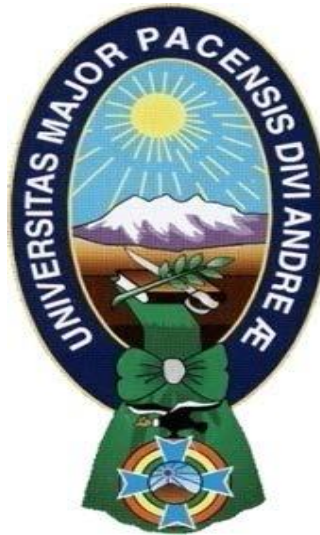


UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMIA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



TESIS DE GRADO

**ESTUDIO DEL EFECTO DE TRES SUSTRATOS EN EL RENDIMIENTO Y
CALIDAD DE LA PRODUCCION DE FORRAJE VERDE HIDROPONICO
DE MAIZ (*Zea mays L.*) EN CARPA SOLAR**

CRISTHIAN ROLANDO MAYTA ESPEJO

La Paz – Bolivia

2016

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

**ESTUDIO DEL EFECTO DE TRES SUSTRATOS EN EL RENDIMIENTO Y
CALIDAD DE LA PRODUCCION DE FORRAJE VERDE HIDROPONICO
DE MAIZ (*Zea mays L.*) EN CARPA SOLAR**

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

CRISTHIAN ROLANDO MAYTA ESPEJO

Asesora:

Ing. M.Sc. Celia Fernández Chávez

Tribunal Examinador:

Ing. Agr. Ph. D. David Cruz Choque

Ing. Agr. M.Sc. Rubén Trigo Riveros

Ing. Agr. M.Sc. Lucio Tito Villca.

APROBADA

Presidente Tribunal Examinador

2016

DEDICATORIA

*Aquellos que siempre me impulsaron a ser mejor y lograr mis metas,
a mis padres, gracias a su ejemplo de fortaleza para encarar la vida,
a ellos va dedicado este trabajo, a mis hermanos y hermanas con
quienes hemos luchado siempre por lograr nuestros sueños, que hoy se
ve más plasmado con esfuerzo y sacrificio.*

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento por todo a dios por ser mi fortaleza en los momentos más difíciles.

A mis padres quienes depositaron su confianza y me dieron todo en cuanto estaba en sus posibilidades para poder salir adelante.

A mis tíos Rigoberto y Betty por su experiencia profesional y haberme impulsado para poder alcanzar una meta más.

A la Universidad Mayor de San Andrés y la Facultad de Agronomía por la formación profesional que me brindaron.

A mi asesora Ing. M.Sc. Celia Fernández Chávez, por la disposición, apoyo incondicional, por su experiencia, por las observaciones, correcciones durante la fase de elaboración del documento.

A mi tribunal revisor conformado por el Ing. Ph. D. David Cruz Choque, el Ing. M.Sc. Rubén Trigo Riveros y el Ing. M.Sc. Lucio Tito Villca, por las correcciones y observaciones, por su disponibilidad de tiempo y dedicación en los valiosos aportes para la presentación final del documento.

A todos aquellos que estuvieron en el día a día, apoyándome y dándome fuerza para continuar y salir adelante , a mis familiares, a mis amigos y a todos aquellos profesionales que supieron guiarme en el camino hacia la cumbre del éxito; a los que me tendieron la mano cuando más lo necesite.

A todos muchas gracias.....

RESUMEN

La alimentación del ganado es el aspecto más importante en la producción, por lo que la utilización de forrajes y pastizales constituye uno de los recursos más importantes. La producción de forraje verde hidropónico (FVH), se presenta como una alternativa para la producción de alimento para el ganado en zonas áridas y semiáridas, con problemas como condiciones climáticas adversas, sequías, heladas, suelos pobres en materia orgánica, etc., derivando ahorros sustantivos en consumo de agua e incrementando la producción en forma significativa. La presente investigación se realizó en el departamento de La Paz, Pampahasi, Distrito 16, Provincia Murillo. En los predios de la FUNDACION LA PAZ, la cual está ubicada a una altitud de 3200 msnm entre las Coordenadas geográficas: 16°30'0.18"S latitud Sur y 68° 6'4.08"O longitud Oeste. El objetivo del presente trabajo fue Evaluar el efecto de tres sustratos en el rendimiento y la calidad de la producción de forraje verde hidropónico de maíz en carpa solar, Las variables a medirse fueron; Porcentaje de germinación (%), altura de planta (cm), longitud de la raíz (cm), rendimiento de forraje verde (kg/m^2), producción de materia seca (kg/m^2), porcentaje de proteína cruda (%) y Análisis económico, se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones, los tratamientos fueron: (T0) Testigo, (T1) Sustrato de cascarilla de arroz, (T2) Sustrato de paja de avena, y (T3) sustrato de aserrín. Los resultados mostraron que los tratamientos fueron diferentes en todas las variables. En el análisis realizado mostraron mejores resultados el tratamiento T1 sustrato cascarilla de arroz con un contenido de proteína cruda con una media de 16.25%, rendimiento de Forraje Verde obteniendo un promedio de 25,89 kg/m^2 , Materia seca 3,16 kg/m^2 , altura de la planta 30,1 cm y longitud de raíz 25,8 cm.

Los resultados económicos encontrados en el estudio permite concluir que el mejor de los tratamientos es el (T1) Sustrato de cascarilla de arroz, con un B/C de Bs. 2,5, por tanto por cada 1 Boliviano invertido se llega a aganar 1,5 Bs, este tratamiento es el que se debe tomar en cuenta ya que económicamente supera al resto de los tratamientos, y nos indica que la producción de maíz de manera de forraje hidropónico es rentable.

SUMMARY

Livestock feed is the most important aspect in the production, so the use of forages and pasture is one of the most important resources. Production of hydroponic Green fodder (FVH), is presented as an alternative for the production of feed for livestock in arid and semi-arid areas, with problems like climatic conditions adverse, droughts, frosts, poor soils in organic matter, etc., by deriving substantial savings in water consumption and increasing production significantly. The present research was carried out in the Department of the peace, Pampahasi, District 16, province Murillo. In the premises of the FUNDACIÓN LA PAZ, which is located at an altitude of 3200 metres above sea level between the geographic coordinates: 16 ° 30' 0.18 "S South latitude and 68 ° 6'4. 08" W longitude. The objective of the present study was to evaluate the effect of three substrates on the yield and quality of the production of hydroponic Green fodder maize in solar tent, the variables to be measured were; Percentage of germination (%), height of plant (cm), length of the root (cm), performance of forage green (kg/m²), production of matter dry (kg/m²), percentage of protein raw (%) and analysis economic, is used a design completely to the random with four treatments and three repetitions, those treatments were: (T0) witness, (T1) substrate of husk of rice, (T2) substrate of straw of oats , and (T3) substrate of sawdust. The results showed that the treatments were different in all the variables. In the analysis performed showed better treatment T1 substrate rice husks with a content of crude protein with an average of 16.25%, yield of green forage, obtaining an average of 25.89 kg/m², dry matter 3.16 kg/m², the plant height 30.1 cm and 25.8 cm root length.

Economic outcomes found in the study leads to the conclusion that the best treatment is the (T1) substrate of rice husks, with a b/c of Bs. 2.5, therefore every 1 invested Bolivian becomes aganar 1.5 Bs, this treatment is which should be taken into account since economically outperforms the rest of the treatments , and shows us how to hydroponic forage maize production is profitable.

INDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo General:	3
Objetivos específicos:	3
2. REVISION BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 Definición de Hidroponía	4
2.2 Historia de la Hidroponía	4
2.3 El Forraje Verde Hidropónico (FVH)	6
2.4 Ventajas y Desventajas de los Cultivos Hidropónicos.....	6
2.5 Importancia del Forraje Verde Hidropónico	8
2.6 Producción de FVH	9
2.6.1 Métodos de producción de FVH.....	9
2.6.2 Selección de las Especies a de Grano a utilizar en FVH.....	10
2.6.3 Selección de la Semilla	10
2.6.4 Lavado de la Semilla.....	11
2.6.5 Remojo y Germinación de las Semillas.....	11
2.6.6 Densidad de Siembra.....	12
2.6.7 Riego en las Bandejas	12
2.6.8 Cosecha y Rendimientos	13
2.7. Maíz como Forraje Verde Hidropónico	13
2.8 EL Maíz (<i>Zea mays L.</i>)	14
2.8.1 Clasificación Taxonómica.....	14
2.9 Requerimientos Nutricionales del Maíz	15
2.10 Factores Determinantes en la Producción de FVH	15
2.10.1 Calidad de Semilla	15
2.10.2 Iluminación.....	16
2.10.3 Temperatura	17
2.10.4 Humedad Relativa	17
2.10.5 La Oxigenación	18
2.10.6 Fertilización Carbónica.....	19
2.11 Nutrición Hidropónica	19
2.12 Sustratos o Suelos Artificiales	20

2.12.1 Características Físicas de los Sustratos	21
2.12.2 Características Químicas Favorables de los Sustratos	21
2.12.3 Intercambio Adecuado de Aire y Agua	22
2.12.4 Elección del Material para Preparar los Sustratos.....	22
2.12.5 Sustratos Orgánicos	23
2.12.5.1 Cascarilla de Arroz.....	23
2.12.5.2 Aserrín.....	24
2.12.5.3 Paja de Avena.....	26
2.13 Fisiología de la Producción de Forraje Verde Hidropónico	26
2.13.1 La Germinación.....	27
2.13.2 Proceso de Germinación.....	28
2.13.3 Absorción del agua	29
2.13.4 Crecimiento y Diferenciación.....	29
2.14 Carpa Solar.....	29
2.15 Enfermedades en el Cultivo Hidropónico.....	31
3. LOCALIZACIÓN	33
3.1 Ubicación Geográfica	33
3.2 Características Agroecológicas	34
3.2.1 Clima	34
3.2.2 Ecosistemas	34
4. MATERIALES Y METODOS.....	35
4.1 Materiales.....	35
4.1.1 Material vegetal.....	35
4.1.2 Material de campo	35
4.1.3 Material de laboratorio	35
4.1.4 Materiales de gabinete.....	36
4.2 Metodología	36
4.2.1 Procedimiento Experimental	37
4.2.1.1 Selección de la Semilla.....	37
4.2.1.2 Lavado y desinfección de la semilla.....	37

4.2.1.3 Remojo y etapa de pre germinación de las	38
4.2.1.4 Preparación y desinfección de los sustratos.....	39
4.2.1.5 Siembra.....	40
4.2.1.6 Fase de producción.....	41
4.2.1.7 Preparación del Abono Foliar Inicial-Nitrofoska.....	41
4.2.1.8 Riego de las bandejas.....	42
4.2.1.9 Cosecha del Forraje Verde Hidropónico de maíz (FVH).....	43
4.2.2 Diseño Experimental.....	43
4.2.3 Modelo Lineal Aditivo.....	43
4.2.4 Tratamientos.....	43
4.2.5 Características de la Unidad Experimental.....	44
4.2.6 Distribución de Tratamientos.....	44
4.2.7 Croquis del Diseño Experimental	44
4.3 Variables de Respuesta	45
4.3.1 Porcentaje de Germinación.....	45
4.3.2. Altura de Plantas.....	45
4.3.3 Longitud de raíz	45
4.3.4 Rendimiento de Forraje Verde de Maíz.....	45
4.3.5 Rendimiento de Forraje Verde Hidropónico en Materia Seca.....	46
4.3.6 Porcentaje de Proteína cruda (%PC)	46
4.3.7 Análisis Económico.....	46
4.3.7.1 Análisis Económico de Presupuestos Parciales	46
4.3.7.2 Relación Beneficio y Costo (B/C).....	47
5. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	48
5.1 Temperatura al Interior de la Carpa Solar.....	48
5.2 Porcentaje de Germinación	49
5.3 Altura de planta	51
5.4 Longitud de Raíz	53
5.5 Rendimiento de Forraje Verde Hidropónico de Maíz	55
5.6 Rendimiento de Materia Seca	58
5.7 Porcentaje de proteína cruda	60
5.8 Análisis económico.....	63

6. CONCLUSIONES.....	66
7. RECOMENDACIONES.....	68
8. BIBLIOGRAFIA.....	70

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Análisis de varianza para el porcentaje de germinación de las semillas de maíz.....	49
Cuadro 2.	Porcentaje de germinación promedio por tratamiento.....	50
Cuadro3.	Análisis de varianza para altura de planta del forraje verde hidropónico de maíz.....	51
Cuadro 4.	Prueba de Duncan de altura de plantas por tratamiento.....	52
Cuadro 5.	Análisis de varianza para longitud de raíz de forraje verde hidropónico de maíz.....	53
Cuadro 6.	Prueba de Duncan de longitud de raíz por tratamiento.....	54
Cuadro 7.	Análisis de varianza para el rendimiento de forraje verde hidropónico de maíz.....	55
Cuadro 8.	Prueba de Duncan de producción de forraje verde hidropónico por Tratamiento.....	56
Cuadro 9.	Análisis de varianza para producción de Materia Seca.....	58
Cuadro 10.	Prueba de Duncan de Rendimiento de materia seca por Tratamiento.....	59
Cuadro 11.	Análisis de varianza para porcentaje de Proteína Cruda.....	60
Cuadro 12.	Prueba de Duncan de Porcentaje de Proteína Cruda por Tratamiento.....	61
Cuadro 13.	Costos Totales por y por ciclo de producción de cada Tratamiento.....	63
Cuadro 14.	Ingreso Bruto por m2 y por ciclo de producción de cada Tratamiento.....	64
Cuadro 15.	Ingreso neto por m2 y por ciclo de producción de cada Tratamiento.....	64
Cuadro 16.	Relación Beneficio/Costo de cada Tratamiento.....	65

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Localidad de la zona de Pampahasi, Provincia Murillo del Municipio de Nuestra Señora de La Paz, del departamento de La Paz.....	33
Figura 2.	Lavado y desinfección de la semilla de maíz con hipoclorito de sodio al 1%.....	38
Figura 3.	Remojo de la semilla de maíz con agua durante 12 horas.....	38
Figura 4.	Siembra de la semilla de maíz en los sustratos en base a los Tratamientos.....	40
Figura 5.	Semillas de maíz cubiertas con papel periódico.....	40
Figura 6.	Bandejas con las semillas de maíz tapadas con tela negra.....	40
Figura 7.	Roció a las semillas germinadas de 0,5 litros de agua por metro cuadrado por día.....	41
Figura 8 y 9.	Día 14, riego con el abono foliar Nitrofosca a los tratamientos de forraje verde hidropónico de maíz.....	42
Figura 10.	Croquis experimental de la distribución de los tratamientos de forraje verde hidropónico de maíz.....	44
Figura 11.	Variación de Temperaturas al interior de la Carpa Solar.....	48

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Temperaturas a lo largo de la investigación.	2
Anexo 2. Promedio del porcentaje de germinación del FVH de maíz.....	2
Anexo 3. Promedio de altura de planta del FVH de maíz.....	2
Anexo 4. Promedio de longitud de raíz del FVH de maíz.....	3
Anexo 5. Promedio del rendimiento del FVH de maíz.....	3
Anexo 6. Promedio del rendimiento de materia seca del FVH de maíz.....	3
Anexo 7. Promedio del porcentaje de proteína cruda del FVH de maíz.....	3
Anexo 8. Análisis de costos para la producción global de forraje verde hidropónico de maíz.....	4
Anexo 9. Análisis de costos para la producción de forraje verde hidropónico de maíz por tratamiento.....	5
Anexo 10. Costos totales por tratamiento.....	5
Anexo 11. Disposición de los tratamientos (sustratos) en las bandejas.....	6
Anexo 12. Distribución de los tratamientos.....	6
Anexo 13. Semillas germinadas.....	6
Anexo 14. Riego a los tratamientos con la pistola de agua de forma nebulizada.....	6
Anexo 15. Aparición de las primeras hojas del FVH de maíz.....	6
Anexo 16. Toma de datos de la temperatura.....	6
Anexo 17. Toma de datos de la altura de planta del FVH de maíz.....	7

Anexo 18 y 19. Comparación de los tratamientos en el día de la cosecha.	7
Anexo 20 y 21. Toma de datos para la longitud de raíz en el día de la cosecha.	8
Anexo 22. Pesaje de la producción del FVH de maíz en el día de la cosecha.	8
Anexo 23. Día de la cosecha del forraje verde hidropónico.	8
Anexo 24. Plano de la carpa de forraje verde hidropónico, ubicado en la zona Pampahasi de la ciudad de La Paz.....	9
Anexo 25. Resultados de la proteína cruda de los Tratamientos (T0, T1).....	10
Anexo 26. Resultados de la proteína cruda de los Tratamientos (T2, T3)... ..	11

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los mayores problemas en el área pecuaria es la falta de forraje fresco de buena calidad y de producción continua para la alimentación de los animales, que incide en el crecimiento y desarrollo de los mismos, limitando una producción eficiente. La demanda mundial de carne, leche y otros productos de origen animal crecerá de manera dramática en las próximas décadas e igualmente lo hará la necesidad de disponer de forrajes mejorados.

Una alternativa a algunos de estos problemas lo constituyen las diversas formas de conservación de forrajes como el ensilaje, el heno y el henilaje. Sin embargo, para muchos podría no ser la alternativa más viable, pues cualquiera de las tres formas requiere una inversión fuerte en maquinaria y equipo.

Una alternativa viable y poco conocida en nuestro país, la constituye el Forraje Verde Hidropónico (FVH), el cual consiste en la germinación de semillas y su posterior crecimiento, bajo condiciones ambientales controladas, en ausencia de suelo (Rotar, 2004).

En los últimos quince años, el área mundial destinada a la producción hidropónica se ha incrementado considerablemente. En Europa poseen niveles más sofisticados en producción, Holanda tiene diez mil hectáreas de cultivo hidropónico, seguido de España y Francia; que de sus 35 mil hectáreas de invernaderos, 40 por ciento son de cultivo hidropónico. En Latinoamérica se destacan en producción de hidropónicos Brasil, Argentina, Perú y México, siembran cultivos hidropónicos a gran escala (SAGARPA, 2006).

La producción convencional de forrajes en regiones como el altiplano que son áridas y semiáridas tiene problemas como condiciones climáticas adversas, sequías, inundaciones, heladas, nevadas, suelos pobres en materia orgánica, con problemas

de salinidad y elevados costos de producción. Es por esto que la carpa solar es una alternativa viable para que la producción de forraje verde hidropónico.

Hoy en día, la técnica de hidroponía juega un papel muy importante en el desarrollo global de la agricultura. La presión por el incremento de la población, los cambios climáticos, la erosión del suelo, la falta de agua y su contaminación, son algunos de los factores que han influenciado la búsqueda de nuevos métodos alternos de producción. Existe actualmente una opción a la producción convencional de forraje hidropónico que es la alfombra forrajera, en la que se utiliza un sustrato en el que crece el forraje y a la vez sirve como fuente de fibra.

Rodríguez *et al.*, 2009 señalan que es posible mejorar el rendimiento de la producción de forraje utilizando un sustrato, de ahí que esta alternativa sea más eficiente en la producción de forraje verde hidropónico.

El proceso de producción del forraje verde hidropónico está comprendido dentro de un concepto nuevo de producción, ya que no se requiere grandes extensiones de tierra, ni periodos largos de producción, mucho menos formas de conservación y almacenamiento, la implementación de un sistema de producción de Forraje Verde Hidropónico (FVH) es una alternativa interesante para los productores ganaderos, ya que, el (FVH) es una tecnología de producción de biomasa vegetal obtenida a partir de la germinación y crecimiento de plantas bajo condiciones ambientales controladas en ausencia del suelo y con una eficiencia en el uso del agua, a partir de semillas viables de cereales o de leguminosas.

Frente a estas circunstancias, surge como una alternativa la implementación de un sistema de producción de Forraje Verde Hidropónico de Maíz por su calidad nutricional, buena digestibilidad y muy apto para su consumo.

Por lo señalado anteriormente se ha planteado los siguientes objetivos:

Objetivo General:

- Evaluar el efecto de tres sustratos en el rendimiento y la calidad de la producción de forraje verde hidropónico de maíz en carpa solar.

Objetivos específicos:

- Determinar el porcentaje de germinación de las semillas del forraje verde hidropónico de maíz.
- Evaluar la altura de planta de forraje verde hidropónico de maíz en relación al sustrato utilizado.
- Evaluar la longitud de la raíz de planta de forraje verde hidropónico de maíz en carpa solar.
- Cuantificar el rendimiento del cultivo de maíz por efecto de los sustratos.
- Determinar la calidad proteica del forraje verde hidropónico de maíz en relación al sustrato utilizado.
- Analizar los costos de producción del forraje verde hidropónico en relación a los diferentes sustratos.

2. REVISION BIBLIOGRÁFICA

2.1 Definición de Hidroponía

Malca (2005), menciona que la hidroponía (*hidros* = agua y *ponos* = trabajo o actividad) es traducido literalmente como trabajo del agua y es una técnica de producción de cultivos sin suelo. El suelo es reemplazado por el agua con los nutrientes minerales esenciales disueltos en ella. Las plantas toman sus alimentos minerales de las soluciones nutritivas, adecuadamente preparadas; y sus alimentos orgánicos los elaboran autotróficamente por procesos de fotosíntesis y biosíntesis.

Resh (2001), indica que la hidroponía o agricultura hidropónica es un método utilizado para cultivar plantas usando soluciones minerales en vez de suelo agrícola. La palabra hidroponía proviene del griego, *hidros* = agua y *ponos* = trabajo. Las raíces reciben una solución nutritiva equilibrada disuelta en agua con todos los elementos químicos esenciales para el desarrollo de la planta. Y pueden crecer en una solución mineral únicamente o bien en un medio inerte como sustrato, tales como arena lavada, grava, perlita y otros.

Amador (2000), define la hidroponía como un sistema de producción en donde las raíces de la plantas se riegan con una mezcla de elementos nutritivos indispensables, que se encuentran disueltos en agua y que en lugar de suelo, se emplea como sustrato un material inerte o simplemente la misma solución.

2.2 Historia de la Hidroponía

Huterwal (1992), menciona que la producción del Forraje Verde Hidropónico, 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 cultivos en agua. Pocos años después, sobre el final de dicha centuria, Jhon Woodward produjo germinaciones de granos utilizando aguas de diferentes orígenes y comparo

diferentes concentraciones de nutrientes para el riego de los granos así como la composición del forraje resultante.

Palacios (1995), indica que el Forraje Verde Hidropónico es un sistema de producción de biomasa vegetal de alta sanidad y calidad nutricional producido muy rápidamente (9-15 días), en cualquier época del año y en cualquier localidad geográfica, siempre y cuando se establezcan las condiciones mínimas necesarias para ello. La tecnología Forraje Verde Hidropónico es complementaria y no competitiva a la producción convencional de forraje a partir de especies aptas (avena, mezclas de trébol y gramíneas, alfalfa, etc., para cultivo forrajero convencional).

Hidroponia.com (2006), menciona que el pionero en este aspecto, fue el doctor William F. Gericke, de California, EEUU, que en 1930 realizó cultivos de tomate en gran escala por el sistema hidropónico y fue tal el éxito que obtuvo, que de inmediato la experiencia se difundió por los EEUU primero, y por el resto del mundo después, dando lugar a la aparición de innumerables empresas que emplean la hidroponía en sus cultivos, sistema que está en plena expansión y desarrollo. Una experiencia decisiva para confirmar la importancia que habrían de adquirir los cultivos hidropónicos, fue la llevada a cabo por el ejército de los EEUU durante la segunda guerra mundial en la Isla Ascensión, donde se construyeron inmensos piletones de cemento que sirvieron para cultivar diversas variedades de plantas hortícolas, que le permitieron a los soldados comer miles de toneladas de alimentos frescos durante ese período.

Actualmente el concepto de hidroponía es conocido mundialmente. Así es como en EEUU, Europa y Japón existen grandes establecimientos dedicados a la producción de este tipo de cultivos.

2.3 El Forraje Verde Hidropónico (FVH)

SICA (2000), menciona que la técnica para la producción de forraje verde hidropónico se basa en el aprovechamiento del poder germinativo de las semillas de cereales como cebada, avena, trigo o maíz, las cuales una vez iniciada la germinación, liberan en sus primeras etapas de crecimiento todos los nutrientes almacenados como reserva, para sostenimiento de la nueva planta.

En la publicación FAO (2001), menciona que el FVH consiste en la germinación de granos (semillas de cereales o de leguminosas) y su posterior crecimiento bajo condiciones ambientales controladas (luz, temperatura y humedad) en ausencia del suelo. Usualmente se utilizan semillas de avena, cebada, maíz, trigo y sorgo.

Carballido (2005), indica que el forraje hidropónico es un sistema de producción de biomasa vegetal de alta sanidad y calidad nutricional producido muy rápidamente (9 a 20 en días) captando energía del sol y asimilando los minerales contenidos en una solución nutritiva.

2.4 Ventajas y Desventajas de los Cultivos Hidropónicos

Carballido (2005), menciona las ventajas en el uso de los sistemas hidropónicos pueden resumirse en los siguientes aspectos:

- Menor número de horas de trabajo y más livianas. En general estos sistemas requieren de un menor número de horas de trabajo que los sistemas convencionales de producción. Además en general las tareas son más livianas que en los sistemas convencionales, por lo que puede existir un ahorro sensible en mano de obra y por lo tanto en costos.
- No es necesaria la rotación de cultivo en estos sistemas. No es necesaria la rotación de cultivos en el sentido estricto como se utiliza en los sistemas convencionales, básicamente por la no existencia de suelo.

- No existe la competencia por nutrientes. No existe la competencia por nutrientes, ya sea por plantas voluntarias o por microorganismos de suelo.
- Las raíces se desarrollan en mejores condiciones. El crecimiento tanto en medios artificiales como en agua el desarrollo radicular adquiere su mejor desarrollo sin impedimentos físicos ni nutricionales, comparados con los sistemas tradicionales donde se suceden problemas de compactación, baja infiltración, condiciones de anaerobiosis para las raíces, que conspiran en su desarrollo.
- Mínima pérdida de Agua. A través de estos sistemas se realiza un uso eficiente del agua, ya que ésta es aportada en las cantidades necesarias y en forma controlada. Además en sistemas hidropónicos se minimizan las pérdidas por infiltración y evaporación.
- Mínimo problema con las Malezas. El problema de malezas se considera mínimo en estos sistemas, ya sea que los medios son estériles o son esterilizados, además que el problema de formación de algas en el sistema puede ser minimizado. De hecho al no existir suelo, el problema de las malezas tiende a desaparecer.
- Reducción en Aplicación de Agroquímicos. En general la aplicación de agroquímicos se reduce en estos sistemas, ya que el suelo como fuente de hospedaje o ciclo de enfermedades desaparece, de todos modos los sistemas hidropónicos no son inmunes a la presencia de patógenos sobre todo aquellos que pueden colonizar medios líquidos. Por otro lado las plagas pueden tener una incidencia similar que en los sistemas tradicionales, pero en la medida que se implementen estrategias de control, como el control integrado de plagas y enfermedades, así como un mejor control de las condiciones de crecimiento, redundará en una aplicación menor de plaguicidas.
- El Sistema se ajusta a áreas de producción no tradicionales. La implementación de estos sistemas permite ampliar el horizonte agrícola permitiendo la inclusión de áreas urbanas y suburbanas para la producción. En general es posible desarrollar producciones comerciales exitosas en áreas

tan pequeñas como el fondo de una casa. Esto permite una plasticidad en la evolución del volumen y el área de cultivo muy diferente a la obtenida con los cultivos realizados en los sistemas tradicionales.

Carballido (2005), El mismo autor indica un desventaja que se menciona a continuación;

- El costo inicial es alto en estos sistemas debido a las inversiones a realizar, de todos modos esto variará dependiendo del sistema elegido y del control que se desee realizar del ambiente de crecimiento. Si vamos a sistemas donde se controla la temperatura, humedad y luz del lugar de crecimiento del cultivo, tendremos mayores grados de inversión en equipos de medición y control. Por otro lado sistemas que requieran un aporte energético, como los sistemas circulantes, diferirán en los costos de aquellos sistemas flotantes o estáticos.

2.5 Importancia del Forraje Verde Hidropónico

Rodríguez (2003), indica que en la actualidad uno de los problemas más preocupantes en el mundo es la insuficiencia de alimentos, tanto de origen animal como vegetal, esta insuficiencia es atribuida en parte por la falta de continuidad en la producción tanto vegetal, ya que las condiciones climáticas no son constantes, la producción de forraje no es constante y por lo tanto la producción animal es variable.

Una forma de reducir esta variabilidad es manteniendo condiciones climáticas uniformes en áreas donde se desarrolle el forraje de manera continua logrando así alimentar animales en forma constante conforme a sus requerimientos nutricionales para que estos tengan una producción menos variable, además de obtener una producción animal menos variable al utilizar la producción de FVH, se ha reportado que también produce un beneficio económico en la producción originado por las ventajas que ofrece.

Molina (1989), menciona que por sus cualidades nutricionales y de bajo costo de producción, el FVH puede ser la salvación de cientos de miles de personas que

padecen hambre y desnutrición. Lo extraordinario del sistema, es que reduce sustancialmente el costo de la alimentación, un kilogramo de maíz o trigo puede convertirse, en tan solo 8 o 10 días, en 12 kilos de FVH natural que puede consumir cualquier animal. Representa un nuevo paradigma en nutrición y puede ser la base esencial para erradicar el hambre y la pobreza que campean en nuestro maltrecho planeta.

2.6 Producción de FVH

2.6.1 Métodos de producción de FVH

FAO (2001), menciona que los métodos de producción de FVH cubren un amplio espectro de posibilidades y oportunidades menciona que esta se puede instalar en bandejas de plástico provenientes del corte longitudinal de envases descartables; estantes viejos de muebles a los cuales se les forra con plástico; bandejas de fibra de vidrio, de madera pintada o forrada de plástico las cuales a veces son hechas especialmente para esto; en cajones de desecho provenientes de barcos y/o plantas procesadoras de pescado, a los que se les reduce la altura por ser demasiado altos, o en los más sofisticados sistemas automatizados por computadora que se conocen en el presente.

Carballido (2005), menciona que los métodos de producción de FVH cubren un amplio espectro de posibilidades y oportunidades. Existen casos muy simples en que la producción se realiza en franjas de semillas pre-germinadas colocadas directamente sobre plásticos de 1 m de ancho colocadas en el piso y cubiertas, dependiendo de las condiciones del clima, con túneles de plástico; invernaderos en los cuales se han establecido bandejas en pisos múltiples obteniéndose varios pisos de plantación por metro cuadrado; galpones agrícolas (por ejemplo: criaderos de pollos abandonados); hasta métodos sofisticados conocido como: “Fábricas de forraje” donde, en estructuras “container” cerradas, totalmente automatizadas y climatizadas, el FVH se produce a partir del trabajo de un operario que sólo se remite

a sembrar y cosechar mientras que todos los demás procesos y controles son realizados en forma automática.

2.6.2 Selección de las Especies a de Grano a utilizar en FVH

En la misma publicación de la FAO (2001), se dice que esencialmente se utilizan granos de: cebada, avena, maíz, trigo y sorgo. La elección del grano a utilizar depende de la disponibilidad local y/o del precio a que se logren adquirir. La producción de FVH utilizando semillas de alfalfa no es tan eficiente como con los granos de gramíneas debido a que su manejo es muy delicado y los volúmenes de producción obtenidos son similares a la producción convencional de forraje.

2.6.3 Selección de la Semilla

Ñíguez (1998), señala que se debe de utilizar semilla de cereales o leguminosas sin malezas y libres de plagas y enfermedades, evitar los transgénicos. No deben de provenir de lotes tratados con insecticidas o fungicidas. La humedad más deseable es de un 12% y debe de haber tenido un reposo para que se cumpla con los requisitos de madurez fisiológica. Los cultivares más comunes son: maíz, cebada, trigo y sorgo.

Calderón (1992), indica que en términos ideales, se debería usar semilla de buena calidad, de origen conocido, adaptadas a las condiciones locales, disponibles y de probada germinación y rendimiento. Sin embargo, por una razón de eficiencia y costos, el productor puede igualmente producir FVH con simiente de menor calidad pero manteniendo un porcentaje de germinación adecuado. Si los costos son adecuados, se deben utilizar las semillas de los cultivos de grano que se producen a nivel local. Es muy conveniente también que las semillas elegidas para nuestra producción de forraje, se encuentren libres de piedras, paja, tierra, semillas partidas las que son luego fuente de contaminación, semillas de otras plantas y fundamentalmente saber que no hayan sido tratadas con cura semillas, agentes pre emergentes o algún otro pesticida tóxico.

2.6.4 Lavado de la Semilla

Rodríguez (2003), menciona que las semillas deben lavarse y desinfectarse con una solución de hipoclorito de sodio al 1% (preparada diluyendo 10 ml de hipoclorito de sodio por cada litro de agua). El lavado tiene por objeto eliminar hongos y bacterias contaminantes, liberarlas de residuos y dejarlas bien limpias. El desinfectado con el hipoclorito elimina prácticamente los ataques de microorganismos patógenos al cultivo de FVH. El tiempo que dejamos las semillas en la solución de hipoclorito o “lejía”, no debe ser menor a 30 segundos ni exceder de los tres minutos. El dejar las semillas mucho más tiempo puede perjudicar la viabilidad de las mismas causando importantes pérdidas de tiempo y dinero. Finalizado el lavado procedemos a un enjuague riguroso de las semillas con agua limpia.

2.6.5 Remojo y Germinación de las Semillas

FAO (2001), menciona que esta etapa consiste en colocar las semillas dentro de una bolsa de tela y sumergirlas completamente en agua limpia por un período no mayor a las 24 horas para lograr una completa imbibición. Este tiempo se lo dividirá a su vez en 2 períodos de 12 horas cada uno. A las 12 horas de estar las semillas sumergidas se procede a sacarlas y orearlas (escurrirlas) durante 1 hora. Acto seguido se las sumergimos por 12 horas para finalmente realizarles el último oreado. Mediante este fácil proceso estamos induciendo la rápida germinación de la semilla a través del estímulo que estamos efectuando a su embrión. Este pre germinación nos asegura un crecimiento inicial vigoroso del FVH, dado que sobre las bandejas de cultivo estaremos utilizando semillas que ya han brotado y por lo tanto su posterior etapa de crecimiento estará más estimulada. El cambiar el agua cada 12 horas facilita y ayuda a una mejor oxigenación de las semillas.

2.6.6 Densidad de Siembra

FAO (2005), manifiesta que una buena densidad de población es un requisito imprescindible para obtener una buena cosecha, ya que es importante no olvidar que cuando las siembras quedan claras, el mayor tamaño de las mazorcas no compensa la falta de plantas. Por otra parte es importante recordar que existen híbridos que son tolerantes a las altas densidades de siembra y otros que no lo son, produciéndose en este segundo caso plantas poco vigorosas y esterilidad, si la población es excesiva una buena densidad de siembra varía de 2.2 a 3.4 kg/m² considerando que la disposición de las semillas no debe superar 1.5 cm de altura en la bandeja.

Calderón (1992), menciona, otras referencias aconsejan densidades específicas para cada especie de semilla, tal como las que se muestran a continuación:

- 4 kilos de semilla de maíz por metro cuadrado a una profundidad de 3 a 4 centímetros.
- 2 kilos de semilla de cebada por metro cuadrado a una profundidad de 2 centímetros.
- 2.5 kilos de semilla de sorgo por metro cuadrado a una profundidad de 1.5 centímetros.
-

2.6.7 Riego en las Bandejas

FAO (2001), indica que la dosis exacta de agua de riego según cada especie de (FVH) resulta muy difícil, dado que dependerá del tipo de infraestructura de producción disponible. Es importante recordar que las cantidades de agua de riego deben ser divididas en varias aplicaciones por día. Lo usual es entregarle el volumen diario dividido en 6 o 9 veces en el transcurso del día, teniendo éste una duración no mayor a 2 minutos. El agua a usar debe estar convenientemente oxigenada y por lo tanto los mejores resultados se obtienen con la pulverización o aspersión sobre el

cultivo o en el caso de usar riego por goteo, poseer un sistema de burbujeo en el estanque que cumpla con la función de oxigenación del agua.

2.6.8 Cosecha y Rendimientos

Moreno (2000), menciona que para saber cuándo realizar la cosecha se debe hacer cuando la plántula ha alcanzado una altura promedio de 25 cm. Este desarrollo demora de 8 a 12 días, dependiendo de la temperatura, las condiciones ambientales y las frecuencias del riego.

Los rendimientos esperados son bastante altos por esto SICA, (2000), propone que en condiciones normales un kilogramo de semilla produce de 9 a 12 kilogramos de FVH.

2.7. Maíz como Forraje Verde Hidropónico

FAO (2001), indica que el forraje verde hidropónico (FVH) es una tecnología de producción de biomasa vegetal obtenida a partir del crecimiento inicial de las plantas en los estados de germinación y crecimiento temprano de plántulas a partir de semillas viables. El FVH o "*Green fodder hydroponics*" es un pienso o forraje vivo, de alta digestibilidad, calidad nutricional y muy apto para la alimentación animal.

Es conocido que durante épocas (sequía y/o lluvia), y etapas fisiológicas críticas en diferentes zonas agroecológicas, el ganado tropical presenta algunas diferencias en la etapa de crecimiento, trayendo como consecuencia pérdidas económicas para los productores. Una de las prácticas comúnmente aplicadas en el uso de alimentos concentrados comerciales, sin embargo, esto implica un aumento en los costos de producción. Basado en este hecho, el forraje hidropónico de maíz (FHM) ha venido considerándose por algunos productores, como una alternativa para mejorar la calidad de la dieta base a ser utilizada y podría sustituir parcialmente al concentrado, no solo en especies ovinas, sino en especies vacunas y equinas principalmente (FAO, 2001).

2.8 EL Maíz (*Zea mays L.*)

Aristos (1995), menciona que el maíz es una planta gramínea de tallos gruesos, que produce unas mazorcas con granos de color amarillo blanquecino, muy nutritivos.

2.8.1 Clasificación Taxonómica

Wikipedia (2007), clasifica al maíz de la siguiente manera:

- Reino	:	Plantae
- División	:	Magnoliophyta
- Clase	:	Liliopsida
- Orden	:	Poales
- Familia	:	Poaceae
- Género	:	Zea
- Especie	:	Mays
- Nombre binomial	:	<i>Zea mays L.</i>

Martínez (2001), indica que el maíz es importante por el volumen de FVH que produce, aparte de su gran riqueza nutricional, necesita de temperaturas óptimas que varían entre los 25 y 28°C.

También menciona el mismo autor que el forraje verde hidropónico es totalmente diferente a los alimentos tradicionales, ya que el animal consume las primeras hojas verdes (parte aérea), los restos de la semilla y la zona radícula, que constituyen una completa fórmula de carbohidratos, azúcares y proteínas.

Su aspecto, color, sabor y textura le confieren gran palatabilidad, a la vez que aumenta la asimilación de otros alimentos por parte del animal.

2.9 Requerimientos Nutricionales del Maíz

Salisbury y Ross (1994), indican que el requerimiento (cantidad total de nutriente absorbida por el cultivo) y la extracción en grano de los nutrientes esenciales para producir una tonelada de grano de maíz. Debe tenerse en cuenta que esta información resulta de numerosas referencias nacionales e internacionales y que existe una marcada variabilidad según ambiente y manejo del cultivo. Un cultivo de maíz de 12000 kg/ha de rendimiento necesita absorber aproximadamente 264, 48 y 48 kg/ha de nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S), respectivamente.

Espinoza *et al.* (2004), menciona que el maíz requiere para un buen desarrollo de 16 elementos provenientes del aire y del agua (carbono, hidrógeno y oxígeno), los cuales representan aproximadamente el 90% de la materia seca; provenientes del suelo: macro elementos (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre; micro elementos (hierro, manganeso, zinc, boro, cobre, molibdeno y cobre).

2.10 Factores Determinantes en la Producción de FVH

2.10.1 Calidad de Semilla

Gallegos (2002), menciona que el éxito del FVH comienza con la elección de una buena semilla, tanto en calidad genética como fisiológica. Si bien todo depende del precio y de la disponibilidad, la calidad no debe ser descuidada. La semilla debe presentar como mínimo un porcentaje de germinación no inferior al 75% para evitar pérdidas en los rendimientos de FVH. El usar semillas más baratas, o cultivares desconocidos, puede constituir una falsa economía y tal como se planteó antes, hacer fracasar totalmente el nuevo emprendimiento. Se deben utilizar semillas de alto porcentaje de germinación.

Carballido (2005), menciona que una forma fácil de verificar el porcentaje de germinación es obtener muestras de las semillas y colocarlas en un balde de agua.

Si el 95% de las semillas no flota significa que son semillas de buena calidad. Si más del 50% de esta flota, se las debe descartar pues no tendrán una buena germinación.

2.10.2 Iluminación

FAO (2005), menciona que la luz dentro de los recintos para FVH, la función fotosintética no podría ser cumplida por las células verdes de las hojas y por lo tanto no existiría producción de biomasa. La radiación solar es por lo tanto básica para el crecimiento vegetal, a la vez que promotora de la síntesis de compuestos (por ejemplo: Vitaminas), los cuales serán de vital importancia para la alimentación animal.

Calderón (1992), menciona que la luz no debe ser excesiva, ya que puede ocasionar quemazón en las plantas, especialmente en las bandejas superiores; por lo que se recomienda poner una malla en caso de que fuese necesario. La intensidad y la duración del día o fotoperiodo influyen en el desarrollo vegetativo.

Samperio (2007), indica que la luz es un factor indispensable para el buen desarrollo de las plantas, pues la energía que necesitan para el buen desarrollo de las plantas, es la energía que necesitan para realizar la fotosíntesis, por medio de la cual logran llevar a cabo sus diferentes etapas de desarrollo, desde su crecimiento hasta su producción.

Castañeda *et al.*, (1997), indica que la luz es vital para el crecimiento de las plantas, pero no todas necesitan la misma cantidad de luz. Es conveniente que los cultivos reciban la mayor cantidad posible, especialmente en invierno debido a la alta nubosidad por lo que es aconsejable colocar las cajas en lugares claros, libres de interferencia de la luz directa del sol. En lugares abiertos debe procurarse que no del sol a pleno durante todas las horas del día; se debe recordar que existen especies que se desarrollan mejor a la sombra.

2.10.3 Temperatura

La 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 y 26 ° C.

En cambio para Sánchez (1997). La temperatura óptima para el crecimiento está entre los 15 y 35 °C, para cultivos.

Las plantas resisten los cambios de temperatura solo si son mínimos; si estos son bruscos pueden dañarse seriamente. Consideramos alteraciones bruscas de temperatura cuando hablamos 8 a 10 °C de diferencia respecto de su temperatura habitual. Aunque las plantas que se encuentran permanentemente en temperaturas bajas, soportan mejor el frío. La mayoría de las plantas, sin embargo resisten más el calor. Las temperaturas extremas afectan el rango de adaptación y la distribución de las especies, debe ser lo más constante posible; un exceso de temperatura puede causar hongos y una temperatura baja retarda el crecimiento.

2.10.4 Humedad Relativa

Calderón (1992), menciona que este factor también es muy importante en el desarrollo del forraje hidropónico. Este no debe ser menor al 90% y se consigue aumentando la frecuencia de los riegos y reduciendo la evapotranspiración de las plantas. No obstante, porcentajes mayores al 90% requieren de una buena aireación para evitar problemas fitosanitarios, especialmente a lo que se refiere a los hongos. En cambio, porcentajes menores a lo recomendado provocarán desecación del ambiente y disminución significativa de la producción por deshidratación. El factor temperatura actúa conjuntamente con el factor humedad relativa. Una alta humedad relativa cercana al 100% y una elevada de temperatura, con mal drenaje y mala aireación puede resultar en la proliferación de hongos.

Gutiérrez *et al.*, (2000), manifiesta que es de gran importancia para procurar condiciones de asimilación adecuadas, ya que ejerce una influencia directa en el trabajo que desempeñan las hojas. Debe haber una humedad cercana al 100% para asegurar un adecuado desarrollo del sistema radicular. Las radículas de las plantas jóvenes son incapaces de crecer en ambientes secos. Como el cultivo de Forraje Verde Hidropónico es un cultivo a raíz desnuda, por encima del 85%. Esta humedad se consigue con la frecuencia de los riegos y de la evapotranspiración de las plantas.

2.10.5 La Oxigenación

Chang *et al.*, (2000), menciona que la falta de oxigenación produce la fermentación de la solución y como resultado la pudrición de la raíz, originada por la aparición de microorganismos. Una raíz sana y bien oxigenada debe ser blanquecina, de lo contrario ésta se torna oscura debido a muerte del tejido radicular. La oxigenación puede ser manual (agitando la solución manualmente por algunos segundos por lo menos dos veces al día, cuando las temperaturas son altas se requiere mayor oxigenación) o mecánica mediante una compresora, inyectando aire durante todo el día.

El agua se cambia totalmente dependiendo de la coloración de la raíz o por la presencia de algas cada tres semanas. La aireación se realiza por lo menos una vez al día, preferiblemente por la mañana. El nivel o contenido de agua se debe revisar todos los días en cada bancal y al disminuir 3 cm de los 10 cm recomendados de profundidad, debe completarse nuevamente con solución.

Según Samperio (2007), indica que es muy importante la oxigenación ya que a través de esta realiza la función de transportar nutrientes y acumular elementos dentro de su sistema celular. El oxígeno al oxidar los minerales se convierten en catalizador para generar la energía metabólica mediante su sistema radicular. Para su correcto funcionamiento, las raíces dependen fundamentalmente de una óptima oferta de oxígeno, pues de lo contrario, aunque se les aporta nutrientes adecuados,

se tendrá un cultivo precario o en casos más graves podrán morir las raíces en una palabra necesitan respirar.

2.10.6 Fertilización Carbónica

Según Gutiérrez (2000), indica que es indispensable una buena aireación para obtener el intercambio gaseoso. De acuerdo con el sitio en que se vaya a construir el invernadero, hay que tener en cuenta estos factores para adoptar los correctivos necesarios.

Sagi (1987), indica que el contenido natural de CO₂ en el ambiente del invernadero suele ser en muchas ocasiones insuficientes para alcanzar una elevada asimilación y crecimiento, ocurre esto principalmente en las plantas con mucho follaje y de rápido crecimiento.

2.11 Nutrición Hidropónica

Según el Grupo Latino (2006) y la FAO (2003), las sales nutritivas se preparan con base a los requerimientos de las plantas a cultivar. Por lo general contienen principalmente macro elementos: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre y; como micro elementos: manganeso, cobre, zinc, hierro, boro, cloro y molibdeno. Estos componentes se adicionan en forma de soluciones concentradas a través de sales como: fosfato mono amónico, nitrato de calcio, nitrato de potasio las cuales forman la solución "A" (nutriente mayor) y la solución "B" (nutriente menor) compuesto por las sales sulfato de magnesio, sulfato de manganeso, sulfato de zinc, ácido bórico, molibdato de amonio, quelato de hierro.

También menciona que dichas soluciones concentradas son disueltas en una proporción de 5:2 es decir 5 ml de solución concentrada "A" y 2 ml de solución concentrada "B" para un litro de solución nutritiva (agua para regar), realizando un riego de 2 a 3,5 litros de solución nutritiva por metro cuadrado, esto depende de la

temperatura y el clima del lugar. Además que estas soluciones concentradas fueron probadas en más de 30 hortalizas, obteniéndose resultados óptimos en las mismas.

La preparación de la solución nutritiva puede ajustarse de acuerdo a las condiciones del cultivo, es decir, el tipo de planta la edad, las condiciones climáticas, etc. La experiencia puede ser la mejor indicadora de la fórmula ideal. La concentración de las sales y el pH influyen en el funcionamiento de la planta; las raíces obtienen los nutrientes por osmosis a nivel de los pelos radiculares; así cuando la concentración o el pH no son los adecuados para la planta que quiere cultivar, se obstaculizara el proceso y la panta no sobrevivirá (GCA, 2006).

2.12 Sustratos o Suelos Artificiales

Llamamos sustratos a los suelos artificiales preparados, que se utilizan para el cultivo de diversas plantas; especialmente en maseteros, las ornamentales, cultivadas en invernadero. Además de servir de soporte y anclaje de la planta, los sustratos o suelos artificiales deben suministrar a las plantas las cantidades adecuadas de aire, agua y nutrientes minerales (Lorente, 1997; citado por Castellón, 2000).

El mismo autor menciona que si las proporciones de estos componentes no son los adecuados, el crecimiento de la planta puede ser afectado y puede ocasionar diversos problemas, entre las cuales asfixia, deshidratación, exceso o carencia de nutrientes minerales y enfermedades.

Fauba (2006), denomina sustrato a un medio solido inerte que cumple dos funciones especiales; a) anclar y aferrar las raíces protegiéndolas de la luz y permitiéndoles respirar, y b) contener el agua y los nutrientes que las plantas necesitan.

Los sustratos pueden clasificarse en orgánicos (de origen natural, de síntesis, de subproductos residuos agrícola, industriales y urbanos) e inorgánicos o minerales

(de origen natural, transformado o tratado, y residuos o subproductos industriales) (Cahiers, 1999).

Entre los sustratos empleados comúnmente en hidroponía se cuentan: arena, grava, ladrillos quebrados y/o molidos, perlita, vermiculita, paja, turba vegetal, aserrín, resinas sintéticas, cascarilla de arroz, carbón vegetal, etc. (Grupo Latino, 2006).

2.12.1 Características Físicas de los Sustratos

Existen dos características importantes que un sustrato debe tener: una estructura física favorable y estar libre de contaminaciones o materiales tóxicos (Ecke *et al.*, 1990; citados por Castellón, 2000). El sustrato hidropónico deben ser inerte, no debe contener sustancias que reaccionen con la solución nutriente, no contener sustancias tóxicas para las plantas (GCA, 2006).

El sustrato es el soporte de la planta donde se desarrollan las raíces y donde estas deben encontrar el agua y los elementos necesarios para su crecimiento (Jiménez, 1999; citado por Plaza, 2002). Según Sánchez (2004), la función del sustrato es la de proporcionar a la planta un medio de sostén, retener humedad y la solución nutritiva de la planta, dándole oxigenación, protegiendo a la raíz de la luz.

2.12.2 Características Químicas Favorables de los Sustratos

El pH de los sustratos de crecimiento es muy importante para la disponibilidad de nutrientes para la planta. El grado óptimo de pH está entre 5,8 – 6,2 en este rango todos los elementos esenciales están disponibles para la planta y el crecimiento debe ser normal o libre de deficiencias (Ecke *et al.*, 1990; citado por Castellón, 2000).

Según Darías (1993); mencionado por Plaza (2002), el sustrato debe ser un medio uniforme en el cual la planta crezca adecuadamente tenga el pH requerido y con suficiente porosidad, para permitir el drenaje y aireación adecuado.

2.12.3 Intercambio Adecuado de Aire y Agua

Ecke *et al.*, 1990; citados por Castellón (2000), menciona que los espacios porosos más pequeños son los que contribuyen a una mayor retención de humedad, pero una buena proporción de espacios porosos de tamaño grande es muy deseable para asegurar el flujo adecuado de agua y aire en el sustrato para favorecer la actividad de la raíz.

El sustrato en el que las raíces crecen debe ser lo suficientemente fino para mantener un adecuado nivel de humedad, pero a la vez no tan fino, con el objeto de permitir una aireación eficiente (GCA, 2006).

2.12.4 Elección del Material para Preparar los Sustratos

Según el Grupo Latino (2006), la elección de un material u otro está determinada por varios factores: la disponibilidad del mismo, la finalidad de la producción, su costo, las propiedades físico-químicas y las experiencias previas en su utilización.

Según Castellón (2000) y Jiménez (1999); citado por Plaza (2002), indica que un sustrato debe cumplir las siguientes características para ser empleados en la preparación de mezclas:

- Ser inerte y biológica.
- No contener elementos tóxicos o microorganismos patógenos para las plantas.
- Tener un tamaño uniforme.
- Que posea una buena capacidad de retención de humedad; a la vez que posea buena aireación.
- Mojabilidad, si se seca el sustrato debe ser capaz de volverse a mojar con facilidad.
- Debe tener una uniformidad química y física del medio.

- Tener estabilidad cuando es expuesto a tratamientos tanto químicos como térmicos.
- Estabilidad física, dirigida a evitar la compactación.
- Acidez, el pH óptimo debe estar situado entre 5,5 y 6,5.
- Peso adecuado para tener buena porosidad.
- Drenaje, por lo menos el 20% de espacio poroso.
- Sanidad, desinfección previa de los materiales.
- Capacidad de retención de nutrientes, CIC debe estar 15 y 50 meq/100 g S⁰
- Debe ser de bajo costo.

2.12.5 Sustratos Orgánicos

2.12.5.1 Cascarilla de Arroz. Es un sustrato orgánico inerte, antes de sembrar o trasplantar sobre ella, es necesario lavarla o dejarla fermentando bien humedecida durante 8-20 días según el clima de la región. Con esto se eliminan semillas de arroz y de malezas que podrán germinar cuando ya se hayan establecido el cultivo. Además, con el lavado se elimina almidón procedente de los granos de arroz, que al fermentarse puede afectar la asimilación de los nutrientes o quemar las raíces (FAO, 2003).

El tamaño de la partícula es ligeramente mayor a la del aserrín. La cascarilla se incorpora con facilidad a un medio para mejorar el drenaje, su peso es ligero, no introduce plagas pero es recomendada la desinfección del sustrato porque contiene muchas semillas de malezas (OIRSA, 2002).

La forma utilizada para mejorar la retención de humedad fue la mezcla la cascarilla de arroz con otros materiales tales como la escoria de carbón y la arena de río. En la actualidad también se puede utilizar cascarilla de arroz semi quemada como sustrato para los cultivos hidropónicos de clavel y rosas (Calderón, 2001). El principal inconveniente que presenta es su baja capacidad de retención de humedad y lo difícil que es lograr el reparto homogéneo de la misma.

Además, la cascarilla de arroz es un subproducto muy rico de celulosa y en sílice, abrasivo de escaso valor nutritivo, es aprovechado por su volumen, posee una baja densidad aparente de 110 a 160 kg/m³ (Agraria, s.f.).

Marulanda (1997); citado por Plaza (2002), indica la cascarilla de arroz tiene las siguientes características, ventajas y propiedades físico-químicas.

- Posee baja tasa de descomposición.
- Es liviana, inerte.
- No tiene la humedad, provee alta aireación así como buen drenaje.
- Su densidad esta entre 0,12 a 0,13 g/ml.
- Su capacidad de intercambio catiónico es de 2 a 4 meq/100 g S^o
- La capacidad de retención de humedad es de 11%.
- El mismo autor, afirma que este tipo de sustrato, es ideal para huertas hidropónicas y otro tipo de cultivo.

2.12.5.2 Aserrín. El aserrín es un sustrato orgánico inerte de maderas, pero que no sean rojas ni de pino, porque contienen sustancias que puedan afectar a las raíces de las plantas. Si se consigue aserrín de estas maderas, se lava con abundante agua y se deja fermentar durante 10 días antes de usarlo. Además el aserrín debe ser apenas una pequeña parte (entre 15 a 20%) del total de sustrato que se coloca en una cama de cultivo. Conviene lavarlos con agua caliente antes de mezclarlos (Calderón, 2001). Marulana (1997); citado por Plaza, (2002) el aserrín se pone como sustrato en las plantas para frenar la evaporación de la humedad y favorecer la aireación.

El aserrín es el residuo de la madera más común y es ampliamente distribuido. La especie de árbol de la cual deriva, influye en la durabilidad del aserrín y en la cantidad de nitrógeno complementario requerido para mantener un crecimiento normal de las plantas.

Todos los tipos de aserrín mejoran las condiciones físicas del sustrato. El tamaño de la partícula permite que su mezcla con otros componentes sea sencilla. Su efecto sobre la acidez es casi nulo (OIRSA, 2002).

El aserrín presenta propiedades físicas favorables, el porcentaje de porosidad es grande por lo que permite el intercambio gaseoso, así como el flujo, el almacenamiento y drenaje de agua; conserva la temperatura del sustrato constante (Barreira, 1978).

Según Calderón (1992) y FAO (2003), indican que las propiedades físicas de aserrín dependen del tamaño de sus partículas, y se recomienda que el 20-40% de dichas partículas sean de tamaño inferior a los 0,8 mm constituyendo un sustrato ligero con una densidad aparente de 0,1 a 0,45 g/cm³. La porosidad total es superior al 80 a 85 % la capacidad de retención de agua es de baja a media, siendo su capacidad de aireación muy elevada. El pH varía de medianamente ácido a neutro. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es de 55 meq/100 g S⁰.

Al respecto Álvarez (2007), El aserrín tiene “la capacidad de retención de agua, así como su espacio poroso se pueden variar de acuerdo al tamaño de sus partículas. Dado que el aserrín es un sustrato orgánico rico en carbono y pobre en nitrógeno, se debe considerar que cuando se irriga con solución nutritiva se presenta frecuentemente un proceso de descomposición parcial de esta, por bacterias que utilizan principalmente el nitrógeno de la descomposición para su crecimiento, fijándolo temporalmente, lo que puede dar lugar a una deficiencia de este elemento en las plantas cultivadas en este sustrato. Por ello se considera conveniente realizar un compostado de este, previo a su uso como medio de cultivo. El sustrato estará listo para ser usado a los 40 días de iniciado el compostado. Después de un lavado con agua. La esterilización del aserrín deberá hacerse con productos químicos y no con calor, pues este último libera productos tóxicos para las plantas. Se debe considerar también que hay algunas especies forestales como el cedro rojo, cuyo aserrín desprende sustancias tóxicas que impiden el desarrollo normal de las plantas”

2.12.5.3 Paja de Avena. La paja de avena habita en gran cantidad en el Altiplano, el cual es un alimento para animales de pastoreo. Es un material de bajo costo que se puede recolectar del lugar para su uso y ser utilizada en las investigaciones similar a la del aserrín y mezclar con arena de río (Gómez, 2008).

2.13 Fisiología de la Producción de Forraje Verde Hidropónico

Hidalgo (1998), expone que el embrión de la futura planta, despierta de su vida latente provocando la ruptura de los 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. 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.

Salisbury y Ross (1994), indican que en el proceso de germinación de una semilla se produce una serie de transformaciones cualitativas y cuantitativas muy importantes. El germen del embrión de la futura planta, a partir de un almacén de energía en forma de carbohidratos y lípidos, es capaz de transformarse en pocos días en una plántula con capacidad para captar energía del sol y absorber elementos minerales de la solución nutritiva en este estado la planta tanto en su parte aérea como en la zona radicular se encuentra en un crecimiento acelerado poseyendo poco contenido de fibra y un alto contenido en proteína, parte de la cual se encuentra en estado de nueva formación, por lo que gran parte de los aminoácidos están en forma libre y son aprovechables más fácilmente por los animales que los consumen.

La característica genética de cada especie o variedad interacciona con el medio ambiente, donde se incluye el suelo, dentro del cual crece y se desarrolla para expresarse como fenotipo morfológico (una forma definida de la planta).

En los procesos metabólicos y fisiológicos, morfo genéticos este fenotipo actúa. Esta reacción genotipo-ambiente es la que a la larga va a determinar la productividad de la especie cultivada.

En hidroponía las características de cada especie de las plantas, genotipo, morfología y hábitos de crecimiento se deben de tomar muy en cuenta. Dependiendo que parte de la planta va a ser cosechada (hojas, tallos, raíces, frutos, flores) deben de manejarse a lo largo de su desarrollo ontogénico, desde la germinación hasta la cosecha.

2.13.1 La Germinación

Gutiérrez *et al.*, (2000), indican que es el conjunto de cambios que experimenta la semilla. Durante este periodo el embrión rompe la cutícula de la semilla y emerge la radícula. Las semillas poseen sustancias que inhiben la germinación y que durante el remojo quedan disueltas en el agua pudiendo ser extraídas; entonces conviene cambiar el agua repetidas veces. El tiempo de germinación varía entre 24 y 48 horas, que es cuando el grano alcanzado estructuras radiculares notorias, formado de tres a cuatro raicillas. Se puede considerar que el proceso de germinación ha terminado cuando los cotiledones han salido del tegumento de la semilla.

Devlin (1982), el fenómeno de la germinación puede definirse como una cadena de cambios que empiezan con la absorción de agua y conducen a la ruptura de la cubierta seminal, por la raicilla (raíz embrionaria) o por la plántula. Cuando se humedece una semilla, ésta absorbe agua y se inician en ella las actividades metabólicas como la respiración y la síntesis de proteínas; después de cierto tiempo el embrión emerge de la semilla. En este momento se dice que la semilla ha germinado.

2.13.2 Proceso de Germinación

Moreno (2000), describe el proceso de la siguiente manera:

El primer paso para que se inicie la germinación es que la semilla entre en contacto con el agua. Ésta es fundamental para que la semilla se rehidrate y exista un medio acuoso donde los procesos enzimáticos puedan llevarse a cabo. La semilla requiere de una pequeña cantidad de agua para rehidratarse, generalmente no más de 2 a 3 veces su peso seco.

El mismo autor dice que la hidratación de una semilla se produce en tres fases:

- En la fase I se lleva a cabo la absorción inicial del agua (imbibición) y es consecuencia de las membranas celulares y de las fuerzas ejercidas por los contenidos; ocurre tanto si la semilla está viable como si no lo está, si está latente o no. Es independiente de la actividad metabólica de la semilla, aunque ésta se inicia rápidamente con la entrada del agua.
- La fase II corresponde a un periodo de rezago. Las semillas muertas y las latentes mantienen este nivel de hidratación. Para las semillas que no están latentes es un periodo de metabolismo activo que prepara la germinación; para las semillas latentes también es un periodo de metabolismo activo y para las muertas es un periodo de inercia.
- La fase III está asociada con la germinación y sólo la presentan las células viables, no latentes. Durante esta fase obviamente hay actividad metabólica, incluyendo el inicio de la movilización de las reservas almacenadas.

Durante la germinación las células gastan energía. El requerimiento energético de las células vivas se mantiene generalmente por procesos de oxidación, en la presencia o ausencia de oxígeno (respiración y fermentación respectivamente).

Comprenden un intercambio de gases, una liberación de bióxido de carbono en ambos casos y una entrada de oxígeno en el caso de la respiración.

2.13.3 Absorción del Agua

Calderón (1992), menciona que en esta etapa la semilla reanuda el metabolismo al tener condiciones aptas de humedad y temperatura. Con estas condiciones, la semilla aumenta de volumen por la absorción del agua, el embrión se hincha, se reblandecen las cubiertas protectoras y las reservas alimenticias se comienzan usar para que el embrión se desarrolle.

Molina (1989), indica que el primer órgano que aparece fuera del grano es la primera raicilla seminal, que sale por la parte basal del mismo, y luego van saliendo las siguientes.

2.13.4 Crecimiento y Diferenciación

Calderón (1992), menciona que durante esta etapa ocurre la síntesis del material vegetal conocida como biomasa producida en un área determinada. Este crecimiento incluye cambios en la forma, altura, área foliar y peso. La diferenciación, significa que la planta empieza a fabricar su propio alimento mediante la fotosíntesis.

Molina (1989), señala que el tiempo que pasa desde la siembra hasta la emergencia de la primera hoja depende de la temperatura, humedad y del vigor de la semilla. Cuanto más elevada sea la temperatura, más rápida será la emergencia de las hojas.

2.14 Carpa Solar

Duran, F. (2009, señala que debemos tomar en cuenta los siguientes factores al referimos al invernadero de producción de forraje verde hidropónico.

- **Tamaño:** El invernadero deberá construirse de acuerdo con la cantidad de forraje que se quiere producir diariamente, dejando un margen de seguridad. Se sabe que 4 m² son suficientes para producir 15 kg por día de forraje.

Este valor corresponde a la cantidad de forraje que se puede producir en un sistema convencional. Debe entenderse que se trata de del área neta ocupada por la instalación, que generalmente se construye de 4 a 6 pisos o niveles.

- **Ubicación:** Debe estar cerca al establo, para suministrar el suministro de forraje a los animales, su manejo, control y supervisión constante. Su ubicación también depende de la funcionalidad de las instalaciones de agua y luz.

- **Construcción:** El invernadero tendrá particulares características de acuerdo con el clima en que se vaya a establecer la producción de forraje. Si es para climas cálidos, se puede hacer alto y sin cubrir las partes laterales del invernadero o cubrirlas parcialmente. Si es para clima frío y con el fin de regular la temperatura, especialmente en horas de la noche, se ha de construir un invernadero hermético y con doble pared de plástico.

- **El piso:** La experiencia aconseja que el piso de invernadero para la producción de forraje verde hidropónico debe ser de concreto, ya que por la gran frecuencia de riegos y la alta humedad relativa es el más funcional para evitar encharcamientos, proliferación de hongos y enfermedades. Es ideal para un correcto manejo sanitario de la explotación. También se puede hacer con gravillas u otros materiales similares.

- **Estructuras de soporte:** 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 de cultivo. Cada módulo tendrá pendientes longitudinales y transversales para permitir el drenaje de la solución nutritiva en todos los sentidos.

- **Modulación:** Generalmente se construyen módulos de 4 a 6 niveles, separados entre sí por calles de 1 metro, para facilitar las labores de siembra, cosecha y aseo.

Los niveles van separados entre sí cada 50 cm y el primer nivel dista 30 cm del suelo, cada nivel debe tener una pendiente del 10 % para drenar la solución sobrante de las bandejas.

Recipientes de cultivo o bandejas. Con los recipientes que se usan para colocar la semilla para el desarrollo del cultivo, pueden ser diferentes materiales, como asbestos – 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 y de 80 a 120 cm de largo, su profundidad es de 2 a 5 cm.

- **Sistema de riego.** El sistema por aspersión, la tubería va colocada a cierta altura de las bandejas, normalmente 30 o 40 cm, y de ella salen los micro aspersores o boquillas de atomización que asperjan el agua sobre el cultivo. Se necesita una línea de tubería por cada piso de bandejas. Este es el sistema que ha dado mejores resultados.

2.15 Enfermedades en el Cultivo Hidropónico

Chang *et al.*, (2000), indican que la zona de las raíces es una parte particularmente vulnerable de la planta, tanto sea en el suelo o en el agua. Cuando la temperatura es alta y la circulación de agua pobre, las plantas sufrirán una falta de oxígeno. En el nivel de las raíces esta necesidad de oxígeno reduce la permeabilidad de las raíces al agua y, en consecuencia, la absorción de sales minerales, lo que debilitará forzosamente la planta y quedará reflejado en una cosecha pobre. Bajo condiciones adversas continuas las raíces emitirán etileno, una hormona del estrés que se acumulará en las mismas y las llevará a la lenta degradación de su sistema. Además, el etileno es reconocido por ciertos agentes patógenos como un signo de debilidad del individuo, y en consecuencia se motivarán para un ataque.

El mismo autor indica que en cultivos hidropónicos también influye una oxigenación pobre de la solución nutritiva. Es una espora de hongo que vive en el

aire y en el agua, y que se presentará en tu lugar de cultivo sin importarle lo limpio que esté. La traerás en tus zapatos, en tu ropa, en tus manos, etc. Vendrá en el agua, especialmente si la traes de fuentes, ríos u otras corrientes libres. Este hongo tiene millones de oportunidades de entrar en tu jardín. Por lo tanto, es muy importante mantener muy limpio el entorno y cuidar mucho la calidad del agua que utilices.

Resh (2001), menciona que estos hongos causan la muerte de plántulas en el semillero y pudrición de las raíces en el hidropónico lo que se traduce en producción de plantas de desarrollo pobre y baja calidad. *Pythium* spp. es el hongo más común asociado a pudriciones de la raíz en cultivos hidropónicos. El sancocho de las plántulas en el semillero se debe principalmente a medidas sanitarias pobres durante la germinación, como lo son: el exceso de humedad en el medio de crecimiento, aireación pobre y alta densidad de plántulas. Este hongo sobrevive en el polvo y partículas de suelo en el piso. Se disemina a través de las manos, herramientas e insectos como la mosquita de los hongos. La recirculación de la solución de nutrientes hace fácil su diseminación a todo el cultivo. Las plantas infectadas por hongos de la raíz temprano durante su desarrollo pueden sufrir de enanismo y no alcanzar la madurez.

La pudrición de las raíces ocurre en condiciones y ambientes similares a la pudrición de las semillas y a los tizones. La pudrición de las raíces es en general causada por hongos de los géneros *Fusarium* y *Pythium*. La raíz se debilita, se humedece y comienza a pudrirse; consecuentemente, el abastecimiento de alimentos a la planta se retarda y esta puede incluso volcarse. La pudrición puede entrar en las raíces principales y en los tejidos de la plántula y de la corona. En ese momento, otros hongos como *Diplodia maydis* y *Gibberella zae* pueden entrar a la planta a través de las raíces dañadas y causar la pudrición del tallo.

3. LOCALIZACIÓN

3.1 Ubicación Geográfica

La presente investigación se realizó en el departamento de La Paz, Pampahasi, Distrito 16, Provincia Murillo. En los predios de la FUNDACION LA PAZ, la cual está ubicada a una altitud de 3200 msnm entre las Coordenadas geográficas: 16°30'0.18"S latitud Sur y 68° 6'4.08"O longitud Oeste (Google Earth, 2015)

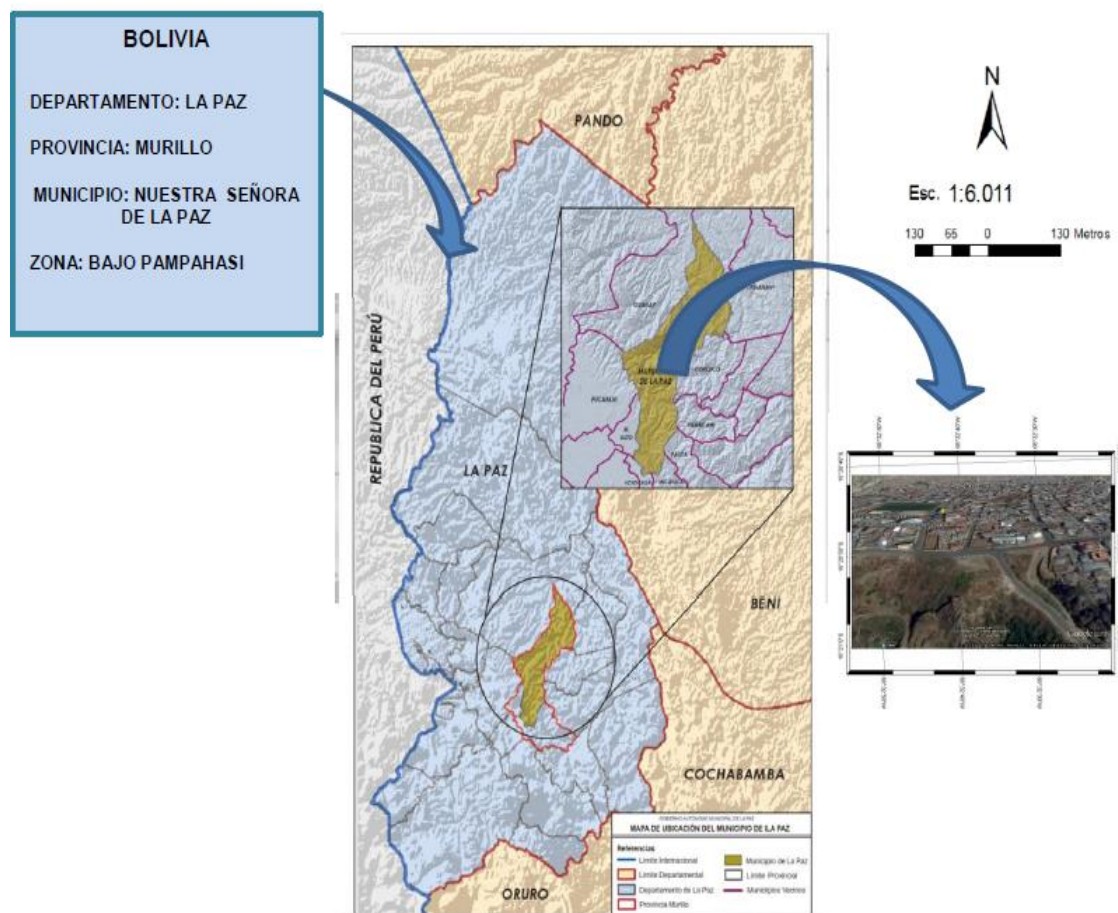


Figura 1. Localidad de la zona de Pampahasi provincia Murillo del Municipio de Nuestra Señora de La Paz, del departamento de La Paz.

3.2 Características Agroecológicas

3.2.1 Clima

El clima es templado en Pampahasi, con una temperatura media anual de 8,8 °C, con precipitaciones de 570 mm (Lorini, 2001).

3.2.2 Ecosistemas

Las variaciones altitudinales, los diferentes gradientes de pendiente, la diversa exposición de las laderas con respecto a los rayos solares, dirección de los vientos, humedad disponible y temperaturas variables determinan varios microclimas en la cuenca, lo que permite el crecimiento de una vegetación variada en esta región (Lorini, 2001).

4. MATERIALES Y METODOS

4.1 Materiales

4.1.1 Material vegetal

- Semillas de maíz blanco de la variedad criollo (12 kg)
- Cascarilla de arroz (1 saco)
- Paja de avena picada (1 saco)
- Aserrín de madera Cedro (1 saco)
-

4.1.2 Material de campo

- Bandejas de plástico de 43 cm de largo y 35 cm de ancho (12 unidades)
- Estantes metálicos de 2.5 m de largo y 1 m de ancho
- Bañadores (2 unidades)
- Baldes (2 unidades)
- Flexómetro de 5m
- Tela negra 10 m²
- Soluciones nutritivas (solución hidropónica abono foliar-Nitrofosca) 500g
- Una Manguera de 5m
- Un Termómetro de -20°C +120°C
- Desinfectante (Hipoclorito de sodio al 1%) 200 ml
- Detergente Surf (160 g)
- Una Cámara fotográfica
- Una Balanza de 10000 g
- 4 Botellas desechables (2 litros) (4 unidades)
- Una Pistola de agua para riego
-

4.1.3 Material de laboratorio

- Equipo Kjehendal para análisis de proteína cruda

- Balanza de 10000 g
- Horno

4.1.4 Materiales de Gabinete

- Planilla de evaluación
- Calculadora
- Impresora
- Bolígrafos
- Papel

4.2 Metodología

Para el desarrollo de la presente investigación se realizaron las siguientes actividades:

- Adecuación del ambiente hidropónico. Se realizó la adecuación de la carpa y del ambiente para el establecimiento del trabajo de investigación, la carpa solar y los componentes del módulo hidropónico que fueron proporcionados por la Fundación La Paz.

La cubierta está elaborada con agrofilm amarillo de 2,5 micras de grosor y en el interior se reforzó con tela negra llegando a un 50% sombra, exactamente como se requiere para la producción de FVH.

El techo en la parte superior tiene una altura de 2,50m y en la parte baja es de 1,50m, las paredes tiene un largo de 6 metros y 4 de ancho para lo cual se necesitó hacer 2 ventanas de 1m² y una puerta de 1,50 x 1m así dándole suficiente aireación al interior del invernadero.

- Bandejas de producción. Las bandejas fueron de plástico los cuales se reciclaron de bidones de aceite, los cuales fueron cortados por la mitad para

obtener las respectivas bandejas, los mismos fueron lavados y desinfectados con una solución de Hipoclorito de sodio y luego fueron perforados.

- Ensayos preliminares. Se realizó el establecimiento del diseño del trabajo de investigación, para esto se cosecharon 2 veces previas al trabajo de investigación con el fin de poder mejorar las condiciones del ambiente hidropónico con los respectivos sustratos, y poder evaluar las condiciones del módulo productivo.

4.2.1 Procedimiento Experimental

4.2.1.1 Selección de la Semilla. Se usó semilla de maíz blanco de la variedad criolla, de procedencia del municipio de Sorata, que está adaptada a la condición local, disponible y de probada germinación y rendimiento lo que garantizo la fácil adquisición de la semilla para el proceso de producción del germinado. Se escogió la semilla minuciosamente separando la basura y granos quebrados o en mal estado.

4.2.1.2 Lavado y desinfección de la semilla. Se sumergió en un bañador con agua, con el fin de lavarlas y de retirar impurezas que hayan quedado, se lavó la semilla con agua a temperatura ambiente, cambiándola varias veces hasta dejar el agua transparente.

El lavado de las semillas tiene por objeto eliminar hongos y bacterias contaminantes, liberarlas de residuos y dejarlas bien limpias (Rodríguez, Chang, Hoyos, 2000).

Posteriormente, se realizó la desinfección de semillas, para lo cual se sumergió en una solución de hipoclorito de sodio al 1% diluyendo 10 ml por cada 5 litros de agua, el tiempo que se dejó las semillas en la solución fue de dos minutos, y finalmente se procedió a enjuagar rigurosamente las semillas con agua limpia.



Figura 2. Lavado y desinfección de la semilla de maíz con hipoclorito de sodio al 1%

4.2.1.3 Remojo y etapa de pre germinación de las semillas. Una vez desinfectada las semillas, en esta etapa, según Hidalgo, (1985), consistió en colocar las semillas dentro de una bolsa de tela y sumergirlas completamente en agua limpia por un período no mayor a las 24 horas para lograr una completa imbibición. Este tiempo se dividió a su vez en 2 períodos de 12 horas cada uno. A las 12 horas de estar las semillas sumergidas se precedió a sacarlas y orearlas (escurrirlas) durante una hora.

Acto seguido se las sumergió nuevamente por 12 horas para finalmente realizarles el último oreado. Con este proceso se indujo a la rápida germinación de la semilla a través del estímulo que efectuó al embrión.



Figura 3. Remojo de la semilla de maíz con agua durante 12 horas

4.2.1.4 Preparación y desinfección de los sustratos. Para la preparación de sustratos se utilizó los siguientes materiales:

- **Cascarilla de arroz**, para su uso se tuvo que lavarla con agua caliente y con una solución de hipoclorito de sodio al 10% diluyendo 10 ml por cada 5 litros de agua, luego se dejó oreando a temperatura ambiente durante 10 días. Con esto se eliminan hongos y bacterias contaminantes además, con el lavado se elimina almidón procedente de los granos de arroz, que al fermentarse puede afectar la asimilación de los nutrientes o quemar las raíces y podrían afectar al cultivo.
- **Aserrín**, se utilizó aserrín de madera Cedro, el cual previamente a su uso fue desinfectado con hipoclorito de sodio al 1% diluyendo 10 ml por cada 5 litros de agua, durante 3 minutos, luego fue fermentado por aproximadamente 15 días y lavado con abundante agua, luego se procedió al oreado y secado durante 5 días. Este se adquirió de las barracas de la misma área de estudio.
- **Paja de avena**, para su uso fue picado a razón de 5 a 10 milímetros, posteriormente lavarla con una solución de hipoclorito de sodio al 10% diluyendo 10 ml por cada 5 litros de agua luego se procedió al lavado con agua caliente durante 2 horas y luego se dejó oreando durante 2 días a temperatura ambiente esto para evitar presencia de hongos y bacterias.

Una vez desinfectado los sustratos se llevó a las bandejas en forma de camas de acuerdo a cada tratamiento, a una altura de 3 centímetros. Para luego proceder con la siembra.

4.2.1.5 Siembra. Para la siembra se distribuyó una capa de semillas pre-germinadas, la cual no sobrepaso los 3 cm de altura o espesor, a una densidad de siembra 3 kg de semilla por m^2 , por bandeja se colocaron 0,45 kg de semilla de maíz blanco por bandeja ($0,150 m^2$), a efecto que se inicie el proceso de germinación. Una vez sembrado se procedió a cubrir las semillas con papel periódico mojado, con el fin de proporcionarles humedad, seguidamente es cubierto con mantel negro, esto para que las semillas estén en oscuridad en el lapso de tiempo que transcurre, desde la siembra hasta su germinación o brote. Mediante esta técnica se le proporciono a las semillas condiciones de alta humedad y una óptima temperatura para favorecer la completa germinación y crecimiento inicial.



Figura 4. siembra de la semilla de maíz en los sustratos en base a los tratamientos



Figura 5. Semillas de maíz cubiertas con papel periódico.



Figura 6. Bandejas con las semillas de maíz tapadas con tela negra.

4.2.1.6 Fase de producción. La etapa de producción se da inicio con el quinto día, en el cual se destapo las bandejas y se observó que las semillas han germinado en su mayoría.

Al desarrollo de la raíz, en este período solamente se efectuaron pequeños rocíos de agua cuatro veces al día, utilizando una pistola de agua en forma nebulizada para lograr mantener la humedad del grano y estimular su germinación. Al día 7–14 aparecen las hojas, en los días 14–20 se produce el desarrollo de la planta.



Figura 7. Rocío a las semillas germinadas de 0,5 litros de agua por metro cuadrado por día

4.2.1.7 Preparación del Abono Foliar Inicial-Nitrofoska. Para el uso de este fertilizante se preparó 100 gramos de este fertilizante por 20 litros de agua. Seguidamente se aplicó de manera foliar, el Abono Foliar Inicial-Nitrofoska se caracteriza porque es un fertilizante foliar complejo producido con materia prima de la más alta calidad. Contiene los macro nutrientes: N, P, K, Mg, y S y elementos menores en forma equilibrada.

Usado en la fase inicial de los cultivos tiene un marcado efecto estimulante, permitiéndoles crecer adecuadamente y llegar en las mejores condiciones a la fase reproductiva: Floración-cuaje.

El Abono Nitrofoska Foliar Arranque o inicial se recomienda para cultivos que se exploten por su follaje, flores, frutos, tallos (subterráneos y aéreos) y raíces. Es un fertilizante que aporta macro nutrientes y micronutrientes, se aplicó a partir de la aparición de la quinta hoja.

4.2.1.8 Riego de las bandejas. El riego de las bandejas se realizó con una pistola de agua de forma nebulizada de 2 litros. Los primeros 4 días después de la siembra, se aplicaron $0,5 \text{ l/m}^2$ de agua por día hasta llegar a un promedio de $1,5 \text{ l/m}^2$ hasta la cosecha. El volumen de agua de riego está de acuerdo a los requerimientos del cultivo y a las condiciones ambientales internas del recinto de producción de FVH. Un indicador práctico que se debe tener en cuenta es no aplicar riego cuando las hojas del cultivo se encuentran levemente húmedas al igual que su respectiva masa radicular (Sánchez, 1997).

En las bandejas se utilizó el abono foliar inicial (Nitrofoska) solo se rego con este nutriente el día 14, diluyendo 100 gramos en 20 litros de agua, antes y después solo se rego con agua simple.

El número de riegos fue de 3 veces/día (9:00, 13:00 y 18:00 horas). Para lo cual el riego se realizó con una pistola de agua de forma nebulizada para no ahogar la semilla.



Figura 8 y 9. Día 14, riego con el abono foliar Nitrofoska a los tratamientos de forraje verde hidropónico de maíz

4.2.1.9 Cosecha del Forraje Verde Hidropónico de maíz (FVH). Se realizó la cosecha trascurridos 20 días después de la siembra de las semillas germinadas se realizó directamente recolectando el FVH de maíz el mismo que se midió y se pesó para la posterior evaluación de las variables que se analizaron en esta investigación.

4.2.2 Diseño Experimental

El diseño experimental que se utilizó para esta investigación fue el diseño completamente al azar, por existir condiciones experimentales homogéneas dentro del ambiente hidropónico, el mismo que constó de tres sustratos y un testigo, haciendo un total de cuatro tratamientos con tres repeticiones haciendo un total de 12 unidades experimentales.

4.2.3 Modelo Lineal Aditivo

Este diseño estadístico completamente al azar tiene el siguiente modelo lineal:

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

Dónde:

y_i = Una observación cualquiera.

μ = Media general.

α_i = Efecto del i-ésimo método.

ϵ_{ij} = Error experimental.

4.2.4 Tratamientos: Para el presente trabajo de investigación se tiene cuatro tratamientos los cual se mencionan a continuación:

- Tratamiento (0) testigo sin sustrato.
- Tratamiento (1) sustrato de cascarilla de arroz.
- Tratamiento (2) sustrato de paja de avena.
- Tratamiento (3) sustrato de aserrín.

En cada bandeja contiene un sustrato que contiene un espesor de 2 cm de grosor y una densidad de 0,45 kg de semilla de maíz por bandeja.

4.2.5 Características de la Unidad Experimental

Número de unidades experimentales: 12 unidades

Área de la unidad experimental: 0,15 m²

Largo de la bandeja: 43 cm

Ancho de la bandeja: 35 cm

Forma de la unidad experimental: rectangular

4.2.6 Distribución de Tratamientos

La producción de forraje Hidropónico se realizó en un estante metálico, en donde las 12 bandejas se encontraron a una altura de 80 cm desde el piso y se ubicaron en un lado 6 bandejas y al otro lado 6 bandejas separadas por un espacio de 25 cm.

La distribución de los tratamientos se realizó al azar debido a que los factores temperatura, luz influyen en todo los tratamientos.

4.2.7 Croquis del Diseño Experimental

En la Figura 1, se muestra la disposición de las bandejas con los respectivos tratamientos y sus repeticiones de producción de forraje verde hidropónico.

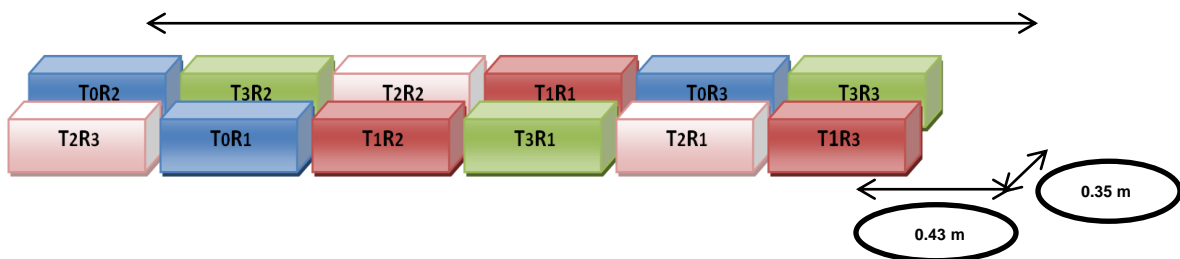


Figura 10. Croquis experimental de la distribución de los tratamientos de forraje verde hidropónico de maíz

4.3 Variables de Respuesta

4.3.1 Porcentaje de Germinación

Para la determinación de esta variable se realizó un conteo en número de semillas germinadas por cada bandeja de los tratamientos y se contó 100 semillas, entre germinadas y no germinadas, y se realizó una operación matemática de regla de tres el porcentaje de las no germinadas y por diferencia con el 100% para poder representarlas en porcentajes, se obtuvo el porcentaje de germinación, de la misma manera se hizo para las 3 repeticiones por bandeja de cada tratamiento.

4.3.2. Altura de Plantas

Se procedió a medir la altura del FVH, (cm). Para ello se tomó aleatoriamente 10 plantas de la región central de cada bandeja y se midió con una regla, desde la base del grano hasta la última hoja apical, este registró de dato de altura se realizó a partir del décimo día hasta la cosecha, se tomó los datos por cada tratamiento y repetición.

4.3.3 Longitud de raíz

Para la recopilación de los datos de esta variable, se realizó a las mismas plantas evaluadas con respecto a la variable de la altura de planta. Este procedimiento consistió en medir las longitudes de la raíz (cm), desde el cuello hasta la punta de la raíz, haciendo uso de una regla milimétrica, esto se realizó en el día 20 y de la misma forma se procedió por cada tratamiento y por cada repetición.

4.3.4 Rendimiento de Forraje Verde de Maíz

El rendimiento de forraje verde hidropónico se obtuvo al día 20, donde se cosecho el forraje verde de maíz, una vez cosechado se procedió a su respectivo pesaje y su registro (kg). Para pesar el forraje verde se empleó una balanza con capacidad mínima de 100 g y máxima de 10 kilos.

4.3.5 Rendimiento de Forraje Verde Hidropónico en Materia Seca

El material vegetal de cada uno de los tratamientos se recolecto 250 gramos de forraje verde por cada unidad experimental, donde se introdujo en bolsas de polietileno herméticamente cerradas al laboratorio, identificando las muestras por tratamiento y número, donde fueron sometidas a un secado de 105 °C por 48 horas en un horno, pesando las muestras antes y después del secado.

4.3.6 Porcentaje de Proteína cruda (%PC)

La determinación del porcentaje de proteína cruda (% PC) se realizó a partir de muestras enviadas al Instituto de Servicios de Laboratorio de Diagnostico e Investigación en Salud (SELADIS) de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Bioquímicas (UMSA), se utilizó el método de Kjheldal multiplicando el contenido de nitrógeno (N) x 6,25).

4.3.7 Análisis Económico

El análisis económico consistió en el cálculo del Beneficio Neto y las relaciones Beneficio Costo (B/C) en base a los rendimientos y costos obtenidos por cada tratamiento.

4.3.7.1 Análisis Económico de Presupuestos Parciales. El análisis económico pretende dar la mejores alternativas al campesino productor, como consecuencia de la investigación agrícola (Perrin, 1988). En este sentido, para determinar el menor costo con el que se pudo obtener un mayor rendimiento se emplea la metodología de “Presupuestos parciales” (costos y beneficios de los tratamientos alternativos.)

4.3.7.2 Relación Beneficio y Costo (B/C). La relación de beneficio/costo, es la comparación sistemática entre el beneficio o resultado de una actividad y el costo de realizar esa actividad.

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

Se determinó el ingreso bruto, ingreso neto, relación beneficio costo, mediante las siguientes formulas:

- Ingreso Bruto = Rendimiento * Precio
- Ingreso Neto = Ingreso Bruto – Costo Total

$$\text{Relación Beneficio/Costo} = \frac{\text{Ingreso Bruto}}{\text{Costo total}}$$

5. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Tras el análisis estadístico de la información generada tomando en cuenta todos los factores que influyeron en el rendimiento y calidad de la producción del FVH de maíz bajo el efecto de tres sustratos, se presentan los resultados a continuación:

5.1 Temperatura al Interior de la Carpa Solar

Conociendo estos parámetros de temperaturas aceptables para el follaje del maíz en condiciones controladas se trató de mantener las temperaturas necesarias a través de la ventilación, logrando así tener la temperatura necesaria dentro de la carpa solar.

Se instaló un termómetro en la carpa solar, ubicadas en la parte central de la carpa y parte superior de los tratamientos, a una distancia de 1.6 m de alto.

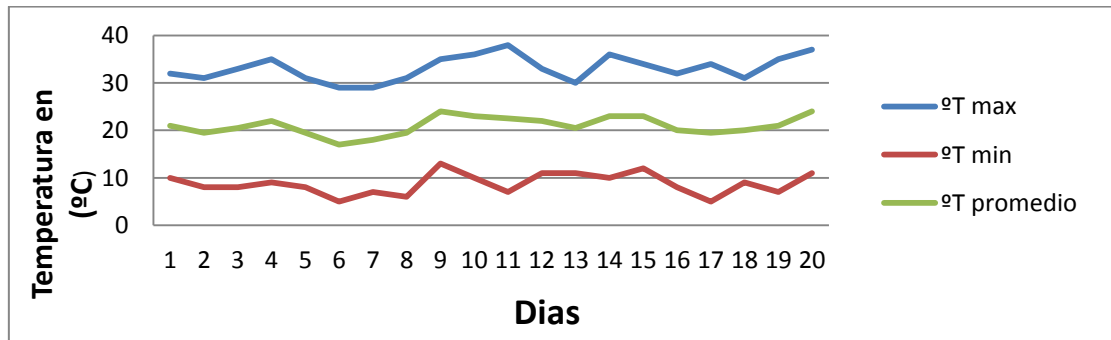


Figura 11. Variación de Temperaturas al interior de la Carpa Solar

En una producción en invernadero, el ambiente exterior determinará las condiciones internas, ya que la temperatura aumentará o disminuirá dependiendo de la cantidad de sol que reciba la cubierta plástica.

Ya que el invernadero se encuentra a cabeza de una colina donde las fuertes corrientes de viento golpean a la carpa provocándole así un cambio repentino de

temperatura a horas de la tarde, además por las mañanas en este mes presento pequeños chubascos donde alteraron la temperatura mínima teniendo una temperatura mínima de 5 °C y en la tarde a horas 1:00 pm a 2:00 pm se presentan las temperaturas más elevadas del día teniendo una temperatura máxima de 38 °C.

Cuando las temperaturas registraban 35 °C se recurrió a abrir las dos ventanas logrando disminuir hasta 5 °C, con un fluido de aire atemperada, todo esto a manera de lograr bajar las altas temperaturas, ya que las temperaturas ideales para la producción de FVH no deberá pasar los rangos de 5 °C como mínima y una máxima de 40 °C ya que estas pueden no ayudar a la producción de forraje verde y al enraizamiento de la planta.

Hidalgo (1985), indica que la temperatura ideal dentro de un invernadero es de 15 a 30 °C. Para poder obtener este rango se debe de recurrir a la ventilación con cortinas laterales, extractores de aire caliente y ventiladores.

5.2 Porcentaje de Germinación

Cuadro 1. Análisis de varianza para el porcentaje de germinación de las semillas de maíz

Fuente de variación	Grados de Libertad	Sumatoria de Cuadrados	Cuadrado Medio	F cal.	F tab.
Métodos	3	27	9	2,25	0,159 NS
Error	8	32	4		
Total	11				

NS No significativo

Diferencia estadística significativa al nivel de 5%.

C.V. = 2,18 %

De acuerdo al Cuadro 1, el análisis de varianza para el porcentaje de germinación se puede apreciar que no existen diferencias estadísticas entre sustratos, debido a que en esta etapa de producción los sustratos no afectan en la

emergencia de la semilla, por lo tanto no influyen en el porcentaje de germinación, por otra parte el coeficiente de variación de 2,18% indica que los resultados experimentales son confiables por encontrarse por debajo del valor recomendado del 30%.

Cuadro 2. Porcentaje de germinación promedio por tratamiento

Tratamiento	Porcentaje de germinación de planta (%)
S. Cascarilla de arroz (T1)	91
S. Aserrín (T3)	94
S. Paja de avena (T2)	90
S. Aserrín (T3)	91

En el Cuadro 2, se puede observar un mayor porcentaje de germinación aplicando el tratamiento (1) sustrato de cascarilla de arroz con un 94 %, en comparación a los demás tratamientos, teniendo así como un menor porcentaje de germinación en el tratamiento (2) sustrato de paja de avena con un 90%.

Diversas evaluaciones de germinación de maíz como FVH han reportado bajos porcentajes esto debido a que la germinación asociada al manejo del agua de riego (volumen y frecuencia), señalando que el uso deficiente por exceso es determinante en los resultados de germinación (Bórquez *et al.*, 1992). En este sentido, las restricciones de oxígeno en el proceso de germinación implican un atraso o paralización en el desarrollo de plantas, incluso anomalías como ausencia de raíces (Phaneendranath, 1980).

No obstante, Flores *et al.*, (2004) señalan para el caso de maíz que el remojo previo de semillas no aumenta el porcentaje de germinación respecto a semillas sin remojo.

Romero (2009), indica para que el maíz germine en 3 días, debe haber condiciones favorables de temperatura, humedad, luz y oxígeno, en la cual primero la semilla se hincha y aumenta de tamaño a medida que absorbe agua, estos

resultados de germinación coinciden con los resultados obtenidos en el presente estudio.

Según Sánchez (2004), Dosal, (1987) y Gallardo, (1997) el porcentaje de germinación 90 % está dentro del rango aceptable para su uso en la producción de forraje hidropónico que es mayor a 80 %.

5.3 Altura de planta

De acuerdo al análisis de varianza para la altura de planta, los datos registrados para el tratamiento sustrato resulto ser altamente significativo.

Cuadro3. Análisis de varianza para altura de planta del forraje verde hidropónico de maíz

Fuente de variación	Grados de Libertad	Sumatoria de Cuadrados	Cuadrado Medio	F cal.	F tab.
Métodos	3	114,39	38,13	21,84	0,0003 **
Error	8	13,96	1,74		
Total	11				

** Altamente significativo.

Diferencia estadística significativa al nivel de 1%.

C.V. = 5,07%

De acuerdo al Cuadro 3, en la variable de respuesta de altura de planta se obtuvo que existen diferencias altamente significativas entre los sustratos con un $P > F$ de 0,0003.

Se presentó un coeficiente de variación de 5,07% lo que demuestra la confianza de los datos y el buen manejo del experimento.

Las diferencias altamente significativas entre tratamientos se debieron a que hubo un efecto a causa de la radiación solar, con el aumento de la temperatura, la cual incidió en la humedad de las semillas y por supuesto en los sustratos de menor porosidad, también influyo en la cantidad de veces al regar el módulo hidropónico y mantener una temperatura adecuada para el cultivo.

Cuadro 4. Prueba de Duncan de altura de plantas por tratamiento

Tratamiento	Media de Altura de planta (cm)	Duncan (0,05)
S. Cascarilla de arroz (T1)	30,1	a
S. Aserrín (T3)	27,9	a
Testigo (T0)	23,2	b
S. Paja de avena (T2)	22,8	b

Realizada la prueba de Duncan donde se observa estadísticamente diferencias en las medias de altura de planta: tratamiento 1 Sustrato de cascarilla de arroz (30,1 cm), tratamiento 3 Sustrato aserrín (27,9 cm), tratamiento 0 testigo (23,2 cm), y tratamiento 2 Sustrato de paja de avena (22,8 cm).

Esto puede ser debido a que el la paja de avena tiene una alta capacidad de retención de humedad.

Al respecto Antesana (2001), indica que el exceso de humedad en el sustrato puede influir desfavorablemente en el crecimiento de las plantas.

Por otro lado la cascarilla de arroz tiene un menor porcentaje de retención de humedad y mejor porosidad, por ello facilito la mayor altura.

El efecto de los métodos de cultivos sobre la altura indica que esta variable depende fundamentalmente de condiciones externas inherentes al desarrollo de los cultivos temporales, tales como humedad, luminosidad y estado nutricional, lo cual ha sido tratado de forma exhaustiva por Pineda (2004), al describir los patrones de crecimiento de muchas especies vegetales.

En la investigación la cascarilla de arroz tiene mayor porcentaje de capacidad de retención humedad por lo tanto es probablemente que el sustrato haya retenido de manera adecuada los macro nutrientes y micro nutrientes que presenta el abono foliar nitro fosca inicial, y por esto favoreció en el desarrollo de la planta, el contenido de nitrógeno en los materiales hidropónicos es mayor a edades tempranas (10 días). Lo anterior se debe a que en las plantas jóvenes el crecimiento está relacionado principalmente, con un aumento en la superficie de las hojas que son los órganos ricos en nitrógeno (Müller *et al.*, 2005).

5.4 Longitud de Raíz

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

Cuadro 5. Análisis de varianza para longitud de raíz de forraje verde hidropónico de maíz

Fuente de variación	Grados de Libertad	Sumatoria de Cuadrados	Cuadrado Medio	F cal.	F tab.
Métodos	3	320,24	106,74	49,19	<0,001 **
Error	8	17,36	2,17		
Total	11				

** Altamente significativo, al nivel de 1%.

C.V. = 8,12%

En el análisis de varianza para la variable longitud de raíz presentado en el Cuadro 5, se observa que hay diferencias altamente significativas entre la aplicación de los diferentes tratamientos, por lo que se pudo observar que el tamaño promedio de la longitud de raíz por los tratamientos cascarilla de arroz, testigo, paja de avena, y aserrín, que se obtuvo fue de 25,8 cm, 19,2 cm, 15,8 cm y 11,7 cm, respectivamente, acabo los 20 días.

En cuanto al coeficiente de variación, se registró valores menores al 30%, según Calzada (1985), el rango aceptable se encuentra entre 0 a 30%. Lo cual nos indica un adecuado manejo de los datos y estos se puede utilizar para la evaluación estadística.

Cuadro 6. Prueba de Duncan de longitud de raíz por tratamiento

Tratamiento	Media de Longitud de raíz (cm)	Duncan (0,05)
S. Cascarilla de arroz (T1)	25,8	a
Testigo (T0)	19,2	b
S. Paja de avena (T2)	15,8	c
S. Aserrín (T3)	11,7	d

En el Cuadro 6, se puede apreciar la prueba de Duncan para la longitud de la raíz por tratamiento, donde se obtuvo que el tratamiento Sustrato cascarilla de arroz tuvo un promedio en la longitud de raíz a los 20 días (cosecha) de 25,8 cm, seguidamente de los tratamientos testigo, sustrato de paja de avena y sustrato de aserrín, con una media de 19,2, 15,8 y 11,7 respectivamente, quizá esto se deba a la porosidad de los sustratos, donde exista mayor porosidad mayor espacio para el desarrollo de la raíz.

Esto puede ser debido a que el aserrín presenta sustancias toxicas para la planta lo cual no permitió un buen desarrollo de la raíz como indica FAO (2003).,

además que el sustrato de aserrín se compacto más que los otros sustratos, tomando en cuenta que a mayor compactación menor porosidad, menor aireación y menor desarrollo de la raíz, sin embargo el sustrato cascarilla de arroz favoreció al desarrollo de la raíz por su textura y porosidad, mostrándose así el efecto del espacio sobre la raíz correspondiente a mayor espacio, mayor desarrollo (Guerrero, 1992).

5.5 Rendimiento de Forraje Verde Hidropónico de Maíz

De acuerdo al análisis de varianza realizado para la producción de forraje verde hidropónico de maíz a los 20 días (cosecha), los datos para los tratamientos sustratos resultaron tener diferencias estadísticas.

Cuadro 7. Análisis de varianza para el rendimiento de forraje verde hidropónico de maíz

Fuente de variación	Grados de Libertad	Sumatoria de Cuadrados	Cuadrado Medio	F cal.	F tab.
Métodos	3	177,86	59,28	27,32	0,0001 **
Error	8	17,36	2,17		
Total	11				

** Altamente significativo, al nivel de 1%.
C.V. = 6,62%

Con un coeficiente de variación de 6,62% y un nivel de significancia de 1%, en el cuadro 7, se observan los resultados del análisis de varianza efectuado para la variable producción de forraje verde, donde se puede apreciar que existen diferencias altamente significativas entre tratamientos.

Debido a que resultaron ser altamente significativos, para un mejor análisis fue necesario realizar la Prueba de Duncan y de la misma manera el análisis para la interacción entre solución nutritiva y densidad de siembra.

Cuadro 8. Prueba de Duncan rendimiento de forraje verde hidropónico por tratamiento

Tratamiento	Media de Materia verde (kg/m²)	Duncan (0.05)
S. Cascarilla de arroz (T1)	25,89	a
S. Paja de avena (T2)	23,89	a
Testigo (T0)	23,36	a
S. Aserrín (T3)	15,76	b

Realizada la prueba de Duncan donde se obtuvo mayor producción de forraje por metro cuadrado, con el tratamiento 1 Sustrato de cascarilla de arroz con una media de 25,89 kg/m². En cambio con el tratamiento 3 Sustrato de aserrín se obtuvo menor producción de forraje verde con una media de 15,76 kg/m². (Cuadro 8).

Estos resultados coinciden con lo planteado por Resh (2001) quien constató la importancia de la ventilación de las raíces y el aporte de nutrientes en el rendimiento de las plantas. Sin embargo, sería necesario someter las modalidades ensayadas, en función del tratamiento, a un análisis económico tomando en cuenta todos los factores que pueden intervenir, a fin de conocer cuál de los tratamientos presentan mayores ventajas al respecto.

Las pocas diferencias, en cuanto a los rendimientos para el método de cultivo denota que el maíz sometido a los tratamientos experimentales, presenta una tasa de absorción similar, aspecto que parece ser inherente a la fisiología de cada especie y sólo depende de la capacidad del sistema radical (Pineda, 2004).

En el caso del tratamiento 3 sustrato aserrín se observa un bajo rendimiento, esto puede ser debido a que algunas maderas presentan sustancias tóxicas para la planta, principalmente dañino, como indica la FAO (2003), además de ello tiene un

porcentaje de compactación elevada frente a la cascarilla de arroz y la paja de avena. Sin embargo, las diferencias observadas en las variables (Producción de forraje verde, altura de planta y longitud de raíz), respecto al tipo de sustrato, pudiera indicar que algún elemento o compuesto químico presente en el sustrato, influyó en el comportamiento del FVH y que solo algunos tratamientos favorecen a la absorción de material nutritivo.

Analizando los resultados integralmente, en función de las soluciones utilizadas en este estudio, la aplicación del sustrato cascarilla de arroz presentó ventajas para las variables altura de planta, longitud de raíz y rendimiento del forraje verde, ya que con la textura y porosidad de la cascarilla de arroz el maíz absorbió cantidades similares de líquido y por ende los nutrientes lo cual pudo haber influido en su comportamiento. Esto podría explicarse debido a que la proporción y concentración en que se encuentran la humedad sea la más adecuada a las necesidades del maíz en cultivos hidropónicos, bajo las condiciones de experimentación; confirmando la observación realizada por Urias (1997) cuando mencionó que no existe una única fórmula para nutrir los cultivos hidropónicos y la mejor es la que se experimenta con óptimos resultados.

En la evaluación productiva de una especie, es importante considerar la densidad de siembra y en este concepto, existen muy diferentes reportes, (FAO, 2001), Kallenbach (2004), reportan densidades de siembra de 3,0 (kg/m^2), y producciones de 30 kilogramos de Forraje verde hidropónico, (kg/m^2), León, (2004) con densidades de 3,350 reporta 25 kilos de rendimiento, por otra parte, Quezada, (2008), informa de rendimientos de 26,0 con densidad de 3,8 (kg/m^2), contra 3,0 (kg/m^2) de densidad y producción de 25.89 (kg/m^2) del presente trabajo. En función de esto, se considera que los resultados obtenidos en este trabajo son satisfactorios, pero con la variante de usar sustratos que con esta técnica resulta más económica y benéfica con el ambiente.

De acuerdo con Tarrillo (2007) a partir de 1 kg de semilla se puede producir una masa forrajera de 6 a 8 kg consumible en su totalidad. Por su parte, Elizondo (2005) menciona que a partir de 1 kg de semilla se pueden obtener 9 kg de biomasa; sin embargo, en el presente trabajo con una densidad de 3,0 (kg/m²) de densidad y producción de 25,89 (kg/m²) se obtuvo un equivalente de producción de 8,63 kg de biomasa por 1 kg de semilla, lo cual nos dice que estamos dentro lo establecido.

5.6 Rendimiento de Materia Seca

En el cuadro 9, se observa el análisis de varianza para la variable producción de materia seca del forraje hidropónico de maíz.

Cuadro 9. Análisis de varianza para el Rendimiento de Materia Seca

Fuente de variación	Grados de Libertad	Sumatoria de Cuadrados	Cuadrado Medio	F cal.	F tab.
Métodos	3	2,41	0,805	833,09	< 0,0001 **
Error	8	0.007	0,00096		
Total	11				

** Altamente significativo, al nivel de 1%.

C.V. = 1,14%

Los resultados obtenidos del análisis de varianza (cuadro 9), muestra los resultados del análisis de varianza efectuado para la variable producción de materia seca donde se puede apreciar la existencia de una alta significancia entre tratamientos al 1%; por otra parte el coeficiente de Variación fue de 9,4% lo que indica que los datos son confiables.

Para un mejor análisis fue necesario realizar la Prueba de Duncan.

Cuadro 10. Prueba de Duncan rendimiento de materia seca por tratamiento

Tratamiento	Media de Materia seca (kg/m²)	Duncan (0,05)
S. Cascarilla de arroz (T1)	3,16	a
S. Paja de avena (T2)	2,91	b
Testigo (T0)	2,85	c
S. Aserrín (T3)	1,97	d

Realizada la prueba de Duncan donde se pudo establecer que el tratamiento 1 cascarilla de arroz obtuvo mayor producción de materia seca por metro cuadrado, con una media de 3,16 kg/m². En cambio el tratamiento tres sustrato de aserrín obtuvo menor producción de forraje verde con una media de 1,97 kg/m².

En general se obtuvo mayor cantidad de materia seca probablemente debido al porcentaje de germinación, así como abono inicial (Nitrofoska) o factores asociados con el clima.

Por otra parte, el uso de abono inicial (Nitrofoska) es adecuado para estos sistemas, ya que aunque representa un gasto adicional ayuda en gran manera al cultivo de FVH sobre cama de residuos vegetales fibrosos, usado tradicionalmente, le confiere a la mezcla forraje sustrato mayor valor nutritivo en términos de consumo de MS, digestibilidad aparente y ganancia media diaria de peso en rumiantes (Herrera *et al.*, 2007).

El análisis de varianza aplicado a la variable % MS, aportó resultados sin diferencias significativas entre los tratamientos (P>0,01). La poca fluctuación numérica observada en esta variable, se explica por el hecho de que los porcentajes

de MS no se afectan drásticamente por factores externos y ambientales, ya que, este parámetro se encuentra regido por control genético y es intrínseco de cada especie vegetal (Pineda, 2004), independientemente de la forma en que se cultive. Resultados similares se han obtenido en cultivos de interés agrícola en diferentes condiciones experimentales (Parra, 1996 y Müller *et al.*, 2005).

Alvarado (2011), en el estudio realizado en paja de avena y tepecil como sustrato para la producción de forraje verde hidropónico de maíz en invernadero obtuvo un valor promedio de 2.49 kg/m² de materia seca, estos resultados son similares a los obtenidos en el presente estudio con 2,72 kg/m².

El valor de MS (promedio: 12,31%) obtenido en este experimento es superior al registrado por Cápelo *et al.*, 2007 (promedio: 11,54%) quienes cultivaron maíz en condiciones similares a las de esta evaluación, prescindiendo de la utilización de abono foliar inicial Nitrofosca.

5.7 Porcentaje de Proteína Cruda

En el Cuadro 11, se observa el análisis de varianza para el porcentaje de proteína cruda.

Cuadro 11. Análisis de varianza para porciento de Proteína Cruda

Fuente de variación	Grados de Libertad	Sumatoria de Cuadrados	Cuadrado Medio	F cal.	F tab.
Métodos	3	77,49	25,83	42,35	< 0,0001 **
Error	8	4,88	0,61		
Total	11				

** Altamente significativo, al nivel de 5 y 1%.

C.V. = 6,23%

De acuerdo al Cuadro 11, el análisis de varianza para el porcentaje de proteína cruda se puede apreciar una alta significancia entre los tratamientos, esto se debe que al utilizar los sustratos estamos ayudando a retener los elementos esenciales para el desarrollo y así compensar sus requerimientos. Así llegamos a concordar con, Carballido (2005), donde menciona que en sistemas hidropónicos no existe la competencia por nutrientes, ya sea por plantas voluntarias o por microorganismos de suelo.

El contenido de proteína cruda en el forraje, así como en los demás ingredientes de la dieta es importante para que los animales puedan tener un desarrollo adecuado (Koster, 2002), ya que las proteínas son los constituyentes principales del cuerpo animal.

Cuadro 12. Prueba de Duncan de porcentaje de proteína cruda por tratamiento

Tratamiento	Media de Proteína cruda (%)	Duncan (0,05)
S. Cascarilla de arroz (T1)	16.25	a
S. Paja de avena (T2)	13.26	b
Testigo (T0)	11.17	c
S. Aserrín (T3)	9.43	d

En el Cuadro 12, realizada la prueba de Duncan a un nivel de significancia del 1% para el porcentaje de proteína cruda por tratamiento, se registró que el tratamiento 1 Sustrato de cascarilla de arroz obtuvo un elevado porcentaje de proteína cruda, con una media de 16,25%, en comparación a los tratamientos sustratos de paja de avena con 13,26%, testigo con 11,17%, y sustrato de aserrín con 9,43%, esto se deba a que el sustrato fue usado en la fase inicial del cultivo donde tiene un marcado efecto estimulante en cuanto a retención de humedad y

porcentaje de porosidad, según Calderon (2001), FAO(2003), Sánchez, (2004), recomiendan el uso de la cascarilla de arroz en sistemas hidropónicos por presentar buenas características como buena porosidad, buena retención de agua, fácil manejo y lo más importante para un sustrato hidropónico que facilite la salida de los excesos de agua.

En el mismo cuadro se puede observar un menor porcentaje de proteína cruda en el tratamiento sustrato aserrín, quizá esto se deba a que algunas maderas presentan sustancias tóxicas para la planta, además que fue perdiendo nutriente al transcurso de los días ya que hasta la cosecha del forraje solo se regó con agua. Rodríguez (2003) menciona, que el contenido de proteína en cada cultivo y variedad tiene una óptima producción en distintas relaciones de fechas de corte.

La proteína cruda está conformada por dos fracciones: la Proteína Verdadera que son las cadenas de aminoácidos y el Nitrógeno no Proteico compuesto de aminas, aminoácidos libres, pigmentos, sales de amonio, alcaloides, glucósidos, etc. (Alcázar, 1997).

Müller *et al.* (2005), establece que pueden haber reducciones de PC conforme avanza la madurez del cultivo, pues aduce que a una edad de 12 días obtuvo FVH de maíz con 17,4% de PC y a los 14 días se redujo a 13,4%; Sin embargo, el contenido mínimo de PC que debe tener un FVH es de 7%, lo que garantiza la fermentación de los carbohidratos estructurales a nivel de rumen (Van 1994); aunque Tarrillo (2007), considera que rangos normales producción hidropónica deben variar entre 12 - 25% de PC. En términos generales la ventaja del FVH como alimento para el rebaño está en función del contenido nutritivo (proteína 19,4%), energía neta digestible (NTD 75%), grasa (3,15%), digestibilidad (90%) (Bautista y Nava, 2002).

Al respecto Bohnert (2002), menciona que un forraje con un contenido de proteína mayor a 6% es un forraje de buena calidad. En función de esto, se

considera que los resultados obtenidos en este trabajo son satisfactorios esto nos da conocer que nuestro forraje es de muy buena calidad en todos los tratamientos.

5.8 Análisis Económico

El análisis económico es considerado de mucha importancia debido a que proporciona información económica, procurando siempre hacerlo desde la perspectiva del agricultor para poder informar de los beneficios que podría obtener.

En el Cuadro 13, se muestra los costos totales de cada tratamiento.

Cuadro 13. Costos totales por superficie y por ciclo de producción de cada tratamiento

Tratamientos	Costo total
Testigo (T0)	29,05
Sustrato cascarilla de arroz (T1)	31,05
Sustrato de paja de avena (T2)	30,25
Sustrato de aserrín (T3)	30,45

De acuerdo el Cuadro 13, se observa que al utilizar el tratamiento (1) sustrato de cascarilla de arroz se obtiene un elevado costo total, seguidamente del tratamiento (3) sustrato de aserrín, tratamiento (2) sustrato de paja de avena, y tratamiento (0) testigo.

Cuadro 14. Ingreso Bruto por superficie y por ciclo de producción de cada tratamiento

Tratamientos	Producción de forraje (kg/m²)	Precio (Bs/kg)	Ingreso bruto (Bs)
Testigo (T0)	23.36	3	70,08
Sustrato cascarilla de arroz (T1)	25.89	3	77,67
Sustrato de paja de avena (T2)	23.89	3	71,67
Sustrato aserrín (T3)	15.76	3	47,28

En el Cuadro 14, se puede observar que al utilizar el tratamiento (1) sustrato de cascarilla de arroz se obtiene mayor ingreso bruto (77,67 Bs) y se obtiene menor ingreso bruto con el tratamiento (3) sustrato de aserrín de (47,28 Bs).

Cuadro 15. Ingreso neto por superficie y por ciclo de producción de cada tratamiento

Tratamientos	Ingreso bruto (Bs)	Costo total (Bs)	Ingreso neto (Bs)
Testigo (T0)	70,08	29,05	41,03
Sustrato cascarilla de arroz (T1)	77,67	31,05	46,62
Sustrato de paja de avena (T2)	71,67	30,25	41,42
Sustrato de aserrín (T3)	47,28	30,45	16,83

De acuerdo al Cuadro 15, se puede observar mayor ingreso neto cuando se utiliza el tratamiento (1) sustrato de cascarilla de arroz, por lo contrario al utilizar el tratamiento (3) sustrato de aserrín se obtiene menor ingreso neto.

Cuadro 16. Relación Beneficio/Costo de cada tratamiento

Tratamientos	Ingreso bruto (Bs)	Costo total (Bs)	Relación B/C
Testigo (T0)	70,08	29,05	2,41
Sustrato cascarilla de arroz (T1)	77,67	31,05	2,50
Sustrato de paja de avena (T2)	71,67	30,25	2,36
Sustrato de aserrín (T3)	47,28	30,45	1,55

En el Cuadro 16, se puede observar que el tratamiento que ofrece mayor beneficio costo es el sustrato de cascarilla de arroz con un valor de 2,50 seguido del tratamiento (0) testigo con un valor de 2,41, el tratamiento (2) sustrato de paja de avena, frente al tratamiento (3) sustrato de aserrín con un valor de 1,55 Bs.

También nos muestra que por cada 1 Bs de inversión se obtuvo 1,5 Bs de beneficio para el tratamiento (1) sustrato de cascarilla de arroz, para el caso de tratamiento (0) testigo el ingreso es 1,41 Bs, seguido del tratamiento (2) sustrato de paja de avena con un ingreso de 1,36 y por último por cada 1 Bs invertido con el tratamiento (3) sustrato de aserrín se obtuvo un dividendo de 0,55 Bs.

La diferencia del ingreso se debe básicamente a la cantidad en peso del forraje verde hidropónico obtenido a la cosecha y el precio de los mismos

Las investigaciones necesarias para producir FVH dependerán del nivel y de la escala de producción. El análisis de costo de producción de FVH, que se presenta por su importancia en una sección específica de manual, revela que consideración 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 económica viable que merece ser considerada por los pequeños y medianos productores (Palomino, 2008).

6. CONCLUSIONES.

De acuerdo a los objetivos señalados y los resultados obtenidos del presente trabajo de investigación, se llegan a las siguientes conclusiones generales que se detallan a continuación:

- En cuanto a los tratamientos de producción, existen diferencias significativas es decir en la producción de sustrato de cascarilla de arroz se obtiene mejores rendimientos en comparación a los demás tratamientos.
- Se determinó que el tratamiento (1) sustrato de cascarilla de arroz obtuvo mejores resultados respecto al porcentaje de germinación (94%) y la variable altura de planta (30,1 cm), en cambio el tratamiento compuesto por el sustrato de paja de avena presentaron los más bajos índices, con un 94% de germinación y la variable altura de planta 22,8 cm.
- Respecto a la longitud de la raíz del maíz hidropónico muestra una diferencia entre los tratamientos, en donde el tratamiento (1) sustrato de cascarilla de arroz alcanzó 25,8 cm frente a los tratamientos (0) testigo 19,2 cm, tratamiento (2) sustrato de paja de avena 15,8 cm y tratamiento (3) sustrato aserrín con 11,7 cm, esta diferencia fue debido a la porosidad de los sustratos, y las sustancias tóxicas que presentan algunas maderas.
- En lo que respecta al tratamiento (1) sustrato de cascarilla de arroz se determinó que tiene efecto en el rendimiento de forraje teniendo mejores resultados en el rendimiento de Forraje Verde Hidropónico de Maíz, obteniendo un promedio de 25,89 kg/m², y Materia seca 3,16 kg/m², respecto al tratamiento (3) sustrato de aserrín donde se obtuvo los menores resultados en las variables estudiadas ya mencionadas.

- Para el porcentaje de proteína cruda, se registró que el tratamiento 1 Sustrato de cascarilla de arroz obtuvo un elevado porcentaje de proteína cruda, con una media de 16,25%, en comparación a los tratamientos sustratos de paja de avena con 13,26%, testigo con 11,17%, y sustrato de aserrín con 9,43%, esto se deba a que el sustrato fue usado en la fase inicial del cultivo donde tiene un marcado efecto estimulante en cuanto a retención de humedad y porcentaje de porosidad.
- En cuanto a la variable análisis económico preliminar, de acuerdo a los resultados del beneficio costo, se establece que el tratamiento (1) sustrato de cascarilla de arroz cuenta con un B/C de Bs. 2,5, por tanto por cada 1 Boliviano invertido se llega a aganar 1,5 Bs, este tratamiento es el que se debe tomar en cuenta ya que económicamente supera al resto de los tratamientos, y nos indica que la producción de maíz de manera de forraje hidropónico es rentable.
- El Forraje Verde Hidropónico se constituye en una alternativa importante, para la producción de forraje verde y de acuerdo a los resultados obtenidos en el presente trabajo, la utilización de cascarilla de arroz como sustrato fue positivo y no presento problemas fitosanitarios en el forraje producido además que llegó a mejorar el contenido nutricional del Forraje Verde Hidropónico de maíz apto para las especies vacunas, ovinas, conejos, cuyes, etc.,

7. RECOMENDACIONES

Con las conclusiones obtenidas se llegan a las siguientes recomendaciones, en base a la experiencia y resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación:

- Utilizar el sustrato de cascarilla de arroz, para la producción de forraje verde hidropónico de maíz ya que las plantas tuvieron un buen comportamiento en todo el ciclo de producción, además que son materiales de desuso y no contaminan el medio ambiente.
- Se recomienda no comprar semilla de alto valor económico puesto que hará bajar enormemente las ganancias y no tener una buena relación beneficio costo, ya que con la semilla convencional se puede obtener altas utilidades.
- Es importante tomar en cuenta que se pueden disminuir los costos de producción utilizando bandejas de material reciclado u otros materiales que tengamos a disposición.
- Económicamente se recomienda producir bajo el sistema de sustrato de cascarilla de arroz en el forraje verde hidropónico de maíz, ya que las diferencias de beneficios netos entre tratamientos son significativas.
- Otra de las recomendaciones que se debe tomar muy en cuenta es la ventilación, esto para que no haya la proliferación de hongos, babosas y tijeretas, para mitigar las pérdidas de deshidratación de las semillas y también de las plántulas de forraje verde hidropónico a causa de elevadas temperaturas como el efecto de la radiación UV - B que llega con mayor intensidad en las zonas altas y descubiertas de vegetación como es el caso del altiplano.

- Para que este nuevo sistema tenga éxito, es necesario que sea social y ecológicamente aceptable por los agricultores ya que toda alternativa a ser desarrollada debe ser comprensible, técnicamente factible, acorde a sus necesidades económicas.

8. BIBLIOGRAFIA

- Agraria, s.f. Reproducción de hortalizas. Consultado el 9 de agosto de 2007. Disponible en: agrarias.tripod.com/métodos_cultivo.html-113k-En cache-Paginas similares.
- Alcazar, J. 1997. Bases para la alimentación animal y la formulación manual de raciones. La Paz, BO. 158 p.
- Alvarado. S.G. 2011. Paja de avena y tepecil como sustrato para la producción de forraje verde hidropónico de maíz en invernadero. Tesis Lic. Ing. Agr. Xalapa, MX. Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Agrícolas. pp. 31-55.
- Alvarez, 2007. Hidroponía. Consultado el 24 de septiembre 2007. Disponible en: <http://members.fortunecity.es/jalvarezg/>
- Amador, A. L; C. Boschini. 2000. Fenología productiva y nutricional de maíz para la producción de forraje. Agronomía Mesoamericana. 177 p.
- Antezana, L. F. 2001. Determinación del rendimiento potencial de cultivos priorizados en el departamento de Cochabamba. Tesis Ing. Agr. Cochabamba, BO. Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Agronomía. 120 p.
- Aristos, 1995. Diccionario Ilustrado de la Lengua Española, Nueva Edición, Ramón Sopena editores. Barcelona. ES. s.p.
- Bautista, S; Nava, J. 2002. Producción de Forraje Verde Hidropónico de trigo (*triticum*). Tesis Lic. Agr. Guerrero, MX. Universal Autónoma de Guerrero. 112 p.
- Berreira, E. 1978. Fundamentos de edafología para la agricultura. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires, AR. 172 p.

- Bhonert, D.W., C.S. Schauer, M.L. Bauer y T.Delcurto. 2002. Influencia de degradabilidad ruminal y suplementario con frecuencia en novillos bajo consumo forraje de calidad: I. sitio de digestión microbiana y eficiencia Anim.Sci. 297 p.
- Bórquez, F.; Figueroa, M.; Parilo, J.; Tima, M. E Hidalgo, R. 1992 Producción de forraje en condiciones de hidroponía. I. Tiempo de hidratación, dosis de semilla y fertilización de avena y triticale. Revista Agro ciencia. 73 p.
- Cahiers, O.M.1999. Cultivos hidropónicos. Consultado el 18 de junio de 2015. Disponible en: <http://tecnociencia.es.especiales/cultivoshidroponicos/88>
- Carballido, C. 2005. Forraje verde hidropónico. Artículos silvoagropecuarios: Forraje verde hidropónico (en línea). Chile. Consultado el 10 de junio de 2012. Disponible en: <http://www.ofertasagricolas.cl/articulos/88>
- Calderón, F. 1992. Aprende fácil. Cultivos hidropónicos. Forraje verde hidropónico. Fascículo No. 9. Ediciones Culturales VER Ltda. p. 137-152. Bogotá, Colombia.
- Calderón S. F. 2001. Cultivo De flores, Bogotá, Colombia, Disponible en: <http://www.dicalderonlabs.com/index.html>
- Calzada, J., 1985. Métodos Estadísticos para la investigación. Editorial Jurídica S.A., Tercera Edición, Lima-Perú. pp. 237-428.
- Castañeda, F; valverde, C; García, L. 1997. Manual de cultivos hidropónicos populares: producción de verduras sin usar la tierra. Guatemala, INCAP. 132 p.
- Castellon, M. M. 2000. Evaluación de siete sustratos y aplicación de un retardador de crecimiento para el desarrollo de Poinsettia (*Euphorbia pulcherrima*). Tesis de grado. Escuela militar de ingeniería. Mcal. Antonio José de Sucre. La Paz, BO. 96 p.

- Chang, M; Hoyos, M; Rodríguez, A. 2000. Manual práctico de hidroponía: sistema de raíz flotante y sistema de sustrato sólido. Perú, s.e. 42 p.
- Devlin, R. 1982. Fisiología Vegetal, Ediciones Omega, Cuarta Edición, Barcelona, ES. 472 p.
- Duran, F. 2009. Cultivo de pastos y forrajes: silvopastoriles – forraje verde hidropónico. Granja integral. 1ra edición. Grupo latino editores. CO. 208 p.
- Espinoza, F. 2004. Uso del forraje de maíz (*Zea mays*) hidropónico en la alimentación de toretes mestizos. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Producción Animal. Apartado 4653, Maracay, estado Aragua. VE. Disponible en: www.ceniap.gov.ve/pbd/RevistasCientificas/ZootecniaTropical/zt2204/arti/espnoza_f.htm - 98k
- FAO 2001. Mejoramiento de la disponibilidad de alimentos en los centros de desarrollo infantil del innfa. En: Manual técnico forraje verde hidropónico. Consultado el 5 de junio de 2009. (En línea) <http://www.rlc.fao.org:80/prior/segalim/forraje.htm>
- FAO, 2003. Hidroponía Familiar. Cultivos de esperanzas con rendimiento de paz. México, pp. 41-79.
- FAO 2005. Manual técnico “La huerta hidropónica popular” de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación (FAO). (En línea) http://www.veterinaria.uchile.cl/mundogranja2005/proyectos/integrando_ciencias/archivos/MANUAL_HIDROPONÍA.pdf consultado 2 de mayo de 2006.
- Fauba. 2006. La huerta urbana. Sustrato para macetas. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía. Consultada el 24 de febrero de 2006. Disponible en: <http://www.huertaurbana.org>

- Flores, Z.; urdaneta, G.; manzano M. 2004. Potencialidad de diversos cultivares de maíz (*Zea mays*) para producir forraje verde hidropónico. Pastos y forrajes. In: XII Congreso Venezolano de Producción e Industria Animal. 135 p.
- Gallardo G. 1997. Producción de Forraje Verde Hidropónico en ambiente controlado, con tres soluciones nutritivas en dos concentraciones. Tesis Lic. Ing. Agr. La Paz, BO. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. 115 p.
- Gallegos, L. (2002), Hydroponic green forage. Gobierno del Estado de Chihuahua MX.
- Flippetti, V.H. 2007. Cultivos hidropónicos. Consultado en: 24 de septiembre de 2007. Disponible en: http://hidroponia.gcaconsultora.com.ar/info_hidrop.html
Google Earth., 2015
- Grupo Laitino. 2006. Biblioteca Agropecuaria. Volvamos al campo (Tomo II). Ed. 2006. CO. 827 p.
- Gomez, V. E. 2008. Curso sobre producción de forraje verde hidropónico. División Agricultura Viacha. La Paz, BO. s.p.
- Gutierrez, M. 2000. Evaluación de especies forrajeras. Instituto Nacional de Investigaciones forestales, Agrícolas y Pecuarias. INIFAP. Primera edición. Querétaro. MX. 50 p.
- Hidalgo, L. (1985). Producción de Forrajes en Condiciones de Hidroponía. Evaluaciones preliminares en Avena y Triticale. Chillán, CL. 35-43 p.
- Hidalgo Miranda, L. R. 1998. Producción de Forraje en Condiciones de Hidroponía. I. Evaluaciones Preliminares en Avena y Triticale. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de Concepción. Concepción, CL. 87 p.

- Huterwal, G. O. 1992. Hidroponía, cultivo de plantas sin tierra. Edit. Hobby, Com. E Ind. Buenos Aires, AR. 251 p.
- Kallenbach, R. L., G. J. Bishop-Hurley, M. D. Massie, M. S. Kerley And C. A. Roberts. 2004. Acumuladas raigrás anual de forraje de invierno en el medio oeste de EE.UU. Inferior. Crop Sci. US. 119 p.
- Köster, H. H., B. C. Woods, R. C. Cocharn, E. S. Vanzant, E. C. Titgemeyer, D. M.
- Lorini, J. 2001. Clima. En: Forno E. & M. Baudoin. Ed. Historia Natural de un Valle en Los Andes: La Paz. Instituto de Ecología – UMSA. BO. pp. 27 – 46.
- Malca, GO. 2005. Seminario de agro negocios, lechugas hidropónicas (en línea). Lima, PE. Universidad del Pacífico. 96 p. Consultado 17 de marzo de 2012. Disponible en www.upbusiness.net
- Martinez, E. 2001. Comunicación personal. Manual Técnico FVH. Primera edición. St. Maldonado, UY.se. 76 p.
- Molina, J. La Cebada Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, ES. 1989. 73 p.
- Moreno, P. 2000. Vida y obra de granos y semillas, Despertando una vez más, (en línea). <http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/146/htm/vidayob>. Consultado el 12 de noviembre de 2011.
- Müller L., Manfron P., Santos O., Medeiros S., Haut V., Dourado D., Binotto E. Y Guerrero, A. 2005. Cultivos herbáceos extensivos. Quinta Edición. Mundi Prensa. 779 p.
- Ñíguez, C. 1998. Producción de forraje en condición de hidroponía II. Selección de especie y evaluación de cebada y trigo. Facultad de ciencias agropecuarias y forestales de la Universidad de Concepción, Sede Chillan, CL. 82 p.
- Oirsa, 2002. Manual de producción de sustratos para viveros (en línea). Consultado el 18 de noviembre de 2005. Disponible en: <http://www.oirsa.org>

- Organización de Las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 2001 IT. Manual Técnico de Forraje Verde Hidropónico. Editorial Santiago, CL. 55 p.
- Palacios, M.F.; nieri, F. 1995. Cultivo de Forraje Verde Hidropónico. Facultad de Ciencias. Departamento de Biología. Laboratorio de Fisiología Vegetal Universidad Agraria La Molina. Lima, PE. 112 p.
- Palomino, K. 2008. Producción de forraje hidropónico. Primera edición. Empresa editora Macro EIRL. Miraflore, PE. 59 p.
- Parra, T.S., Baca, C. G.A., Carrillo, G.R., Kohashi, S.J., Martínez, G.A Y Trejo, L.C. 1996. Silicio y potencial osmótico de la solución nutritiva en el crecimiento de pepino. Terra *Latinoamericana*. 473 p.
- Phaneendranath, B.1980 Influencia de la cantidad de agua en la toalla de papel en prueba de germinación estándar. Editorial Itaca. Distrito federal, MX pp. 82-87.
- Pineda, M. 2004. Resúmenes de fisiología vegetal. Servicios de publicaciones de la Universidad de Córdoba, Córdoba, ES. 204 p.
- Plaza, C B. A. 2002. Efecto de seis sustratos en la adaptación de vitroplantas de frutilla (*Fragaria x AnnanassaDuch. c.v. fern*). Tesis. Escuela militar de Ingeniería. Mcal Antonio José de Sucre "Bolivia". La Paz, BO. 115 p.
- PROINPA, 1995. Instituto boliviano de tecnología agropecuaria IBTA-CIP-COTESU, catalogo boliviano de cultivares No. 2, Cochabamba-BO. 31 p.
- Quezada, M. R. 2008. Simposium sobre producción de Forraje Verde Hidropónico, Centro de Investigación Química Aplicada. Saltillo, MX. 73 p.
- Resh, H. (2001). Cultivos Hidropónicos; Nuevas Técnicas de Producción, Cuarta Edición, Editorial Mundi Prensas. Madrid, ES. 125 p.

- Rodríguez, S. 2003. Hidroponía: una solución de producción en Chihuahua, México. Boletín Informativo de la Red Hidroponía N° 9. Lima, PE. 26 p.
- Rodríguez. 2009. Cascarilla de avena y para de trigo como sustrato para la producción de forraje verde hidropónico. Tecno ciencia Chihuahua, MX. pp. 160-165.
- Romero, V. (2009). Producción de forraje verde en Hidropónia. TecnoAgro. Avances Tecnológicos y Agrícolas. Disponible (en línea) en: <http://www.tecnoagro.com.mx>
- Rotar, P. 2004. Hydroponic techniques sprout healthy, inexpensive fodder. Disponible en: <http://www.isar.org/isar/archive/ST/hydroponics47.html>
- SAGARPA-SENASICA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación /). 2006. Manual de buenas prácticas en producción de leche caprina. Dirección General de Inocuidad Agroalimentaria, Acuícola y Pesquera Delegación Regional. Gómez Palacio, Durango, MX. 152 p.
- Sagi, L. (1987). Cultivos Forrajeros, Quinta Reimpresión, Editorial Olimpia S.A. Buenos Aires, AR. 24 p.
- Salisbury, F.; Ross, C. 1994. Fisiología Vegetal. Madrid, España. Thomson Editores, Spain Paraninfo. ES. 988 p.
- Samperio, R.G. 2007. Forraje Verde Hidropónico. Memorias del VIII congreso de rentabilidad de la producción de forraje verde y conservado. Asociación Hidropónica Mexicana, A.C. Querétaro, MX. pp. 15-20.
- Sanchez. C. 2004. Hidroponía paso a paso cultivo sin tierra. Granja y negocios. Ediciones Ripalme. Lima, PE. 134 p.
- Sica, 2000. Cultivos Controlados. (en línea), Quito, EC. Disponible en <http://www.sica.gov.ec/> Consultado el 23 de marzo de 2015.

Tarrillo, H. 2007. Forraje verde hidropónico, en la alimentación animal (en línea). <http://www.ofertasagricolas.cl/articulos/print.php?id=88> Consultado 15 de junio de 2015.

Urias, E. 1997. Hidroponía. Cultivar sin tierra. Red de Hidroponía. Lima, PE. p. 23.

Van Soest, P.1994. Ecología nutricional en la alimentación de rumiantes. 2º edición New York. Cornell University Press.US. 463 p.

Wikipedia, Foundation Inc. (2007). Wikipedia La Enciclopedia Libre (en línea), disponible en: <http://www.es.wikipedia.org>. Consultado el 12 de julio de 2015

ANEXOS

Anexo 1. Temperaturas a lo largo de la investigación.

DIAS	°T max	°T min	Tmax+Tmin	°T promedio
miercoles	32	10	42	21
jueves	31	8	39	19,5
viernes	33	8	41	20,5
sabado	35	9	44	22
domingo	31	8	39	19,5
lunes	29	5	34	17
martes	29	7	36	18
miércoles	31	6	37	19,5
jueves	35	13	48	24
viernes	36	10	46	23
sábado	38	7	45	22,5
domingo	33	11	44	22
lunes	30	11	41	20,5
martes	36	10	46	23
miércoles	34	12	46	23
jueves	32	8	40	20
viernes	34	5	39	19,5
sábado	31	9	40	20
domingo	35	7	42	21
lunes	29	5	34	17

Anexo 2. Promedio del porcentaje de germinación del FVH de maíz

TRATAMIENTO	REPETICIONES			
	I	II	III	\bar{x}
T0	93	89	91	91
T1	92	94	96	94
T2	93	89	88	90
T3	92	90	91	91

Anexo 3. Promedio de altura de planta del FVH de maíz

TRATAMIENTO	REPETICIONES			
	I	II	III	\bar{x}
T0	22.1	24.4	23.3	23.3
T1	28.6	31.5	30.2	30.1
T2	24	21.2	23.2	22.8
T3	26.6	29	28.1	27.9

Anexo 4. Promedio de longitud de raíz del FVH de maíz

TRATAMIENTO	REPETICIONES			
	I	II	III	\bar{x}
T0	20.5	17.6	19.5	19.2
T1	27.1	24.2	26.1	25.8
T2	17.4	14.5	15.5	15.8
T3	13	10.1	12	11.7

Anexo 5. Promedio del rendimiento del FVH de maíz

TRATAMIENTO	REPETICIONES			
	I	II	III	\bar{x}
T0	14.46	17.36	19.5	19.2
T1	25.19	22.29	26.1	25.8
T2	21.76	24.66	15.5	15.8
T3	24.59	27.49	12	11.7

Anexo 6. Promedio del rendimiento de materia seca del FVH de maíz

TRATAMIENTO	REPETICIONES			
	I	II	III	\bar{x}
T0	2.83	2.88	2.84	2.85
T1	3.13	3.21	3.14	3.16
T2	2.90	2.93	2.91	2.91
T3	1.95	2.01	1.96	1.97

Anexo 7. Promedio del porcentaje de proteína cruda del FVH de maíz

TRATAMIENTO	REPETICIONES			
	I	II	III	\bar{x}
T0	10.33	8.93	9.03	9.43
T1	15.35	16.75	16.65	16.25
T2	14.16	12.76	12.86	13.26
T3	10.67	12.07	10.77	11.17

Anexo 8. Análisis de costos para la producción global de forraje verde hidropónico de maíz

Nº	DSCRIPCION	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs)	CANTIDAD	PRECIO TOTAL (Bs)
1	Semilla	kg	7	4	28
2	Cascarilla de arroz	saco	10	1/5	2
3	Aserrín	saco	7	1/5	1.2
4	Paja de avena	saco	6	1/5	1.4
5	Baldes	Pza.	10	1	10
6	Bañador	Pza.	15	1	15
7	Bandejas.	Pza.	1	12	12
8	Abono inicial	kg	55	0.03	2.2
9	Pistola de agua	Pza.	35	1	35
10	Tela negra	m2	3	4	12
11	Hipoclorito de sodio	ml	0.02	100	2
TOTAL					121.8

Anexo 9. Análisis de costos para la producción de forraje verde hidropónico de maíz por tratamiento

Nº	DSCRIPCION	TRATAMIENTO (0)	TRATAMIENTO (1)	TRATAMIENTO (2)	TRATAMIENTO (3)
1	Semilla	7	7	7	7
2	Sustrato		2	1.2	1.4
3	Baldes	2.5	2.5	2.5	2.5
4	Bañador	3.75	3.75	3.75	3.75
5	Bandejas.	3	3	3	3
6	Abono inicial	0.55	0.55	0.55	0.55
7	Pistola de agua	8.75	8.75	8.75	8.75
8	Tela negra	3	3	3	3
9	Hipoclorito de sodio	0.5	0.5	0.5	0.5
TOTAL		29.05	31.05	30.25	30.45

Anexo 10. Costos totales por tratamiento

TRATAMIENTOS	COSTO TOTAL
T(0) SIN SUSTRATO	29.05
T (1) SUSTRATO DE CASCARILLA DE ARROZ	31.05
T (2) SUSTRATO DE PAJA DE AVENA	30.25
T (3) SUSTRATO DE ASERRIN	30.45



Anexo 11. Disposición de los tratamientos (sustratos) en las bandejas



Anexo 12. Distribución de los tratamientos



Anexo 13. Semillas germinadas



Anexo 14. Riego a los tratamientos con la pistola de agua de forma nebulizada



Anexo 15. Aparición de las primeras hojas del FVH de maíz



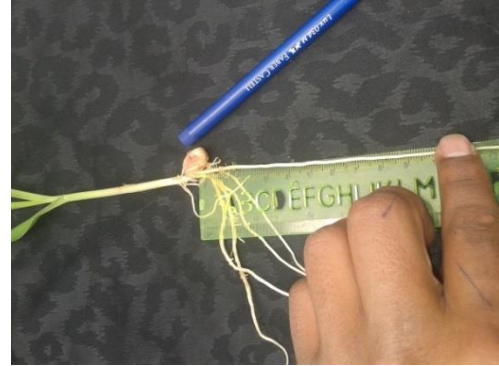
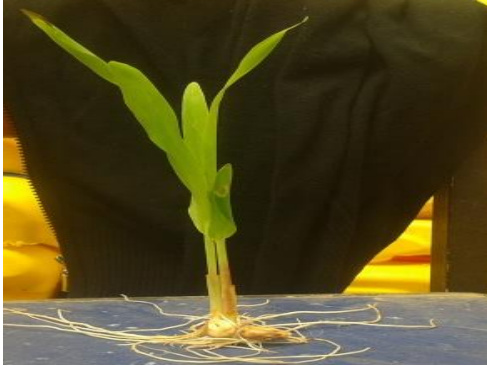
Anexo 16. Toma de datos de la temperatura



Anexo 17. Toma de datos de la altura de planta del FVH de maíz



Anexo 18 y 19. Comparación de los tratamientos en el día de la cosecha.



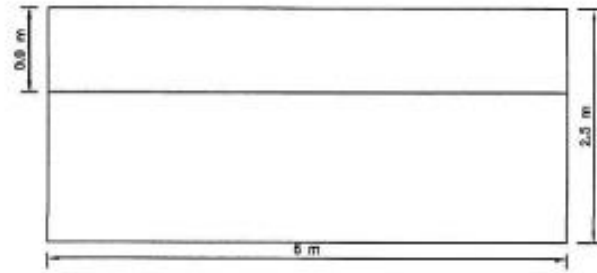
Anexo 20 y 21. Toma de datos para la longitud de raíz en el día de la cosecha.



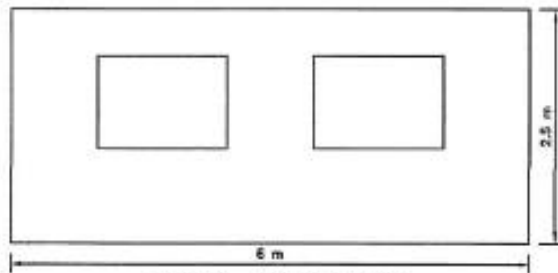
Anexo 22. Pesaje de la producción del FVH de maíz en el día de la cosecha.



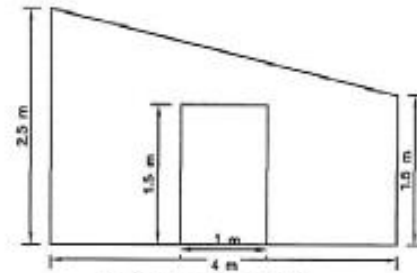
Anexo 23. Día de la cosecha del forraje verde hidropónico.



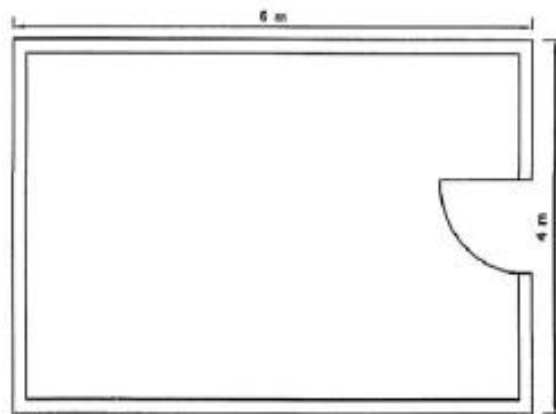
VISTA FRONTAL



VISTA POSTERIOR





VISTA LATERAL



PLANO DE PLANTA

Anexo 24. Plano de la carpa de forraje verde hidropónico, ubicado en la zona Pampahasi de la ciudad de La Paz

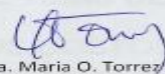
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS Y BIOQUÍMICAS
 INSTITUTO DE SERVICIOS DE LABORATORIO DE DIAGNOSTICO E INVESTIGACIÓN EN SALUD
 (SELADIS)
 LABORATORIO DE BROMATOLOGIA
 Miembro de la Red de Laboratorios Oficiales de Análisis de Alimentos (RELOAA)
 Resolución Ministerial No.0177 Decreto Supremo No. 25729

	INFORME DE RESULTADOS LABORATORIO DE BROMATOLOGIA	CODIGO: 2724	
Informe N°:	64/16		
Producto:	FORRAJE DE MAIZ T-0		
Marca:	S/M	Razón Social	CRISTIAN MAYTA
Procedencia	PAMPAJASI –LA PAZ		
Fecha de recepción muestra:	2016/03/	Fecha de emisión de resultados:	2016/04/07
Fecha de inicio de ensayos:	2016/03/		

RESULTADOS



ENSAYO REALIZADO	UNIDADES	RESULTADOS OBTENIDOS			METODO DE ENSAYO
		R1	R2	R3	
PROTEINA CRUDA	%	10.33	8.93	9.03	KJENDHAL

NSD: No Se Detecta / SLR: Sin Límite de Referencia / EAA: espectro de absorción atómica/
 /<LD menor al límite de detección.


 Dra. Maria O. Torrez T.
 Bioquímica-Farmacéutica

Nota: Los resultados se refieren únicamente a la muestra que ingreso al laboratorio. NB: Norma Boliviana / AOAC: American Organization Analytical

FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS Y BIOQUÍMICAS
 INSTITUTO DE SERVICIOS DE LABORATORIO DE DIAGNOSTICO E INVESTIGACIÓN EN SALUD
 (SELADIS)
 LABORATORIO DE BROMATOLOGIA
 Miembro de la Red de Laboratorios Oficiales de Análisis de Alimentos (RELOAA)
 Resolución Ministerial No.0177 Decreto Supremo No. 25729

	INFORME DE RESULTADOS LABORATORIO DE BROMATOLOGIA	CODIGO: 2724	
Informe N°:	62/16		
Producto:	FORRAJE DE MAIZ T-1		
Marca:	S/M	Razón Social	CRISTIAN MAYTA
Procedencia	PAMPAJASI –LA PAZ		
Fecha de recepción muestra:	2016/03/	Fecha de emisión de resultados:	2016/04/07
Fecha de inicio de ensayos:	2016/03/		

RESULTADOS

ENSAYO REALIZADO	UNIDADES	RESULTADOS OBTENIDOS			METODO DE ENSAYO
		R1	R2	R3	
PROTEINA CRUDA	%	15.35	16.75	16.65	KJENDHAL



NSD: No Se Detecta / SLR: Sin Límite de Referencia / EAA: espectro de absorción atómica/
 /<LD menor al límite de detección.


 Dra. Maria O. Torrez T.
 Bioquímica-Farmacéutica

Nota: Los resultados se refieren únicamente a la muestra que ingreso al laboratorio. NB: Norma Boliviana / AOAC: American Organization Analytical

Anexo 25. Resultados de la proteína cruda de los Tratamientos (T0, T1).

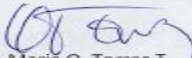
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS Y BIOQUÍMICAS
 INSTITUTO DE SERVICIOS DE LABORATORIO DE DIAGNOSTICO E INVESTIGACIÓN EN SALUD
 (SELADIS)
 LABORATORIO DE BROMATOLOGIA
 Miembro de la Red de Laboratorios Oficiales de Análisis de Alimentos (RELOAA)
 Resolución Ministerial No.0177 Decreto Supremo No. 25729

	INFORME DE RESULTADOS LABORATORIO DE BROMATOLOGIA	CODIGO: 2724	
Informe N°:	63/16	Producto: FORRAJE DE MAIZ T-2	
Marca:	S/M	Razón Social	CRISTIAN MAYTA
Procedencia	PAMPAJASI –LA PAZ		
Fecha de recepción muestra:	2016/03/	Fecha de emisión de resultados:	2016/04/07
Fecha de inicio de ensayos:	2016/03/		

RESULTADOS

ENSAYO REALIZADO	UNIDADES	RESULTADOS OBTENIDOS			METODO DE ENSAYO
		R1	R2	R3	
PROTEINA CRUDA	%	14.16	12.76	12.86	KJENDHAL



NSD: No Se Detecta / SLR: Sin Límite de Referencia / EAA: espectro de absorción atómica/
 /<LD menor al límite de detección.


 Dra. María O. Torrez T.
 Bioquímica-Farmacéutica



Nota: Los resultados se refieren únicamente a la muestra que ingreso al laboratorio.NB: Norma Boliviana / AOAC: American Organization Analytical

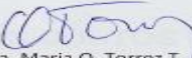
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS Y BIOQUÍMICAS
 INSTITUTO DE SERVICIOS DE LABORATORIO DE DIAGNOSTICO E INVESTIGACIÓN EN SALUD
 (SELADIS)
 LABORATORIO DE BROMATOLOGIA
 Miembro de la Red de Laboratorios Oficiales de Análisis de Alimentos (RELOAA)
 Resolución Ministerial No.0177 Decreto Supremo No. 25729

	INFORME DE RESULTADOS LABORATORIO DE BROMATOLOGIA	CODIGO: 2724	
Informe N°:	65/16	Producto: FORRAJE DE MAIZ T-3	
Marca:	S/M	Razón Social	CRISTIAN MAYTA
Procedencia	PAMPAJASI –LA PAZ		
Fecha de recepción muestra:	2016/03/	Fecha de emisión de resultados:	2016/04/07
Fecha de inicio de ensayos:	2016/03/		

RESULTADOS

ENSAYO REALIZADO	UNIDADES	RESULTADOS OBTENIDOS			METODO DE ENSAYO
		R1	R2	R3	
PROTEINA CRUDA	%	10.67	12.07	10.77	KJENDHAL

NSD: No Se Detecta / SLR: Sin Límite de Referencia / EAA: espectro de absorción atómica/
 /<LD menor al límite de detección.


 Dra. María O. Torrez T.
 Bioquímica-Farmacéutica



Nota: Los resultados se refieren únicamente a la muestra que ingreso al laboratorio.NB: Norma Boliviana / AOAC: American Organization Analytical

Anexo 26. Resultados de la proteína cruda de los Tratamientos (T2, T3).