani quienes mi apoyaron y compartimos los años de estudio.

CONTENIDO

ÍNDICE DE TEMAS	i
ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE ANEXOS	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii

ÍNDICE DE TEMAS

1. INTRODUCCION	1
1.1. Objetivos	2
1.1.1. Objetivo general	2
1.1.2. Objetivos Específicos	2
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Características generales	3
2.1.1. Hidroponía	3
2.1.2. El cultivo de Forraje Verde Hidropónico	3
2.1.3. Valor nutricional del Forraje Verde Hidropónico	4
2.2. Ventajas y desventajas de la producción de Forraje Verde Hidropónico	5
2.2.1. Ventajas	5
2.2.1.1. Ahorro de agua	5
2.2.1.2. Espacio reducido	5
2.2.1.3. Eficiencia en el tiempo de producción	6
2.2.1.4. Calidad de forraje	6
2.2.1.5. Inocuidad del forraje verde hidropónico	7
2.2.1.6. Costos de producción	7
2.2.2. Desventajas	8
2.2.2.1. Desinformación y sobrevaloración de la tecnología	8
2.2.2.2. Costo de instalación	8
2.3. Factores que influyen en la producción de Forraje Verde Hidropónico	8
2.3.1. Selección y calidad de semilla	8
2.3.2. Requerimientos ambientales para la producción de FVH	9
2.3.2.1. Luminosidad	9

2.3.2.2. Temperatura	9
2.3.2.3. Humedad	9
2.3.3. Calidad del agua de riego	10
2.3.3.1. Potencial hidrogeno del agua para riego.....	10
2.3.3.2. Conductividad eléctrica del agua	10
2.3.4. Factores básicos para el establecimiento de la producción de FVH.....	11
2.3.4.1. Ubicación del lugar	11
2.3.4.2. Tamaño del cultivo.....	11
2.3.4.3. Orientación	11
2.3.5. Componentes básicos para el cultivo de Forraje Verde Hidropónico.....	12
2.3.5.1. Invernadero.....	12
2.3.5.2. Estantería	12
2.3.5.3. Bandejas.....	13
2.3.5.4. La Fertirrigación	13
2.4. Proceso de Producción del Forraje Verde Hidropónico	13
2.4.1. Selección de semilla	13
2.4.2. Lavado de semilla de cebada.....	14
2.4.3. Remojo y pregerminación de semilla	14
2.4.4. Siembra en las bandejas.....	14
2.4.4.1. Densidad de siembra	15
2.4.5. Crecimiento en área de producción.....	15
2.4.6. Cosecha de Forraje Verde Hidropónico	15
2.4.6.1. Rendimiento.....	16
2.4.7. Riego en forraje verde hidropónico	16
2.5. Procesos fisiológicos del forraje Verde Hidropónico.....	16
2.5.1. Germinación	17
2.5.1.1. Absorción de agua	17
2.5.1.2. Movilización de nutrientes.....	18
2.5.1.3. Crecimiento y diferenciación	18
2.6. Fertilización en la producción de Forraje Verde Hidropónico.....	18
2.6.1. Importancia de la Fertilización.....	18
2.6.2. Fertilizantes orgánicos	19
2.6.3. Tipos de fertilizantes orgánicos.....	19
2.6.3.1. Fertilizantes orgánicos sólidos	19

2.6.3.2. Fertilizantes orgánicos líquidos	19
2.6.3.3. El Biol	20
2.6.3.4. El uso de biól	21
2.6.3.5. Ventajas de biol	22
2.6.3.6. Té de estiércol	22
2.6.3.7. Uso y manejo del Té de Estiércol.....	23
2.8. Forraje Verde Hidropónico en la Alimentación Animal.....	23
3. MATERIALES Y MÉTODOS	25
3.1. Localización	25
3.1.1. Ubicación geográfica.....	25
3.1.2. Características Climáticas.....	25
3.1.3. Características Agroecológicas.....	25
3.2. Materiales	27
3.2.1. Material Biológico.....	27
3.2.2. Material de Campo.....	27
3.2.3. Material de Gabinete.....	27
3.2.4. Material de insumos	27
3.3. Metodología	28
3.3.1. Procedimiento Experimental	28
3.3.2. Trabajo Experimental	28
3.3.3. Equipos e instalaciones para producir F.V.H.....	28
3.3.3.1. Invernadero.....	28
3.3.3.2. Estante	28
3.3.3.3. Bandejas.....	29
3.3.4. Obtención de bio reguladores	29
3.3.4.1. Biól.....	29
3.3.4.2. Té de Estiércol.....	29
3.4. Producción del Forraje Verde Hidropónico.	30
3.4.1. Área de pre germinación.....	30
3.4.1.1. Selección y lavado	30
3.4.1.2. Remojo	30
3.4.1.3. Oreó.....	30
3.4.2. Área de germinación	31
3.4.2.1. Sembrado	31

3.4.2.2. Densidades de siembra	31
3.4.2.3. Cámara de germinación.....	32
3.4.3. Área de Producción.....	32
3.4.3.1. Riego y fertilización.....	32
3.4.3.2. Cosecha	33
3.4.4. Análisis Estadístico	33
3.4.4.1. Factores de estudio	34
3.5. Variables de evaluación	34
3.5.1. Variables agronómicas.....	34
3.5.1.1. Germinación	34
3.5.1.2. Altura de la planta	35
3.5.1.3. Índice de crecimiento	35
3.5.2. Variables de rendimiento.....	35
3.5.2.1. Rendimiento de biomasa de FVH	35
3.5.3. Variables de análisis económico	35
3.5.3.1. Ingreso bruto.....	36
3.5.3.2. Ingreso neto.....	36
3.5.3.3. Relación Beneficio/costo.....	36
3.5.3.4. Rentabilidad.....	37
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
4.1. Caracteres climáticos	38
4.2. Variables agronómicas.....	39
4.2.1. Germinación	39
4.2.2. Altura de planta.....	41
4.2.3. Índice de crecimiento de la planta de FVH.....	46
4.5. Variables de rendimientos.....	47
4.5.1. Rendimiento de biomasa de FVH.....	47
4.5.1. Rendimiento de Forraje Verde Hidropónico por kilogramo de semilla	52
4.6. Análisis de costos de producción de Forraje Verde Hidropónico	56
4.6.1. Egresos.....	56
4.6.2. Ingresos	57
4.6.2.1. Análisis de precio.....	57
4.6.2.2. Ingreso bruto.....	59
4.6.2.3. Ingresos netos	59

4.6.2.4. Relación beneficio-costo	59
4.6.2.5. Rentabilidad	60
5. CONCLUSIONES.....	61
6. RECOMENDACIONES	62
7. BIBLIOGRAFÍA	63
ANEXOS	68

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Valor nutricional de FVH frente a otros forrajes.....	4
Cuadro 2. Comparación entre las características del FVH (cebada) y otras fuentes alimenticias.	4
Cuadro 3. Valor nutricional del Forraje Verde Hidropónico	6
Cuadro 4. Análisis físico - químico del BÍOL.....	21
Cuadro 5. Análisis de propiedades químicas del Té de estiércol	23
Cuadro 6. Densidades de siembra en estado seco y embebido.	31
Cuadro 7. Tipos de bioreguladores, disoluciones y proporciones.	32
Cuadro 8. Esquema del experimento para Forraje Verde Hidropónico de cebada	34
Cuadro 9. Análisis de varianza, del porcentaje de germinación.....	39
Cuadro 10. Análisis de varianza para la altura de la planta	41
Cuadro 11. ANVA para la variable peso biomasa de FVH al momento de la cosecha.....	47
Cuadro 12. Rendimiento de biomasa de FVH por tratamiento y densidad de siembra.	50
Cuadro 13. Rendimiento en kilogramo de biomasa vegetal por kilogramo de semilla.....	52
Cuadro 14. Análisis de costo de producción de FVH, por tratamientos	56
Cuadro 15. Resumen final de los resultados obtenidos para los tratamientos.....	58
Cuadro 16. Datos de la temperatura y la humedad del ambiente	69
Cuadro 17. Porcentaje de germinación de la semilla de cebada	71
Cuadro 18. Desarrollo en la altura de la planta de FVH a los 17 días.....	71
Cuadro 19. Índice de crecimiento de altura de la planta de FVH.	71
Cuadro 20. Biomasa producida por bandeja y media por tratamiento	72
Cuadro 21. Rendimiento de biomasa de FVH por metro cuadrado.....	72
Cuadro 22. Rendimiento de biomasa de FVH por kilogramo de semilla	72
Cuadro 23. Relación kilogramo de semilla - biomasa producida.....	72
Cuadro 24. Costo de la construcción del ambiente.....	73

Cuadro 25. Costo de construcción de estantería	74
Cuadro 26. Costo de construcción de bandejas	74
Cuadro 27. Costo de adquisición de materiales de utensilio.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del Municipio de Achacachi.....	26
Figura 2. Temperaturas extremas, mínimas y media dentro del invernadero.....	38
Figura 3. Prueba de Duncan para el porcentaje de germinación.	40
Figura 4. Promedio de altura de la planta del Factor A.....	42
Figura 5. Efecto de Bioreguladores en la altura de la cebada.....	43
Figura 6. Promedio de altura de la planta por tratamiento en cm.....	45
Figura 7. Índice de desarrollo por días de crecimiento de Forraje Verde Hidropónico.	46
Figura 8. Promedio de peso biomasa vegetal debido a dos densidades de siembra.	48
Figura 9. Peso de biomasa vegetal del Factor B.	49
Figura 10. Peso de biomasa obtenida en la cosecha, en promedio en Kg.....	51
Figura 11. Rendimiento de FVH por kilogramo de semilla utilizada para factor A.....	53
Figura 12. Rendimiento de FV H por kilogramo de semilla utilizada para factor B.....	54
Figura 13. Rendimiento de FVH por kilogramo de semilla utilizada para interacción A*B.	55
Figura 14. Costo de producción por kilogramo de FVH	57
Figura 15. Análisis de rentabilidad de la producción de FVH de cebada.	60
Figura 16. Distribución de bloques y unidades experimentales	69
Figura 17. Diseño de la estructura del estante de madera.....	70
Figura 18. Diseño de la estructura de la bandeja construida de madera	70

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Croquis del experimento de la producción de FVH.....	69
Anexo 2. Características de las Unidades Experimentales.....	70
Anexo 3. Datos del campo experimental de producción de FVH	71
Anexo 4. Datos del campo experimental, rendimiento de biomasa del FVH.....	72
Anexo 5. Datos del costo de la construcción del invernadero y materiales de utensilio... ..	73
Anexo 6. Imágenes del trabajo experimental.....	75

RESUMEN

En el Altiplano norte de La Paz, existe escasa disponibilidad de alimento verde para los animales en el tiempo de estiaje. Una alternativa para satisfacer a este problema radica en la producción y utilización de Forraje Verde Hidropónico (FVH) a partir de diferentes especies de cereales y con el empleo de bio reguladores orgánicos a través del sistema de riego para incrementar el rendimiento o calidad de biomasa. Se implementó un trabajo para evaluar el desarrollo, rendimiento y rentabilidad de FVH de cebada. El trabajo se condujo bajo condiciones de un Diseño Completamente al Azar con arreglo factorial 2x3, densidades de siembra de 0.6 kg/UE (D1) y 0.8 kg/UE (D2) y tres tipos de bio reguladores orgánicos biol, té de estiércol y agua; que fue realizado en la comunidad de Arasaya Kentuyo, municipio de Achacachi, provincia Omasuyos del departamento de La Paz.

Para obtener FVH se ha utilizado semilla variedad IBTA-80 adquirida del mercado local, es necesario realizar la selección, lavado, pregerminación, germinación, siembra en las bandejas, la fertirrigación y la cosecha. Los primeros 5 días después de la siembra solo se utilizó agua pura, desde ahí hasta antes de dos días de la cosecha se realizó con los bio reguladores preparadas con concentración de 25% de biól y 25% de té de estiércol al respecto del agua, el tercero con 100% de agua del pozo; el riego se realizó a las 7 a 8 a.m. y 17 a 18 p.m. con un promedio de 0.5 L por unidad experimental.

El desarrollo de la planta para D2 y D1 fue de 23.9 y 23.2 cm de promedio altura; en tanto para bio reguladores biol, agua y té de estiércol fue de 24.2, 23.5 y 22.9 cm de promedio; no hubo diferencias entre densidades pero si entre bio reguladores, el biol al 25% superó al 100% de agua y al 25% té de estiércol con una diferencia significativa. El rendimiento de biomasa de FVH para D2 y D1 fue de 5.206 y 4.915 kg de promedio, no hubo diferencias; para los bio reguladores biol, agua y té de estiércol fue de 5.253, 5.239 y 4.816 kg de promedio, el biol ha sido superior al respecto del agua y mucho más sobre té de estiércol con una diferencia significativa. En relación al $B/c > 1$, demuestra para la producción de FVH es rentable con la aplicación de D1+agua y de D2+agua, de cada boliviano invertido se obtienen 0.53 y 0.47 Bs. de utilidad.

ABSTRACT

In northern Altiplano La Paz, there is limited availability of green feed for the animals in time of drought. An alternative to meet this problem is the production and use of Hydroponic Green Forage (FVH) from different cereal species and the use of organic Bioregulators through the irrigation system to increase performance or quality of biomass. Work was implemented to evaluate the development, performance and profitability of barley FVH. The work was conducted under conditions of a Completely Random Design 2x3 factorial arrangement, densities of 0.6 kg / EU (D1) and 0.8 kg / EU (D2) and three types of organic biol bioregulators, manure tea and water; which was conducted in the community of Arasaya Kentuyo municipality Achacachi Omasuyos province department of La Paz.

For FVH seed variety has been used IBTA-80 purchased from the local market, it is necessary to make the selection, washing, pre-germination, germination, planting trays, fertigation and crop. The first 5 days after sowing only pure water was used from then until two days before the harvest was performed with bioregulators concentration prepared with 25% and 25% biol manure tea about water, third with 100% water from the well; irrigation was performed at 7-8 am and 17-18 pm with an average of 0.5 L per experimental unit.

The development of the plant to D2 and D1 was 23.9 and 23.2 cm height average; in both biol bioregulators, water and manure tea was 24.2, 23.5 and 22.9 cm average; there were no differences between densities but between bioregulators, biol 25% exceeded 100% water and 25% manure tea with a significant difference. The biomass yield for D2 and D1 FVH was 5,206 and 4,915 kg on average, there was no difference; for biol bioregulators, water and manure tea was 5.253, 5.239 and 4.816 kg average, was higher biol about water and more about manure tea with a significant difference. Relative to B / c > 1 demonstrates for producing FVH is profitable with the application of D1 + D2 + water and water, invert each Bolivian 0.53 and 0.47 are obtained Bs. useful.

1. INTRODUCCION

Las actividades más importantes en el Altiplano norte de La Paz es la producción agropecuaria, la cual sigue siendo la base de la economía de cada región y por supuesto el sustento de cada familia. Una de las actividades es la producción de leche que es la fuente de ingresos sostenidos para las familias del área rural.

La producción de leche es una actividad agropecuaria, por tanto involucra a varios factores productivos entre ellos: el suelo, forraje, animal, infraestructura y mano de obra. Los productores ven la oportunidad de comercializar en calidad de leche fresca fría a las empresas industrializadoras, como subproducto a nivel local y en ciudades cercanas, para la sostenibilidad económica y el mejoramiento de sus viviendas, manutención familiar, gastos de salud y educación; también ha contribuido al desarrollo de otros sectores de la economía como el comercio, el transporte y otros.

Desde esta perspectiva, la alimentación animal por ser la clave del éxito o fracaso de este tipo de explotaciones, representa un verdadero reto el ir buscando el mejor método de alimentación que se maneje, para los productores de la zona es el forraje como alimento fundamental para el ganado lechero, que en los últimos años con la introducción de ganado mejorado se han ampliado las superficies de cultivo.

Uno de los problemas que presenta la ganadería en esta región es la escases del forraje verde en el tiempo de estiaje debido por las limitaciones y condiciones climatológicas adversas, tales como sequías, falta de lluvia, presencia de heladas, la temperatura llega a descender hasta $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$., ventarrones, alta evapotranspiración y etc.; imposibilitando que el productor cuente con suficiente forraje verde deseado en época seca.

Ante esta situación, surge la necesidad de emplear cultivos alternativos adecuados a las condiciones climáticas del Altiplano. Una de las alternativas, es la producción de Forraje Verde Hidropónico (FVH); el cual se presenta como una opción complementaria muy valiosa ya que permite brindar alimento de gran calidad para el consumo de los animales, la planta crece más rápidamente que los cultivos geopónicos. Es importante señalar si, bien es cierto que el Forraje Verde Hidropónico es una necesidad complementaria y no así la solución definitiva ni competitiva a la producción convencional.

La utilización de FVH constituye un factor muy importante en la alimentación animal, como fuente nutritivo, por su palatabilidad, una buena digestibilidad y excelente sustituto del alimento concentrado. Este sistema hidropónico está considerado como un concepto nuevo de producción, ya que para esta actividad, no se requiere de grandes extensiones de tierras, periodos largos de producción, ni formas de conservación y almacenamiento.

La región del Altiplano es conocida por escasez estacional de forraje verde, producto de alta variabilidad climática, ausencia de lluvias, heladas prolongadas, fisiografía y tenencia del terreno reducido, se muestran adversas para la producción de forraje verde durante gran parte del año y ocurren muchas veces no cuentan con suficientes reservas de forraje verde y pasturas, henos o ensilados como forraje conservado. Frente a esta situación y necesidad, esta tecnología es indicada y accesible para los productores, donde cuenten con espacio propicio para la construcción de un invernadero adecuado, fuentes de agua y herramientas necesarias para la producción de Forraje verde Hidropónico en el Altiplano, durante la época de sequía.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

- Evaluar la aplicación de dos bioreguladores con diferentes densidades de siembra de cebada (*Hordeum vulgare L.*), en la producción de Forraje Verde Hidropónico.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Determinar el efecto de diferentes tipos de bioreguladores, sobre el desarrollo y rendimiento del cultivo hidropónico.
- Determinar la densidad de siembra óptima en la producción de Forraje Verde Hidropónico.
- Evaluar el análisis económico parcial de la producción de forraje Verde Hidropónico bajo las condiciones controladas.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Características generales

2.1.1. Hidroponía

La producción del FVH es tan solo una de las derivaciones prácticas que tiene el uso de la técnica de los cultivos sin suelo o hidroponía y se remonta al siglo XVII cuando el científico Irlandés Robert Boyle 1627 – 1691 realizó los primeros experimentos de cultivo en agua (Palomino, 2008).

Es la forma de cultivar sin tierra, para ello se utiliza una combinación de sales precisas de diferentes sales minerales que contienen todos los nutrientes que requieren las plantas para su desarrollo y que habitualmente les entrega la tierra, diluidas en agua potable la cual se aplica directamente a las raíces de diferente forma, según el método hidropónico que se adopte. La hidroponía es una forma de cultivo que se puede aplicar a cualquier tipo de plantas, ya sean para consumo o decorativas y pueden practicarse tanto en espacios abiertos como cerrados (Sánchez, 2.000).

Carballo (2000), anota, la hidroponía significa plantar verduras, forrajes en agua o materiales distintos a la tierra, también se conoce como la agricultura del futuro, es una forma de cultivar verduras y vegetales ricos en vitaminas y minerales, de manera limpia y sana, que nos permitan crecer sanos y fuertes.

El mismo autor menciona, que ofrece grandes beneficios, donde el agua es un factor limitante, ya que la planta crece en un contenedor al que se le administra la cantidad suficiente de solución nutritiva y agua para mantenerse húmeda, por lo que las raíces requieren menor cantidad de sustrato y no necesitan extenderse tanto para buscar su nutrimento. Además combinando con un buen manejo del invernadero se obtiene rendimientos muy superiores a los que se obtienen en cultivos a cielo abierto.

2.1.2. El cultivo de Forraje Verde Hidropónico

FAO (2002) menciona, que el forraje verde hidropónico es un sistema de producción de biomasa vegetal de alta sanidad y calidad nutricional: producido muy rápidamente 9 a 15 días, en cualquier época del año en cualquier localidad geográfica, siempre y cuando se establezcan las condiciones mínimas necesarias para ello.

La producción de FVH es de alto valor nutritivo, consumible al 100%, obtenida por el crecimiento inicial de las plantas en el estado principal de germinación, crecimiento y desarrollo de la hoja (tallo principal), a partir de semillas húmedas colocadas en bandejas, en un corto periodo de tiempo de 15 a 22 días, captando energía solar, calor y asimilando los nutrientes contenidos en el agua, que son proporcionados diariamente a las semillas (Aquino, 2010).

El Forraje Verde Hidropónico puede ser empleado para la alimentación de rumiantes, cerdos y pollos. Este forraje es consumido en su integridad, vale decir que los animales comen la parte aérea de planta, los restos de la semilla y las raíces (Matos, 1996).

2.1.3. Valor nutricional del Forraje Verde Hidropónico

LA RED HIDROPONIA (2003) menciona que, el FVH al alcanzar una altura de 25 a 30 cm es cosechado y suministrado con la totalidad de la planta, es decir, raíz, semillas, tallos y hojas, constituyendo una completa compuesta por: de proteína, energía, minerales y vitaminas altamente asimilables. Según el análisis químico de las diferentes partes del FVH (raíces, tallos y hojas), se puede resaltar el alto contenido de proteínas que se encuentra en hojas y tallos, además del alto contenido de grasa, carbohidratos y N.D.T. encontrados en las raíces (es el único forraje que es suministrado con raíces).

Cuadro 1. Valor nutricional de FVH frente a otros forrajes.

	FVH	Alfalfa	Maíz Chala
Proteína %	16 – 22	17 - 21	7.5 - 9.0
Energía NDT %	70 – 80	60 - 65	68 - 72
Grasa %	2.5 - 5.0	1.8 - 2.2	1.8 - 2.0
Digestibilidad %	80 – 90	65 - 70	60 - 70

Fuente: Universidad Nacional Agraria La Molina (2006)

Cuadro 2. Comparación entre las características del FVH (cebada) y otras fuentes alimenticias.

Parámetro	FVH(Cebada)	Concentrado	Heno	Paja
Energía (Kcal/Kg.MS)	3.216	3.000	1.680	1.392
Proteína cruda (%)	25	30.0	9.2	3.7
Digestibilidad (%)	81.6	80	47.0	39.0
Kcal digestible/Kg	488	2.160	400	466
Kg proteína digestible/Tm	46.5	216	35.75	12.41

Fuente: Sepúlveda. Raymundo. 1994.

2.2. Ventajas y desventajas de la producción de Forraje Verde Hidropónico

2.2.1. Ventajas

2.2.1.1. Ahorro de agua

La producción de 1 kilo de forraje verde hidropónico requiere de 1.2 a 1.5 litros de agua, durante todo el proceso (germinación y producción). Esto se traduce en un consumo total de 5 a 6 litros de agua por kilogramo de materia seca obtenida en 15 días, y de 8 a 9 litros de agua en época de invierno (20 días). En comparación con la producción convencional, donde se requiere para producir un 1 kilo de materia seca, de 270 a 635 litros de agua, ésta técnica es muy ventajosa (Aquino, 2010).

En el sistema de producción de FVH las pérdidas de agua por evapotranspiración, escurrimiento superficial e infiltración son mínimas al comparar con las condiciones de producción convencional en especies forrajeras, cuyas eficiencias varían entre 270 a 635 litros de agua por kg de materia seca. Cuanto desperdicio de agua, alternativamente la producción de 1 kilo de FVH requiere de 2 a 3 litros de agua con un porcentaje de materia seca que oscila, dependiendo de la especie forrajera, entre un 12% a 18%. Esto se traduce en un consumo total de 15 a 20 litros de agua por kilogramo de materia seca obtenida en 14 días (Vargas, s/f).

2.2.1.2. Espacio reducido

Este sistema de producción de forraje verde, se produce en forma vertical hasta seis niveles de altura, este límite máximo, se recomienda por su fácil y cómodo manejo durante el riego y cosecha, que permite mayor producción por unidad de superficie. Esta tecnología permite densidades de siembra altas 4.4 Kg. de semilla húmeda/m²., logrando producir en promedio de 1282 Kg. de materia verde en 15 a 22 días (Aquino, 2010).

El sistema de producción de FVH puede ser instalado en forma modular en la dimensión vertical lo que optimiza el uso del espacio útil. Eficiencia en el tiempo de producción. La producción de FVH apto para alimentación animal tiene un ciclo de 10 a 12 días. En ciertos casos, por estrategia de manejo interno de los establecimientos, la cosecha se realiza a los 14 o 15 días, a pesar que el óptimo definido por varios estudios científicos, no puede extenderse más allá del día 12 (RED HIDROPONIA, 2003).

2.2.1.3. Eficiencia en el tiempo de producción

La producción de forraje verde es bastante rápida, el ciclo completo para la producción de forraje verde hidropónico hasta la cosecha se realiza cada 15 a 22 días (no se deberá extender más de esta tiempo, pues a partir d este tope se inicia un descenso en el valor nutricional del forraje). Cada kilo de semilla húmeda de cebada se convertirá en una biomasa vegetal verde de 5.8 kilos, con una altura promedio de 25 a 30 cm., formado por tallos, hojas, raíces y restos de semilla (Aquino, 2010).

La producción de FVH apto para alimentación animal tiene un ciclo de 10 a 12 días. En ciertos casos, por estrategia de manejo interno de los establecimientos, la cosecha se realiza a los 14 o 15 días, a pesar que el óptimo definido por varios estudios científicos, no puede extenderse más allá del día 12. Por cada kilo sembrado de semilla de cereal se obtiene al cabo de 2 semanas 6 kilos de biomasa forrajera (Vargas, s/f).

La producción de forraje verde hidropónico apto para alimentación animal tiene un ciclo de 16 a 18 días, dependiendo de la temperatura de la zona y la infraestructura se puede obtener forrajes entre 12 a 14 días (Espíritu y Herrera 2012).

2.2.1.4. Calidad de forraje

El FVH, es un forraje de alta calidad superior a otros, el cual se suministra al ganado en forma completa (hojas, tallos, raíces y restos de semilla), constituyéndose en un alimento nutricional de excelente calidad en proteína, aminoácidos carbohidratos suficientes, contiene vitaminas y minerales. Estimula el sistema inmunológico para evitar todo tipo de enfermedades en los animales (Aquino, 2010).

Cuadro 3. Valor nutricional del Forraje Verde Hidropónico

Análisis		Raíces	Tallos	Hojas	Total
Proteína cruda	%	12.2	27.18	35.28	16.02
Grasa	%	5.68	4.55	3.76	5.37
Fibracruada	%	10.29	26.78	21.50	12.94
E.L.N.	%	69.28	36.78	34.66	62.63
Ceniza	%	2.56	5.17	4.80	3.03
N.D.T.	%	84.03	61.29	76.26	80.91

Fuente: Universidad Nacional Agraria La Molina (2008)

Espíritu y Herrera (2012) anotan, si bien es cierto que la calidad nutritiva de los diferentes forrajes cambia de acuerdo a diferentes factores, incluyendo la época de cosecha, edad, tipo, variedad, clima y manejo del cultivo, en el medio ganadero se conoce a la alfalfa como la reina de las forrajeras. Lo anterior por la calidad de sus nutrientes, sobre todo en cuanto al contenido de proteínas.

Se presentan los valores de este forraje en relación a los encontrados en forraje verde hidropónico a partir de diferentes semillas; aquí es conveniente recordar que el más alto costo de una ración siempre está dado por el componente que aporta el mayor contenido de proteínas y en este caso el FVH constituye una proteína de bajo costo por lo que la ración resultará más económica y además el animal la come con gusto. Cabe destacar también que el FVH cuenta con una buena cantidad de vitamina E y valores altos de pro vitamina A (RED HIDROPONIA, 2003).

2.2.1.5. Inocuidad del forraje verde hidropónico

Sánchez (1997) anota, el FVH producido presenta un forraje limpio e inocuo, asegurando la ingesta de un alimento conocido por su valor alimenticio y su calidad sanitaria, también señala que a través del uso del FVH los animales no comerán hierbas o pasturas indeseables que dificulten o perjudique los procesos de metabolismo, absorción o producción.

El forraje verde hidropónico representa un forraje sano y limpio debido a que se riega con agua potable, evitando de esta manera la presencia de enfermedades infecciosas en los animales a los que se les otorga, con una digestibilidad de 30 a 95 % y con alto valor nutritivo (Espíritu y Herrera 2012).

Aquino (2010) menciona, el FVH es un forraje totalmente limpio, libre de insecticidas, fungicidas y otros tóxicos que hacen del producto el indicado para producir carne, leche de calidad, por su alto valor nutritivo.

2.2.1.6. Costos de producción

Las inversiones necesarias para producir FVH dependerán del nivel y de la escala de producción. Considerando los riesgos de sequías, otros fenómenos climáticos adversos, las pérdidas de animales y los costos unitarios del insumo básico (semilla) el FVH es una alternativa económicamente viable que merece ser considerada por los pequeños y

medianos productores. Asimismo señala, 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 (Vargas, s/f).

2.2.2. Desventajas

2.2.2.1. Desinformación y sobrevaloración de la tecnología

Según los autores Espíritu y Herrera (2012) mencionan, el FVH es una actividad continua y exigente en cuidados lo que implica un compromiso concreto del productor; por otro lado el desconocimiento de las exigencias del sistema hidropónico como: invernadero la especie forrajera y variedades, su comportamiento productivo, enfermedades, plagas, fertilizantes y de agua, óptimas condiciones de luz, temperatura, humedad del ambiente.

2.2.2.2. Costo de instalación

Una desventaja que presenta este sistema, es el elevado costo de su implementación. Sin embargo se ha demostrado que el invernadero modelo andino modificado, no solamente puede ser utilizado, para la producción de forraje verde hidropónico (FVH), sino también para la producción de hortalizas de hoja, durante todo el año, haciendo que la inversión sea recuperada en un corto periodo, después de su implementación (Aquino, 2010).

2.3. Factores que influyen en la producción de Forraje Verde Hidropónico

2.3.1. Selección y calidad de semilla

Aquino (2010) anota, en el Altiplano y la zona alto andina, deberá utilizarse granos de cebada o avena por ser conocida y producida en la zona por los productores, esta elección del grano a utilizar dependerá de la producción y disponibilidad local; no se recomienda el uso de semilla certificada por el alto costo.

El mismo autor indica, las semillas deben tener un porcentaje de germinación no inferior al 80%, de origen conocido adaptadas a las condiciones locales, para evitar pérdidas en la producción de FVH y deben estar libres de piedras, pajas, tierra, semillas partidas y semillas de otras plantas.

2.3.2. Requerimientos ambientales para la producción de FVH

Para la producción de forraje verde hidropónico, se debe tomar en cuenta los siguientes factores: luminosidad, temperatura, humedad (riego y humedad relativa) y aireación (Aquino, 2010).

2.3.2.1. Luminosidad

Al comienzo del proceso de producción de forraje verde hidropónico, la presencia de luz del sol durante la germinación de las semillas no es necesaria hasta el séptimo día de sembradas las bandejas con semilla, deben estar en ambiente oscuro, pero con oportuno riego para favorecer la aparición de los brotes y el posterior desarrollo de las raíces (Aquino, 2010)

Otro factor a considerar siempre es la luz. De acuerdo a las horas-luz que haya en la zona donde se instaló el invernadero, es necesario elegir el cultivo que mejor se adapte al lugar, Otra idea es completar las horas-luz que faltan, mediante luz artificial, como la eléctrica, siempre que el costo lo permita (Barios, s/f).

2.3.2.2. Temperatura

La temperatura es uno de los factores importantes en la producción de forraje verde hidropónico en zonas de altura; el rango óptimo de temperatura para la producción de FVH está entre los 15° a 30°C. La variabilidad de las temperaturas óptimas para la germinación y crecimiento de la planta es diversa (Aquino, 2010).

Martínez (2001) citado por FAO (2001) menciona, que la temperatura es una de las variables más importantes en la producción de FVH. Ello implica efectuar un debido control sobre la regulación de la misma. El rango óptimo para producción de FVH se sitúa siempre entre los 18° C y 26 ° C. La variabilidad de las temperaturas óptimas para la germinación y posterior crecimiento de los granos en FVH es diverso.

2.3.2.3. Humedad

La humedad relativa del recinto de producción no puede ser inferior a 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).

Barios (s/f), señala que mantener un estricto control sobre la humedad al interior de los invernaderos, es un factor importante. Ésta varía según los requerimientos del cultivo. Si bien es cierto que ayuda al desarrollo de las plantas, un exceso de ella les resulta perjudicial por favorecer el desarrollo de enfermedades causadas por hongos y bacterias.

2.3.3. Calidad del agua de riego

La condición básica que debe presentar el agua para ser usada en la producción de forraje verde hidropónico, es su característica de potabilidad. Su origen puede ser pozo, de lluvia, de río, o agua corriente de cañería. La calidad del agua de riego está determinada por la composición y concentración de diferentes elementos de sales solubles en el agua. La calidad química del agua de riego se determina por la conductividad eléctrica (CE) que es la forma de expresar las sales totales que se encuentran en el agua de riego (Aquino, 2010).

Iniciar una adecuada irrigación; el principal secreto del éxito de producción del FVH, se basa en una adecuada irrigación, por lo que a partir del momento de siembra, se deben iniciar los riegos hasta que la biomasa de FVH se vaya a cosechar. En este sentido, se recomienda hacer uso de una solución nutritiva disuelta en agua (Elizondo, 2001).

2.3.3.1. Potencial hidrogeno del agua para riego

Para FAO (2001), 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 de cereales utilizadas usualmente en FVH, no se comportan eficientemente por encima del valor 7. Gallardo (1997) anota, las plantas prefieren un nivel de pH óptimo para la absorción de nutrientes, como la cebada que tiene un óptimo entre 6 a 7.2 siendo su límite de tolerancia inferior a 5.

2.3.3.2. Conductividad eléctrica del agua

Ramos (1999), señala que la conductividad eléctrica del agua (CE) nos indica cual es la concentración de sales en una solución. En nuestro caso, nos referiremos siempre a la solución nutritiva que se le aplica al cultivo. Su valor se expresa en miliSiemens por

centímetro (mS/cm) y se mide con un conductímetro previamente calibrado. En términos físico-químicos la CE de una solución significa una valoración de la velocidad que tiene un flujo de corriente eléctrica en el agua.

El mismo autor anota, un rango óptimo de CE de una solución nutritiva estaría en torno de 1,5 a 2,0 mS/cm. Por lo tanto, aguas con CE menores a 1,0 serían las más aptas para preparar nuestra solución de riego. Debe tenerse presente también que el contenido de sales en el agua no debe superar los 100 miligramos de carbonato de calcio por litro y que la concentración de cloruros debe estar entre 50 – 150 miligramos por litro de agua.

2.3.4. Factores básicos para el establecimiento de la producción de FVH

2.3.4.1. Ubicación del lugar

Para iniciar la construcción se debe nivelar bien el suelo; buscar un sitio que esté protegido de los vientos fuertes; que cuente con disponibilidad de agua de riego de calidad aceptable para abastecer las necesidades del cultivo; y con fácil acceso a energía eléctrica (RED HIDROPONIA, 2003).

Sampeiro (1997) recomienda, la ubicación del invernadero sea próxima a la vivienda para facilitar la vigilancia de los invernaderos en épocas de condiciones extremas. Conviene evitar áreas que sean blancos de vientos excesivamente fuertes.

2.3.4.2. Tamaño del cultivo

Dependerá del espacio disponible y del propósito del mismo; varía desde una planta en un recipiente o a partir de 1m² hasta varias hectáreas; la superficie escogida para el abastecimiento del cultivo debe ser nivelada o con posibilidades de hacerlo, tener buen drenaje interno, con un mínimo o de percolación de 1 pulgada por hora; contar con agua disponible cerca al cultivo (Sampeiro, 1997).

2.3.4.3. Orientación

Uno de los factores que más incide en la producción de cualquier especie vegetal es la luz, por lo que debemos procurar que ésta llegue lo mejor posible al invernadero. La orientación del mismo hará que los rayos solares penetren en mayor o menor grado. La orientación más conveniente es ESTE–OESTE, o sea que el lado más largo del invernadero mire hacia el NORTE (Schinelli, s/f)

El mismo autor señala, otro factor a tener en cuenta al decidir la orientación del invernadero es el viento, el fuerte viento trae el peligro de daño tanto en la estructura como en el material de la cubierta. Lo ideal es que el invernadero presente la mayor resistencia posible, esto se logra orientando el invernadero con su lado más largo en la misma dirección que el viento o bien, en diagonal.

2.3.5. Componentes básicos para el cultivo de Forraje Verde Hidropónico

2.3.5.1. Invernadero

Espíritu y Herrera (2012), señalan que pueden ser artesanales o tecnificados, los cuales son ambientes cerrados lo que hace que el forraje crezca independientemente de las condiciones climáticas que ocurren en el exterior. Los invernaderos artesanales el tamaño es de acuerdo al tamaño del módulo siendo el mínimo de 2.5 a 3 m de altura, 3 m de ancho y 3 m de largo para un módulo familiar de 40 bandejas, construido con adobe y techo de calamina transparente, con ventanas a los costados para que nos permita una ventilación adecuada del invernadero así como protección en la épocas lluvia.

Barios (s/f) menciona, en climas fríos es necesario que el invernadero cuente con una doble cubierta de polietileno, con las láminas separadas entre sí por 7 a 10 centímetros. Esto permitirá que la cámara de aire que se produce entre ellas actúe como aislante para conservar el calor. La cubierta exterior requiere de un material más grueso (0,15 Û 0,20 mm) y con protección Anti UV (Rayos Ultravioletas); polietileno de dos temporadas. En cambio, para los interiores basta con uno delgado (0,06 mm).

2.3.5.2. Estantería

Se pueden construir estantes independientes para el soporte de las bandejas con uno o varios niveles, estos pueden ser construidos con madera o material metálico según los recursos del productor (Carballo, s/f).

Que comprende toda la estantería para soportar las bandejas en que se va a cultivar el forraje y puede ser de madera, metal, PVC. Su altura debe ser tal que ofrezca comodidad en las diferentes labores del cultivo (Gutiérrez *et al.*, 2000).

Estos estantes tienen una inclinación alternada de las bandejas con una pendiente del 2% que permite recolectar el agua sobrante después del riego (Aquino, 2010).

2.3.5.3. Bandejas

Bandejas son 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, material plástico o formaletas de madera cubiertas de polietileno. Sus medidas varían de 40 a 60 cm. de ancho 80 a 120 cm. de largo, profundidad es de 2 a 5 cm (Gutiérrez *et al.* 2000).

Se recomienda trabajar con bandejas de plástico o de fibra de vidrio, evitar las bandejas de metal. Las bandejas deberán tener perforaciones a un lado, además de tener una ligera inclinación, para evitar el estancamiento del agua (Espíritu y Herrera, 2012).

2.3.5.4. La Fertirrigación

El método de fertirriego combina la aplicación de agua de riego con los fertilizantes. Esta práctica incrementa notablemente la eficiencia de la aplicación de los nutrientes, obteniéndose mayores rendimientos y mejor calidad, con una mínima polución del medio ambiente (Castedo, 2008).

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 intenso (Samperio, 1997).

2.4. Proceso de Producción del Forraje Verde Hidropónico

2.4.1. Selección de semilla

Ante todo, se debe seleccionar cuidadosamente la semilla, atendiendo a que los granos estén en buen estado (ni rotos, ni maltratados) y, particularmente, a que no hayan sido tratados con pesticidas o productos tóxicos (Gutiérrez, 1997).

Aquino (2010), recomienda el uso de las semillas locales para la producción de FVH, con un 80% mínimo de germinación. Las semillas a utilizarse deben reunir ciertos requisitos y con las siguientes características:

- Las semillas deben estar libres de malezas, plagas y enfermedades.
- Las semillas deben tener una humedad del 12%.

- Las semillas deben tener una madurez fisiológica.
- Las semillas no debe ser demasiado viejas y guardadas por mucho tiempo.
- Las semillas deben ser enteras. Sanas y no partidas.
- Las semillas deben tener un 80% de germinación

2.4.2. Lavado de semilla de cebada

Las semillas son lavadas con el objeto de eliminar el polvo que contienen, ya que en ella se encuentra una gran cantidad de microorganismos, este lavado se realiza sumergiendo de las semillas en agua y agitándolas por unos segundos, para luego eliminar el agua sucia, procedimiento que se repite hasta tres veces, dependiendo del grado de suciedad de éstas (Gutiérrez, *et al.*, 2000).

2.4.3. Remojo y pregerminación de semilla

Aquino (2010), señala que una vez que se ha seleccionado la variedad, calidad de semilla a utilizar, estas deben ser pesadas utilizando una romanilla o balanza, posteriormente colocadas en un balde de plástico, agregar agua de buena calidad al tacho hasta sobrepasar el nivel de la semilla, con el fin de lograr una completa imbibición de las semillas durante 24 horas.

Elizondo (2001), consiste en dejar las semillas sumergidas en agua, por un periodo de 24 horas, dividido en dos periodos de 12 horas, cuando se cumplan las primeras 12 horas, se bota el agua, se lava la semilla y se vuelve a sumergir por otro periodo de igual duración. Toda esta fase, se caracteriza por un rápido consumo de agua que facilita el metabolismo del material de reserva y la utilización de este para el crecimiento y desarrollo.

2.4.4. Siembra en las bandejas

Para esto se recomienda lavar con detergente y agua caliente cada bandeja en un contenedor, para después enjuagarla con abundante agua natural y así no mantener ningún rastro de detergente. Seguidamente se procede al nivelado de la semilla dentro de las bandejas, la cual no deberá sobrepasar los 1.5 cm de altura o espesor, esto nos ayudará a que la germinación y el crecimiento sea uniforme (Aquino, 2010).

Se distribuirá una delgada capa de semillas pregerminadas, la cual no deberá sobrepasar los 1,5 cm. de altura o espesor; posteriormente tapamos todo con un plástico negro

recordando que las semillas deben estar en semi-oscuridad en el lapso de tiempo que transcurre desde la siembra hasta su brotación. Una vez observada la brotación completa de las semillas retiramos el plástico negro (Hidalgo, 1985).

2.4.4.1. Densidad de siembra

Las dosis óptimas de semillas a sembrar por metro cuadrado oscilan entre 2,2 kilos a 3,4 kilos considerando que la disposición de las semillas o siembra se distribuirá una delgada capa de semillas pre- germinadas, no debe superar los 1,5 cm de altura o espesor en la bandeja (Corona, 2011).

2.4.5. Crecimiento en área de producción

Una vez dispuestas las semillas en el contenedor o charolas con un espesor de 1 cm., permanecerán en el germinador hasta que el brote alcance de 0.5 cm. si el brote alcanza ya 0.5 cm., se pasa a la sala o nave de producción, donde las charolas serán humedecidas constantemente con agua, a la que se añadirá una pequeña parte de nutriente que aceleren el crecimiento (Samperio, 1997).

Para el mismo autor, esta última etapa las bandejas son trasladadas a estantes de producción, donde existe una mayor iluminación, además el FVH es regado de una a dos veces al día con solución nutritiva, la cual proveerá de los elementos necesarios que la planta requiere. El período de crecimiento del FVH dura entre seis a ocho días alcanzando una altura promedio en dicho periodo de 20 a 30 cm., la cual dependerá de las condiciones ambientales como: temperatura, humedad, ventilación, frecuencia de riego e iluminación.

2.4.6. Cosecha de Forraje Verde Hidropónico

El punto que indica la cosecha es cuando las hojas tienden a perder el vigor y se postran es decir se caen. La cosecha de FVH comprende el total de biomasa vegetal que se encuentra en la bandeja de producción. Esta biomasa comprende las hojas, tallos, el abundante colchón radicular, semillas sin germinar y semillas semi germinadas. Todo esto forma un solo bloque alimenticio, el cual es sumamente fácil de sacar y de entregar a los animales en trozos, desmenuzado y picado, para favorecer una fácil ingesta y evitar rechazos y pérdidas de forraje en el comedero (Aquino, 2010).

La cosecha se hace cuando la plántula ha alcanzado una altura promedio de 25 cm. Este desarrollo demora de 9 a 15 días, dependiendo de la temperatura, condiciones ambientales, el invernadero y a la frecuencia de riego. Como resultado obtendremos un gran tapete radicular ya que las raíces se entrecruzan unas con otras por la alta densidad de siembra. Este tapete está formado por las semillas que no alcanzaron a germinar, las raíces y la parte aérea de 25 cm. de altura (Gutiérrez, *et al.*, 2000).

2.4.6.1. Rendimiento

Sánchez (1982), anota que los rendimientos encontrados en diferentes literaturas a nivel mundial hablan de 9 a 12 kilogramos biomasa de FVH por cada Kg de grano de semilla. Los rendimientos bajo condiciones de 2.800 metros de altura sobre el nivel del mar, determinan que el biomasa de FVH es 7 a 8 kilogramos de FVH por cada kilo de semilla grano de cebada.

El mismo autor recalca, cabe resultar que en la época de cosecha se puede conseguir grano a un precio menor y aún más, los ganaderos pueden cultivar su propio grano, reduciendo así de mayor forma los costos de la materia prima.

2.4.7. Riego en forraje verde hidropónico

El riego de las bandejas de crecimiento del FVH debe realizarse sólo 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 (Corona, 2011).

En los cultivos hidropónicos es imprescindible el uso de un sistema de riego para suplir las necesidades de agua de las plantas y suministrarle los nutrientes necesarios. Los sistemas de riego que pueden utilizarse van desde uno manual con regadera hasta el más sofisticado con controladores automáticos (Jiménez, 2013).

2.5. Procesos fisiológicos del forraje Verde Hidropónico

Hidalgo (1985), señala el embrión del grano, reanuda de su vida latente provocando la ruptura de los tegumentos seminales y a partir de un almacén de energía, es capaz de transformarse en pocos días en una plántula con capacidad para captar energía del sol

(fotosíntesis) y absorber elementos minerales de la solución nutritiva. La germinación se inicia desde el momento en que se somete a imbibición o hidratación.

El mismo autor anota, las enzimas se movilizan invadiendo el interior de la semilla y ocurre una disolución de las paredes celulares por la acción de ellas. Posteriormente, se liberan granos de almidón que son transformados en azúcares y así empieza el proceso de germinación.

2.5.1. Germinación

Se llama germinación el proceso por el se reanuda el crecimiento embrionario después de la fase de latencia. Las condiciones determinantes del medio son: aporte suficiente de agua y oxígeno y temperatura apropiada. Durante la germinación, el agua se difunde a través de las envolturas de la semilla y llega hasta en embrión, que durante la fase de descanso se ha secado (Carballo, s/f).

La germinación de la semilla se puede diferenciar tres fases importantes: absorción de agua, movilización de nutrientes y crecimiento o diferenciación. Desde el momento del remojo de la semilla, las enzimas se movilizan y diluyen las paredes celulares y se liberan gránulos de almidón que son transformados en azúcares empezando así el proceso de germinación (Sarabia, 2000).

2.5.1.1. Absorción de agua

Pérez (1999) menciona, durante esta fase se reanuda el metabolismo de la semilla, para lo cual necesitan condiciones adecuadas de humedad, temperatura, oxígeno. Luego la semilla va aumentando de volumen por la absorción del agua, se reblandecen las cubiertas protectoras y las reservas alimenticias comienzan una serie de reacciones químicas y biológicas que hacen que el embrión se desarrolle,

El mismo autor indica, durante la fase de absorción del agua se inicia la actividad vital de la semilla, es decir, se reanuda el metabolismo, para lo cual se necesitan condiciones adecuadas de humedad, temperatura, oxígeno. Una vez reunidos estos factores la semilla va aumentando de volumen por la absorción del agua, el embrión se hincha, se reblandecen las cubiertas protectoras y las reservas alimenticias principian una serie de reacciones químicas y biológicas que hacen que el embrión se desarrolle.

2.5.1.2. Movilización de nutrientes

En la fase de movilización de nutrientes los cotiledones se van reduciendo mientras la nueva planta consume sus reservas, el alimento almacenado en ellos es digerido por la acción del agua, se descomponen mediante la respiración, o se usa en el desarrollo de nuevas estructuras. Los alimentos almacenados en los cotiledones generalmente se encuentran en cantidades suficientes para sostener el crecimiento de las plántulas hasta cuando ésta pueda empezar a fabricar su propio alimento (Carballo, s/f).

El mismo Autor afirma, el transporte de agua y nutrientes está relacionado con diversos factores ambientales, como la composición del suelo, la pluviosidad, la luz, el calor solar y el aire. Por ósmosis, los pelos absorbentes toman el agua con las sales minerales disueltas, gracias a la luz solar, al CO₂ atmosférico y a la clorofila, la savia bruta se transforma en savia elaborada, la cual es transportada por floema a todas las partes de la planta.

2.5.1.3. Crecimiento y diferenciación

Para Carballo (s/f), indica el crecimiento como la síntesis del material vegetal, que normalmente viene acompañada de un cambio de forma y un aumento irreversible de la masa del organismo, aumento de la longitud o de los diámetros del cuerpo del vegetal y su aumento en peso, el crecimiento de las diferentes partes de la planta suele determinarse por la altura, el área foliar o el peso seco, en relación con el tiempo transcurrido durante el ciclo de vida.

El crecimiento denota los cambios cuantitativos que tienen lugar durante el desarrollo, mientras que la diferenciación se refiere a los cambios cualitativos. El desarrollo se considera sinónimo de morfogénesis, por lo tanto, se define como el conjunto de cambios graduales y progresivos en tamaño (Matos, 1996).

2.6. Fertilización en la producción de Forraje Verde Hidropónico

2.6.1. Importancia de la Fertilización

La fertilización es una de las actividades agrícolas más importantes para realizar un manejo rentable de los cultivos, por los altos beneficios que se podrían obtener al tener

mayores rendimientos y productos de mejor calidad y con menores costos de producción debido al eficiente uso de los fertilizantes (Rodríguez, 2007).

2.6.2. Fertilizantes orgánicos

IPADI (2009), anota que son productos elaborados por la familia, a partir de materiales que se encuentran en la finca tales como: estiércol de animales, tallos, hojas, ramas y flores de árboles, arbustos y monte de todas las especies, desperdicios de cocina.

Los abonos de orgánicos son los que se obtienen de la degradación y mineralización de materiales orgánicos como: estiércoles, desechos de la cocina, pastos incorporados al suelo en estado verde, etc. que se utilizan en suelos agrícolas con el propósito de activar e incrementar la actividad microbiana de la tierra, el abono es rico en materia orgánica, energía y microorganismos, pero bajo en elementos inorgánicos (FONAG, 2010).

2.6.3. Tipos de fertilizantes orgánicos

2.6.3.1. Fertilizantes orgánicos sólidos

Los fertilizantes orgánicos sólidos, son compuestos que resultan al descomponerse residuos de cosecha, hojarasca de árboles o desechos de origen animal. En las comunidades existe una buena cantidad de estos recursos que la mayoría de veces no se les da la importancia necesaria; estos materiales están a nuestro alcance y servicio y pueden perfectamente ser tratados mediante la elaboración y aplicación de abonos orgánicos sólidos (CESTA, s/f).

Se considera abono verde a un cultivo sembrado para incorporarlo el terreno durante la época inicial de floración (momento de máximo desarrollo, mayor riqueza nutritiva de sus tejidos, y un alto contenido de agua que facilita su descomposición (Rodríguez, 2007).

2.6.3.2. Fertilizantes orgánicos líquidos

IPADE 2009) menciona, los biofermentos o abonos líquidos son producto de un proceso de fermentación de materiales orgánicos (estiércol, leche, suero, frutas, plantas, malezas). En donde por la actividad de microorganismos los materiales utilizados son transformados en minerales, vitaminas, aminoácidos, ácidos orgánicos, que además de nutrir a las plantas y ayudan a restaurar la vida del suelo, al dar como resultado un fertilizante foliar que contiene principios hormonales vegetales; las ventajas son:

- Contribuyen a mejorar la calidad y productividad de los cultivos a menor costo, mediante la sustitución total o parcial de los fertilizantes químicos, independizando al productor del mercado de químicos.
- Protegen a las plantas del ataque de insectos y enfermedades, ayudando igualmente en su crecimiento y desarrollo.
- Sirven para nutrir, recuperar y reactivar la vida del suelo, fortalecer la fertilidad de las plantas y la salud de los animales.

Por el proceso de biofermentación, los abonos orgánicos además de nutrientes aportan vitaminas, enzimas, aminoácidos, ácidos orgánicos, antibióticos y una gran riqueza microbiana que contribuye a equilibrar dinámicamente el suelo y la planta, haciéndose ésta resistente a insectos dañinos y a enfermedades (Picado y Añasco 2005).

Son los abonos obtenidos en base a la fermentación de residuos orgánicos, que generalmente se aplican foliarmente. La fermentación puede ser con o sin la presencia de oxígeno; es decir que el biofertilizante puede prepararse de dos formas, una procurando que el aire (oxígeno) entre lo más posible en el líquido (aerobio) y la otra, lo contrario, que no reciba aire alguno (anaerobio) (CEUTA, 2006).

2.6.3.3. El Biol

Para Medina (1990), el Biol es el principal producto de efluente y que está constituido casi totalmente de sólidos disueltos (nutrientes solubles) y agua. Es el efluente líquido que se descarga frecuentemente de un digestor. Por medio de filtración y floculación se puede separar la parte líquida de la sólida, obteniéndose así un biofactor que promueve el crecimiento de los vegetales; asimismo es considerado un fitoestimulante complejo, que al ser aplicado a las semillas y al follaje de los cultivos, permite aumentar la cantidad de raíces e incrementa la cantidad de fotosíntesis de las plantas,

El biol es un fertilizante líquido que recupera, reactiva la vida del suelo y fortalece a las plantas; es un abono que estimula la protección de los cultivos contra el ataque de insectos y enfermedades y permite sustituir a una gran parte de fertilizantes químicos (FONAG, 2010).

Cuadro 4. Análisis físico - químico del Biól

Parámetro	Unidades	Resultados
pH		7.2
Fósforo total	mgP-PO ₄ /l	84
Nitrógeno total	mg/l	534
Materia orgánica	%	0.71
Cenizas	%	0.29
Sodio total	mg/kg	86
Potasio total	mg/kg	307
Calcio total	mg/kg	259
Magnesio total	mg/kg	212.0
Cobre total	mg/kg	0.15
Hierro total	mg/kg	35
Manganeso total	mg/kg	2.5
Zinc total	mg/kg	1.3

Fuente: Instituto de Ecología (LCA, 2012).

Promer (2002) indica, el biól es una fuente orgánica de fitoreguladores que permiten promover actividades fisiológicas y estimular el desarrollo de las plantas. Existen diferentes formas de enriquecer el biól en el contenido de fitoreguladores así como de sus precursores, mediante la adición de origen vegetal y origen animal.

2.6.3.4. El uso de biól

El Biól es una fuente de fitoreguladores o llamado también fitoestimulante de origen orgánico producto de la descomposición anaeróbica (sin la acción del aire) de los desechos orgánicos que se obtienen por medio de la filtración o decantación del biól abono, en forraje verde hidropónico se utiliza 10 ml por cada litro de agua de riego (Espíritu y Herrera 2012).

El Biól puede ser utilizado en una gran diversidad de plantas, sean de ciclo corto, anuales, perennes, gramíneas, forrajeras, leguminosas, frutales, hortalizas, raíces, tubérculos y ornamentales, con aplicaciones dirigidas al follaje, al suelo, a la semilla o a la raíz. Debido a la composición bioquímica del biól, se debe indicar que este fitoregulador orgánico tiene acción en las siguientes aplicaciones agronómicas: Activador de semillas, enraizamiento, acción sobre el follaje y acción sobre la floración (Claure, 1992).

El abono foliar (biól), puede ser utilizado para múltiples cultivos, sean de ciclo corto (algunas hortalizas), anuales (quinua, papa, cañihua, etc.), bianuales (maca) o perennes (alfalfa), cultivados, plantas orna-mentales, etc.), gramíneas (trigo, cebada, avena), raíces

(nabo, zanahoria), forrajeras (asociación de pastos cultivados), leguminosas (habas , fréjol, tarwi), frutales (cítricos, piña, palto), hortalizas (acelga, zanahoria, lechuga, apio), tubérculos (papa, oca, camote), con aplicación dirigida al follaje (Colque, *et al.*, 2005).

El Biol se emplea por vía foliar mediante pulverizaciones manuales o mediante riego por aspersión, o que se haga por vía radicular, a través de riegos por gravedad, estos procedimientos traen consigo incremento notable del sistema radicular por efecto de la tiamina, entre otros componentes que se hallan en su composición (Centro Universitario de Capacitación Agrobiogenético, 1994).

2.6.3.5. Ventajas de biol

- Acelera el crecimiento y desarrollo de la plantas.
- Mejora producción y productividad de las cosechas.
- Aumenta la resistencia a plagas y enfermedades (mejora la actividad de los microorganismos benéficos del suelo y ocasiona un mejor desarrollo de raíces, en hojas y en los frutos.
- Aumenta la tolerancia a condiciones climáticas adversas (heladas, granizadas, otros)
- Es ecológico, compatible con el medio ambiente y no contamina el suelo.
- Es económico.
- Acelera la floración
- En trasplante, se adapta mejor la planta en el campo.
- Conserva mejor el NPK, Ca, debido al proceso de descomposición anaeróbica lo cual nos permite aprovechar totalmente los nutrientes.
- El N que contiene se encuentra en forma amoniacal que es fácilmente asimilable (Colque, *et al.*, 2005).

2.6.3.6. Té de estiércol

El té de estiércol es una preparación que convierte el estiércol sólido en un abono líquido, mediante un proceso de fermentación aeróbica. Durante la elaboración del té, el estiércol suelta sus nutrimentos en el agua y así estos se hacen disponibles para las plantas (Suquilanda 2003).

Té de estiércol es una preparación donde se convierte el estiércol sólido en un abono líquido. En ese proceso, el estiércol suelta sus nutrientes al agua y así se hacen disponibles para las plantas. Es rápido y económico de producir (Ormeño, 2007).

Cuadro 5. Análisis de propiedades químicas del Té de estiércol

Identificación	pH	%		
		N. Total	P	K
Té de estiércol	6,7	0,07	0,02	0,09

Fuente: Suquilanda, (2003).

Es una preparación que convierte el estiércol sólido en un abono líquido. Durante este proceso el estiércol suelta sus nutrimentos al agua y así se hacen disponibles para las plantas, este abono es rico en potasio, principal nutriente que aporta al suelo (FONAG, 2010).

2.6.3.7. Uso y manejo del Té de Estiércol

Para aplicar este abono, deben hacerse diluciones, por ejemplo para cultivos hortícolas y de ciclo corto se aplicará en diluciones entre el 10 y 25% y para frutales (banano, cítricos, etc.), cacao, palma africana, coco, palmito, de acuerdo a su estado pueden hacer aplicaciones que oscilen entre el 20 y 50% (Suquilanda, 2003).

El mezclado del té de estiércol un litro con el agua pura cinco litros, le ponemos en la bomba para fumigar, aplicamos directamente el fertilizante líquido a la raíz y tallo del cultivo. Si no contamos con una bomba podemos aplicar con un recipiente común o jarra, dependiendo de las necesidades del cultivo (FONAG, 2010).

2.8. Forraje Verde Hidropónico en la Alimentación Animal

El FVH ha sido utilizado en una buena diversidad de animales, y su principal carencia estriba en la materia seca, lo que puede solucionarse agregando rastrojo de diversos cultivos para completar la ración, componentes que no sólo son de fácil de encontrar, sino que también son baratos. A continuación se enumeran una serie de casos exitosos derivados de la alimentación de diferentes tipos de animales con FVH (RED HIDROPONIA, 2003).

Los resultados reportados, destacan incrementos mayores de 1.4 Kg. de peso diario en ganado vacuno de carne, con 7-8 Kg. de FVH y 7 Kg. de concentrados. Además se mejora la asimilación del concentrado, bajan costos y disminuye el tiempo de engorda. En el ganado lechero, además de bajar costos se ha incrementado la producción lechera en un 7.2% en vacas con una producción mayor de 28 litros leche / día, y en vacas de baja producción 14 litros leche / día, el incremento ha sido del 53% (Carballido, s/f).

Espíritu y Herrera (2012) señala, para una producción adecuada y rentable se debe tener en cuenta varios factores pero el más importante y que demanda más costos es el de la alimentación, el forraje verde hidropónico es una alternativa de alimentación para animales herbívoros tal es así que se le puede otorgar a animales mono gástricos y poligástricos e incluso aves.

El mismo autor anota, para buena alimentación debe ser técnica, económica y racional, formulado con buen criterio debe hacer posible: Una producción elevada, asegurar el estado saludable de los animales y, de su descendencia y ser económica.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización

3.1.1. Ubicación geográfica

El presente estudio experimental se ha realizado en la comunidad Arasaya Kentuyo, perteneciente a la primera sección del Municipio de Achacachi, capital de la provincia Omasuyos del departamento de La Paz.

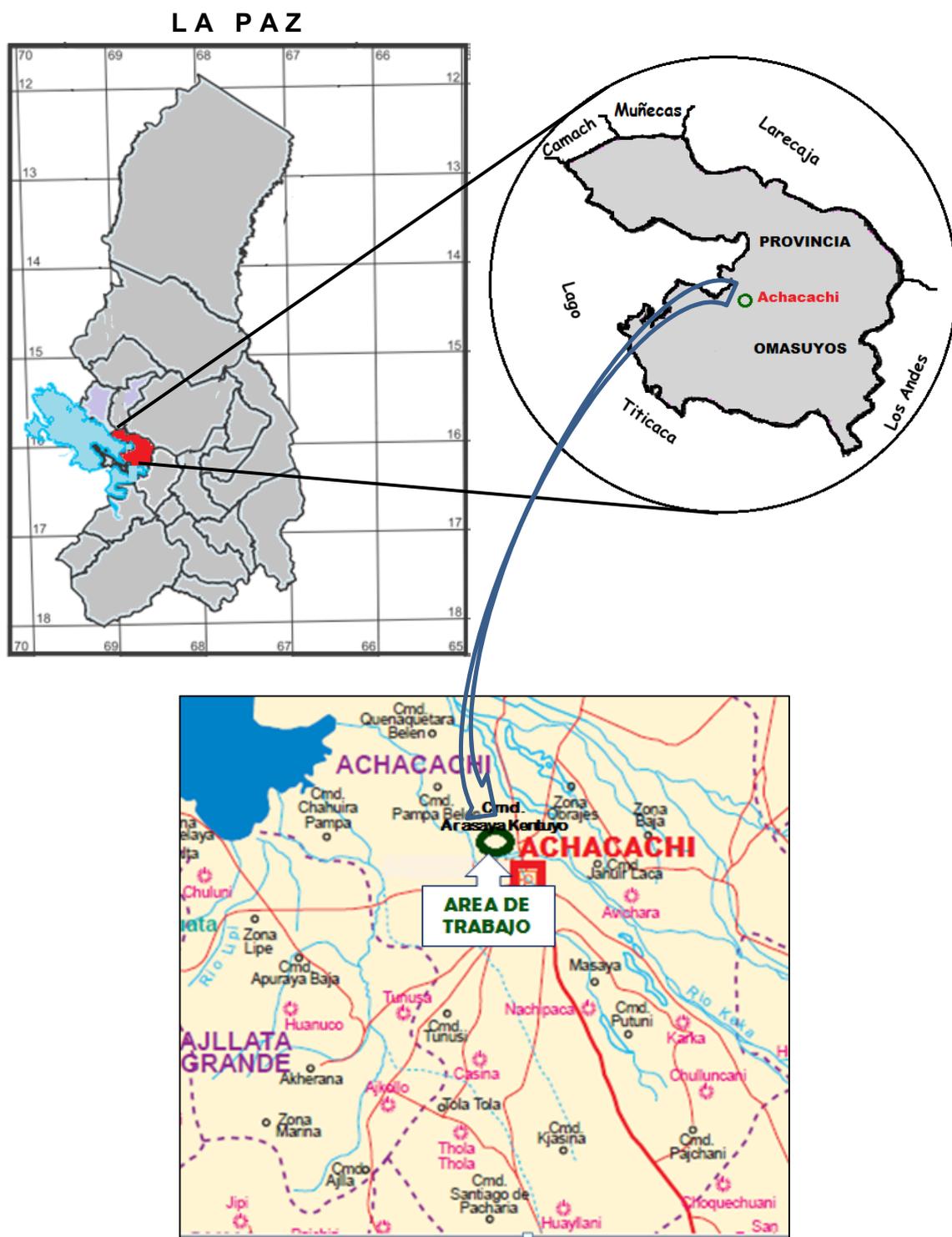
Arasaya Kentuyo se encuentra ubicado geográficamente a 94.5 Km. al norte de la ciudad de La Paz, y que limita con la población de Achacachi; ubicada entre los paralelos 16° 02'25" latitud Sur y 68°40'12" de longitud Oeste y a una altitud de 3848 m.s.n.m. (SENAMHI, 2009).

3.1.2. Características Climáticas.

El clima es frígido seco y la temperatura media anual es de 10 °C con temperaturas extremas -10 a 20 °C; la precipitación media anual es de 567 mm y la humedad relativa es de 53%, con una velocidad del viento de 9.6 Km/h. SENAMHI, (2009).

3.1.3. Características Agroecológicas

Según el sistema de Clasificación de Zonas de Vida. La zona Altiplano del norte corresponde a "estepa montano – sub tropical". Hodrige (1979).



Fuente: INE (2001)

Figura 1. Localización del Municipio de Achacachi.

3.2. Materiales

3.2.1. Material Biológico

Semilla de cebada, variedad IBTA-80

3.2.2. Material de Campo

Invernadero

Estante de madera

Bandejas de madera

Plástico de color negro (flexible)

Baldes plásticos de 20 l.

Recipientes de plástico para la elaboración de bioreguladores

Recipientes para inmersión

Aspersores

Balanza común

Flexómetro

Base de registro

3.2.3. Material de Gabinete

Computadora

Calculadora

Flash memore

Cámara fotográfica

Material de escritorio

3.2.4. Material de insumos

Biól

Té de estiércol

Agua pura

3.3. Metodología

3.3.1. Procedimiento Experimental

El siguiente trabajo de experimental, fue realizado en el invernadero, de la comunidad de Arasaya Kentuyo, el mismo que fue adecuadamente establecida, y a partir de ahí se inició a desarrollar las actividades para cumplir con los objetivos planteados. El trabajo de la investigación tuvo una duración por el lapso de los meses de septiembre a noviembre del año 2013.

3.3.2. Trabajo Experimental

El trabajo experimental consistió en instalar un módulo hidropónico, así como para realizar las actividades de selección, pre germinación, germinación, siembra, crecimiento de la planta y cosecha; al mismo tiempo realizando respectivo fertiriego y el registro de los resultados obtenidos durante la etapa del desarrollo de la planta y la etapa final de la producción de Forraje Verde hidropónico.

3.3.3. Equipos e instalaciones para producir F.V.H.

3.3.3.1. Invernadero

El trabajo experimental se realizó a cabo en un módulo de tipo dos aguas, construido en su estructura con adobe de 30 x 20 x 12cm, sobre un área de 31 m² con dimensiones de 7.5 m de largo por 4.2 m de ancho y tiene una altura de 2.5 m la parte media; el módulo en la parte superior está armada de maderas o callapas de eucaliptus, la misma está cubierta de un material flexible agofilm. El ambiente tiene cinco ventanas laterales con dimensiones de 0.60 m. por 0.30 m. abribles para la ventilación la misa a su vez están cubiertas de agofilm, y una puerta de entrada y salida de 0.80 m de ancho y 1.60 m de alto, la cual muestra en el anexo.

3.3.3.2. Estante

El invernadero está provisto de una estantería cuya estructura es de madera, con dimensiones de 3.5 m. de largo, 1.60 m. de alto y 0.5 m. de ancho, la estantería consta con 4 secciones verticales, con espaciamiento de 0.40 m. entre ellas, primera sección o nivel dista del piso 0.20 m. que permite los labores agronómicas para obtener los

resultados esperados, los niveles tiene pendientes transversales para un buen drenaje del exceso del riego.

3.3.3.3. Bandejas

Las bandejas para el experimento están construidas de madera, la misma están forradas con plástico de color negro flexible, que tienen un área de 0.25 m², con una dimensión de 0.60 m de largo, 0.417 m de ancho, y con una altura de 0.06 m; además, se hizo orificios en parte inferior de las bandejas, esto para darle un drenaje respectivo del exceso de los nutrientes líquidos que se utilizaron durante el riego, con el fin de evitar la existencia de una putrefacción ni hongos en las raíces del Forraje Verde Hidropónico.

3.3.4. Obtención de bioreguladores

3.3.4.1. Biól

Se tomaron 20 kg de estiércol fresco de ganado vacuno y se disolvieron en 50 litros de agua, en un recipiente de 60 l. de capacidad, posteriormente se añadió sobre la mezcla del estiércol 2 litros de suero y se revolvió bien la mezcla, luego se tapó herméticamente el recipiente para el inicio de la fermentación anaeróbica del biofertilizante; finalmente se conectó el sistema de evacuación de gases con una manguera que permitió expulsar los gases que se generaron durante el proceso de fermentación, el mismo que llega a una botella descartable con agua para evitar el ingreso de oxígeno. Todo este proceso se dejó reposar por 45 días pasado este tiempo se procedió a destapar y cernir para su posterior utilización.

3.3.4.2. Té de Estiércol

Se tomaron 15 kg. de estiércol sólido de ganado vacuno, se remojaron en 50 litros de agua, en un recipiente de 60 litros de capacidad, posteriormente se pone la tapa de protección no hermética, esto para impedir el ingreso a los insectos, arácnidos y otros, también evitar el contacto directo con los rayos solares.

El recipiente se acomodó en un lugar fresco bajo sombra y es removido con un palo todos los días; todo el proceso de fermentación aeróbica estuvo por tiempo de 20 días; al cumplir con el proceso, se destapa y es colado para su utilización.

3.4. Producción del Forraje Verde Hidropónico.

Constituido por equipos, estructuras e insumos a utilizarse en las diferentes fases del proceso de producción de Forraje Verde Hidropónico, se dividió en tres áreas:

3.4.1. Área de pre germinación

En este lugar se inició el proceso de producción, también conocida como área de pre-germinación y se ha empleado labores experimentales en la producción de Forraje Verde Hidropónico, que consistió en:

3.4.1.1. Selección y lavado

Se inició el proceso de producción e implica labores culturales que se han de realizar durante el experimento de la producción de forraje verde hidropónico. Se seleccionó las semillas a que los granos estén en buen estado; eliminando los granos rotos o en mal estado y materiales impurezas encontradas (venteados de semilla); se pesó la semilla de cebada la cantidad que se ha de utilizarse en la producción.

Las semillas seleccionadas fueron lavadas con agua 2 a 3 veces, todos los granos que flotaban también fueron retirados ya que no germinan.

3.4.1.2. Remojo

Una vez lavado los granos de cebada, se depositó en un recipiente plástico que se sumergió completamente con agua limpia, de ahí comienza el pregerminado de las semillas; el tiempo de remojo fue por un tiempo de 24 horas, donde las semillas han alcanzado una completa imbibición. Al finalizar el tiempo de inmersión de las semillas, se enjuagó con agua limpia hasta que el agua escura limpia.

3.4.1.3. Oreo

Pasado el tiempo de imbibición y su lavado de las semillas, las mismas fueron puestas en un mantel permeable para facilitar drenaje de agua existente, la cual es depositada en un recipiente y ubicada en lugar oscuro. El tiempo de su permanencia en el lugar del oreo estuvo por un tiempo de tres días, hasta que en las semillas aparezcan dos a tres raicillas con un promedio de 0.4 cm de largo.

3.4.2. Área de germinación

3.4.2.1. Sembrado

Culminado el oreo de la semilla y cuando está presente su punto de brote se ha realizado la siembra en las bandejas debidamente etiquetadas de acuerdo con el tratamiento que le corresponde. Sabiendo la cantidad total del peso seco de las semillas, con lo que ha realizarse durante el experimento, se pesó las semillas pre-germinadas en su totalidad para saber la cantidad del peso que ha aumentado por cada kilogramo; para ello se realizó una operación por regla de tres, para calcular el peso exacto para dos densidades como se ha planteado en el experimento.

Después de realizar los cálculos exactos, las semillas fueron distribuidas y expandidas homogéneamente en las bandejas de 0.25 m², evitando que las semillas sean des uniformes y los espacios que queden sin semilla, de tal manera que sea la germinación y su desarrollo sea uniforme.

3.4.2.2. Densidades de siembra

La densidad de siembra es la cantidad de semillas de cebada que van a sembrar en las bandejas y por metro cuadrado; son cantidad de peso por unidad experimental para su desarrollo y la respuesta esperada del Forraje Verde Hidropónico producido, al transcurrir el trabajo de estudio.

Las densidades de siembra de semilla que se ha realizado por unidad experimental de 0.25 m² fue de 0.6 kg y 0.8 kg de semilla, por metro cuadrado consta de 2.4 kg y 3.2 kg de semilla (es en cuando se hizo el cálculo en semilla seco), de acuerdo con la imbibición de la semilla, esto va aumentando el peso como muestra en el cuadro 6.

Cuadro 6. Densidades de siembra en estado seco y embebido.

Dosis de siembra	Por bandeja		Por metro cuadrado	
	Seca	Hidratada	Seca	Hidratada
Densidad 1	0.6 kg.	1.26 Kg.	2.4 kg.	5.04 kg.
Densidad 2	0.8 kg.	1.68 Kg.	3.2 kg.	6.72 kg.

3.4.2.3. Cámara de germinación

Luego del sembrado de las semillas en las bandejas, fueron colocadas en la cámara de germinación; lugar obscura, el cual ha sido cubierto en su totalidad con un plástico negro para proporcionar la oscuridad en el interior en su totalidad, esto con el fin de que a las semillas en la obscuridad facilita la germinación y evitar la pérdida de humedad.

3.4.3. Área de Producción

La etapa de producción de Forraje Verde Hidropónico se inició el sexto día, donde son descubiertas las bandejas en su totalidad y se observó que las semillas han germinado en 90%, demostrando que los brotes han alcanzado unos 3 a 3.5 cm de altura promedio y es aquí donde clasificamos al azar cada tratamiento, ubicándolas en las estanterías de producción, las mismas que tienen una pendiente de 0.3 cm, necesaria para el drenaje. En esta área de producción de FVH presenta mayor iluminación y ventilación (sí es necesaria) y su permanencia ha estado hasta la cosecha.

3.4.3.1. Riego y fertilización

Durante los primeros 5 días, el riego se aplicó por la mañana y tarde solo con agua del pozo; el riego fue aplicado bajo el concepto de que el grano debe permanecer húmedo, evitando siempre encharcamiento en las bandejas. Es a partir del sexto día que se aplicó los bio reguladores orgánicos para Forraje Verde Hidropónico. Una vez que las bandejas son expuestas en el área de producción, con iluminación completa para concluir su ciclo vital; es a partir de este momento se ha iniciado el riego permanente con la ayuda de un aspersor manual para cada bio regulador.

Cuadro 7. Tipos de bio reguladores, disoluciones y proporciones.

BIOREGULADORES	BIOREGULADOR A		BIOREGULADOR B		BIORGULADOR 0
DISULUCIONES	Biol + Agua		Té de est. + Agua		Agua pura
PROPORCIÓN	25%	75%	25%	75%	100%

Cada riego duró aproximadamente de un minuto por bandeja; el riego se ha realizado repitiendo de dos veces al día (7 a 8 a.m. y 17 a 18 p.m.), el volumen que se ha empleado en el riego, es de 0.5 l por bandeja. En las bandejas que se aplicó una solución nutritiva

orgánica desde el día seis hasta el día 15 después de la siembra, los últimos dos días solo aplicó el riego con agua pura.

3.4.3.2. Cosecha

La cosecha del FVH comprende el total de biomasa que se encuentra en la bandeja o biomasa de producción, esta comprende de hojas, tallos, el abundante colchón radicular, semillas sin germinar y semillas semi germinadas. La cosecha de Forraje Verde Hidropónico del experimento se realizó a los dieciocho días después de la siembra, con altura promedio de 23.5 cm., el mismo que se midió y se pesó para la posterior evaluación de las variables que se analizaron en la investigación.

El punto que indica la cosecha, es cuando ya se inició el amarillamiento del ápice de la planta y pierde el vigor de la planta de FVH de cebada; dos días antes de la cosecha se suspendió el riego con bioreguladores, y solo se aplicó el riego con agua pura, esto para eliminar el olor existente y su posterior alimentación a los animales.

3.4.4. Análisis Estadístico

Para el presente trabajo experimental se aplicó un Diseño Completamente al Azar (DCA), con arreglo Bi factorial (Ochoa 2009), donde se consideró como factor A, la densidad de siembra de cebada 0.6 kg/bandeja de 0.25 m² y 0.8 kg/bandeja de 0.25 m²; el factor B, estuvo constituido por dos tipos de bioreguladores Biól, Té de estiércol y agua pura del pozo.

El modelo lineal para DCA con arreglo Bi factorial se muestra seguidamente.

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

Dónde:

Y_{ijk} = Variable a medir.

μ = Media poblacional.

A_i = Efecto del i-ésima nivel del factor A.

B_j = Efecto del j-ésima nivel del factor B.

$A\beta_{ij}$ = Efecto del i-ésima nivel del factor A, con el j-ésima nivel del factor B.

ϵ_{ijk} = Efecto del error experimental

3.4.4.1. Factores de estudio

a). **Factor A:** Densidades siembra.

- D1: = 0.6 kg. /0.25 m² (bandeja) → 2.2 kg. /m²
- D2: = 0.8 kg. /0.25 m² (bandeja) → 3.2 kg. /m²

b). **Factor B:** Tipos de Bioreguladores.

- B: = Biól; TE: = Té de estiércol; A: = Agua del pozo

Cuadro 8. Esquema del experimento para Forraje Verde Hidropónico de cebada

TRAT.	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	T.U.E.	REP.	TOTAL
T1	0.6 kg. /band. + Agua pura	D1 + A	1	4	4
T2	0.6 kg. /band. + Té de estiércol	D1 + TE	1	4	4
T3	0.6 kg. /band. + Biól	D1 + B	1	4	4
T4	0.8 kg. /band. + Agua pura	D2 + A	1	4	4
T5	0.8 kg. /band. + Té de estiércol	D2 + TE	1	4	4
T6	0.8 kg. /band. + Biól	D2 + B	1	4	4
TOTAL					24

3.5. Variables de evaluación

A partir del día de su siembra de las semillas de cebada pre-germinadas en las bandejas hasta el día de la cosecha, se tomaron los datos de las diferentes variables y se procedió de la siguiente manera:

3.5.1. Variables agronómicas

3.5.1.1. Germinación

Para la evaluación el porcentaje de germinación de las semillas de cebada, se realizó muestreos utilizando una cuadrícula de 25 cm² (5x5 cm), donde aproximadamente cubre 100 semillas, con el entonces evaluó el porcentaje de las que habían germinado y a la vez registró a los cuantos días produjo la geminación. Para el registro planteado, se tomó al azar en cuatro diferentes puntos de cada bandeja, así sacar el promedio en registro final (Navarrete, 2008).

3.5.1.2. Altura de la planta

Con la ayuda de una regla graduada en centímetro, se tomó la medida de la altura de la planta a los 17 días después de la siembra (día 17). Para determinar la altura máxima de la planta, se tomó la medida al azar 10 plantas por bandeja de cada tratamiento, entre los cuales están los más altos, medianos y pequeños; por lo tanto, los datos son el promedio de 10 plantas expresadas en centímetros para cada unidad experimental; la medida que se tomó desde el cuello hasta el ápice de la hoja (León, 2005).

3.5.1.3. Índice de crecimiento

Los datos se tomaron en un registro a partir del día quinto hasta el día diecisiete, o sea desde el momento que las bandejas son trasladadas desde la cámara de germinación al estante de producción y expuestas en luminosidad completa; los datos fueron tomadas cada tres días. Con ayuda de una regla graduada en centímetro se midió al azar 10 plantas por bandeja de cada tratamiento, las cuales estuvieron entre las más altas para tener una homogeneidad en la información de cada tratamiento (León, 2005).

3.5.2. Variables de rendimiento

3.5.2.1. Rendimiento de biomasa de FVH

Para obtener el peso y el rendimiento final de biomasa del Forraje Verde Hidropónico de cebada, se le procedió a su respectivo pesaje a los 17 días, con la ayuda de una balanza se pesó cada tratamiento (semilla, raíz y follaje verde) y sus repeticiones hasta obtener los 24 resultados; el peso fue expresado en kilogramos (Aquino, 2010).

3.5.3. Variables de análisis económico

Este trabajo experimental pretende mostrar la estructura de los costos estimativos de la producción de Forraje Verde Hidropónico de cebada y además, teniendo en cuenta los requerimientos en semilla de cebada, fertilizantes y mano de obra.

Se realizó el análisis económico de acuerdo al manual metodológico del CIMMYT (Perrin, 1997), elaborándose los costos de producción para todos los tratamientos del rendimiento de forraje verde hidropónico con la siguiente relación:

3.5.3.1. Ingreso bruto.

$$\text{I.B.} = \text{R} * \text{P}$$

Donde:

IB= Ingreso bruto.

R = Rendimiento ajustado por tratamiento.

P = Precio

Se considera ingreso bruto el valor o monto total en valores monetarios obtenidos de FVH de cebada en concepto de venta total. Para la obtención de ingreso bruto para FVH producido, es multiplicando el rendimiento ajustado por el precio del producto que fue de Bs. 2.8 por kg FVH producido total. Este precio se consideró tomando como la base el forraje verde de cebada en la feria de la 16 de julio y en los distintos mercados de la ciudad de El Alto.

3.5.3.2. Ingreso neto

$$\text{IN} = \text{IB} - \text{CP}$$

Donde:

IN = Ingreso neto.

IB = Ingreso bruto.

CP= Costo de producción.

El ingreso neto es el ingreso real de cualquier producto. Esto quiere decir que se trata del total vendido (ingreso bruto) menos el valor de costo para producir (costo de producción).

3.5.3.3. Relación Beneficio/costo

$$\text{B/C} = \text{IB} / \text{CP}$$

Donde:

B/C = Beneficio costo.

CP = Costo de producción.

IB = Ingreso bruto.

Costo/Beneficio, tiene como objetivo fundamental facilitar una medida de la rentabilidad de la producción de FVH de cebada, mediante la comparación de los costos previstos con los beneficios esperados en la realización del mismo. Los precios se determinaron tomando como base el forraje verde de cebada, de acuerdo el peso y su precio en el tiempo de estiaje, ofrecidos de los productores en los mercados de la ciudad de El Alto.

3.5.3.4. Rentabilidad.

$$R = \frac{IN}{CT} \times 100$$

Donde:

R = Rentabilidad.

IN = Ingreso neto.

CT = Costo total.

La rentabilidad es la capacidad de producir el FVH de cebada para generar suficiente utilidad, es decir, es rentable cuando genera mayores ingresos que egresos. Para realizar el cálculo de la rentabilidad del trabajo se tomó en cuenta, todos los egresos e ingresos del mismo.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos del trabajo experimental y con el objeto de mostrar los efectos de las diferentes densidades de siembra y la aplicación de los bio reguladores nutritivos líquidos en la producción de FVH de cebada bajo sistema hidropónico; se abordaron primero los factores que influyen en la producción y prescribir la germinación, altura de planta de FVH, índice de crecimiento, el rendimiento y cuantificar los costos de producción y su rentabilidad.

4.1. Caracteres climáticos

Durante el transcurso del trabajo, en el interior del ambiente invernadero, se registró una temperatura máximo de 32 °C, mínima 5°C y un promedio de 16.4 °C; la humedad ambiental registró 75%. (Figura 2), durante el tiempo de que duró la producción de forraje verde hidropónico. Según Roger (2004) citado por Mendoza (2009), las temperaturas cercanas a los 15 °C son apropiadas para el cultivo de hidropónico, al registrarse temperaturas de 30 °C, estas temperaturas indican que el ambiente recibió mucha radiación, lo cual debe limitarse temperaturas más baja.

De acuerdo Aquino, (2010), indica que el rango óptimo de temperatura para la producción de FVH está entre 15 a 30°C, y con una humedad relativa de 60 a 80%.

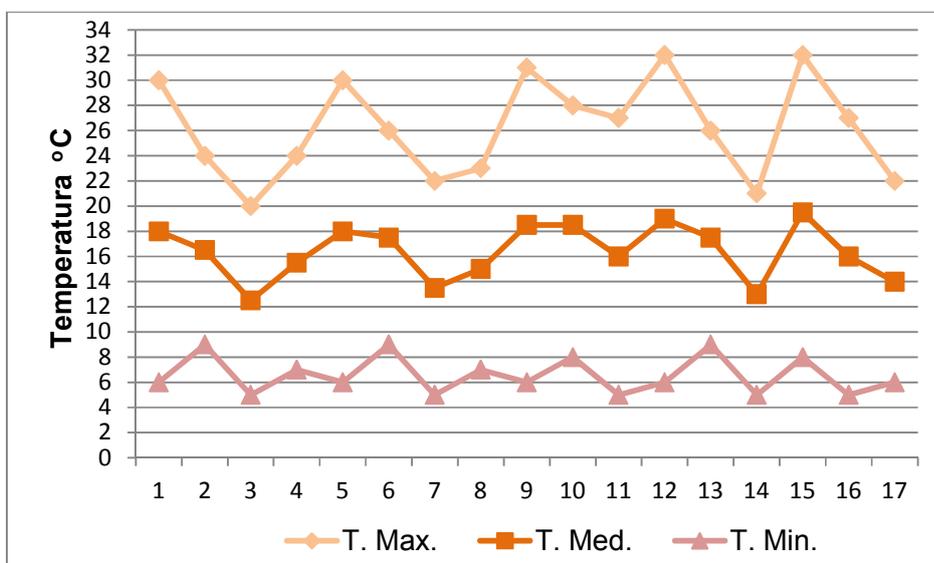


Figura 2. Temperaturas extremas, mínimas y media dentro del invernadero.

4.2. Variables agronómicas

4.2.1. Germinación

El tiempo de germinación de la semilla de cebada, se registró a partir de segundo día, lo que quiere decir que el porcentaje de germinación fue igual a pesar de utilizar diferentes densidades de siembra.

Cuadro 9. Análisis de varianza, del porcentaje de germinación

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft.(5%)	Niv. Sig.
Tratamiento	1	0,799	0,799	0,073	4,30	0,790
Error experimental	22	241,942	10,997			
Total	23	242,742				

Coeficiente de Variación = 3,88%

En los resultados de Análisis de Varianza, como el valor de Fc (calculado) es menor al valor de Ft (tabular), por tanto no existen diferencias en porcentaje de germinación de la semilla de cebada, sembradas con diferentes densidades de siembra de 0.6 kg/bandeja obteniendo 85.36% y 0.8 kg por bandeja con 85.72%.

El coeficiente de variación de 3.88% está dentro de los rangos permitidos (< 30%). (Ochoa, 2003). Que significa con las dos densidades de siembra tuvo un similar comportamiento, debido a que fue sometido a una previa selección y lavado; se puede atribuir que el similar porcentaje de germinación se dio a una densidad adecuada, menores pérdidas de agua y una limitada irrigación.

Al respecto Gallardo (1997), afirma que el porcentaje de germinación 84% está dentro del rango aceptable para su uso en la producción de forraje verde hidropónico.

El cultivo de FVH es un cultivo a raíz desnuda, es decir sin sustrato, se deberá realizar en un ambiente oscuro y con alta humedad relativa por encima del 75%; esta humedad se consigue con una adecuada frecuencia de riego y baja evapotranspiración de los granos, lo que justifica que a mayor densidad de siembra exista mayor porcentaje de germinación (Gómez 2007).

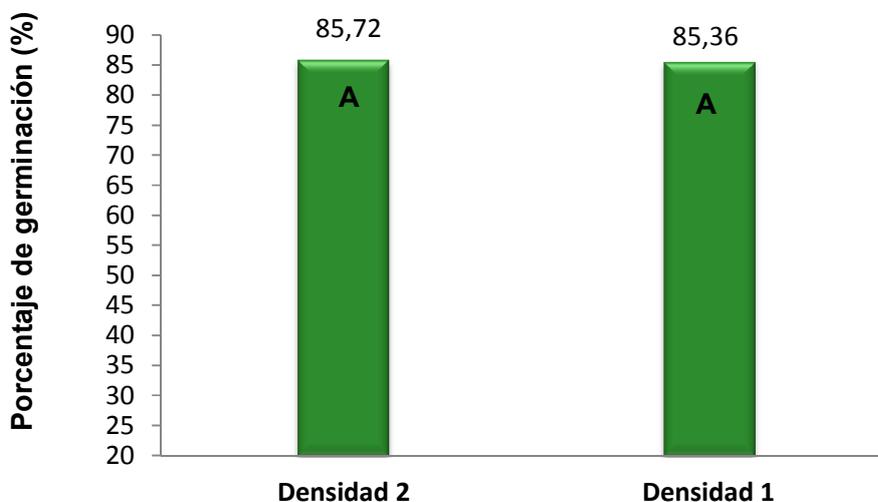


Figura 3. Prueba de Duncan para el porcentaje de germinación.

En la prueba de Duncan al 5% del factor (A) densidades de siembra (0.6 kg y 0.8 kg por bandeja), para la variable porcentaje de germinación, se puede apreciar que no muestran diferencias significativas, en cuanto a densidad (D2) donde alcanzó un promedio de 85.72% y densidad (D1) con 85.36% de germinación y siendo ambos similares.

FAO (2001), en el Manual Técnico de Producción de F.V.H. anota para el productor de FVH deberá tener presente el porcentaje mínimo de germinación de la semilla debe ser en lo posible mayor o igual a 70 – 75% aseverando estos resultados, los que concuerdan con los datos obtenidos en esta investigación se presenta un porcentaje de germinación de 85.36 a 85.72%, este incremento afirma al tratamiento previo de oxigenación, humedad adecuada, temperatura y calidad de la semilla.

Schneider (1991) citado por Calles (2005), sostiene que el éxito del FVH comienza con la selección de una buena semilla, esta debe presentar como mínimo un porcentaje de germinación no inferior al 75% para evitar pérdidas en los rendimientos de cosecha.

Estos resultados del porcentaje germinación del grano cebada, son muy similares a los resultados registrados por Mendoza (2009), quien al cultivar Forraje Verde Hidropónico de cebada, obtuvo porcentaje germinación de 84%.

4.2.2. Altura de planta

En el cuadro 10, se observa el análisis de varianza para la variable altura de planta en las evaluaciones de densidades de siembra (factor A), la aplicación de bioreguladores (factor B) y la interacción de los factores A*B.

Cuadro 10. Análisis de varianza para la altura de la planta

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft.(5%)	Niv. Sig.
Densidad	1	2,344	2,344	3,090	4,41	0,096
Bioregulador	2	6,143	3,071	4,049	3,55	0,035
Densidad*Bioregulador	2	0,278	0,139	0,183	3,55	0,834
Error	18	13,653	0,758			
Total	23	22,416				

Coeficiente de variación (%) = 3,70

Según el análisis de varianza (ANVA) al 5% de significancia, para la variable altura de planta y densidad de siembra (factor A), como el valor de $F_c < F_t$, no se tienen diferencias significativas y para la fertilización con bioreguladores (factor B), como el valor de $F_c > F_t$, sí presentan diferencias significativas de manera independiente. La interacción de densidad de siembra por aplicación de bioreguladores (AxB), como el valor de $F_c < F_t$, no influyó estadísticamente sobre los resultados. Por otra parte el coeficiente de variación de 3.70% nos indica que los valores analizados se encuentran dentro de los rangos permitidos menor al 30% (Ochoa, 2003).

Al respecto al Factor A (Densidades de siembra), hecho el Análisis de Varianza como el valor de F_c es menor F_t ($3.090 < 4.41$); la altura promedio de planta fue estadísticamente igual cuando se utilizó 0.6 y 0.8 kg de semilla de cebada por bandeja (0.25 m^2), con 23.2 y 23.9 cm de altura; es decir, eso indica no se encontraron influencias significativas en el crecimiento de la altura de la planta de FVH de cebada; pero numéricamente se indica que la mejor altura de la planta se obtuvo con 0.8 kg de semilla sembrada. Que muestra en la figura 4.

A los resultados obtenidos en la granja de Huayrocondo La Paz, Ralde (2000), muestra claramente que las densidades de 1.5 kg por bandeja de 0.5 m^2 alcanzó mayor altura de 19.59 cm, seguida de 1.0 kg por bandeja con 18.31 cm., 0.5 kg por bandeja con 17.79 cm y 2.0 kg por bandeja la de menor altura de planta con 14.47 cm de altura a los 16 días.

Al comparar los trabajos realizados por Garduño (2011), los resultados obtenidos, se puede considerar que se encuentran dentro de lo óptimo ya que el autor señala, el período de crecimiento dura de 15 a 20 días, dependiendo de las condiciones climáticas para obtener el forraje verde hidropónico (FVH) con una altura promedio de 20 a 25 centímetros.

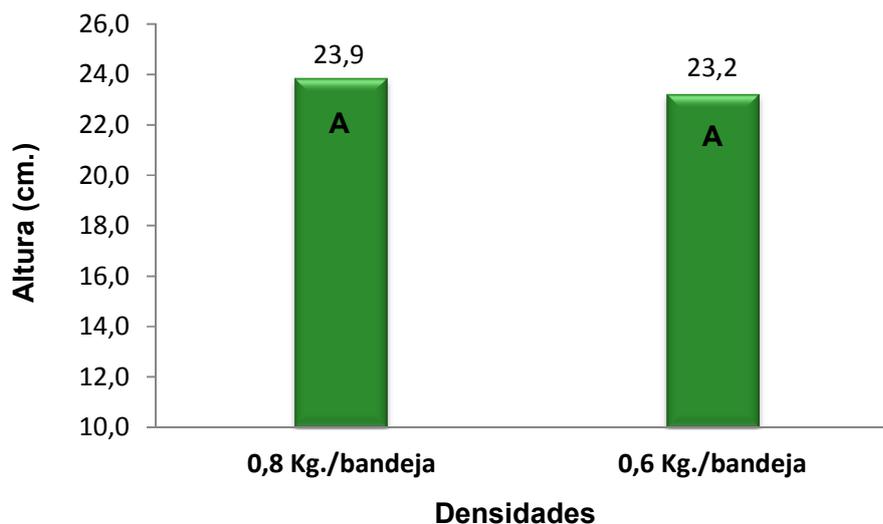


Figura 4. Promedio de altura de la planta del Factor A

En la prueba de comparación Duncan al 5%, de la altura de la planta (factor A): densidad de la siembra 0.6 kg por bandeja (0.25 m^2), se aprecia que no presenta diferencias significativas con la densidad de siembra de 0.8 kg por bandeja (0.25 m^2), de acuerdo a los resultados obtenidos de 23.9 y 23.2 cm de altura y con promedio final de 23.5 cm altura de planta.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el trabajo investigación, en comparación con los autores citados los resultados en la producción de FVH, el ciclo de producción es de 15 a 20 días y en ese periodo alcanza 15 a 25 cm. Las inferencias de dos densidades de siembra (0.6 kg/bandeja y 0.8 kg/bandeja), en Análisis de varianza y prueba de Duncan al 0.05% de significancia, muestran resultados similares, debido a que la retención de humedad son equivalente cual ha permitido su desarrollo similar, por la calidad de semilla y el manejo adecuado dentro del invernadero.

El Análisis de Varianza para el factor B (bioreguladores), el valor de $F_c > F_t$ ($4.049 > 3.55$), con la fertilización de biol al 25%, té de estiércol al 25% y agua 100%, por tanto, se afirma que existe diferencias significativas en la altura de planta de FVH. Con la aplicación de biól con altura promedio 24.2 cm. por tanto existe diferencia significativa al respecto de té de estiércol con 22.9 cm. y por encima del fertilizante agua con una altura promedio 23.5 cm. por su parte con la aplicación de agua alcanzó por encima de bioregulador té de estiércol, como muestra en la figura 5.

El promedio general de altura de la planta de FVH fue de 23.54 cm; estos resultados son próximos a los obtenidos por Pichilingue citado por Clavijo (2001), menciona que a los 15 días la altura de planta debe alcanzar aproximadamente 25 cm. Sin embargo, empleando a 25% de biol, la altura de planta de FVH obtenida fue de 24.2 cm resulta muy próximo a la obtención por Aquino (2010), que con la aplicación biol de orina humana al 25% en el lapso de 15 a 20 días, obtuvo altura promedio de 25 cm y los resultados alcanzados con la implementación de té de estiércol al 25% con altura promedio de 22.5 cm son inferiores a los resultados del mismo autor; respecto a la aplicación con agua pura en el presente trabajo obtuvo un promedio altura de 23.5 cm.

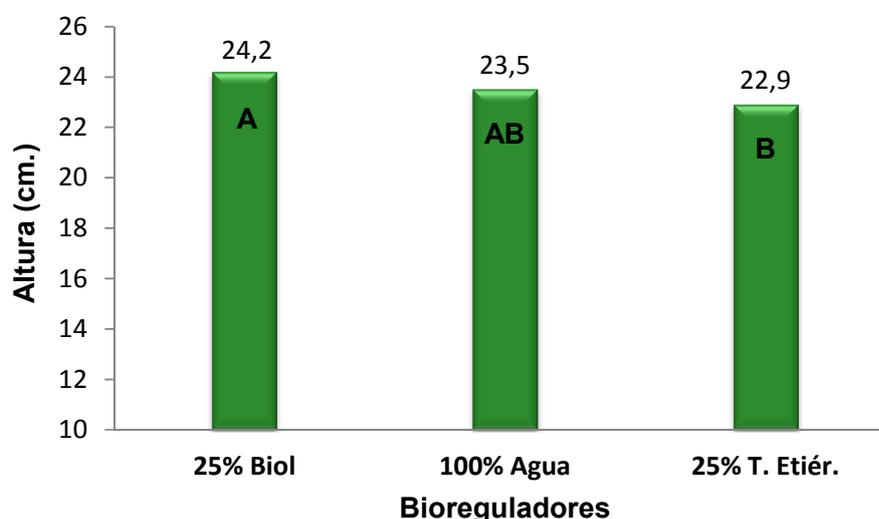


Figura 5. Efecto de Bioreguladores en la altura de la cebada

En la prueba de significancia de Duncan al 5%, la altura de la planta a la inferencia de bioreguladores (factor A): 25% de biól, 25% de té de estiércol y 100% agua pura; en la comparación de medias (Duncan 5%) realizado. Los resultados muestran con la aplicación de biol alcanzó la media más alta de 24.2 cm para altura de planta, seguido

con la aplicación de agua de pozo con 23.5 cm y por último con la aplicación de té de estiércol con 22.9 cm de acuerdo al detalle de la figura 5.

La diferencia que existe entre la aplicación de 25% biol con respecto al 25% de té de estiércol es significativa, debido a la disponibilidad de macro y micronutrientes que contienen el biol, de 0.0534% de nitrógeno favoreciendo al incremento de altura de planta, la misma en relación con agua del pozo numéricamente existe la diferencia, en la prueba de media no evidencia diferencias significativas; con la aplicación del agua del pozo numéricamente está por encima de té de estiércol, pero de acuerdo a la prueba de medias la inferencia no se nota diferencias.

Sin embargo estos resultados conmueven que, con la aplicación de agua del pozo, sin que haya adicionado con otros nutrientes, la diferencia no es significativa. Según Elizondo (2001), menciona como el período de crecimiento es tan corto, el agua pura también sirve, aunque los rendimientos que se obtienen son menores. Algo importante es que se debe evitar el encharcamiento en las bandejas, ya que esto puede llevar a una fermentación del grano o a una eventual pudrición de la raíz.

Al respecto a la Interacción de factores AxB (densidad de siembra y bioreguladores) muestra el Análisis de Varianza que el valor de Fc (calculado) es menor de Ft (tabular), por tanto que no se tienen diferencias significativas la altura de la planta, es decir, con la aplicación de dos densidades de siembra de cebada ($0.6/0.25 \text{ m}^2$ y $0.8/0.25 \text{ m}^2$) y los tipos de bioreguladores (biol, té de estiércol y agua), estos no influyen en el crecimiento de la altura de la planta de FVH de cebada.

Como no existe diferencias estadísticas entre los tratamientos, en la figura 6 muestra la mejor longitud de la planta obtuvo el tratamiento cuatro (D2+B), obteniendo una altura media de 24.4 cm, mientras que el menor tamaño en la altura de la planta fue el tratamiento dos (D1+TE), con una altura media de 22.5 cm.

Para Garduño (2011), los factores ambientales que ejercen mayor influencia en la producción de forraje verde hidropónico (FVH) son: la luz, temperatura, humedad, oxigenación y gas carbónico. La duración del día o foto período influye sobre el desarrollo vegetativo.

Sin embargo, llama la atención que el tratamiento con agua del pozo haya dado los resultados por encima del tratamiento con la aplicación al 25% té de estiércol que no ha obtenido mejores resultados como se esperaba. Esto está relacionado por varios factores como ser: calidad del agua, manejo adecuado en el ambiente, niveles de bioreguladores irrigación adecuada y la proporción de luz. Al respecto Sánchez, (1982) citado por Casa (2008), señala, se puede obtener forraje verde hidropónico sin necesidad de fertilización, mediante el riego que se realiza a diario. Se pueden también usar ciertos fertilizantes que ayudan a un mayor crecimiento y desarrollo de las plántulas.

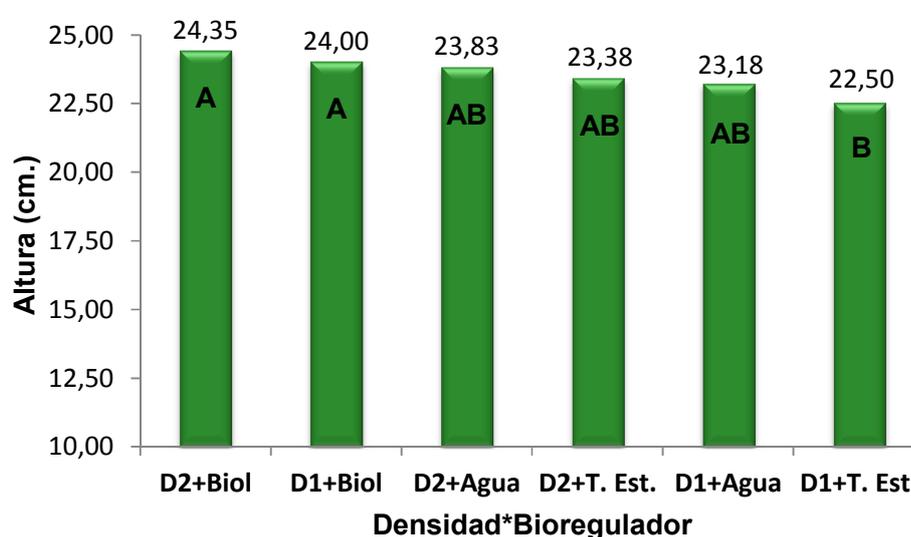


Figura 6. Promedio de altura de la planta por tratamiento en cm

La prueba de Duncan al 5% para interacción de factores AxB, bajo dos densidades de siembra y con la aplicación de dos bioreguladores orgánicos y agua pura. Los resultados muestran que los tratamientos D2+B (T4) con 24.35 y D1+B (T1) con 24.00 cm existen diferencias significativas con respecto al tratamiento D1+TE (T2) con 22.50 cm de altura; en cambio con los tratamientos D2+A (T6) altura 23.83 cm, D2+TE con 23.38 cm y el D1+A (T3) con 23.18 cm de altura, no existen diferencias significativas; pero sí se aprecia numéricamente diferencias.

Zapp (1991) citado por Ralde (2000), menciona para los cultivos de FVH deben absorber cantidades equivalentes de minerales disueltos y de agua a la condición que minimiza el esfuerzo energético por parte de las plantas. El promedio general de altura de la planta de

FVH fue de 23.54 cm; estos resultados son próximos a los obtenidos por Pichilingue citado por Clavijo (2001), quien menciona a los 15 días la altura de planta debe alcanzar aproximadamente 25 cm.

4.2.3. Índice de crecimiento de la planta de FVH

El índice de crecimiento de la planta no fue sometido a ningún análisis estadístico, por su importancia es necesario el crecimiento de las plantas en los diferentes días para conocer la curva de crecimiento.

A partir del tercer día después de la siembra, ya se observa un crecimiento de las plantas, no registrado porque aún se encuentran en la cámara de germinación, al emplazar y expuestas a la luz completa al día sexto, se observa que el brote alcanza un promedio altura de 3.5 cm a partir de ahí se ve un crecimiento acelerado aproximadamente hasta el día 14, luego del cual es paulatino hasta la cosecha con un promedio altura de 23.54 cm. Se observa que los seis tratamientos (D1+B, D1+TE, D+A, D2+B, D2+TE y D2+A), inician con un crecimiento similar, pero en el transcurso del desarrollo se va notando diferencias en la altura y la dinámica de crecimiento de planta. Tal como se observa en la figura 7.

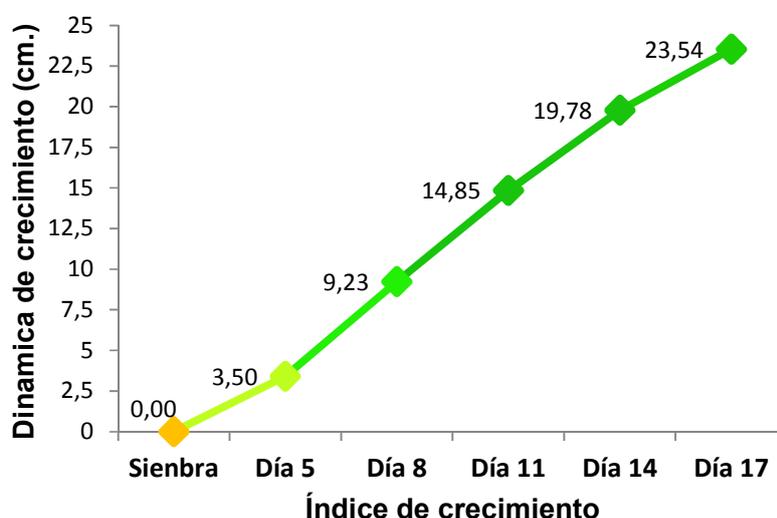


Figura 7. Índice de desarrollo por días de crecimiento de Forraje Verde Hidropónico.

La dinámica de crecimiento del cultivo de FVH fue dando un notorio incremento a partir del segundo día, mientras las bandejas aún se encuentra en la cámara de germinación misma están expuestas en penumbra; al descubrirlas al quinto día después de la siembra

no tuvieron un desarrollo óptimo, el brote mide un promedio altura de 3.5 cm. A partir de ahí se realiza el registro cada tres días hasta el día 17 después de la siembra.

De acuerdo a la figura 7, el mayor índice de crecimiento de planta comienza desde el día sexto, con promedio de altura de 3.5 cm, puesto que a partir del suministrado de los bioreguladores orgánicos líquidos, hasta el día 11 alcanzó una altura 14.85 cm, luego a los 14 días con 19.78 cm el crecimiento fue disminuyendo hasta el día 17 con altura promedio 23.54 cm donde se finaliza el ciclo de cultivo de FVH.

4.5. Variables de rendimientos

4.5.1. Rendimiento de biomasa de FVH

Una de las variables de mayor importancia, es el resultado en la producción FVH fresco de cebada y la obtención de biomasa vegetal (kg/bandeja) para densidad de siembra (factor A), la aplicación de bioreguladores (factor B) y la interacción de los factores A*B.

Cuadro 11. ANVA para la variable peso biomasa de FVH al momento de la cosecha

F V	GL	SC	CM	Fc	Ft.(5%)	Niv. Sig.
Densidad	1	0,508	0,508	4,260	4,41	0,054
Bioregulador	2	0,798	0,399	3,348	3,55	0,058
Densidad*Bioregulador	2	0,113	0,057	0,476	3,55	0,629
Error	18	2,145	0,119			
Total	23	3,563				
Coeficiente de Variación (%) = 6,82						

El análisis de varianza al 5% de significancia, para el peso de biomasa de FVH de cebada, ha determinado estadísticamente no existen diferencias significativas entre las densidades de siembra (factor A), donde Fc (calculado) es menor al Ft (tabular), de la misma condición muestra entre aplicación de bioreguladores (factor B) donde Ft es menor al Fc, esto muestra las diferencias no existen y la interacción de los factores A*B (densidades por bioreguladores) muestra el Fc es menor al Ft; de acuerdo los resultados estadísticos la producción de biomasa son iguales. El coeficiente de variación de 6.82% indica que los valores analizados es aceptable, y se encuentran dentro de los rangos permitidos menor al 30% (Ochoa, 2003).

Los rendimientos de FVH de cebada son iguales, esto debido al periodo del cultivo es corto (17 días), donde entre las densidades de siembra, bioreguladores y los tratamientos, tuvieron un comportamiento similar. Mendoza (2007), al respecto señala, son estadísticamente iguales debido al periodo de cultivo corto, el bajo consumo de solución nutritiva, por otro lado señala que las semillas por su naturaleza son ricas en elementos nutritivos.

Respecto al factor A (densidades de siembra), según el análisis de varianza al 5% de significancia presenta en el cuadro 11, donde el valor de $F_c < F_{tablas}$ ($4.260 < 4.410$), no existen diferencias significativas entre densidades 0.6 kg por bandeja obteniendo peso promedio de 4.945 kg de biomasa por bandeja, en relación con 0.8 Kg por bandeja que ha logrado peso promedio de 5.206 kg por bandeja de 0.25 m².

De acuerdo a la figura 8, la producción de biomasa obtenida D1 y D2 son aceptables, además existe una diferencia significativa a los resultados obtenidos por Villota, (2013), quien obtiene el peso de biomasa vegetal de cebada 2.546 kg./bandeja, a los 15 días, con densidad de siembra 1.00 kg./bandeja de 0.25 m².

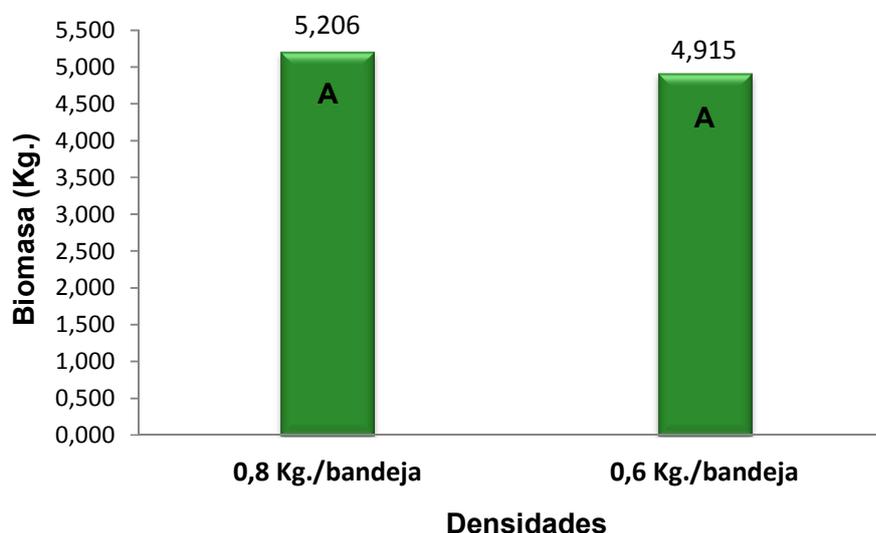


Figura 8. Promedio de peso biomasa vegetal debido a dos densidades de siembra

En la prueba de comparación de Duncan al 5%, del peso de biomasa de FVH para factor A, la densidad de siembra de 0.6/0.25m², no presenta diferencias significativas entre la

densidad de siembra de 0.8 kg/0.25m² con un promedio de 4.915 kg de peso, que no es significativamente superior al de la densidad 0.6 kg/0.25m² con un promedio de 5.206 kg de peso de biomasa de FVH.

Al respecto Gómez (2007), ya que con las similares características su registro muestra peso promedio de 6.263, con densidad de siembra 7.5 kg por bandeja de 0.25 m² y en el tiempo de 13 días. Por otro lado Ralde (2000), menciona cuando la densidad es mayor, existe un decremento en el rendimiento, debido que tiene exceso de plantines por área lo que se manifiesta el mayor efecto competitivo, haciendo que se tiene menor producción.

Respecto al Factor B (fertilizantes), se observa en el Análisis de Varianza el valor de Fc es menor a Ftablas (3.404 < 3.55); es decir con la aplicación de los diferentes tipos de bioreguladores orgánicos: biól, té de estiércol y agua pura en la producción de FVH de cebada, no tuvo una influencia significativa en biomasa del FVH. Pero en el gráfico 9, numéricamente muestra la obtención de mayor peso de biomasa vegetal, con la aplicación de 25% biól, que obtuvo una media de 5.253 kg por encima fertilizante cero (agua pura) 5.239 kg y té de estiércol al 25% con 4.816 kg promedio por bandeja.

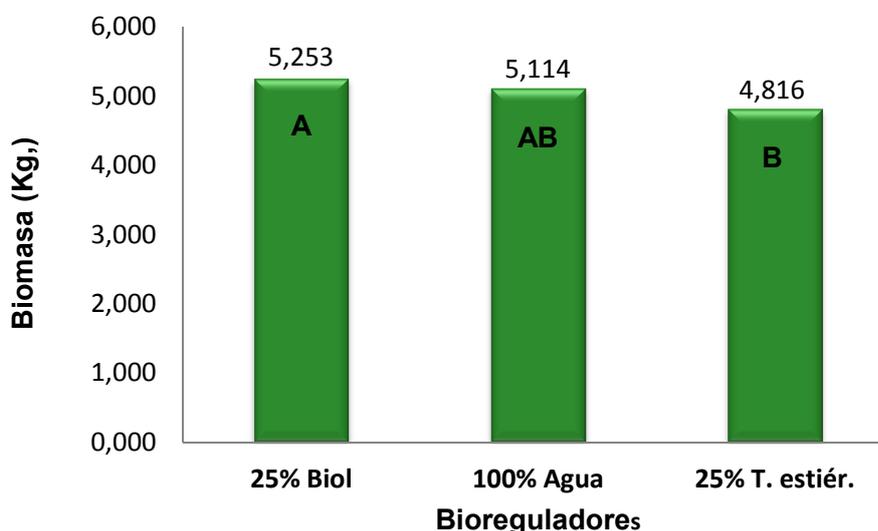


Figura 9. Peso de biomasa vegetal del Factor B.

La prueba de comparación de Duncan al 5%, del peso de biomasa de FVH factor B (bioreguladores), biól, té de estiércol y agua pura, si tienen diferencias en los promedios

en el peso de biomasa, siendo la aplicación de biól tiene un promedio de 5.253 kg con respecto a la aplicación de té de estiércol con un peso promedio de 4.816 kg por bandeja, no presentan diferencias la aplicación con agua que obtuvo peso promedio de 5.239 kg por bandeja; en cuanto la aplicación té de estiércol y agua muestran iguales en el rendimiento en el peso de biomasa de FVH al momento de la cosecha.

La presencia de bioreguladores orgánicos no causó efecto sobre el rendimiento de FVH; al respecto Quiñones (2011), indica que en la forma tradicional de cultivar (con tierra) se dan estos efectos beneficiosos, no se ha apreciado en el cultivo hidropónico probablemente debido a la acción de la genética en el estado inicial del crecimiento de las plántulas, en el que se refleja el efecto del contenido de nutrientes de la semilla para la plántula muy joven.

De acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación, el comportamiento de los diferentes biofertilizantes orgánicos en la producción de FVH, se muestra el mayor efecto positivo de biól al 25% seguido de agua pura y té de estiércol al 25%; los efectos de los bioreguladores orgánicos concuerdan con Paredes (2010) citado por Quiñones, (2011), menciona que realizó la comparación de tres medios nutricionales (agua pura, efluente orgánico y solución comercial) en cultivo hidropónico de maíz (*Zea mays*), respectivamente para los tratamientos 1, 2 y 3, los rendimientos de forraje verde fueron de 595, 1030 y 585 gramos por bandeja.

Cuadro 12. Rendimiento de biomasa de FVH por tratamiento y densidad de siembra

Tratamientos	Siembra Kg./UE	Siembra Kg./m ²	Kg. FVH/ bandeja	Kg. FVH/ m ²
T4 = D2+B	0,800	3,200	5,326	21,305
T6 = D2+A	0,800	3,200	5,239	20,955
T1 = D1+B	0,600	2,400	5,179	20,715
T5 = D2+TE	0,800	3,200	5,054	20,215
T3 = D1+A	0,600	2,400	4,990	19,960
T2 = D1+TE	0,600	2,400	4,578	18,310
Promedio	0,700	2,800	5.061	20.243

La Interacción del Factor AxB, muestra en el cuadro de Análisis de Varianza que el $F_c < F_{Tablas}$ ($0,476 < 3.55$); por tanto, se rechaza H_0 ; es decir, con la aplicación de dos densidades de siembra de cebada ($0.6/0.25 \text{ m}^2$ y $0.8/0.25 \text{ m}^2$) y tipos de bioreguladores: al

25% biol, 25% de té de estiércol y 100% agua pura, no tuvieron una influencia significativa en el peso biomasa vegetal. Numéricamente se demuestra en el figura 11, que el T4 (D2+Biól) obtuvo mayor peso de biomasa vegetal con una media de 5.326 kg/bandeja al resto de los tratamientos. Los resultados obtenidos con la aplicación de biofertilizantes orgánicos biol y del té de estiércol no hubo significancias, ya que el objetivo de la investigación fue determinar la factibilidad de reutilización de los subproductos generados por el ganado, como fuente alternativa de nutrientes.

Al respecto Salas, *et al.* (2010), señala en la producción de forraje hidropónico fertilizado con té de compost fue similar en el rendimiento y la calidad nutricional que ha obtenido con la fertilización inorgánica. El mayor rendimiento en peso fresco, contenido de materia seca, fibra detergente ácida y fibra detergente neutra, se obtuvo a los 16 días de cosecha.

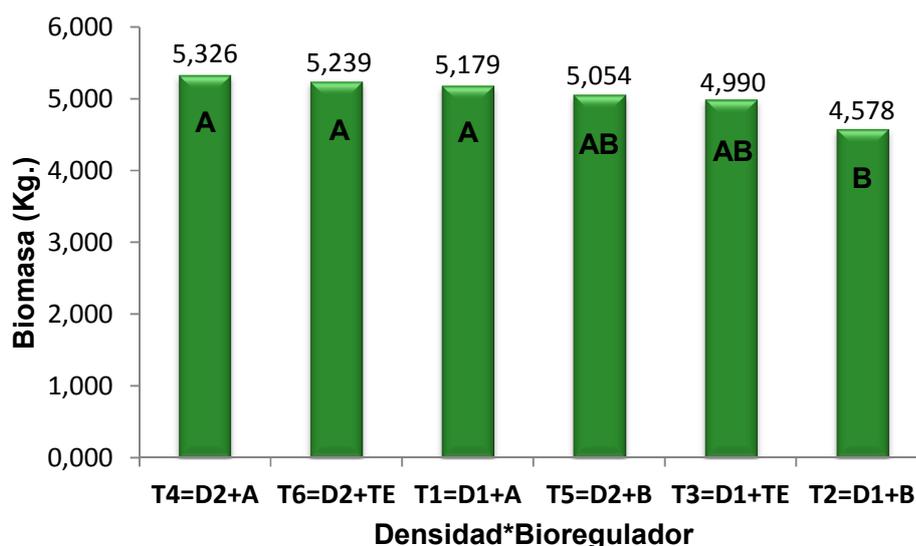


Figura 10. Peso de biomasa obtenida en la cosecha, en promedio en Kg

Los resultados en la prueba de comparación de Duncan al 5% para la interacción de los factores AxB (tratamientos). En la figura 10 muestra, los tratamientos: T4 con 5.236 kg por bandeja, el T6 con 5.239 kg y el T1 con 5.179 kg existen diferencias significativas al respecto del tratamiento T2 que tuvo 4.578 kg por bandeja, respecto a los tratamientos T5 y T3 no existen diferencias.

La productividad de los cultivos debido a que interaccionan tanto aniones como cationes, puesto que la absorción de nutrientes efectuada por las raíces de las plantas es selectiva, y depende de factores climáticos, así como de la fase de crecimiento en que el cultivo se encuentre, además de las concentraciones disponibles de los nutrientes. Asimismo concluye, es factible la utilización de los fertilizantes orgánicos como sustituto de la fertilización química en la producción de FVH (Salas, *et al.* 2010).

Estos parámetros se pueden considerar de positivo a óptimos ya que los rendimientos de biomasa total de FVH obtenidos se encuentran en concordancia a los obtenidos por Mendoza (2009), quien en el Altiplano (Viacha) obtuvo un promedio peso de 16 kg./m² en trece días. Al respecto Clavijo (2001), señala la densidad de siembra afecta directamente a todos los resultados que tienen con el variable peso.

El rendimiento de biomasa vegetal de FVH obtenidos por UE y m², ha determinado el efecto de los tratamientos que dan su influencia sobre la producción de biomasa vegetal, puede apreciar que el T4 (D2+biol) con 5.326 kg/UE y 21.305 kg/M² es más eficiente en la producción y mayor en los rendimientos en relación a los demás tratamientos T6, T1, T5, T3 y T2, situación aparentemente contradictoria, siendo que el T1 y T6 es aplicado agua pura y está por encima de té de estiércol. Estos parámetros se pueden considerar que los rendimientos obtenidos concordia con Mendoza (2009), anota siendo que, el testigo (agua) presenta un rendimiento mayor en relación con la aplicación soluciones nutritivas, además que las semillas por su naturaleza son ricas en elementos nutritivos.

4.5.1. Rendimiento de Forraje Verde Hidropónico por kilogramo de semilla

Cuadro 13. Rendimiento en kilogramo de biomasa vegetal por kilogramo de semilla

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft.(5%)	Niv. Sig.
Densidad	1	14,655	14,655	48,183	4,41	0,00
Bioregulador	2	1,057	0,528	1,737	3,55	0,064
Densidad*Bioregulador	2	0,497	0,249	0,817	3,55	0,473
Error	18	5,475	0,304			
Total	23	21,683				
Coeficiente de Variación (%) = 7,50						

El rendimiento de biomasa vegetal de FVH por kilogramo de semilla utilizada en cebada, en el cuadro de ANVA al 5% de significancia, detalla para el factor densidades de siembra es altamente significativo, donde el valor $F_c > F_{tabular}$ ($48,183 > 4,41$); para el factor de

bioreguladores no reporta diferencias donde el valor de $F_c < F_{tabular}$ ($1,737 < 3,55$) y tampoco existen diferencias debidas a la interacción entre los factores A*B con valor de $F_c < F_{tabular}$ ($0,817 < 3,55$). Para el análisis de coeficiente variación de 7,50% se encuentra dentro de los rangos permitidos menor 30%, (Ochoa, R. 2009).

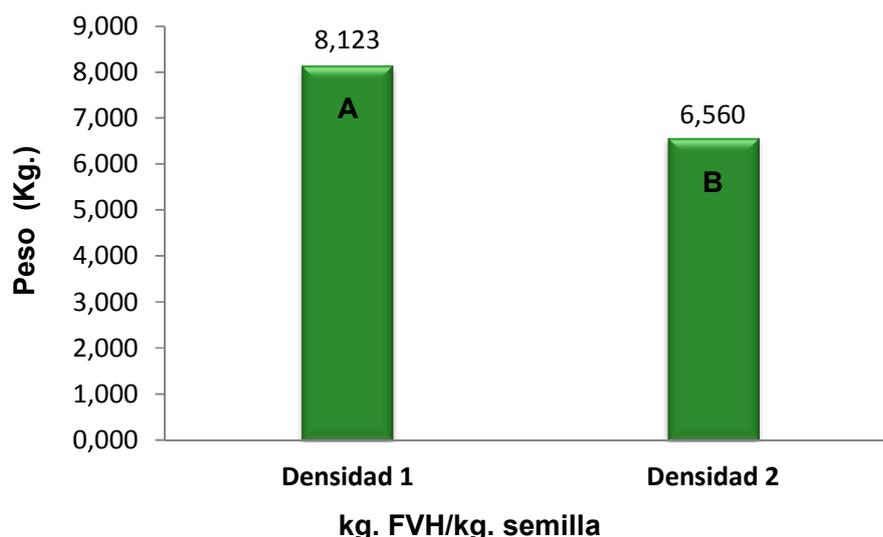


Figura 11. Rendimiento de FVH por kilogramo de semilla utilizada para factor A

Los resultados en la prueba de comparación Duncan al 5%, el rendimiento de biomasa de FVH por kilogramo de semilla utilizada en cebada el efecto de la utilización de diferentes densidades de siembra, por cual tuvo diferencias altamente significativo, obteniéndose el mayor rendimiento con la utilización de 0,6 kg por bandeja, el cual produjo 8,123 kg FVH por cada kilogramo de semilla, seguido de la densidad de 0.8 kg de semilla por bandeja con 6,560 kg de FVH por kg de semilla de cebada, con una relación 1: 8,123 para D1 y 1: 6,560 para D2.

Al respecto Pinchuk y Garncarz, (1997) citado por Calles (2005), señalan que la relación de producción de FVH es de 1 a 9, o sea que por cada kilogramo de semilla de cebada utilizada se obtienen 9 kg de forraje verde hidropónico. Para Quiñones (2011), una densidad de siembra de 5 kg de semilla por m^2 , los resultados obtenidos con cebada son muy buenos considerando que por cada kilo de semilla se han obtenido 6,53 kilos de forraje hidropónico;

Para Sánchez, (1982), la cosecha del FVH comprende el total de la biomasa que se encuentra en la bandeja o franja de producción. Esta biomasa comprende a las hojas, tallos, el abundante colchón radicular, semillas sin germinar y semillas semi-germinadas.

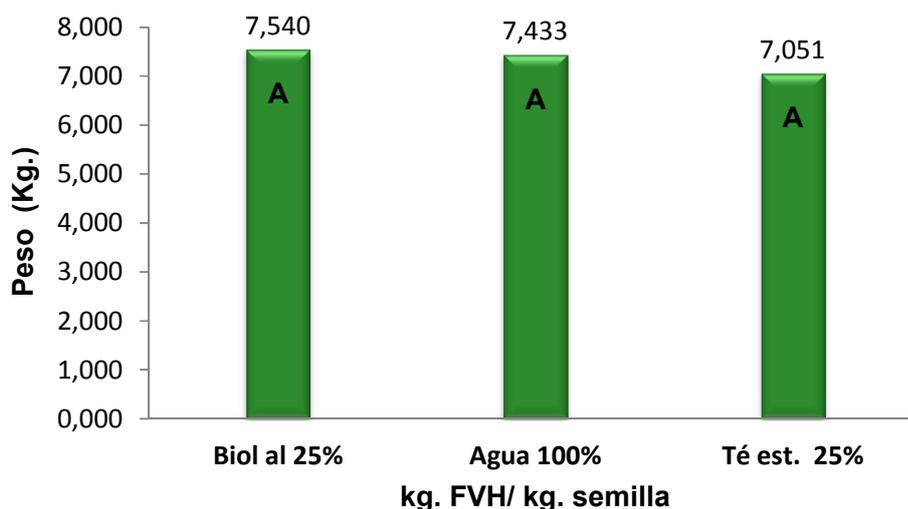


Figura 12. Rendimiento de FV H por kilogramo de semilla utilizada para factor B

La prueba de comparación Duncan al 5%, para factor B (bioreguladores) biol al 25%, agua de pozo 100% y té de estiércol al 25%, el rendimiento de biomasa vegetal obtenido es 7,540, 7,433 y 7,051 kg de FVH por kilo de semilla, esto muestra que no alcanzaron diferencias significativas; se aprecia que los tres tipos de aplicación son muy similares.

La aplicación de los diferentes bioreguladores, no causó efecto sobre el rendimiento de forraje verde hidropónico; sin embargo, no se debe descartarse su probable acción benéfica. Al respecto Quiñones (2011), menciona que en la forma tradicional de cultivar (con tierra) se dan estos efectos beneficiosos, no se ha apreciado en el cultivo hidropónico probablemente debido a la acción de la genética en el estado inicial del crecimiento de las plántulas, en el que se refleja el efecto del contenido de nutrientes de la semilla para la plántula muy joven; así, cada especie tiene un potencial distinto de acuerdo a su caudal genético que se aprecia en el rendimiento inicial ocultando el efecto de cualquier otro factor, que no necesariamente es una fuente directa de nutrientes.

Para la interacción de factores AxB, de acuerdo a la comparación Duncan al 5%, los resultados muestran el rendimiento de forraje verde hidropónico por kilogramo de semilla utilizada, que determina el efecto de la utilización de densidades de siembra más en la aplicación de los diferentes bioreguladores en la investigación, encontró diferencias significativas obteniéndose el mayor rendimiento con la utilización D1+B (T1), D1+A (T3) y D1+TE (T2), los cuales produjeron 8,423, 8,317 y 7,629 kg de FVH por kg de semilla, por encima de los tratamientos D2+B (T4), D2+A (T6) y D2+TE (T5) que produjeron 6,658, 6,548 y 6,473 kg por kg de semilla.

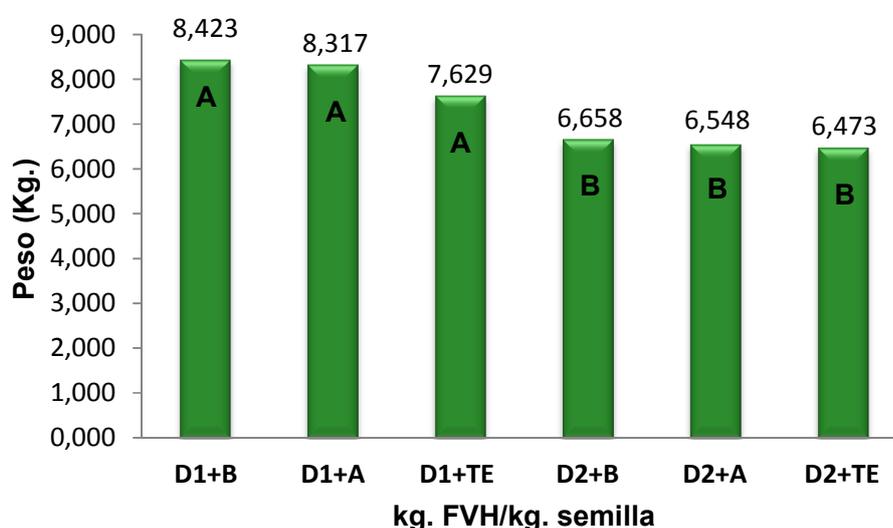


Figura 13. Rendimiento de FVH por kilogramo de semilla utilizada para interacción A*B

Rodríguez (2003) e Izquierdo (2003), los cuales reportan relaciones de 10, 6, 8 y 9 kg de FVH por kilogramo de semilla respectivamente a los 14-15 después de la siembra. Esto puede deberse de algunos factores, al porcentaje de germinación y geografía física.

El principal secreto del éxito de producción del FVH, se basa en una adecuada irrigación, por lo que a partir de este momento, se deben iniciar los riegos hasta que el material se vaya a cosechar. En este sentido, se recomienda hacer uso de una solución nutritiva (agua con minerales, como nitrógeno, fosforo y otros); sin embargo, como el periodo de crecimiento es tan corto, el agua pura también sirve (Elizondo, 2001).

4.6. Análisis de costos de producción de Forraje Verde Hidropónico

Para análisis de costos de producción, se determinó en base a egresos e ingresos de la producción de forraje verde hidropónico de cebada.

4.6.1. Egresos

Son aquellas inversiones que se hicieron durante el desarrollo de investigación, son:

- Instalaciones: En las instalaciones se encuentran la construcción de invernadero, estantes, bandejas y utensilios.
- Insumos: En los insumos se encuentran las semillas de cebada y bioreguladores.
- Mano de obra: Se tomó en cuenta al maestro albañil, el ayudante y el gasto de operación. Los costos de producción se detallan en el siguiente cuadro.

Cuadro 14. Análisis de costo de producción de FVH, por tratamientos

Tratamientos	Semilla en (kg.)	Costo de sem. (Bs.)	Bioreg. (Bs.)	Mano de obra. (Bs.)	Costo/trat. (Bs.)
T1 = D1+B	2,4	9,6	20	25,00	54,60
T2 = D1+TE	2,4	9,6	10	25,00	44,60
T3 = D1+A	2,4	9,6	0	25,00	34,60
T4 = D2+B	3,2	12,8	20	25,00	57,80
T5 = D2+TE	3,2	12,8	10	25,00	47,80
T6 = D2+A	3,2	12,8	0	25,00	37,80
TOTAL	16,8	67,2	66	150,00	277,20

Los resultados se puede observar en el cuadro 14, donde se tienen la inversión para la producción de Forraje Verde Hidropónico. De acuerdo al análisis económico realizado para cada uno de los tratamientos, se pone en manifiesto el valor de producción por bandeja y por metro cuadrado.

En este trabajo se ha tomado en cuenta solo los costos variables, debido a que el cultivo tuvo tiempo de 20 días, asimismo los costos de producción (CP) muestra el total de los costos de inversión para cada tratamiento, que varía por los costos de compra de semilla, fertilizantes foliares (biol y té de estiércol) y el costo de mano de obra.

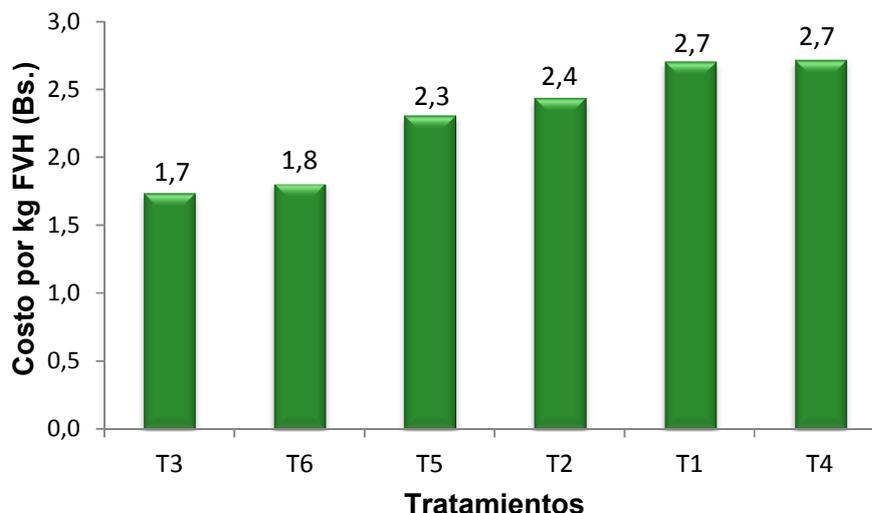


Figura 14. Costo de producción por kilogramo de FVH

4.6.2. Ingresos

4.6.2.1. Análisis de precio

Debido a que en la región no cuenta con precios establecidos para dicho producto, para el precio de venta del FVH, va a depender de la presentación del forraje verde y cantidad, normalmente la alfalfa, avena y cebada, que son forrajes verdes que se venden en el tiempo de sequía en la feria de 16 de julio y en los mercados de la ciudad de El Alto.

Para calcular el precio FVH, se averiguó el precio de venta de forraje verde de cebada en diferentes mercados, se tomó en cuenta la porción de cebada etapa fenológico antes de floración, el 0.75 kilogramos que se vende a Bs. 2.00 entonces un kilogramo de cebada verde cuesta Bs. 2.70 Para el cálculo de precio de la venta del FVH de cebada con un ajuste de incremento de 5% sobre Bs. 2.70 es de Bs 2.80 por kilogramo de FVH de cebada (Espinoza 2005).

El cuadro 15, muestra los promedios en rendimiento de FVH de cebada por tratamiento en kg; posteriormente, se deduce el precio del kilogramo de FVH y el total de ingresos. En definitiva los precios se determinaron tomando como base a la cantidad y el precio del forraje verde de cebada existente en el mercado. De acuerdo a estos parámetros con 5% de ajuste incremento, se define el precio de venta por kilogramo del FVH.

Cuadro 15. Resumen final de los resultados obtenidos para los tratamientos

Tratamientos	Rdto. FVH (kg.)	Rdto. Ajustado (5%)	Precio kg. FVH (Bs.)	IB Bs./trat.	CP Bs./trat.	IN Bs./trat.	B/C	Rentabilidad (%)	C.P.U. (Bs.)	M.U. U. (Bs.)
T3 = D1+A*	19,960	18,962	2.80	53.09	34.60	18.49	1.53	53,45	1.73	1.07
T6 = D2+A	20,955	19,907	2.80	55.74	37.80	17.94	147	47,46	1.80	1.00
T5 = D2+TE	20,715	19,679	2.80	55.10	47.80	7.30	1.15	15,28	2.31	0.49
T2 = D1+TE	18,310	17,395	2.80	48.70	44.60	410	1.09	9,20	2.44	0.36
T1 = D1+B	20,215	19,204	2.80	53.77	54.60	-0,83	0.98	-1,52	2.70	0.10
T4 = D2+B	21,305	20,240	2.80	56.67	57.80	-1.13	0.98	-1,95	2.71	0.09
Total	121,460	115,387	2.80	32.08	277.20	45.88	1.17	16,55	2.28	0.52

Donde:

FVH = Forraje verde hidropónico

IB = Ingreso bruto

CP = Costo de producción

IN = Ingreso neto

B/C = Beneficio-costo

CPU = Costo de producción por unidad

MUU = Margen de utilidad unitaria

* = Mejor tratamiento

4.6.2.2. Ingreso bruto

Tomando en cuenta la cantidad en forraje verde de cebada en el mercado por kilogramo es Bs. 2.70, se calcula el valor por kilogramo de FVH de cebada con ajuste de 5% de incremento alcanzando a Bs. 2.80. Este valor se multiplica por el rendimiento de FVH producida (121.464 kg total de la producción), pero tomando el rendimiento ajustado de 5% la cantidad es 115.387 kg misma es multiplicado por el precio de venta Bs. 2.80 por kg de FVH, se recaudó Bs. 323.08 (ingreso bruto). Como detalla en el cuadro 15.

4.6.2.3. Ingresos netos

En ingresos netos se observa los T3 y T6 con la aplicación de 100% agua reportó mayores ingresos de Bs. 18.49 y 17.94, debido a cero costo de fertilizantes foliares, además su rendimiento de biomasa de FVH de cebada es admisible en comparación con los biofertilizantes de los T2 y T5 (té de estiércol al 25%) con Bs. 7.30 y 4.10, en cambio con la aplicación de biól al 25% en los T1 y T4 se tuvo un ingreso neto -0.83 y -1.13 no beneficioso, porque el costo de producción es mayor al ingreso bruto.

4.6.2.4. Relación beneficio-costo

El cuadro 15, se establece que el beneficio costo están por encima a la unidad de 1; significando que se recupera prácticamente la inversión realizada, para dos densidades de siembra y la aplicación de bioreguladores orgánicos para los tratamientos T3, T6, T2 y T5, pero el mejor tratamiento fue el T3 (agua pura) donde se obtuvo un resultado de 1.53, es decir de cada Bs. 1 invertido se obtiene Bs. 0.53 y seguido del T6 que obtiene Bs. 0.47 de utilidad, con la aplicación del 100% agua de pozo es mejor para la producción de Forraje Verde Hidropónico de cebada; para los T2 y T5, la relación de B/C de acuerdo a los resultados son menores a los anteriores con 1.15 y 1.09, esto significa de cada un boliviano invertido se recupera Bs. 0.15 y 0.09; respecto para los T1 y T4 de acuerdo a los resultados obtenidos no se recupera, pro la inversión de un boliviano se pierde Bs. 0.02, esto debido a que los egresos económicos son mayores a los ingresos, además la mano de obra y el costo de biól son los que más influyen en relación de beneficio costo.

4.6.2.5. Rentabilidad

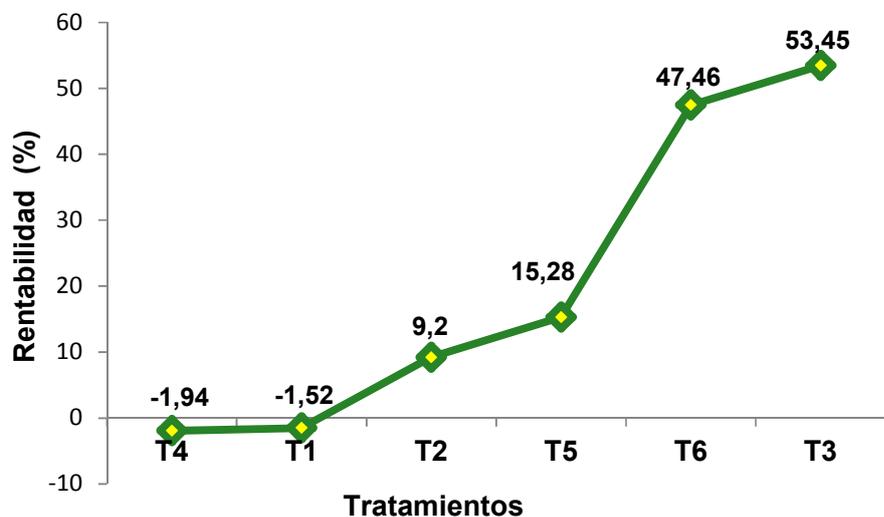


Figura 15. Análisis de rentabilidadv de la producción de FVH de cebada

En el cuadro 15 y la figura 15, anota la mayor rentabilidad registrada en la producción de FVH de cebada a los 17 días de cosecha, fue el T3 con la siembra de 0.6 kg/UE y la aplicación 100% agua, obteniendo 53,45% y seguido de T6 con 47,46% son los mejores en la rentabilidad; al respecto para los T5 y T2 son 15,28 y 9,20 y para los T1 y T4 de acuerdo a los resultados de los análisis obtenidos son negativos, significa no rentable en la producción de FVH con la aplicación de biól para su comercialización en el mercado.

Para realizar el cálculo de la rentabilidad de la producción de FVH, se tomó en cuenta los egresos e ingresos del mismo (CYMMYT, 1988).

5. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos, se preceda a inferir las siguientes conclusiones.

1. El mejor comportamiento de bioreguladores sobre altura de las plantas, obtuvo la aplicación de biol al 25%, reportando altura promedio de 24,2 cm. misma presenta diferencias estadísticas con los otros tratamientos, seguido por la aplicación de agua de pozo 100% obteniendo altura promedio de 23,5 cm. y ultimo la aplicación de té de estiércol al 25%, con un promedio de 22,9 cm. de altura a los 17 días en la producción de Forraje Verde Hidropónico de cebada.
2. En cuanto al rendimiento de FVH por bandeja de 0.25 m², estadísticamente no existen diferencias significativas, entre las densidades de siembra y la aplicación de biofertilizantes orgánicos, sin embargo, por los resultados obtenidos numéricamente se nota diferencias de acuerdo como sigue: el T4 con kg. 5.386 seguido de T6 - 5.239, T1- 5.179, T5 -5.54, T3 - 4.990 y T2 - 4.578 kg. FVH por bandeja. En cuanto al rendimiento por m² se forma del mismo orden, cada m² equivale a cuatro bandejas.
3. Para el rendimiento de biomasa vegetal de FVH por kilogramo de semilla utilizada en cebada, se determinó con la siembra de 0.6 kg. por bandeja obteniendo por cada kg. de semilla utilizada 8,123 kg. de FVH con una relación de y mientras con la densidad 1: 8,123 y seguido de la densidad 0,8 kg. por bandeja con 6,560 kg. de FVH con una relación de 1: 6,560.
4. Respecto al análisis económico del sistema de producción de FVH, muestra que los tratamientos T3 y T6 a los 17 días de cosecha, obtuvo los resultados más óptimos, teniendo con las densidades de 2,4 y 3,2 Kg./ m² y con la fertilización de agua pura, con IN de Bs. 21,29 y 20,47; las mismas tuvieron menor costo de producción con Bs. 34,6 y 37,8.
5. Los resultados de la relación beneficio/costo (B/C), el mejor tratamiento es T3 (D1+A) que ha obtenido 1,53 y T6 (D2+A) con 1,47; estos resultados indican de cada un boliviano invertido se recupera Bs. 0.53 y 0.47; respecto a la rentabilidad fueron de la misma orden, los T3 y T6 son los mejores resultados con 53,45% y 47,46% de rentabilidad obtenida.

6. RECOMENDACIONES

Implementar el cultivo de Forraje Verde Hidropónico, como alternativa complementaria muy valiosa para la alimentación de animales de diferentes especies, además que permite brindar alimento de gran calidad, evitando así la escasez debido a factores adversos en el tiempo de estiaje.

Utilizar una densidad de 0.6 kg. por bandeja de 0.25 m² para la producción de Forraje Verde Hidropónico, la misma presenta los mejores rendimientos productivos y al menor costo de producción; de acuerdo a los resultados de la incorporación de bioreguladores, se puede utilizar agua pura del pozo.

Difundir la elaboración y utilización de biofertilizantes orgánicos foliares, que permita incorporar esta técnica en los proyectos productivos, misma que constituye una alternativa viable, fomentando un desarrollo ecológico sustentable del sector agropecuario.

Realizar investigaciones respecto a la implementación este tipo de cultivo con diferentes especies, variedades, densidades de siembra, fertilización orgánico y días de cosecha, ya que no hubo diferencias significativas tal como lo muestra el presente investigación, lo cual hace indispensable obtener la mejor información.

Ejecutar nuevas investigaciones similares con diferentes biofertilizantes líquidos orgánicos y niveles de aplicación en la producción de forraje verde hidropónico para obtener mayor rendimiento.

7. BIBLIOGRAFÍA

AQUINO, E. (2010). Producción, Manejo y Uso de Forraje Verde Hidropónico Para Zonas de Altura. La Paz, Bolivia. Edit. SIRCA

BARIOS, O. (s/f). Construcción de un invernadero. Consultado 2 de mayo de 2013. Disponible en:
http://www.redmujeres.org/biblioteca%20digital/construcción_invernadero.pdf.

CARBALLIDO, C. (s/f.) Forraje Verde Hidropónico, Cómo Realizar el Cultivo, Mejora la Salud Animal. Consultado 26 de enero de 2013. Disponible en:
<http://seragro.cl/?a=983>.

CARBALLO, C. (s/f.) Manual de procedimientos para la elaboración de forraje verde hidropónico. Consultado el 5 de febrero de 2013. Disponible en:
<http://biotu.org/download/ecoaldea/agriculturaorganica/Forraje%20Verde%20Hidroponico%20%28Eco-Agro%29.pdf>

CASTAÑEDA, F. (1997). Manual de Cultivos Hidropónicos, Guatemala. Edit. INCAP. P. 4.

CASTEDO, P. (2008). Manejo de biofertilizantes en los cultivos. Ventajas de los bioles líquidos. Santa Cruz, Bolivia. Edit. Cortez. 58p.

CENTRO UNIVERSITARIO DE CAPACITACIÓN AGROBIOGENÉTICO, (1994). Técnicas de Muestreo: Biol y Biosol y plantas de cultivo. Programa para la difusión de Energías Renovables. Cochabamba, Bolivia.

CESTA,(s/f). ELABORACIÓN DE INSUMOS ORGÁNICOS. Consultado el 20 de febrero de 2013. Disponible en: <http://www.cesta-foe.org.sv/areas-de-trabajo/pubs/cesta%20insumos%20organicos.pdf>.

CHANG, M. (2006). Producción de forraje hidropónico y germinado Publicación de la Universidad Nacional Agraria La Molina Perú. p. 59.

- CLAURE, C. (1992). Manejo de Efluentes. Proyecto BIOGAS. Cochabamba, Bolivia. Edit. Poligráficas. 53pp.
- COLQUE, T. *et al.* (2005). Producción de biol abono líquido natural y ecológico. ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA – PUNO – LIMA. Consultado 21 febrero de 2013. Disponible en: <http://www.quinoa.life.ku.dk/~media/Quinoa/docs/pdf/Outreach/ManualBiolfinal.ashx>.
- CORONA, L. (2011). Producción de forraje verde en la mixteca poblana una alternativa nutricional para la época de sequía. (en línea). Consultado 8 de febrero de 2013. Disponible en: <http://www.engormix.com/MA-ganaderiacarne/nutricion/articulos/forraje-verde-hidroponico-t3284/141-p0.htm>.
- ELIZONDO, J. (2001). Forraje Verde Hidropónico: Una alternativa para la alimentación animal. Consultado 20 de febrero de 2013. Disponible en: www.search-document.com.
- ESPIRITU, R. & HERRERA, E. (2012). Crianza de Cuy manejo tecnificado. Recuperado desde http://cedal-peru.org/wp-content/uploads/2013/02/modulo-3_crianza-cuy_manejo-tecnificado.pdf
- FONAG. (2010). Abonos Orgánicos. Protegen el suelo y garantizan alimentación sana. Recuperado desde http://www.fonag.org.ec/doc_pdf/abonos_organicos.pdf
- FAO. (2001). MANUAL TÉCNICO DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO. Oficina regional de la FAO para América latina y Caribe. Santiago de Chile. Consultado 15 de junio de 2013 en: <http://www.fao.org/docrep/field/009/ah472s/ah472s00.htm>
- FAO. (2002). El Manual Técnico “Producción de Forraje Verde Hidropónico”, para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile. Consultado 20 de mayo en: www.fao.org
- GALLARDO, G. (1997). Producción de forraje hidropónico de cebada (*Hordeumvulgare*) en ambiente controlado con tres soluciones nutritivas en dos concentraciones. Tesis de grado en Agronomía. La Paz – Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés. 25p.

- GILSANZ, J. (2007). Hidroponía. Instituto nacional de investigación agropecuaria. Consultado 10 de mayo de 2013 en: <http>
- GUTIÉRREZ, I. *et al.* (2000). Cultivos hidropónicos. Fascículo 9. Bogotá Colombia. Edit. Géminis. 1, 2, 4pp.
- HIDALGO, L. (1985). Producción de Forrajes en Condiciones de Hidroponía. Evaluaciones Preliminares en Avena y Triticale. Universidad de Concepción. Chile. Pp. 79
- IPADE, (2009). Abonos orgánicos. Un paso para ir avanzando hacia una agricultura orgánica Rentable y Sostenible. (En línea). Consultado 18 de enero de 2013. Disponible en: <http://ipade.org.ni/docs/desarrollo/MANUALABONOORGANICO.pdf>
- IZQUIERDO, J. (2002). El Forraje Verde Hidropónico (FVH) como tecnología apta para pequeños productores agropecuarios. Consultado 20 de marzo de 2013. Disponible en: www.fao.org.
- MATOS, G. (1996), Producción Hidropónica e interrumpida de Forraje Verde Fresco, Facultad de Agronomía UMSA La Paz, Bolivia. pp.: 1- 14
- MEDINA, V. A. y Solari, E.G. (1990). El biol fuente de Fitoestimulante en el desarrollo agrícola. Cochabamba, Bolivia. Edit. Poligráficas. 10, 22pp.
- NAVARRETA, R. (2008). Estudio de la productividad de dos gramíneas (*Hordeumvulgare*y*Triticumaestivum*) y una leguminosa (*Vicia sp.*) para forraje verde hidropónico (FVH) con tres cortes sucesivos en la granja Ecaa. Tesis de grado. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. P-44
- OCHOA, R. (2009). Diseños experimentales. La Paz – Bolivia. Primera edición. Pp. 19
- ORMEÑO, M. (2007). Preparación y aplicación de abonos orgánicos. Consultado 05 de enero de 2013. Disponible en: http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/inia_divulga/numero%2010/10ormeno_m.pdf

- PALOMINO, K. (2008). Producción de forraje hidropónico. Primera edición. Empresa editora Macro EIRL. Miraflores Perú. Pág.5-59
- PICADO, J. y AÑASCO, A. (2005). Preparación y uso de abonos orgánicos sólidos y líquidos. Consultado 25 de abril de 2013. Disponible en: www.cedeco.org.cr
- PROMER. (2002). El biol (en línea). Consultada 17 de abril de 2013. Disponible en www.promer.cl/agronegocios/biblioteca.
- RED HIDROPONIA, (2003). Forraje Verde Hidropónico, Boletín informativo. Consultado 15 de febrero de 2013. Disponible en:
<http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/boletin21/>
- RODRÍGUEZ, R. 2007. Formulación de recomendaciones para la fertilización de los cultivos agrícolas: una versión técnica. Imprenta Red & Blue. Cochabamba, Bolivia. p 1,15, 20
- SAMPERIO, G. (1997). Hidroponía Básica. 1ª ed. México, México. Edit. Diana. 13p.
- SÁNCHEZ A. (2000). Una experiencia de forraje verde hidropónico en el Uruguay (en línea). Consultado 4 de mayo 2013. Disponible en:
<http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/boletin7.htm>
- SANCHEZ, J. (1982). Cultivos Hidropónicos. SENA. Medellín, Colombia. Edit. Condex. 3p.
- SARABIA, J. (2000). Guía del huerto hidropónico. Instituto Nacional de Investigación agraria. Lima, Perú. Edt. INIA. 65-66p.
- SCHINELLI, T. (s/f). Diseño de invernadero. Consultado, 11 de enero de 2013. Disponible en: <http://www.vet-uy.com/articulos/forestacion/pdfs/hdt19.pdf>
- SUASACA, A.; CAMAPAZA, C. & HUANACUNI, T. (2009). Producción, manejo y aplicación de abonos orgánicos. Puno – Perú. 21 p.

SUQUILANDA, M. (2003). "Elaboración de abonos orgánicos", Publiasesores, Quito, Ecuador. Edit. FUNDAGRO. 4, 21pp.

VARGAS, A. (s/f). El forraje verde hidropónico y su uso en la crianza de cuyes. Consultado 20 de mayo de 2013. Disponible en: <http://www.rmr-peru.com/forraje-verde-hidroponico.htm>

----- (2000). Cultivos protegidos, bajo invernadero. Consultado 5 de abril de 2013. Disponible en: <http://www.actiweb.es/artiplast/archivo2.pdf>.

ANEXOS



Anexo 1. Croquis del experimento de la producción de FVH

Cuadro 16. Datos de la temperatura y la humedad del ambiente

Días	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	\bar{X}
T. Max.(°C)	30	24	20	24	30	26	22	23	31	28	27	32	26	21	32	27	22	26,2
T.Min.(°C)	6	9	5	7	6	9	5	7	6	8	5	6	9	5	8	5	6	6,59
T. Med.(°C)	18	17	13	16	18	18	14	15	19	19	16	19	18	13	20	16	14	16,38
H. R. (%)	68	73	82	67	82	83	73	64	78	80	70	84	64	74	84	77	80	75,47

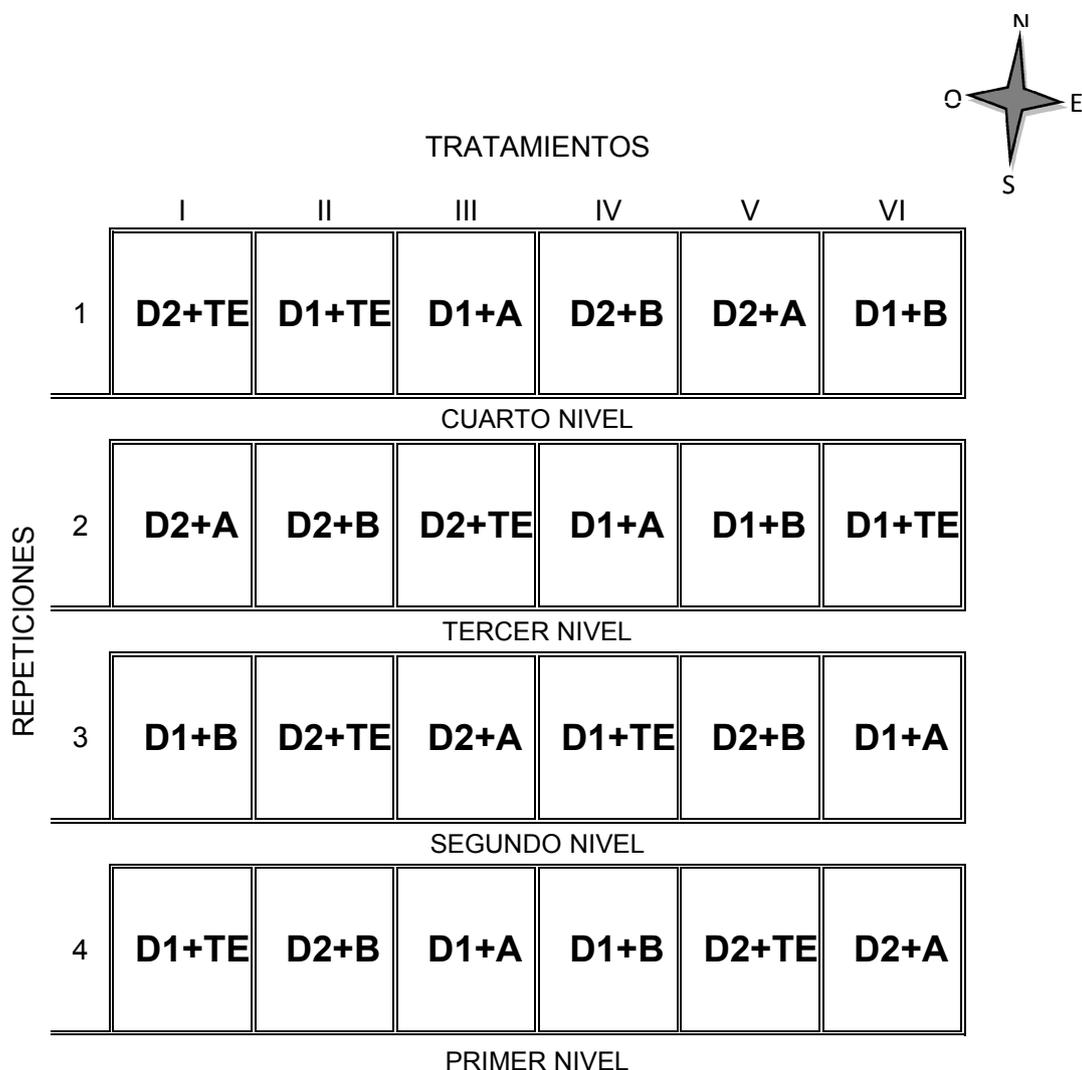


Figura 16. Distribución de bloques y unidades experimentales

Anexo 2. Características de las Unidades Experimentales

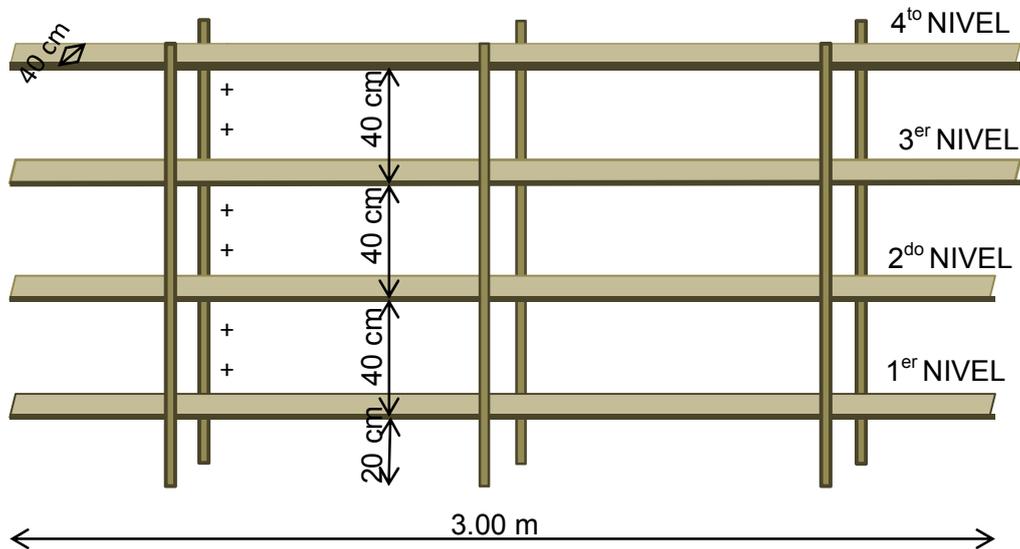


Figura 17. Diseño de la estructura del estante de madera

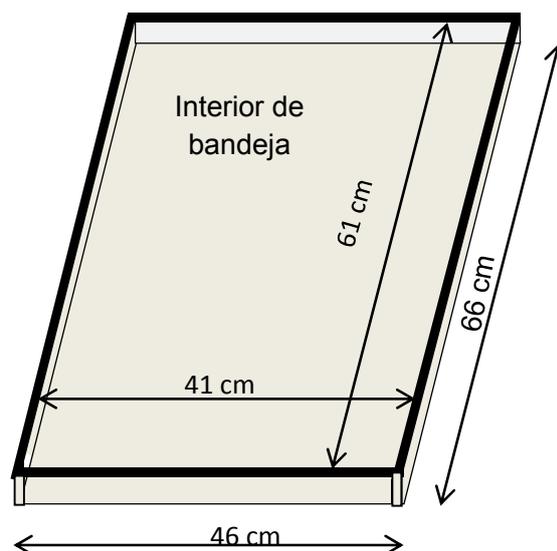


Figura 18. Diseño de la estructura de la bandeja construida de madera

Anexo 3. Datos del campo experimental de producción de FVH

Cuadro 17. Porcentaje de germinación de la semilla de cebada

REPETICIONES	TRATMIENTOS					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
R1	85,71	83,33	89,54	80,85	83,33	83,97
R2	80,95	81,55	81,58	86,13	87,23	90,10
R3	84,62	88,65	86,84	90,05	81,88	84,25
R4	89,85	84,55	87,10	81,86	90,31	88,69
MEDIA	85,28	84,52	86,27	84,72	85,69	86,75

Cuadro 18. Desarrollo en la altura de la planta de FVH a los 17 días

DESARROLLO EN LA ALTURA DE FVH						
Repeticiones	D1+B	D1+TE	D1+A	D2+B	D2+TE	D2+A
R1	24,6	23,4	23,1	24,5	22,7	22,5
R2	24,3	21,9	24,1	24,8	23,5	24,3
R3	23,2	23,9	22,3	24	24,4	23,8
R4	23,9	20,8	23,2	24,1	22,9	24,7
Promedio	24,00	22,50	23,18	24,35	23,38	23,83

Cuadro 19. Índice de crecimiento de altura de la planta de FVH.

TRATAMIENTOS	DÍAS DE CRECIMIENTO					
	Siembra	5 DDS	8 DDS	11 DDS	14 DDS	17 DDS
T1	0	3,5	9,3	15,1	20,1	24,0
T2	0	3,5	9,0	14,4	19,0	22,5
T3	0	3,4	9,2	14,9	19,7	23,2
T4	0	3,4	9,4	15,0	20,3	24,4
T5	0	3,3	9,3	14,8	19,7	23,4
T6	0	3,5	9,2	15,0	19,9	23,8
MEDIA	0	3,4	9,2	14,9	19,8	23,5

Anexo 4. Datos del campo experimental, rendimiento de biomasa del FVH.

Cuadro 20. Biomasa producida por bandeja y media por tratamiento

PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE FVH DE CEBADA EN KG.						
Repeticiones	D1+B	D1+TE	D1+A	D2+B	D2+TE	D2+A
R1	4,675	4,930	5,015	5,335	4,895	5,325
R2	5,140	4,265	5,180	5,610	5,305	5,465
R3	5,435	5,305	4,735	5,130	5,125	4,990
R4	4,965	3,810	5,030	5,230	5,390	5,175
Total	20,215	18,31	19,96	21,305	20,715	20,955
Promedio	5,054	4,578	4,990	5,326	5,179	5,239

Cuadro 21. Rendimiento de biomasa de FVH por metro cuadrado

PROPDUCCIÓN DE BIOMASA POR METRO CUDRADO						
Repeticiones	D1+B	D1+TE	D1+A	D2+B	D2+TE	D2+A
I	18,700	19,720	20,060	21,340	19,580	21,300
II	20,560	17,060	20,720	22,440	21,220	21,860
III	21,740	21,220	18,940	20,520	20,500	19,960
IV	19,860	15,240	20,120	20,920	21,560	20,700
Promedio	20,215	18,310	19,960	21,305	20,715	20,955

Cuadro 22. Rendimiento de biomasa de FVH por kilogramo de semilla

RENDIMIENTO POR KILÓGRAMO DE SEMILLA						
Repeticiones	T1	T2	T3	T4	T5	T6
R1	7,792	8,217	8,358	6,669	6,119	6,656
R2	8,567	7,108	8,633	7,013	6,631	6,831
R3	9,058	8,842	7,892	6,413	6,406	6,238
R4	8,275	6,350	8,383	6,538	6,738	6,469
Promedio	8,423	7,629	8,317	6,658	6,473	6,548

Cuadro 23. Relación kilogramo de semilla - biomasa producida.

Trata miento	Kg. semilla bandeja	Kg. semilla m2	Kg. FVH/ bandeja	Kg. FVH/ m2	Kg. FVH/ Kg. semilla	Relación sem-FVH
D1*B	0,600	2,400	5,054	20,215	8,423	1: 8,423
D1*TE	0,600	2,400	4,578	18,310	7,629	1: 7,629
D1*A	0,600	2,400	4,990	19,960	8,317	1: 8,317
D2*B	0,800	3,200	5,326	21,305	6,658	1: 6,658
D2*TE	0,800	3,200	5,179	20,715	6,473	1: 6,473
D2*A	0,800	3,200	5,239	20,955	6,548	1: 6,548

Anexo 5. Datos del costo de la construcción del invernadero y materiales de utensilio.

Cuadro 24. Costo de la construcción del ambiente.

No	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. U. (Bs.)	TOTAL (Bs)
A	CONSTRUCCIÓN DE INVERNADERO				
	Cemento de 50 Kg.	Bolsa	3	56	168,00
	Arena corriente	m3	2	100	200,00
	Piedra bruta	m3	2	100	200,00
	Adobe de 0.30*0.20*0.10	Pieza	1000	0,65	650,00
	Madera rollizo de 4 m (diam. 4")	Pieza	2	35	70,00
	Madera rollizo de 2,5 m (dám. 3")	Pieza	18	15	270,00
	Madera rollizo de 3 m (dám. 4")	Pieza	2	17	34,00
	Madera de 2"x2"x4 m	Pieza	4	30	120,00
	Clavos de 3"	Kg.	1	15	15,00
	Clavo de 1"	Kg.	0,5	15	7,50
	Alambre de amarre	Kg.	2	12	24,00
	Cinta plástico	m	25	2	50,00
	Agrofilm	m2	14	44	616,00
	Puerta de 1,6x0,90m	Pieza	1	50	50,00
	Ventana de 0,80x0,40m	Pieza	5	20	100,00
	Estuco	Bolsa	2	12	24,00
	Transporte y otros	global	-	-	100,00
	SUB TOTAL				2698,50
	MANO DE OBRA				
	Maestro	jornal	6	90	540,00
	Ayudante	jornal	6	70	420,00
	SUB TOTAL				960,00
	TOTAL				3658,50

Cuadro 25. Costo de construcción de estantería

CONSTRUCCIÓN DE ESTANTERIA					
No	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. U. (Bs.)	TOTAL (Bs)
	Madera parantes de 2"*2"*1.5 m	m	6	5	30
	Travesaño del parante 4"*1"*0.50 m	ft2	4,4	4,5	19,8
	Larguero del estante 10"*1"*3 m	ft2	32,8	4,5	147,6
	Clavo de 2.5"	Kg.	0,5	15	7,5
	Mano de obra	jornal	1	90	90
SUB TOTAL					294,9

Cuadro 26. Costo de construcción de bandejas

CONSTRUCCIÓN DE LAS BANDEJAS					
No	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. U. (Bs.)	TOTAL (Bs)
	Madera para marco	ft2	38	4,5	171
	Madera para fondo	ft2	60	4,5	270
	Plástico negro (flexible)	m2	12	10	120
	Clavo de 2.5"	Kg.	1	15	15
	Tachuela	Kg.	0,5	16	8
	Mano de obra	jornal	3	90	270
SUB TOTAL					854

Cuadro 27. Costo de adquisición de materiales de utensilio

ADQUISICIÓN DE UTENSILIOS					
No	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. U. (Bs.)	TOTAL (Bs)
	Aspersor manual	Unidad	3	15	45
	Recipiente de 60 litros	Unidad	1	50	50
	Balanza de resorte	Unidad	1	45	45
	Baldes de 10 litros	Unidad	2	15	30
	Imprevistos	Global			50
TOTAL					220

Anexo 6. Imágenes del trabajo experimental



Construcción del ambiente invernadero



Construcción de estante de cuatro niveles



Construcción de bandejas artesanales



Preparación de semilla de cebada



Siembra de semillas pre germinadas



Bandejas en el área de producción



Toma de registros



Pesaje final de biomasa



Cosecha de Forraje Verde Hidropónico



Alimentación al ganado lechero



Ordeño de la leche