

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
ESCUELA DE ZOOTECNIA**



**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA UTILIZACIÓN DE DOS
TIPOS DE BIOFERTILIZANTES EN SUSTITUCIÓN DE LA
SOLUCIÓN NUTRITIVA SOBRE EL RENDIMIENTO Y
VALOR NUTRICIONAL DE FORRAJE VERDE
HIDROPÓNICO DE MAÍZ (*Zea mays* L.).**

JENNIFER AMIRA LEAL SALGUERO

LICENCIADA EN ZOOTECNIA

GUATEMALA, ABRIL DE 2016

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
ESCUELA DE ZOOTECNIA**



**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA UTILIZACIÓN DE DOS TIPOS
DE BIOFERTILIZANTES EN SUSTITUCIÓN DE LA SOLUCIÓN
NUTRITIVA SOBRE EL RENDIMIENTO Y VALOR NUTRICIONAL DE
FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE MAÍZ (*Zea mays* L.).**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD

POR

JENNIFER AMIRA LEAL SALGUERO

Al conferírsele el título profesional de

Zootecnista

En el grado de Licenciado.

GUATEMALA, ABRIL DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
JUNTA DIRECTIVA

DECANO: MSc. Carlos Enrique Saavedra Vélez
SECRETARIA: M.V. Blanca Josefina Zelaya
VOCAL I: MSc. Juan José Prem González
VOCAL II: Lic. Zoot. Edgar Amilcar García Pimentel
VOCAL III: M.V. Carlos Alberto Sánchez Flamenco
VOCAL IV: Br. Marylin Eliza Reyes Valenzuela
VOCAL V: Br. Javier Augusto Castro Vásquez

ASESORES

LIC. ZOOT. SERGIO ANTONIO HERNÁNDEZ DE LA ROCA
MSC. KAREN JUDITH HERNÁNDEZ CABRERA

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En el cumplimiento con lo establecido por los reglamentos y normas de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración el trabajo de graduación titulado:

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA UTILIZACIÓN DE DOS TIPOS DE BIOFERTILIZANTES EN SUSTITUCIÓN DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA SOBRE EL RENDIMIENTO Y VALOR NUTRICIONAL DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE MAÍZ (*Zea mays* L.).

Que fuera aprobado por la Honorable Junta Directiva de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

Como requisito previo a optar al título de:

LICENCIADA EN ZOOTECNIA

ACTO QUE DEDICO A:

- A DIOS** Al único merecedor de todo honor, gloria y amor. Porque conocerlo fue lo mejor que pudo pasar en mi vida, porque sin él yo no soy nada. Porque él ha permitido que yo esté donde estoy, porque un día me dio la oportunidad de conocerlo, porque me dió la oportunidad de alcanzar algún día su salvación. Porque cada paso que doy sea para él. Este triunfo es solo para él.
- A MIS PADRES** Jorge Leal y Ofelinda Salguero, por ser el mejor ejemplo de lucha diaria para sacarme adelante. Por ser personas incansables. Por ese apoyo incondicional, amor, entrega y dedicación. Gracias papá y mamá porque este triunfo es nuestro.
- A MI ESPOSO** Kenny Barreno por su amor y amistad; su apoyo incondicional, comprensión y dedicación durante mi desarrollo profesional. Por ser una bendición para mi vida.
- A MIS HERMANAS** Christa, Linda y Sara por ser mis mejores amigas, por su apoyo y ejemplo para ser una mejor persona y guiarme en las dificultades que se han presentado en mi vida. Con su nobleza, entusiasmo y su sonrisa para enfrentar las adversidades.
- A MI ALMA MATER** Universidad de San Carlos de Guatemala, por instruirme y formarme como profesional; a mis catedráticos por su paciencia, dedicación en sus materias, porque gracias a ellos y sus conocimientos ahora llevo bases firmes de honestidad y perseverancia. Logrando así ejercer la profesión que me gusta.

AGRADECIMIENTOS

- A DIOS** Por llenar mi vida día a día con su amor y paciencia, por no dejarme sola en ningún momento y por acompañarme en cada paso que doy, porque sin él mi vida estaría vacía, porque él es mi amigo y mi todo.
- A MIS PADRES** Por su amor, sus principios, valores, y enseñanzas que me proporcionaron.
- A MI ESPOSO** Por ser un ejemplo y guía; por su apoyo incondicional en mi vida.
- A MIS HERMANAS** Por su comprensión y amor; por sus consejos y apoyo incondicional en las decisiones de mi vida.
- A MI FAMILIA** Por siempre estar allí para mí, por su dedicación, tiempo y valores que me han inculcado.
- A MIS ASESORES** Licda. Karen Hernández y Lic. Antonio Hernández de la Roca. Por compartir sus conocimientos conmigo, por haber confiado en mí, y ayudarme en todo el proceso a pesar de sus limitaciones de tiempo, siempre hicieron el espacio para esta investigación, gracias por su apoyo, sus correcciones y por todo lo que han aportado a mi vida, con mucha admiración.
- A MIS COMPAÑEROS DE CLASE** Por su amistad, apoyo y siempre alentarme a seguir adelante.
- A MIS AMIGOS** María José Jimenez, Julissa Ojer, Miguel Muñoz, Willintón Hernández y Josué Hernández por su amistad y apoyo.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
II. HIPÓTESIS	3
III. OBJETIVOS	4
3.1 Objetivo General.....	4
3.2 Objetivos Específicos.....	4
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	5
4.1 Antecedentes.....	5
4.2 ¿Qué es forraje verde hidropónico?	5
4.3 Ventajas del FVH.....	6
4.4 Desventajas del FVH.....	7
4.5 Utilización del FVH en la alimentación animal.....	7
4.6 Factores que influyen en la producción de FVH.....	8
4.6.1 Calidad de la Semilla.....	8
4.6.2 Iluminación.....	8
4.6.3 Temperatura.....	8
4.6.4 Humedad.....	9
4.6.5 Acidez del agua (pH).....	9
4.6.6 Conductividad eléctrica del agua.....	9
4.6.7 Calidad del agua de riego.....	9
4.7 Fertilización en la producción de FVH.....	10
4.7.1 Qué es solución nutritiva.....	10
4.7.2 Composición de las soluciones nutritivas.....	10
4.7.3 Funciones de los nutrimentos en la planta.....	11
4.7.4 ¿Qué es biofertilización ó fertilizantes orgánicos?	12
4.7.5 Lixiviado de lombricultura.....	13
4.7.6 Biofertilizantes elaborados.....	13
V. MATERIALES Y MÉTODOS	15
5.1 Localización.....	15

5.1.1	Clima.....	15
5.1.2	Zona de vida.....	15
5.2	Materiales.....	15
5.3	Metodología.....	16
5.3.1	Diseño experimental.....	16
5.3.2	Tratamientos evaluados.....	16
5.3.3	Selección de la especie de grano a utilizar en la producción de FVH.....	19
5.3.4	Preparación del biofertilizante.....	21
5.3.5	Siembra.....	22
5.3.6	Riego de las bandejas.....	23
5.3.7	Medición del rendimiento.....	25
VI.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
6.1	Altura de las plantas (cm).....	26
6.2	Producción de FVH (kg MV/m ²) y (kg MS/m ²).....	27
6.3	Valor nutricional del forraje verde hidropónico.....	29
6.3.1	Contenido de proteína cruda PC (%) en base seca.....	30
6.3.2	Contenido de extracto etéreo EE (%) en base seca.....	30
6.3.3	Contenido de fibra cruda FC (%) en base seca.....	30
6.3.4	Contenido de cenizas C (%) en base seca.....	31
6.3.5	Extracto Libre de Nitrógeno ELN (%) en base seca.....	31
6.3.6	Total de Nutrientes Digestibles TND (%) en base seca.....	31
6.4	Costo de producción por Kg de MV y MS.....	32
VII.	CONCLUSIONES.....	34
VIII.	RECOMENDACIÓN.....	35
IX.	RESUMEN.....	36
	SUMMARY.....	37
X.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38
XI.	ANEXOS.....	42
11.1	Resultados de altura y rendimiento del FVH.....	43

11.2 Análisis estadístico de altura de las plantas.	44
11.3 Análisis estadístico de la producción de forraje fresco.	44
11.4 Análisis estadístico de la producción de forraje seco.....	45
11.5 Detalle de la clasificación de aguas según método Riverside.	46
11.6 Análisis químico de las muestra de biofertilizantes y agua.	48
11.7 Análisis bromatológico de las muestras de forraje.....	50

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Ventajas de la producción de forraje verde hidropónico.....	6
Cuadro 2	Desventajas de la producción del forraje verde hidropónico.	7
Cuadro 3	Composición de una solución de fertilizante apta para FVH	11
Cuadro 4	Requerimientos nutricionales del forraje verde hidropónico de maíz y sus funciones.....	12
Cuadro 5	Ingredientes para la elaboración de 200L de biofertilizante foliar.....	14
Cuadro 6	Indicadores del clima de la ciudad capital	15
Cuadro 7	Tratamientos evaluados.	17
Cuadro 8	Aporte de nutrientes de los tratamientos	18
Cuadro 9	Programación de riegos durante todo el ciclo de producción.	23
Cuadro 10	Prueba tukey para la variable altura de plantas.	26
Cuadro 11	Prueba tukey para la variable kg MV/m^2	27
Cuadro 12	Prueba tukey para la variable kg MS/m^2	28
Cuadro 13	Resultado del análisis químico proximal.....	29
Cuadro 14	Detalle de los costos de producción del FVH.	32
Cuadro 15	Resultados de altura y rendimiento del FVH a los 16 días de cosecha.....	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Distribución de los tratamientos.	19
Figura 2	Prueba de germinación.	20
Figura 3	Siembra de las semillas en las bandejas.	22
Figura 4	Plantas de maíz, cinco días después de la siembra.	24
Figura 5	Cosecha 16 días después de la siembra.	25
Figura 6	Gráfica de altura de las plantas.	26
Figura 7	Gráfica de producción de forraje seco.	28
Figura 8	Gráfica del valor nutricional del forraje hidropónico.	29
Figura 9	Análisis estadístico de altura de las plantas.	44
Figura 10	Análisis estadístico de la producción de forraje en kg MV/m ²	44
Figura 11	Análisis estadístico de la producción de forraje en kg MS/m ²	45
Figura 12	Cuadro de clasificación del agua.	46

I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo y la apropiación de tecnologías es parte de uno de los mandatos para los ganaderos comerciales, recibidos por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación ONU. A través de procesos, que incluyen capacitación y transferencia de tecnologías aptas para las condiciones socioeconómicas de los países, se intenta promover el desarrollo de herramientas que permitan mejorar las condiciones de vida, e incrementar el ingreso y la alimentación de sus pobladores, (FAO 2009).

La producción convencional de forrajes en regiones áridas y semiáridas tiene problemas como falta de agua, suelos pobres en materia orgánica, con problemas de salinidad y elevados costos de producción. Además, la calidad del forraje no es uniforme durante todo el año, por lo cual, los productores realizan cambios en el suministro de la ración alimenticia, presentándose regularmente pérdida de peso y enfermedades en los animales, (Salas Pérez, L. et al. 2010).

El forraje verde hidropónico (FVH) es una alternativa de producción sostenible que puede mantener y mejorar las condiciones de productividad y sanidad de los animales, ofreciendo ser una opción viable en la nutrición animal. Una característica destacable acerca del FVH es la acelerada producción de biomasa en periodos de 9 a 16 días después de la siembra, (Salas Pérez, L. et al. 2010).

Según los autores, Hidalgo (1985), Dosal (1987), el uso de fertilización en la producción de FVH resulta positivo, aumentando la producción de biomasa. Por otro lado utilizar soluciones nutritivas en el fertirriego del forraje hidropónico es uno de los costos más elevados para el productor.

Por lo tanto es necesario buscar alternativas como subproductos (material orgánico), que no son aprovechables en el medio, los cuales pueden servir para la elaboración de biofertilizantes y ser utilizados en la producción del forraje hidropónico.

Existe poca información científica en relación a la producción de FVH utilizando biofertilizantes, por lo que se hace necesario llevar a cabo diversos estudios que aporten información para este sistema productivo. Bajo esta perspectiva, el objetivo del presente estudio fue evaluar dos tipos de biofertilizantes y una solución nutritiva comercial (testigo), sobre el rendimiento y el valor nutricional del forraje verde hidropónico.

II. HIPÓTESIS

No existe diferencia significativa entre el uso de biofertilizantes y solución nutritiva sobre el rendimiento y valor nutricional del forraje verde hidropónico.

III. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General.

- Generar información para la implementación de sistemas de producción de forraje verde hidropónico, para la alimentación animal.

3.2 Objetivos Específicos.

- Comparar el rendimiento de forraje verde hidropónico (maíz) en términos de kg MV por metro cuadrado, en cada tratamiento a evaluar.
- Determinar el valor nutricional del forraje verde hidropónico en cada tratamiento a evaluar, mediante el análisis químico proximal completo.
- Determinar el costo de producción del forraje verde hidropónico en cada tratamiento a evaluar.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Antecedentes.

El forraje verde hidropónico es una técnica de producción agrícola, en la que se cultiva sin suelo y donde los elementos nutritivos son entregados en una solución líquida. La hidroponía tiene su origen en las palabras griegas “hidro” que significa agua y “ponos” que significa trabajo, o sea, trabajo en agua. (Gómez, M. 2007)

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, (FAO 2001).

La producción del FVH es tan solo una de las derivaciones prácticas que tiene el uso de la técnica de los cultivos sin suelo o hidroponía y se remonta al siglo XVII cuando el científico irlandés Robert Boyle (1627-1691) realizó los primeros experimentos de cultivos en agua. Pocos años después, sobre el final de dicha centuria, John Wood produjo germinaciones de granos utilizando aguas de diferentes orígenes; y comparó diferentes concentraciones de nutrientes para el riego de los granos, así como la composición del forraje resultante. (FAO 2001)

4.2 ¿Qué es forraje verde hidropónico?

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

El proceso se realiza en recipientes planos y por un lapso de tiempo no mayor a los 12 ó 16 días, realizándose riegos con agua hasta que los brotes alcancen un largo de 3 a 4 centímetros. A partir de ese momento se continúan los riegos con fertilizante líquido (solución nutritiva), lo cual tiene por finalidad aportar los elementos químicos necesarios (especialmente el nitrógeno) para el óptimo crecimiento del forraje. (FAO 2001).

El comportamiento productivo de este sistema depende de varios factores que incluyen, las condiciones ambientales, ciclo de cultivo, variedad de la especie forrajera y tipo de fertilización, que puede ser química u orgánica. Es importante señalar que la tecnología de FVH es complementaria y no competitiva a la producción convencional de forraje, (Meza-Carranco 2005).

4.3 Ventajas del FVH.

Cuadro 1 Ventajas de la producción de forraje verde hidropónico.

Ventajas	Descripción
Ahorro de agua.	Las pérdidas de agua por evapotranspiración, escurrimiento superficial e infiltración son mínimas. Consumiendo de 15 a 20 litros de agua por kilogramo de materia seca de FVH.
Eficiencia en el uso del espacio.	Esta eficiencia se obtiene ya que el FVH puede ser instalado en forma modular en la dimensión vertical, lo que optimiza el uso del espacio útil.
Eficiencia en el tiempo de producción.	El FVH tiene un ciclo de 10 a 16 días. Asegurando la producción durante todo el año.
Calidad del forraje.	El FVH en general, tiene un alto valor nutricional y un apropiado nivel de digestibilidad (70-85%).

Fuente: (Meza Carranco 2005).

4.4 Desventajas del FVH.

Cuadro 2 Desventajas de la producción del forraje verde hidropónico.

Desventajas	Descripción
Desinformación y sobrevaloración de la tecnología.	Cuando los proyectos de FVH son llevados a cabo sin conocer exactamente las exigencias del sistema, ocurren fracasos significativos.
Costo de instalación elevado.	Las instalaciones tiene un elevado costo de implementación, sin embargo con la utilización de invernáculos, micro túneles o plástico se han logrado excelentes resultados.

Fuente: (FAO 2001; Morales Odueta, A. S. 1987; Sánchez, A. 2000).

4.5 Utilización del FVH en la alimentación animal.

Los usos del FVH son diversos, pudiéndose utilizar como alimento en: vacas lecheras, caballos, ganado de carne, terneros, gallinas ponedoras, pollos, cerdos, conejos y cuyes. Siendo necesario una investigación para ajustar los consumos diarios en función del peso vivo del animal, raza, y estado fisiológico o reproductivo. (FAO 2001).

El FVH ha demostrado ser una herramienta eficiente y útil en la producción animal. Brevemente, entre los resultados prácticos más promisorios se ha demostrado:

- Aumento significativo de peso vivo en borregos, aquellos alimentados con una dieta basada en forraje hidropónico la ganancia en peso fue de 159 g-día⁻¹, mientras que los borregos alimentados únicamente con alimento concentrado (sorgo y soya a una relación de 4:1), la ganancia de peso disminuyó a 116 g-día⁻¹, valores que son estadísticamente diferentes. La ganancia con la dieta basada en 6 horas de pastoreo complementando con alimento concentrado (tratamiento testigo) tuvo un valor intermedio (132 g-día⁻¹), (Sánchez, F. et al. 2012).

- Aumento de 10% de la producción en vacas lecheras, a partir del uso de FVH obtenido de semillas de avena variedad “Nehuén” (*Avena sativa*) y cebada cervecera variedad “Triumph”, (*Hordeum vulgare*). (Sepúlveda 1994).
- Sustitución en conejos de hasta el 75% del alimento balanceado por FVH de cebada, sin afectar la eficiencia en la ganancia de peso alcanzándose el peso de faena (2,1 a 2,3 kg de peso vivo) a los 72 días, (Sanchez 2000).

4.6 Factores que influyen en la producción de FVH.

4.6.1 Calidad de la Semilla.

El éxito del FVH comienza con la selección de una buena semilla, tanto en calidad genética como fisiológica. La semilla debe presentar como mínimo un porcentaje de germinación no inferior al 75% para evitar pérdidas en los rendimientos de FVH. (FAO 2001).

4.6.2 Iluminación.

La iluminación es importante para cumplir con la función fotosintética, por lo tanto de ello depende la producción de biomasa, (FAO 2001).

4.6.3 Temperatura.

La temperatura es una de las variables más importantes en la producción de FVH. El rango óptimo para producción de FVH se sitúa siempre entre los 18° C y 28 ° C. Es así como los granos de avena, cebada, y trigo, entre otros, requieren de temperaturas bajas para germinar, el rango de ellos oscila entre los 18°C a 21°C. Sin embargo el maíz, necesita de temperaturas óptimas que varían entre los 25°C y 28 °C. (FAO 2001).

4.6.4 Humedad.

La humedad relativa del área de producción no puede ser inferior al 90%. Valores de humedad superiores al 90% sin buena ventilación pueden causar graves problemas fitosanitarios debido fundamentalmente a enfermedades fungosas. La situación inversa (excesiva ventilación), provoca la deshidratación del cultivo y disminución significativa de la producción. (FAO 2001).

4.6.5 Acidez del agua (pH).

El valor de pH del agua de riego debe oscilar entre 5.2 – 7, salvo raras excepciones como lo son las leguminosas, que pueden desarrollarse hasta con pH cercano a 7.5, el resto de las semillas utilizadas (cereales mayormente) usualmente en FVH, no se comportan eficientemente por encima del valor 7, (FAO 2001).

4.6.6 Conductividad eléctrica del agua.

La conductividad eléctrica del agua (CE) indica cuál es la concentración de sales en una solución (fertilizante líquido). Su valor se expresa en miliSiemens por centímetro (mS/cm). Un rango óptimo de CE de una solución de fertilizante estaría en torno de 1,5 a 2,0 mS/cm. Por lo tanto, aguas con CE menores a 1,0 serían las más aptas para preparar la solución de riego, (FAO 2001).

4.6.7 Calidad del agua de riego.

La condición básica que debe presentar un agua para ser usada en sistemas hidropónicos es con característica de potabilidad. Su origen puede ser de pozo, de lluvia, o agua corriente de cañerías, (FAO 2001). Las aguas de riego se clasifican según el método Riverside (ver anexo 11.5), (López C. 2005).

4.7 Fertilización en la producción de FVH.

La fertilización nitrogenada tiene un efecto positivo sobre la producción de materia seca y el contenido de proteína, en el forraje hidropónico, (Vargas, C. 2008). Esta se realiza por medio de soluciones fertilizantes (fertirriego), la cual puede ser de origen químico u orgánico.

4.7.1 Qué es solución nutritiva.

En los cultivos hidropónicos todos los elementos esenciales se suministran a las plantas disolviendo las sales fertilizantes en agua para preparar la solución de nutrientes, (Llanos P. 2001).

4.7.2 Composición de las soluciones nutritivas.

Las soluciones nutritivas están compuestas por sales fertilizantes. Las diferentes sales fertilizantes que se pueden usar para la solución de nutrientes, tienen diferente solubilidad, es decir, la medida de la concentración de sal que permanece en solución cuando la disolvemos en agua. Si una sal tiene baja solubilidad, solamente una pequeña cantidad de esta se disolverá en el agua, lo cual no es útil para los sistemas hidropónicos. En los cultivos hidropónicos las sales fertilizantes deberán tener una alta solubilidad, puesto que deben permanecer en solución para ser tomadas por las plantas. (Llanos P. 2001).

La composición de la solución nutritiva que se utiliza para el fertirriego en forraje verde hidropónico, en especies de gramíneas, se describe a continuación en el cuadro 3.

Cuadro 3 Composición de una solución de fertilizante apta para FVH

Sal Mineral	Cantidad (g)	Elemento que aporta	Aporte en %
Nitrato de Sodio	355	Nitrógeno	0.02
Sulfato de Potasio	113	Potasio	0.017
Superfosfato	142	Fósforo	0.008
Sulfato de Magnesio	100	Magnesio	0.007
Sulfato de Hierro	4	Hierro	0.001
-----	-	Azufre	0.009

Fuente: (FAO 2001)

La solución de fertilizante presentada en el cuadro 4, ha sido probada con muy buen éxito, y desde hace años, en varios países de América Latina y el Caribe. Su aporte, en términos generales, se constituye de 13 elementos minerales (macro elementos y micro elementos esenciales). De acuerdo a esta fórmula para llegar a la solución final o solución de riego se debe preparar dos soluciones concentradas denominadas solución concentrada “A” integrada con los elementos minerales mayores o macronutrientes y una solución concentrada “B” formada con los elementos minerales menores o micronutrientes. (FAO 2001).

4.7.3 Funciones de los nutrimentos en la planta.

Todos los elementos, macro y micro nutrimentos, participan en funciones específicas de la vida de las plantas, sin embargo, dependiendo del elemento, puede existir, en algunos casos, un cierto grado de sustitución, (Bertsch, F. 1995).

A continuación se describe en el cuadro 4 los requerimientos nutricionales para el cultivo de maíz y las funciones de los nutrientes en la planta.

Cuadro 4 Requerimientos nutricionales del forraje verde hidropónico de maíz y sus funciones.

NUTRIENTE	FUNCIÓN EN EL METABOLISMO DE LAS PLANTAS
Nitrógeno 200 ppm	Es el nutriente motor del crecimiento y el componente principal de la mayoría de los aminoácidos que integran las proteínas.
Fósforo 50-100 ppm	Es la fuente de energía para todos los procesos metabólicos.
Potasio 100-200 ppm	Participa en casi todos los procesos, pero no tiene un papel específico. Su rol más relevante lo cumple en todo proceso de traslado de azúcares fotosintetizados.
Magnesio 50-100 ppm	Forma parte de la molécula de clorofila, potenciando de esta manera la síntesis de azúcares. Optimiza el aprovechamiento del fósforo.
Hierro 10 ppm	Actúa como activador enzimático en la síntesis de clorofila junto con el magnesio.

Fuente: (FAO 2001; Bertsch, F. 1995)

4.7.4 ¿Qué es biofertilización ó fertilizantes orgánicos?

La biofertilización es una alternativa en la producción de FVH, a través del aprovechamiento de desechos orgánicos tales como estiércol producidos en gran cantidad en los sistemas ganaderos, los cuales llegan a representar un problema ambiental, (Salas Pérez, L. et al. 2010).

Pant et al. (2009) y Theunissen et al. (2010) señalan que los niveles de crecimiento y producción de biomasa en plantas fertilizadas con fertilizantes orgánicos o biofertilizantes, se deben principalmente a que los nutrientes contenidos en estas soluciones se encuentran en forma iónica y por lo tanto están

disponibles para las plantas. Señalando que la alta disponibilidad de nutrientes en dichas soluciones orgánicas es atribuible a los procesos de fermentación aeróbica y anaeróbica realizados por microorganismos contenidos en la materia orgánica, los cuales actúan como reguladores del crecimiento vegetal, incrementando finalmente la disponibilidad de los nutrientes para las plantas.

4.7.5 Lixiviado de lombricultura.

El lixiviado de lombricultura es derivado del proceso de transformación del material orgánico, por medio de la lombriz coqueta roja (*Eisenia foetida*), para obtener compost y posteriormente el lixiviado.

El lixiviado es el extracto líquido obtenido a partir de la fermentación aeróbica del compost en agua, y ha sido usado en fertirriego debido a su contenido de microorganismos, nutrientes solubles y compuestos benéficos para el desarrollo de las especies vegetales en general. (Salas Pérez, L. et al. 2010).

4.7.6 Biofertilizantes elaborados.

Los biofertilizantes son aquellos obtenidos a través de una fermentación anaeróbica (sin aire). Para su elaboración, se requiere de un recipiente plástico que cierre herméticamente, para no permitir la entrada de aire. Se coloca un tubo plástico flexible que va a terminar en un balde con agua, con el fin de que los gases que se expandan durante el proceso salgan y no entre aire con bacterias dañinas para el proceso dentro del recipiente, (Restrepo, J. 2001).

Los materiales y cantidades necesarias para la elaboración de un biofertilizante foliar, se describen en el cuadro 5.

Cuadro 5 Ingredientes para la elaboración de 200L de biofertilizante foliar

Ingredientes	Cantidades	Otros materiales
Agua	180 litros	1 recipiente plástico de 200 litros
Estiércol fresco	50 kg	1 recipiente plástico de 100 litros
Melaza	1 litro	1 cubeta plástica de 10 litros
Leche	2 litros	1 recipiente plástico de 100 litros
Hojas de leguminosas	5 kg	1 paleta para homogenizar la mezcla

Fuente: (Restrepo, J. 2001)

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Localización.

El estudio fue realizado en la zona 12 de la ciudad de Guatemala, Guatemala.

5.1.1 Clima.

Cuadro 6 Indicadores del clima de la ciudad capital

Localidad	Elevación (Msnm).	Temperaturas C°	Absolutas	Humedad Relativa
		Max – Min	Max - Min	%
Guatemala	1502	24.5 - 14.0	33.4 - 4.2	78

Fuente: (INSIVUMEH 2012)

5.1.2 Zona de vida.

La ciudad de Guatemala, se encuentra dentro de la zona de vida denominada “Bosque húmedo subtropical templado” a una altitud promedio de 1,551.5 msnm. Los meses de lluvia van de Mayo a Noviembre. (IARNA-URL 2012)

5.2 Materiales.

- Cinta métrica
- Cubetas plásticas
- Bandejas plásticas
- Semilla de maíz
- Agua
- Lixiviado de lombricultura
- Biofertilizante a base de estiércol de cabra
- Solución nutritiva comercial
- Módulo de madera

- Aspersores

5.3 Metodología.

5.3.1 Diseño experimental.

El estudio se evaluó mediante el diseño estadístico completamente al azar, donde se observó el efecto de dos biofertilizantes (lixiviado de lombricultura y biofertilizante), en el fertirriego del forraje verde hidropónico, comparado con un tratamiento testigo conformado por riego con solución nutritiva comercial para gramíneas, teniéndose entonces tres tratamientos experimentales con seis repeticiones cada uno.

La evaluación contó con 18 unidades experimentales, cada unidad experimental correspondió a una bandeja de 0.35m x 0.75m, lo cual equivale a 0.26m², los mismos que se distribuyeron bajo un diseño completamente al azar y que se ajustan a la siguiente ecuación.

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \epsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} : Variable de respuesta en la ij-esima unidad experimental.

μ : Media general.

T_i : Efecto del j-esimo tratamiento T_0, T_1, T_2 .

ϵ_{ij} : Error experimental asociado a la ij-esima unidad experimental.

5.3.2 Tratamientos evaluados.

Para la investigación se evaluaron tres tratamientos, los cuales se describen en el cuadro 7.

Cuadro 7: Tratamientos evaluados.

No.	Tratamiento	Descripción
T0	Solución nutritiva para gramíneas	1.25cc sol. A y 0.5cc sol. B por 1L agua
T1	Lixiviado de lombricultura	30cc por 1L agua
T2	Biofertilizante	50cc por 1L agua

Fuente: Elaboración propia.

5.3.2.1 Solución nutritiva comercial.

La solución nutritiva comercial que se utilizó en este ensayo, es la recomendada por la FAO 2001, en su manual de producción de forraje verde hidropónico para especies de gramíneas. Las soluciones nutritivas utilizadas se encuentran en la concentración recomendada para fertirriego, la cual fue de 1.25cc de solución concentrada A y 0.5cc de solución concentrada B por litro de agua respectivamente.

5.3.2.2 Lixiviado de lombricultura.

El lixiviado de lombricultura se obtiene a través del proceso de digestión de la lombriz coqueta roja, la concentración de nutrientes de esta solución es alta y por ende es necesario hacer una dilución. Para la evaluación realizada la solución se encontraba con una concentración de 30cc por litro de agua.

5.3.2.3 Biofertilizante elaborado.

El biofertilizante utilizado en este ensayo fue elaborado a partir de estiércol de cabra, obtenido del autor Restrepo, J. 2001 (ver cuadro 5). La concentración utilizada para la evaluación fue de 50cc por litro de agua, dicha concentración es la recomendada por el autor para aplicaciones foliares.

5.3.2.4 Análisis químico de las soluciones.

Para el análisis químico de las soluciones, se llevó una muestra de cada solución fertilizante correspondiente a los tratamientos de lixiviado de lombricultura y biofertilizante, al Laboratorio de suelos y agua de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala. A cada solución se le realizó un análisis mineral del contenido de nutrimentos que aportan. El análisis químico de la solución nutritiva comercial se obtuvo del laboratorio del Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá.

En el cuadro 8 se muestran los aportes nutricionales de las soluciones utilizadas en la evaluación.

Cuadro 8: Aporte de nutrientes de los tratamientos

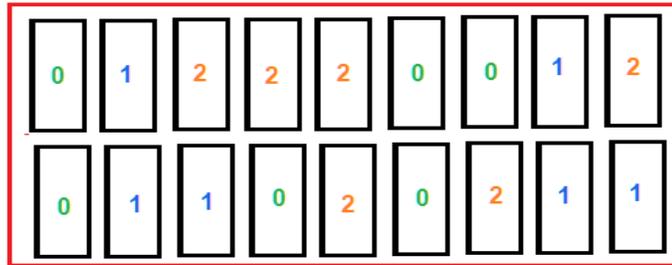
Descripción	Tratamiento	NT %	ppm			
			P	K	Mg	Fe
*Solución nutritiva comercial para gramíneas	T0	0,020	83	178	71	10
Lixiviado de lombricultura	T1	0,004	15	510	23,75	0,2
Biofertilizante	T2	0,012	19,8	119	127,5	4,8

Fuente: Laboratorio de suelos FAUSAC 2014; *INCAP 2014.

5.3.2.5 Distribución de las unidades experimentales.

Los tratamientos se distribuyeron al azar en cada una de las bandejas, como se muestra en la ilustración 1.

Figura 1 Distribución de los tratamientos.



Fuente: Elaboración propia.

5.3.3 Selección de la especie de grano a utilizar en la producción de FVH.

La selección del grano a utilizar depende de la disponibilidad local y del precio a que se logra adquirir. Considerando esto, se decidió utilizar la semilla de maíz.

5.3.3.1 Selección de la Semilla.

La semilla seleccionada para la evaluación provino del Departamento de Santa Rosa, Guatemala, la cual se encontraba libre de impurezas, presentaba tamaño uniforme y no fue tratada con pesticidas. A la semilla se le realizó una prueba de germinación en el laboratorio de fisiología de la Facultad de Agronomía, USAC, tomando como muestra representativa 200 semillas, para evaluar el porcentaje de germinación. El resultado obtenido de la prueba de germinación fue de 97%, calculado de la siguiente manera.

$$\frac{200 \text{ semillas sembradas}}{194 \text{ semillas germinadas}} * \frac{100 \%}{X=?} \rightarrow 97\% \text{ de germinación}$$

Figura 2 Prueba de germinación.



Fuente: Elaboración propia.

5.3.3.2 Lavado de la semilla.

Las semillas se lavaron con agua y se desinfectaron con una solución de hipoclorito de sodio al 1%. Para esto se utilizaron cubetas plásticas, sumergiendo la semilla en dicha solución, durante un tiempo de 2 minutos. El lavado de la semilla tuvo por objeto eliminar hongos y bacterias contaminantes y limpiarla de residuos. Al finalizar este proceso se procedió a enjuagar las semillas con agua limpia.

5.3.3.3 Preparación de las semillas.

Las semillas se sumergieron completamente en agua limpia por un período de 24 horas para lograr su imbibición. El tiempo de este tratamiento fue dividido en 2 etapas de 12 horas cada una, las cuales son:

- Etapa 1: Durante las primeras 12 horas se sumergieron las semillas en agua, esto con la finalidad de inducir una rápida germinación a través de un estímulo efectuado al embrión.
- Etapa 2: La etapa numero dos tiene un intermedio de 1 hora con la primera etapa, este intermedio consistió en sacar las semillas del agua y escurrirlas para oxigenarlas y de esta manera realizar un estímulo al embrión de la semilla. La etapa dos tiene como objetivo continuar con la inducción de germinación, sumergiendo la semilla en nueva agua, remarcando que el cambio de agua ayuda a la oxigenación de las semillas.

Es importante utilizar suficiente cantidad de agua para cubrir las semillas a razón de un mínimo de 0,8 a 1 litro de agua por cada kilo de semilla, (Meza Carranco 2005).

5.3.4 Preparación del biofertilizante.

La preparación del biofertilizante se realizó en un recipiente plástico de 18 litros de capacidad, disolviendo en 10L de agua los siguientes componentes: 5kg de estiércol de cabra, 100ml de melaza, 200ml de leche, 200g de sulfato de Magnesio y 500g de hojas de leguminosas (maní forrajero). Todos los componentes se mezclaron vigorosamente hasta obtener una mezcla homogénea y posteriormente se completó el volumen de agua a 18L. La preparación realizada se tapó y se dejó en reposo en un lugar protegido del sol y la lluvia por un periodo de 25 días.

5.3.5 Siembra.

La densidad de siembra utilizada para la evaluación fue de 3kg de semilla por metro cuadrado, tomando como referencia que la densidad óptima oscila entre 2,2 y 3,4 kilos por metro cuadrado (FAO 2001). Para la distribución de las semillas en las bandejas de producción, se utilizó una capa delgada y uniforme de semillas pre-germinadas, posteriormente se colocó papel periódico humedecido sobre la superficie de las semillas.

Figura 3 Siembra de las semillas en las bandejas.



Fuente: Elaboración propia.

5.3.6 Riego de las bandejas.

El riego utilizado en la evaluación fue por nebulización, previo a la aplicación del riego se realizó un aforo de los nebulizadores, en donde se conoció que el volumen de descarga durante 1 minuto, fue de 250 centímetros cúbicos, el área de mojado de cada nebulizador fue de 3 metros cuadrados.

El riego por nebulización es cuando el agua se expulsa en forma de neblina, a través de emisores colocados en la parte superior del cultivo, el cual además de suministrar agua, contribuye a disminuir la temperatura y elevar el nivel de humedad relativa en el interior del invernadero.

En el cuadro 9, se muestra descrita la programación de los riegos para los tres tratamientos evaluados en este estudio.

Cuadro 9: Programación de riegos durante todo el ciclo de producción.

Producción	No. riegos	Tiempo	cc por riego	cc/m ²	Riego/m ²	Material
Día 1	5	60 seg.	250	83	417	agua
Día 2	5	90 seg.	375	125	625	agua
Día 3	6	60 seg.	375	125	750	agua
Día 4	7	60 seg.	375	125	875	agua
Día 5-14	4	60 seg.	375	125	500	agua
	6	El necesario	250	250	1500	Tratamiento correspondiente
Día 15-16	6	150 seg.	750	250	1500	agua

Fuente: Elaboración propia

Durante los primeros 4 días se aplicaron 0.5 litros de agua por metro cuadrado por día, llegando hasta 1.5 litros por metro cuadrado. Al aparecer las primeras hojas, a los 5 días después de la siembra, se comenzó el riego con los diferentes tratamientos.

Figura 4 Plantas de maíz, cinco días después de la siembra.



Fuente: Elaboración propia.

Del día 5 al 14 se mantuvo un volumen de riego de 1.5 litros de cada tratamiento por metro cuadrado, aplicados con aspersores manuales, esta aplicación de tratamientos fue acompañada por un riego de 0.5 litros agua durante las horas con mayor temperatura 26°C - 28°C, las cuales fueron entre las 11:00 – 15:00 horas, el objetivo de la aplicación de riego es evitar la deshidratación del cultivo.

En los días 15 y 16 de FVH, el riego se realizó exclusivamente con agua, esto con el objetivo de eliminar todo rastro de sales minerales que pudieran haber quedado sobre las hojas y raíces, aplicando un volumen de 1.5 litros de agua por metro cuadrado.

5.3.7 Medición del rendimiento.

La cosecha del FVH se realizó a los 16 días de edad de las plántulas, donde se midieron las variables de altura y peso del forraje fresco. Estas variables fueron medidas en cada una de las bandejas, para luego transformarlas a materia verde por metro cuadrado. Cabe mencionar que la evaluación se llevó a cabo del 07 al 23 de marzo de 2015.

Figura 5 Cosecha 16 días después de la siembra.



Fuente: Elaboración propia.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Altura de las plantas (cm).

La gráfica 1 muestra los resultados de altura de las plantas obtenidos en este ensayo, donde se puede observar que el tratamiento de lixiviado de lombricultura T1, obtuvo mayor altura de las plantas con 30.85cm, comparado con el tratamiento de biofertilizante T2 con 30.20cm y el tratamiento de solución nutritiva comercial T0 con 29.78cm de altura. En el análisis estadístico (ANDEVA) realizado, se obtiene un valor de p de 0.0493, el cual es menor a 0.05, lo que significa que sí existe diferencia significativa entre los tratamientos, lo que se comprobó con la prueba tukey, dando como resultado dos clases de significancia (ver cuadro 10).

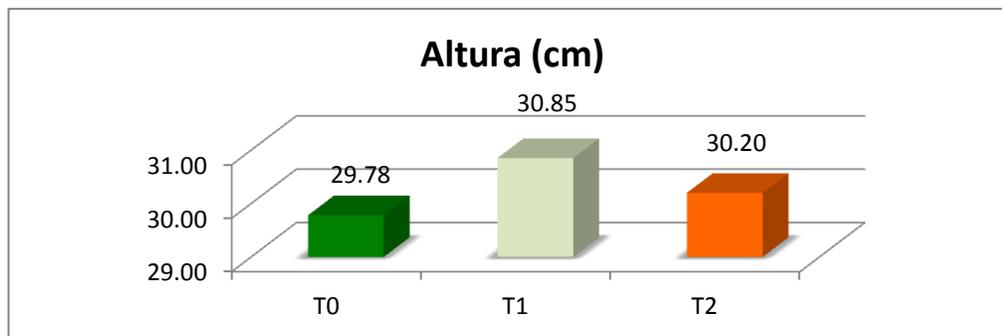
Cuadro 10 Prueba tukey para la variable altura de plantas.

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
0	30,85	6	0,26	A
1	30,2	6	0,26	AB
2	29,78	6	0,26	B

Fuente: Elaboración propia.

El detalle de los muestreos realizados y el análisis estadístico se puede consultar en la parte de los anexos (ver anexo 11.2).

Figura 6 Gráfica de altura de las plantas.



Fuente: Elaboración propia.

6.2 Producción de FVH (kg MV/m²) y (kg MS/m²).

En el rendimiento de materia verde al momento de realizar el análisis estadístico se determinó que no existe diferencia significativa entre los tratamientos evaluados, ya que el valor de p fue mayor a 0.05, obteniendo un valor de $p = 0.8850$. Por lo tanto no se rechaza la hipótesis nula planteada. Los resultados de producción de MV/m² para cada uno de los tratamientos fueron; para el tratamiento de solución nutritiva comercial T0, 25.76kg; para el tratamiento de lixiviado de lombricultura T1, 26.21kg; para el tratamiento de biofertilizante T2, 25.75kg. Los cuales concuerdan con los resultados obtenidos en la investigación realizada por Salas Pérez, L. et al. 2010, donde obtuvo una producción de 25 kg MV/m², a los 16 días de cosecha.

Cuadro 11 Prueba tukey para la variable kg MV/m².

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
1	26,21	6	0,75	A
0	25,76	6	0,75	A
2	25,75	6	0,75	A

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al rendimiento de materia seca del forraje por metro cuadrado, podemos observar que el tipo de fertilización, de igual manera no afecta significativamente, ya que al realizar el análisis estadístico el valor de p fue 0.2473, el cual es mayor a 0.05, demostrando que no existe diferencia significativa entre los tratamientos evaluados. El tratamiento con mayor producción de materia seca de forraje por metro cuadrado fue el tratamiento de lixiviado de lombricultura T1 con 1.95 kg MS/m². Mientras que los tratamientos de biofertilizante T2 y solución nutritiva comercial T0, produjeron 1.88 kg MS/m² y 1.81 kg MS/m² respectivamente. Generando una diferencia de 0.14 kg únicamente.

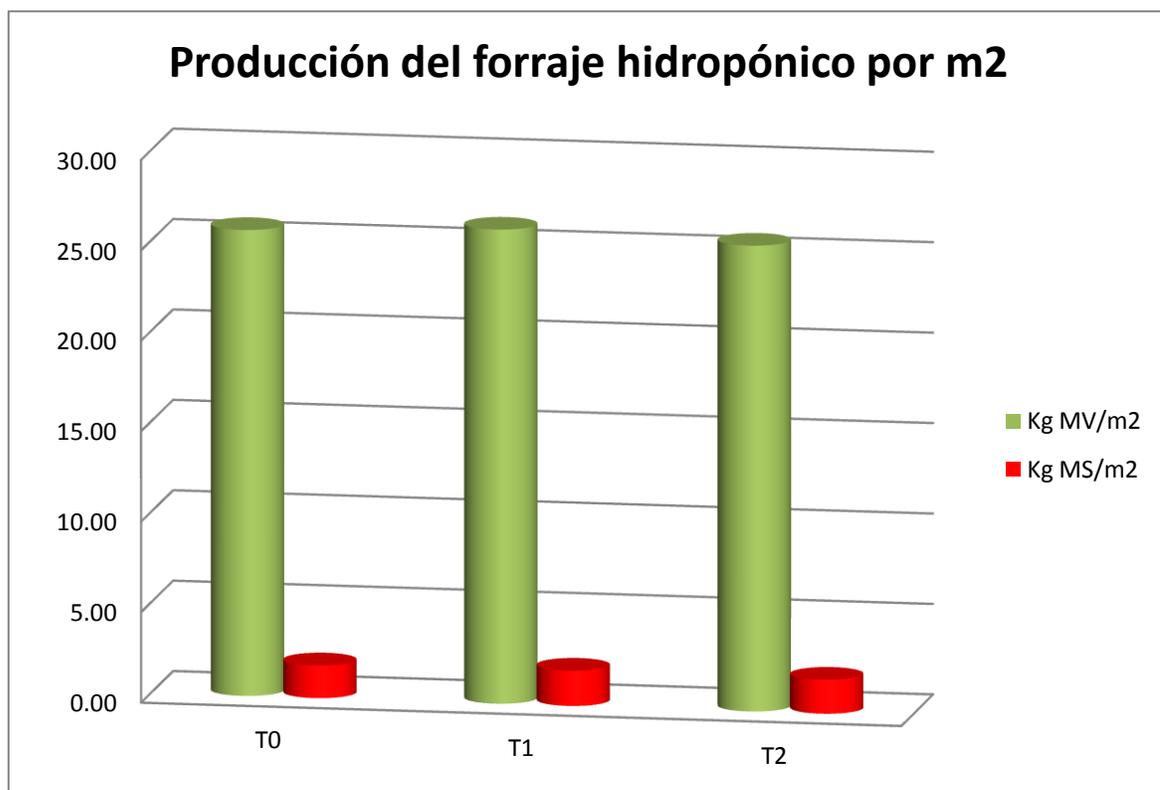
Cuadro 12 Prueba tukey para la variable kg MS/m².

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
1	1,95	6	0,06	A
2	1,88	6	0,06	A
0	1,81	6	0,06	A

Fuente: Elaboración propia.

El detalle de los muestreos realizados y el análisis estadístico se puede consultar en la parte de los anexos (ver anexo 11.3 y 11.4).

Figura 7 Gráfica de producción de forraje seco.



Fuente: Elaboración propia.

6.3 Valor nutricional del forraje verde hidropónico.

Los resultados obtenidos de los análisis químicos proximales, realizados en el laboratorio de Bromatología, son los descritos en el cuadro 13.

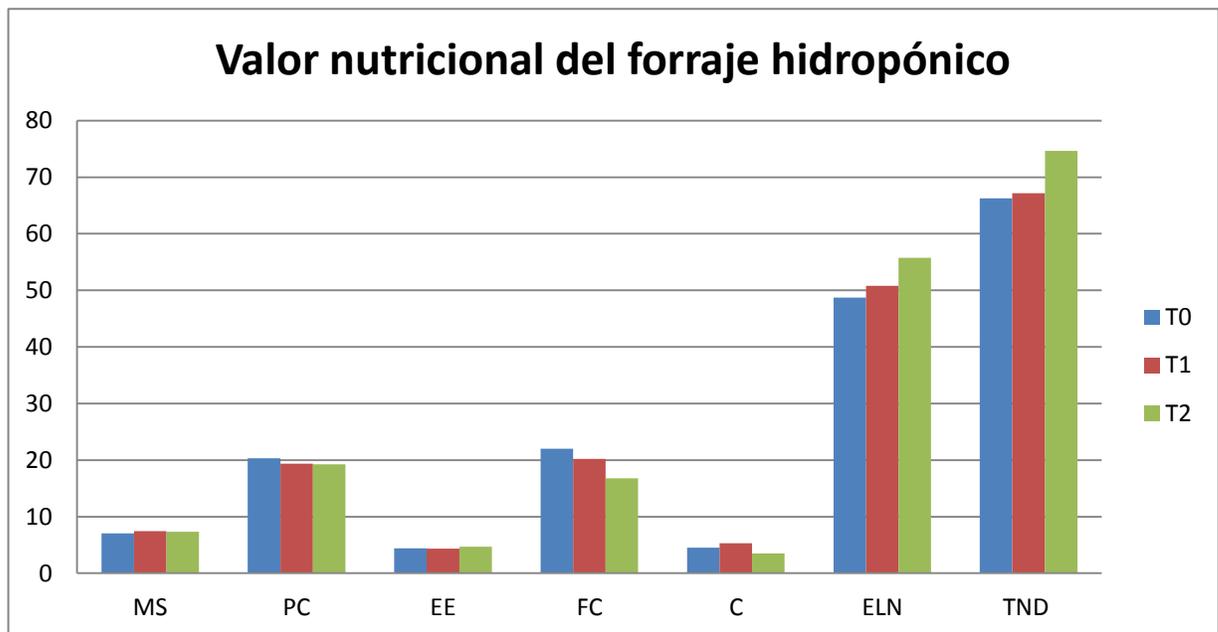
Cuadro 13 Resultado del análisis químico proximal.

Tratamiento	MS %	PC %	EE %	FC %	Cenizas %	ELN %	TND %
T0	7,04	20,30	4,44	22,00	4,55	48.70	66.25
T1	7,43	19,39	4,36	20,20	5,29	50.79	67.14
T2	7,31	19,28	4,67	16,80	3,52	55.73	74.62

Fuente: Laboratorio de Bromatología, FMVZ 2015.

Con los resultados obtenidos del análisis bromatológico se realizó una gráfica de comparación (ver gráfica 3), donde se expresa el contenido de nutrientes del forraje verde hidropónico.

Figura 8 Gráfica del valor nutricional del forraje hidropónico.



Fuente: Elaboración propia.

Todos los componentes nutritivos analizados en el cuadro 13, estuvieron dentro de los intervalos reportados como aceptables en forrajes. Los autores (López et al., 2009; Salas Pérez, L. et al. 2010), mencionan que el suministro adecuado de nutrientes, especialmente nitrógeno (N), es un factor determinante para la acumulación de materia seca y la síntesis de proteína en cultivos sometidos a altas densidades de siembra, como en el FVH.

6.3.1 Contenido de proteína cruda PC (%) en base seca.

El porcentaje mayor de proteína cruda se determinó en el tratamiento de solución nutritiva comercial T0 20.30%, el cual no tuvo una diferencia marcada con respecto a los otros tratamientos, como se puede observar en la gráfica 3. El contenido de proteína determinado en este estudio es similar al encontrado por Maldonado Torres (2013), donde obtuvo valores de 15% hasta 19% de PC, para el forraje verde hidropónico.

6.3.2 Contenido de extracto etéreo EE (%) en base seca.

Como se puede observar en la gráfica 3, el tratamiento de biofertilizante T2, es el que tiene mayor cantidad de extracto etéreo con 4.67%, en relación al tratamiento de solución nutritiva comercial T0 con 4.44% y el tratamiento de lixiviado de lombricultura T1 con 4.36%. Concluyendo que estos poseen poca variabilidad entre los mismos, marcando una diferencia de 0.31% únicamente. (Salas Pérez, L. et al. 2012), encontró que el contenido de grasa en el FVH varía de 4.21% – 4.31%.

6.3.3 Contenido de fibra cruda FC (%) en base seca.

El tratamiento de solución nutritiva comercial T0, es el que tiene el contenido más alto de fibra cruda con un 22%, en relación al tratamiento de lixiviado de lombricultura T1 y el tratamiento de biofertilizante T2, los cuales tienen un contenido de 20.20% y 16.80% de FC respectivamente. Marcando una diferencia de 5.20% de contenido de FC, entre los tratamientos.

6.3.4 Contenido de cenizas C (%) en base seca.

Los resultados obtenidos de los análisis del laboratorio bromatológico, son muy parecidos a los obtenidos por (López et al. 2009) de 5.4% – 6.9%. Ya que en este estudio el forraje con tratamiento de lixiviado de lombricultura T1, tiene mayor contenido de cenizas o minerales totales con 5.29 % en base seca, en relación al tratamiento de solución nutritiva comercial T0 con 4.55 % y el tratamiento de biofertilizante T2 con 3.52 % de cenizas. La variabilidad del contenido de cenizas es de 1.77% entre los tratamientos evaluados.

6.3.5 Extracto Libre de Nitrógeno ELN (%) en base seca.

El ELN está constituido principalmente por carbohidratos digeribles, así como también vitaminas y demás compuestos orgánicos solubles no nitrogenados. Según datos reportados en distintos estudios el FVH debe contener de 46 – 67 % de ELN. Lo cual se cumple en esta investigación, ya que los valores obtenidos se encuentran dentro de estos parámetros. Siendo para el tratamiento el tratamiento de solución nutritiva T0 un valor de 48.70%, el tratamiento de lixiviado de lombricultura T1 50.79% y para el tratamiento de biofertilizante T2 un 55.73%.

6.3.6 Total de Nutrientes Digestibles TND (%) en base seca.

El total de nutrientes digestibles (TND) de un alimento, es una medida aproximada de la digestibilidad del mismo, por lo que un valor mayor de TND, teóricamente indica un mayor valor nutritivo para dicho alimento. Basados en esto podemos concluir que el forraje obtenido del tratamiento de biofertilizante T2, con un valor de TND de 74.62%, tiene un valor nutricional mayor que los tratamientos de solución nutritiva comercial T0 con 66.25% y el de lixiviado de lombricultura T1 con 67.14%.

6.4 Costo de producción por Kg de MV y MS.

Se elaboró un cuadro detallado de cada uno de los costos que conlleva la producción de forraje verde hidropónico, el cual se presenta en el cuadro 14.

Cuadro 14 Detalle de los costos de producción del FVH.

Descripción	Cantidad	Unidad	Precio Q	Costo Q		
				T0	T1	T2
Mano de obra	8	hrs	Q 6.25	Q 16.67	Q 16.67	Q 16.67
Semilla	16.36	kg	Q 3.05	Q 16.63	Q 16.63	Q 16.63
Cloro	70	ml	Q 0.02	Q 0.35	Q 0.35	Q 0.35
agua	0.12	m3	Q 3.80	Q 0.15	Q 0.15	Q 0.15
luz	16	día	Q 0.36	Q 1.92	Q 1.92	Q 1.92
Solución nutritiva comercial	26.25	ml	Q 0.03	Q 0.66		
Lixiviado de lombricultura	15	L	Q 1.27		Q 19.05	
Biofertilizante	0.75	L	Q 2.81			Q 2.11
Costo total				Q 36.38	Q 54.77	Q 37.83
Forraje fresco kg MV				40.19	40.90	40.16
Costo Q / kg MV				Q 0.91	Q 1.34	Q 0.94
Contenido de Materia Seca				7.04%	7.43%	7.31%
Forraje seco Kg MS				2.83	3.04	2.94
Costo Q / kg de MS				Q 12.85	Q 18.02	Q 12.86
Total de Nutrientes Digestibles				66.25%	67.14%	74.62%
Forraje seco digestible Kg MS				1.87	2.04	2.19
Costo Q / kg de MS digestible				Q 19.41	Q 26.84	Q 17.27

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en los cálculos anteriores, la diferencia en los costos de producción del forraje verde fue mínima. Mientras que los costos de producción de forraje seco sí tuvieron una diferencia marcada de Q 5.17 por kg de materia seca producida, por lo que los tratamientos evaluados sí influyeron sobre esta variable, lo cual se ve influenciado por el costo de obtención de las soluciones. Ya que la presentación de la solución nutritiva comercial y el biofertilizante fue de una solución concentrada, mientras que el lixiviado de lombricultura se obtuvo en presentación de solución, por lo que tuvo un valor agregado en el precio.

VII. CONCLUSIONES

- No se presentó diferencia estadísticamente significativa al analizar los valores de rendimiento del forraje hidropónico, en términos de kg MV/m² y kg MS/m².
- Según lo observado en los valores reportados del análisis químico proximal del forraje verde hidropónico, no presentaron una variación marcada en el contenido de nutrientes. Utilizar biofertilizantes tanto como la solución nutritiva, es una opción para el cultivo del forraje verde.
- Bajo las condiciones descritas en este estudio, los costos de producción fueron mayores utilizando el lixiviado de lombricultura, comparado con el biofertilizante elaborado y la solución nutritiva comercial. Sin embargo, estos costos dependen del sistema de producción del forraje verde hidropónico y la fuente de obtención de la solución fertilizante a utilizar.

VIII. RECOMENDACIÓN

- De acuerdo a los resultados obtenidos de rendimiento y valor nutricional del forraje se recomienda utilizar cualquiera de los tratamientos de fertirriego evaluados, ya que no presentaron diferencias significativas en cuanto a la producción de biomasa de forraje hidropónico; ajustándolos al sistema de producción tanto por su utilización en la alimentación animal como por la fuente de obtención de la solución fertilizante.

IX. RESUMEN

El estudio se llevó a cabo con fines de generar información sobre las alternativas para la producción de forraje utilizando tecnología hidropónica. Se evaluó mediante el diseño estadístico completamente al azar, donde se observó el efecto de dos biofertilizantes (lixiviado de lombricultura y biofertilizante), en el fertirriego del forraje verde hidropónico, comparado con un tratamiento testigo conformado por una solución nutritiva comercial para gramíneas.

En cuanto al rendimiento de materia verde y materia seca producida de forraje por metro cuadrado, no existe diferencia significativa entre los tratamientos evaluados, ya que al realizar el análisis estadístico el valor de p fue mayor a 0.05.

Resultado del análisis químico proximal de cada uno de los tratamientos.

Tratamiento	MS %	PC %	EE %	FC %	Cenizas %	ELN %	TND %
T0	7,04	20,30	4,44	22,00	4,55	48.70	66.25
T1	7,43	19,39	4,36	20,20	5,29	50.79	67.14
T2	7,31	19,28	4,67	16,80	3,52	55.73	74.62

Fuente: Laboratorio de Bromatología, FMVZ, 2015.

El total de nutrientes digestibles (TND) de un alimento, es una medida aproximada de la digestibilidad, por lo que un valor mayor de TND, indica mayor valor nutritivo para dicho alimento. El forraje obtenido del tratamiento de biofertilizante T2 tiene un valor nutricional mayor que los otros tratamientos.

De acuerdo a los resultados obtenidos de costos de producción del forraje, fue mayor para el tratamiento de lixiviado de lombricultura T1 ya que el valor de obtención de esta solución fue mayor que el de los otros tratamientos evaluados. En cuanto al rendimiento y valor nutricional del forraje se recomienda utilizar cualquiera de los tratamientos de fertirriego evaluados, ya que no presentaron diferencias significativas en cuanto a la producción de biomasa de forraje hidropónico. Ajustándolos al sistema de producción tanto por su utilización en la alimentación animal como por la fuente de obtención de la solución fertilizante.

SUMMARY

The study was conducted for the purpose of generating information on alternatives for forage production using hydroponic technology. It was evaluated by statistical completely randomized design, where the effect of two biofertilizers (leachate vermiculture and biofertilizer) in fertigation hydroponic green forage, was compared with a control treatment composed of commercial nutrient solution for grass.

The yield of green and dry matter produced forage per square meter, showing that there is no significant difference between treatments evaluated, to perform the statistical analysis the p value was greater than 0.05.

Result of the proximal chemical analysis of each of the treatments.

Treatment	DM %	CP %	EE %	CF %	Ash %	NFE %	TDN %
T0	7,04	20,30	4,44	22,00	4,55	48.70	66.25
T1	7,43	19,39	4,36	20,20	5,29	50.79	67.14
T2	7,31	19,28	4,67	16,80	3,52	55.73	74.62

Source: Laboratory of Bromatology, FMVZ, 2015.

The total digestible nutrients (TDN) of a food, is an approximate measure of the digestibility, so that a higher value of TDN, theoretically indicates a higher nutritional value for that food. The nutritional value of forage obtained biofertilizer treatment T2 was higher than the other treatments evaluated.

According to the results of forage production costs, it was greater for the treatment of leachate worm T1 since the value of obtaining this solution was greater than the other treatments evaluated. In terms of performance and nutritional value of the forage is recommended either fertigation treatments evaluated, since they did not show significant differences in biomass production hydroponic fodder. Adjusting the production system both for its use in animal feed as the source for obtaining the fertilizer solution.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) Bertsch, F. (1995). *La fertilidad de los suelos y su manejo*. San José, Costa Rica; Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.
- 2) Dosal Aladro, JJM. (1987). *Efecto de la dosis de siembra, época de cosecha y fertilización sobre la calidad y cantidad de forraje de avena producido bajo condiciones de hidroponía*. Chillán. Chile; Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de Concepción.
- 3) FAO (Food and Agriculture Organization, IT). (2001). *Manual técnico, Forraje Verde Hidropónico*. Santiago, Chile.
- 4) FAO (Food and Agriculture Organization, IT). (2009). *Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas: una mirada hacia América Latina y el Caribe*. Recuperado de http://www.agroeco.org/socla/archivos_documentos_claves/Agric_Des_LAC.pdf
- 5) Gómez, M. (2007). *Evaluación del Forraje Verde Hidropónico de maíz y cebada con diferentes dosis de siembra para las etapas de crecimiento y engorde de cuyes*. Riobamba, Ecuador. Recuperado de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1813/1/17T0725.pdf>
- 6) Hidalgo, LR. (1985). *Producción de Forraje en Condiciones de Hidroponía. Evaluaciones Preliminares en Avena y Triticali*. Chillán. Chile; Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de Concepción.
- 7) IARNA-URL (Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar). (2012). *Perfil Ambiental de Guatemala 2010-2012. Vulnerabilidad local y creciente construcción de riesgo*. Guatemala.

- 8) INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, GT). (2012). *Estadísticas meteorológicas por departamento*. Recuperado de <http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/ESTADISTICAS.htm>
- 9) López, C. (2005). *Fertirrigación cultivos hortícolas, frutales y ornamentales*. España. Recuperado de <https://books.google.com.gt/books?id=wRpfAwAAQBAJ&pg=PA214&lpg=PA214&dq=Lab.+de+suelos+IRYDA,1973&source=bl&ots=bOtMN0oIHW&sig=BanHqmcuPd-ZwqLSy1urycPUaU&hl=es419&sa=X&ei=AKghVYaABoywsAWu34CICq&ved=0CDQQ6AEwBA#v=onepage&q=Lab.%20de%20suelos%20IRYDA%2C1973&f=false>
- 10) López et al. (2009). *El forraje verde hidropónico FVH: Una alternativa de producción de alimento para el ganado en zonas áridas*. Caracas. Recuperado de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0378-18442009000200009&script=sci_arttext
- 11) Llanos, P. (2001). *La Solución Nutritiva, Nutrientes Comerciales, Fórmulas completas*. Bogotá D.C., Colombia. Recuperado de <http://www.drcalderonlabs.com/Hidroponicos/Soluciones1.html>
- 12) Maldonado Torres, Ranferi, Álvarez Sánchez, Ma. Edna, Cristóbal Acevedo, David, Ríos Sánchez, Everardo. (2013). *Nutrición mineral de forraje verde hidropónico*. Chapingo. México.
- 13) Meza Carranco. (2005). *Evaluación de variedades de maíz y densidad de siembra en la producción de forraje verde hidropónico*. Recuperado de <http://cdigital.dqb.uanl.mx/te/1020150611.pdf>

- 14) Morales Orueta, A. F. (1987). *Forraje Hidropónico y su utilización en la alimentación de corderos precozmente destetados*. Chillán. Chile; Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de Concepción.
- 15) Pant, AP. et al. (2009). *Vermicompost extracts influence growth, mineral nutrients, phytonutrients and antioxidant activity in pak choi (Brassica rapa cv. Bonsai, Chinensis group) grown under vermicompost and chemical fertilizer*. *J. Sci. Food Agric.*
- 16) Restrepo, J. (2001). *Elaboración de abonos orgánicos fermentados y biofertilizantes foliares*. San José, Costa Rica; IICA.
- 17) Salas Pérez, L. et al. (2010). *Rendimiento y calidad de forraje hidropónico producido bajo fertilización orgánica*. Chapingo, México; Terra Latinoamericana. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.
- 18) Salas Pérez, L. et al. (2012). *Rendimiento, calidad nutricional, contenido fenólico y capacidad antioxidante de forraje verde Hidropónico de maíz (Zea mays) producido en invernadero Bajo fertilización orgánica*. México.
- 19) Sánchez, F. et al. (2012). *Producción de forraje hidropónico de trigo y cebada y su efecto en la ganancia de peso en borregos*. Chapingo, México; Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/pdf/rcsh/v19n4/v_19n4a3.pdf
- 20) Sánchez, A. (2000). *Una experiencia de forraje verde hidropónico en el Uruguay*. Lima, Perú; Boletín Informativo de la Red Hidroponía N° 7.
- 21) Sepúlveda, R. (1994). *Notas sobre producción de forraje hidropónico*. Santiago, Chile.

- 22) Theunissen, J. et al. (2010). *Potential of vermicompost produced from plant waste on the growth and nutrient status in vegetable production.*
- 23) Vargas, C. (2008). *Comparación productiva de Forraje Verde Hidropónico de Maíz, Arroz y Sorgo negro forrajero.* Agronomía Mesoamericana. Recuperado de http://www.mag.go.cr/rev_meso/v19n02_233.pdf

XI. ANEXOS

11.1 Resultados de altura y rendimiento del FVH

Cuadro 15 Resultados de altura y rendimiento del FVH a los 16 días de cosecha.

Tratamiento	Bloque	Altura cm	Peso lbs/ue	Peso kgMV/ue	Peso kgMV/m ²	Peso KgMS/m ²
0	1	28.8	14,31	6,50	25,02	1,76
0	2	30.0	15,06	6,85	26,33	1,85
0	3	30.0	16,13	7,33	28,20	1,99
0	4	30.3	13,44	6,11	23,50	1,65
0	5	30.0	14,12	6,42	24,69	1,74
0	6	29.6	15,35	6,98	26,84	1,89
1	1	31.0	14,56	6,62	25,45	1,89
1	2	31.4	14,13	6,42	24,70	1,84
1	3	30.2	16,38	7,45	28,64	2,13
1	4	31.0	15,00	6,82	26,22	1,95
1	5	32.0	15,30	6,95	26,75	1,99
1	6	29.5	14,60	6,64	25,52	1,90
2	1	30.0	15,63	7,10	27,33	2,00
2	2	29.4	16,50	7,50	28,85	2,11
2	3	31.0	13,75	6,25	24,04	1,76
2	4	30.0	13,00	5,91	22,73	1,66
2	5	31.0	14,00	6,36	24,48	1,79
2	6	29.8	15,47	7,03	27,05	1,98

Fuente: Elaboración propia.

11.2 Análisis estadístico de altura de las plantas.

Figura 9 Análisis estadístico de altura de las plantas.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Altura	18	0,62	0,35	2,14

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	6,75	7	0,96	2,30	0,1127
Bloque	3,28	5	0,66	1,56	0,2555
Tratamiento	3,47	2	1,73	4,13	0,0493
Error	4,20	10	0,42		
Total	10,95	17			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,02556

Error: 0,4199 gl: 10

Tratamiento	Medias	n	E.E.
1,00	30,85	6	0,26 A
2,00	30,20	6	0,26 A B
0,00	29,78	6	0,26 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Fuente: Elaboración propia.

11.3 Análisis estadístico de la producción de forraje fresco.

Figura 10 Análisis estadístico de la producción de forraje en kg MV/m².

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso kgMV/m ²	18	0,02	0,00	7,13

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,84	2	0,42	0,12	0,8850
Tratamiento	0,84	2	0,42	0,12	0,8850
Error	51,23	15	3,42		
Total	52,07	17			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=2,77142

Error: 3,4153 gl: 15

Tratamiento	Medias	n	E.E.
1,00	26,21	6	0,75 A
0,00	25,76	6	0,75 A
2,00	25,75	6	0,75 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Fuente: Elaboración propia.

11.4 Análisis estadístico de la producción de forraje seco.

Figura 11 Análisis estadístico de la producción de forraje en kg MS/m².

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso KgMS/m ²	18	0,17	0,06	7,18

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,06	2	0,03	1,54	0,2473
Tratamiento	0,06	2	0,03	1,54	0,2473
Error	0,27	15	0,02		
Total	0,33	17			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,20256

Error: 0,0182 gl: 15

Tratamiento	Medias	n	E.E.
1,00	1,95	6	0,06 A
2,00	1,88	6	0,06 A
0,00	1,81	6	0,06 A

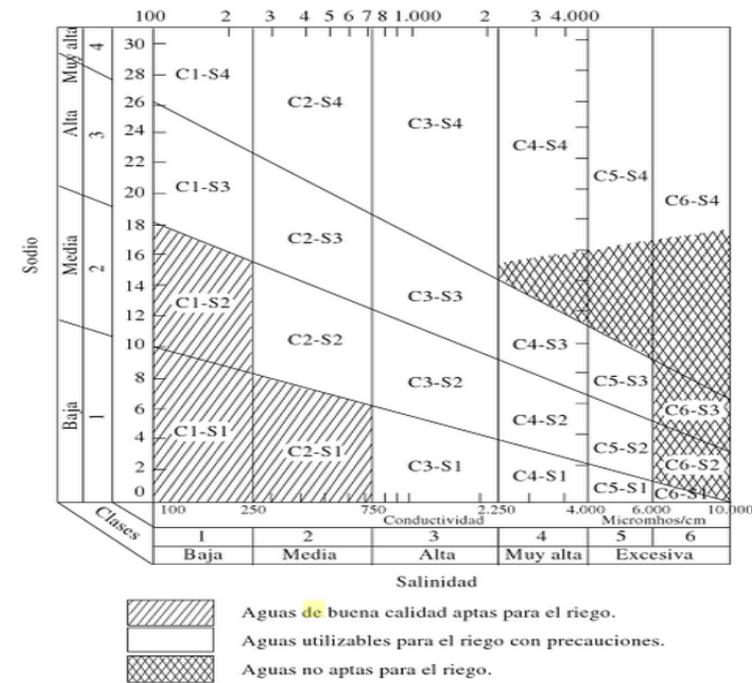
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Fuente: Elaboración propia.

11.5 Detalle de la clasificación de aguas según método Riverside.

La calidad de las aguas se define fundamentalmente según el método Riverside. Las cuales se pueden clasificar de la siguiente manera.

Figura 12 Cuadro de clasificación del agua.



Ver detalle en anexos.

Fuente: López C. 2005.

C1 = Agua de baja salinidad, apta para el riego en todos los casos. Pueden existir problemas solamente en suelos de muy baja permeabilidad.

C2 = Agua de salinidad media, apta para el riego. En ciertos casos puede ser necesario emplear volúmenes de agua en exceso y utilizar cultivos tolerantes a la salinidad.

C3 = Agua de salinidad alta que puede utilizarse para el riego en suelos con buen drenaje, empleando volúmenes de agua en exceso para lavar el suelo y utilizando cultivos tolerantes a la salinidad.

C4 = Agua de salinidad muy alta que en muchos casos no es apta para el riego. Sólo debe usarse en suelos muy permeables y con buen drenaje, empleando volúmenes en exceso para lavar las sales del suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad.

C5 = Agua de salinidad excesiva, que sólo debe emplearse en casos muy contados, extremando todas las precauciones.

C6 = Agua de salinidad excesiva, no aconsejable para riego.

S1 = Agua con bajo contenido en sodio, apta para el riego en la mayoría de los casos. Sin embargo, pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio.

S2 = Agua con contenido medio de sodio, y por lo tanto, con cierto peligro de acumulación de sodio en el suelo, especialmente en suelos de textura fina (arcillosos y franco-arcillosos) y de baja permeabilidad. Deben vigilarse las condiciones físicas del suelo y especialmente el nivel de sodio cambiante del suelo, corrigiendo en caso necesario.

S3 = Agua con alto contenido de sodio y gran peligro de acumulación del sodio en el suelo. Son aconsejables aportaciones de materia orgánica y el empleo de yeso para corregir el posible exceso de sodio en el suelo. También se requiere un buen drenaje y el empleo de volúmenes copiosos de riego.

S4 = Agua con contenido muy alto de sodio. No es aconsejable para el riego en general, excepto en caso de baja salinidad y tomando todas las precauciones. (López C., 2005)

11.6 Análisis químico de las muestra de biofertilizantes y agua.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE SUELO-PLANTA-AGUA "SALVADOR CASTILLO ORELLANA"



INTERESADO: JENNIFER LEAL
FECHA DE INGRESO: 29/9/2014

ANALISIS DE BIOLES

IDENT	pH	mS /cm C.E.	ppm									%
			P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn	Na		NT
M-A	5.7	2.18	15.00	510	22.50	23.75	0.0	0.0	0.2	0.0	27.0	0.004
M-C	6.7	2.12	19.80	119	112.50	127.50	0.0	0.0	4.8	0.1	44.0	0.012



CAMPUS CENTRAL, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
EDIFICIO UVIGER, TERCER NIVEL, CIUDAD UNIVERSITARIA, ZONA 12, GUATEMALA
CODIGO POSTAL 01012. APARTADO POSTAL 1545. TEL: (502)24189308, (502) 24188000 EXT 1562 Ó 1769



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE SUELO-PLANTA-AGUA "SALVADOR CASTILLO ORELLANA"



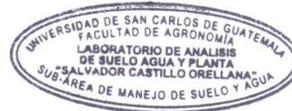
INTERESADO: JENNIFER LEAL
FECHA DE INGRESO: 29/9/2014

IDENT	pH	$\mu\text{S/cm}$ C.E.	Meq/litro				Ppm				RAS	CLASE
			Ca	Mg	Na	K	Cu	Zn	Fe	Mn		
M-B	7.6	302	1.12	0.86	0.83	0.31	0	0	0	0	0.84	C2S1

Según clasificación **USDA** la muestra se clasifica como:

C2 : AGUAS DE MEDIANA SALINIDAD

S1: AGUAS DE BAJA SODICIDAD (bajo contenido de sodio)



CAMPUS CENTRAL, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
EDIFICIO UVIGER, TERCER NIVEL, CIUDAD UNIVERSITARIA, ZONA 12, GUATEMALA
CODIGO POSTAL 01012, APARTADO POSTAL 1545. TEL: (502)24189308, (502) 24188000 EXT 1562 Ó 1769



Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia
Escuela de Zootecnia
Unidad de Alimentación Animal

Elaborado por: Aura Marina de Marroquín
Autorizado por: Lic. Miguel Ángel Rodenas

FORMULARIO BROMATO 7 INFORME DE RESULTADO DE ANÁLISIS



Edificio M6, 2º Nivel
Ciudad de Guatemala
Teléfono: 24188307
E-mail: bromato20

Solicitado por: JENNYFER AMIRAL LEAL SALGUERO.
Fecha de recibida la muestra: 09-02-2015.

CIUDAD, GUATEMALA.
DEL 23-03 AL 25-03-2015.

Dirección: DEL 23-03 AL 25-03-2015.
Fecha de realización:

No. 3

Reg.	Descripción de la muestra	BASE	Agua %	M.S.T. %	E.E. %	F.C. %	PROTEINA CRUDA %	Cenizas %	E.L.N. %	Calcio %	Fósforo %	F.A.D. %	F.N.D. %	Lignina %	Dig. Pepsina %	Dig. K.O.H. %	T.N.D. %	
600	SOLUCION NUTRITIVA	SECA	92.96	7.04	4.44	22.00	20.30	4.55	48.70	...	...	...	...	...	...	...	66.25	
		COMO ALIMENTO	...	...	0.31	1.55	1.43	0.32	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
601	LIXIVIADO DE COMPOST	SECA	92.57	7.43	4.36	20.20	19.39	5.26	50.79	...	...	...	...	...	...	...	...	67.14
		COMO ALIMENTO	...	...	0.32	1.50	1.44	0.39	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
602	BIOFERTILIZANTE	SECA	92.69	7.31	4.67	16.80	19.28	3.52	55.73	...	...	...	...	...	...	...	...	74.62
		COMO ALIMENTO	...	...	0.34	1.23	1.41	0.26	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
TOTAL DE MUESTRAS REPORTADAS EN ESTA HOJA 3																		

OBSERVACIONES:

Dichos resultados fueron calculados en base a materia seca total y fresca. Se prohíbe la producción parcial o total de este informe, para cualquier fin, sin la autorización comunicarse al teléfono 24188307.

T.L. Hans A. Moyá R.
Laboratorista

Lic. Miguel Ángel Rodenas
Jefe Laboratorio de Bromatología

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia
Unidad de Alimentación Animal
Resultados 2015/187
06/04/15

11.7 Análisis bromatológico de las muestras de forraje.