



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

TEMA:

EVALUACIÓN DE TRES SOLUCIONES NUTRITIVAS CON DIFERENTES NIVELES DE BIOL EN LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE CEBADA
(*Hordeum vulgare* L.)

Trabajo de grado previa a la obtención del Título de Ingeniero Agropecuario

AUTOR:

Urresta Insuasti Alexis Rodrigo

DIRECTOR:

Ing. Miguel Alejandro Gómez Cabezas, MSc.

Ibarra, agosto del 2019

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN

CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

“EVALUACIÓN DE TRES SOLUCIONES NUTRITIVAS CON DIFERENTES
NIVELES DE BIOL EN LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO
DE CEBADA (*Hordeum vulgare* L.)”

Trabajo de grado revisado por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza su presentación como
requisito parcial para obtener Título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

APROBADO:

Ing. Miguel Gómez, MSc.

DIRECTOR



FIRMA

Ing. Fernando Basantes, MSc.

MIEMBRO TRIBUNAL



FIRMA

Ing. Marcelo Albuja, MSc.

MIEMBRO TRIBUNAL



FIRMA

Ing. Lucía Vásquez, MSc.

MIEMBRO TRIBUNAL



FIRMA

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1.- IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:		1003863089	
APELLIDOS Y NOMBRES:		Urresta Insuasti Alexis Rodrigo	
DIRECCIÓN:		Ibarra	
EMAIL:		alexisurresta@gmail.com	
TELÉFONO FIJO:	(02) 2644962	TELÉFONO MÓVIL	0999323144

DATOS DE LA OBRA			
TÍTULO:	EVALUACIÓN DE TRES SOLUCIONES NUTRITIVAS CON DIFERENTES NIVELES DE BIOL EN LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE CEBADA (<i>Hordeum vulgare</i> L.)		
AUTOR:	Urresta Insuasti Alexis Rodrigo		
FECHA:	1de agosto del 2019		
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO			
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO	<input type="checkbox"/>	POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Agropecuario		
DIRECTOR:	Ing. Miguel Alejandro Gómez Cabezas, MSc.		

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo, sin los derechos de autores terceros, por lo tanto, la obra es original y es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a 1 día del mes de agosto del 2019

EL AUTOR:

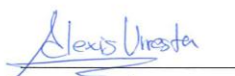

.....
Alexis Rodrigo Urresta Insuasti
C.I.: 1003863089

ACEPTACIÓN

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Manifiesto que la presente obra es original y se la desarrolló sin violar derechos de autores terceros, por lo tanto es original y que soy el titular de los derechos patrimoniales; por lo que asumo la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldré en defensa de la Universidad Técnica del Norte en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a 1 día del mes de agosto del 2019


A handwritten signature in blue ink that reads "Alexis Urresta". The signature is written in a cursive style and is positioned above a horizontal line.

Firma
Alexis Rodrigo Urresta Insuasti
C.I.: 1003863089

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el Sr. Urresta Insuasti Alexis Rodrigo bajo mi supervisión.

Ibarra, a 1 día del mes de agosto del 2019.



Ing. Miguel Alejandro Gómez Cabezas, MSc.
DIRECTOR DE TESIS

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE
LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, Alexis Rodrigo Urresta Insuasti, con cédula de identidad Nro 100386308, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado: **EVALUACIÓN DE TRES SOLUCIONES NUTRITIVAS CON DIFERENTES NIVELES DE BIOL EN LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE CEBADA (*Hordeum vulgare* L.)**, que ha sido desarrollado para optar por el título de: **INGENIERO AGROPECUARIO** en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a 1 día del mes de agosto del 2019.



Firma

Alexis Rodrigo Urresta Insuasti

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA-UTN

Fecha: Ibarra, a 1 día del mes de agosto del 2019

Alexis Rodrigo Urresta Insuasti: “EVALUACIÓN DE TRES SOLUCIONES NUTRITIVAS CON DIFERENTES NIVELES DE BIOL EN LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE CEBADA (*Hordeum vulgare* L.)”

/Trabajo de titulación. Ingeniero Agropecuario.

Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Agropecuaria. Ibarra, a 1 día del mes de agosto del 2019 61páginas.

DIRECTOR: Ing. Miguel Gómez, MSc.

- El objetivo principal de la presente investigación fue Evaluar tres soluciones nutritivas con diferentes niveles de biol en la producción de forraje verde hidropónico de cebada.
- Entre los objetivos específicos se encuentran: Analizar la producción de forraje verde hidropónico en cebada con la aplicación de soluciones nutritivas formuladas con diferentes niveles de biol. Determinar el contenido nutricional del forraje verde hidropónico en estudio. Determinar la relación beneficio-costos de los tratamientos en estudio.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE FIGURAS	i
ÍNDICE DE TABLAS	ii
ÍNDICE DE ANEXOS	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
CAPITULO I.....	1
1. Introducción.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Problema de investigación.....	2
1.3. Justificación	3
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. Hipótesis	4
CAPITULO II.....	5
2. Marco teórico.....	5
2.1. La hidroponía.....	5
2.1.1. Importancia del cultivo hidropónico	5
2.2. Forraje verde hidropónico	5
2.2.1. Instalaciones	6
2.2.2. Ventajas	6
2.3. Procesos de producción del forraje verde hidropónico	7
2.3.1. Selección de la semilla	7
2.3.2. Lavado y desinfección de semilla.....	7
2.3.3. Pre germinación y remojo de semilla	7
2.3.4. Germinación	7
2.4. Beneficios y características forrajeras en la producción de cebada hidropónica	8
2.5. Solución nutritiva	8
2.5.1. Elementos esenciales para la elaboración de la solución nutritiva.....	8
2.5.2. pH en la solución nutritiva	8
2.5.3. Materias primas	9
2.5.4. Soluciones nutritivas típicas	10

2.5.5. Factores que afectan la solución nutritiva	10
2.5.6. Preparación solución nutritiva	12
2.6. El biol	12
2.6.7. Cosecha del biol	12
2.6.8. Aplicación del biol:	12
2.7. Nitrógeno	13
2.8. Clorofila.....	13
2.9. Proteína.....	13
2.10. Fibra.....	14
2.11. Análisis beneficio-costo	14
2.12. Marco legal.....	15
CAPITULO III	17
3. Marco metodológico.....	17
3.1. Descripción del área de estudio	17
3.1.1. Condiciones climáticas	17
3.1.2. Mapa de ubicación del ensayo.....	17
3.2. Materiales y métodos.....	18
3.2.1. Material experimental.....	18
3.2.2. Materiales de campo	18
3.2.3. Materiales de oficina	18
3.2.4. Insumos.....	18
3.3. Manejo del experimento	19
3.3.1. Tratamientos en estudio.....	19
3.3.2. Tratamientos	19
3.3.3. Diseño experimental	19
3.3.4. Características del experimento.....	19
3.3.5. Análisis estadístico	20
3.3.5.1. Diseño de bloques completos al azar.....	20
3.3.6. Variables a evaluarse	21
3.3.6.1. Altura de planta	21
3.3.6.2. Medición de clorofila.....	21
3.3.6.3. Rendimiento	21
3.3.6.4. Contenido nutricional	22
3.4. Manejo específico del experimento.....	23

3.4.1. Preparación del biol	23
3.4.2. Instalación del invernadero.....	24
3.4.3. Obtención de la semilla	25
3.4.4. Preparación solución nutritiva de la FAO	25
3.4.5. Preparación solución nutritiva A	25
3.4.6. Preparación solución nutritiva B	26
3.4.7. Preparación solución nutritiva a base de biol	26
3.4.8. Lavado y desinfección de semilla.....	27
3.4.9. Pre germinación.....	27
3.4.10. Siembra y densidad.....	27
3.4.11. Riego.....	28
CAPÍTULO IV	29
4. Resultados y discusión	29
4.1. Altura de planta	29
4.2. Clorofila.....	31
4.3. Rendimiento	33
4.3.1. Peso fresco.....	33
4.3.2. Materia seca.....	35
4.4. Contenido nutricional	37
4.4.1. Contenido de proteína.....	37
4.4.2. Contenido de fibra	39
4.5. Análisis beneficio-costos	40
CAPÍTULO V	42
5. Conclusiones y recomendaciones	42
5.1. Conclusiones.....	42
5.2. Recomendaciones	43
6. Referencias bibliográficas	44
7. Anexos.....	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Disponibilidad de nutrientes en función del pH.....	9
Figura 2. Modificación del pH por mecanismos fisiológicos en el	9
Figura 3. Componentes necesarios para implementar un sistema	11
Figura 4. Ubicación del área de estudio	17
Figura 5. Toma de datos de contenido de clorofila en plantas de cebada cultivadas en sistemas hidropónicos con distintos niveles de N en forma de biol.....	21
Figura 6. Toma de datos de contenido de clorofila en plantas de cebada cultivadas en sistemas hidropónicos con distintos niveles de N en forma de biol.....	21
Figura 8. Recolección de forraje verde hidropónico de cebada con distintos niveles de N en forma de biol previo al envío al laboratorio.....	22
Figura 7. Pesaje forraje verde hidropónico de cebada con distintos niveles de N en forma de biol para determinar la materia	22
Figura 9. Preparación del biol. a) Recolección del excremento bovino, b) Pesaje de los ingredientes, c) Mezcla del biol, d) Sellado del tanque.	24
Figura 10. Instalación del invernadero. a) Diseño del invernadero, b) Construcción, c) Vista interna, d) Vista externa.	25
Figura 11. Soluciones nutritivas preparadas para su aplicación en el forraje verde hidropónico de cebada	26
Figura 12. Proceso de desinfección y oreo de la semilla para la producción de forraje verde hidropónico con diferentes niveles de N en forma de biol.....	27
Figura 13. Siembra de semilla de cebada pre germinada en bandejas de forraje verde hidropónico	28
Figura 14. Promedio de altura de planta por siembra en forraje verde hidropónico con diferentes niveles y fuentes de N en cebada.	30
Figura 15. Promedio de altura por tratamiento en forraje verde hidropónico con diferentes niveles y fuentes de N en cebada.	30
Figura 16. Contenido de clorofila en forraje verde hidropónico con diferentes niveles y fuentes de N en cebada.....	32
Figura 17. Rendimiento peso fresco por período de siembra en forraje verde hidropónico con diferentes niveles y fuentes de N en cebada.	34
Figura 18. Rendimiento materia seca por m ² por siembra en forraje verde hidropónico con diferentes niveles y fuentes de N en cebada.....	36
Figura 19 Rendimiento materia seca por m ² en forraje verde hidropónico con diferentes niveles y fuentes de N en cebada.	37
Figura 20. Contenido de proteína en forraje verde hidropónico con diferentes niveles y fuentes de N en cebada.....	38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Gasto de agua para producción de forraje en condiciones de campo.....	6
Tabla 2 Valores deseables de macro y micro nutrientes para una solución nutritiva hidropónica	10
Tabla 3 Dosis de aplicación de biol en cultivos de la zona sur de Perú	13
Tabla 4 Tratamientos a evaluar	19
Tabla 5 Análisis de varianza (ADEVA) Evaluación de tres soluciones nutritivas con diferentes niveles de biol en la producción de forraje hidropónico de cebada..	20
Tabla 6 Solución nutritiva A.	25
Tabla 7 Solución nutritiva B.....	26
Tabla 8 Horario de riego establecidos durante los tres ciclos productivos para la producción de forraje verde hidropónico de cebada con diferentes niveles de N en forma de biol.....	28
Tabla 9 Análisis de varianza para altura de planta en forraje verde hidropónico con diferentes niveles y fuentes de N en cebada.	29
Tabla 10 Análisis de varianza para contenido de clorofila en forraje verde hidropónico con diferentes niveles y fuentes de N en cebada.	32
Tabla 11 Análisis de varianza para peso fresco en forraje verde hidropónico con diferentes niveles y fuentes de N en cebada.	33
Tabla 12 Análisis de varianza para rendimiento materia seca por kg/ m ² en forraje verde hidropónico con diferentes niveles y fuentes de N en cebada.....	35
Tabla 13 Análisis de varianza para contenido de proteína en forraje verde hidropónico con diferentes niveles y fuentes de N en cebada.	37
Tabla 14 Análisis de varianza para contenido de fibra en forraje verde hidropónico con diferentes niveles y fuentes de N en cebada.	39
Tabla 15 Prueba de Fisher (LSD) para contenido de fibra en forraje verde hidropónico con diferentes niveles y fuentes de N en cebada.	39
Tabla 16 Análisis de costos de producción, rendimiento y beneficio- costo de forraje hidropónico por unidad de producción (1000 m ²) para los tratamientos en estudio.....	40

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Análisis químico de biol bovino usado en este estudio	54
Anexo 2. Tabla de nutrientes (mg/l) para las soluciones nutritivas evaluadas.....	55
Anexo 3. Medias de altura de planta (cm) por siembra en forraje verde hidropónico con diferentes niveles y fuentes de N en cebada.....	55
Anexo 4. Contenido de clorofila ($\mu\text{mol}/\text{m}^2$) para los diferentes tratamientos en forraje verde hidropónico con diferentes niveles y fuentes de N en cebada.....	55
Anexo 5. Prueba media de Fisher rendimiento kg/m^2 peso fresco en distintas épocas de siembra en forraje verde hidropónico con diferentes niveles y fuentes de N en cebada.....	56
Anexo 6. Conversión de semilla por tratamiento en distintas épocas de siembra en forraje verde hidropónico con diferentes niveles y fuentes de N en cebada	56
Anexo 7. Contenido de materia seca kg/m^2 en distintas épocas de siembra en forraje verde hidropónico con diferentes niveles y fuentes de N en cebada	57
Anexo 8. Análisis contenido nutricional realizado por el método AOAC 2014.....	58
Anexo 9. Porcentaje de proteína de los forrajes evaluados	59
Anexo 10. Costo de invernadero hidropónico de madera artesanal por hectárea.....	59
Anexo 11. Costos de mano de obra por unidad de producción 1000 m^2 por ciclo de cultivo	60
Anexo 12. Costo de la solución nutritiva de la FAO incluida la solución nutritiva A y B para unidad de producción 1000 m^2 por ciclo de cultivo	61
Anexo 13. Costo de las soluciones nutritivas con diferentes niveles de biol para unidad de producción 1000 m^2 por ciclo de cultivo.....	61

EVALUACIÓN DE TRES SOLUCIONES NUTRITIVAS CON DIFERENTES NIVELES DE BIOL EN LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE CEBADA (*Hordeum vulgare L.*)

Autor: Urresta Insuasti Alexis Rodrigo

Director: Ing. Miguel Gómez

RESUMEN

Para la producción de forraje hidropónico se requiere de fertilizantes químicos, como una alternativa; ante esto, se propone el uso de biol como solución nutritiva. El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de tres soluciones nutritivas sobre el rendimiento, calidad nutricional y relación beneficio-costos de forraje verde hidropónico. Se empleó un diseño experimental de bloques completos al azar (tres bloques) con 4 tratamientos: Solución nutritiva con biol igual en N a la solución propuesta por la FAO (T1), Solución nutritiva con biol +25%N (T2), Solución nutritiva con biol -25%N (T3) y solución nutritiva de la FAO (T4). El ensayo se lo realizó en tres siembras consecutivas. Para esto adecuó un invernadero tipo capilla de 14.28 m², con tres caballetes que contenían 4 bandejas en las cuales se colocaron 580 g de semilla de cebada. Las variables evaluadas fueron: altura de planta, medición de clorofila, rendimiento fresco-seco, contenido nutricional y análisis beneficio-costos. El mayor rendimiento obtuvo el T4 siendo superior a los tratamientos T1, T2 y T3 con 42.3%, 44.1% y 14.2%, para cada caso. En lo que se refiere al análisis nutricional para el contenido de proteína no se encontraron diferencias significativas en los tratamientos T2, T3 y T4 con un rango de 15 a 18%. Para el contenido de fibra todos los tratamientos mostraron ser estadísticamente similares con valores entre 25 a 26%. Para la variable clorofila los tratamientos con biol presentaron mayor contenido que los forrajes tratados con T4. Al realizar la relación beneficio-costos los T3 y T4 presentaron los valores más altos con 2.09 y 2.41 USD, respectivamente. La solución nutritiva con biol -25%N podría considerarse como un remplazo a T4, ya que de esta manera se recicla nutrientes y se elimina la dependencia de componentes químicos.

Palabras clave: biol, fertilizantes químicos, forraje hidropónico, reciclaje de nutrientes, solución nutritiva.

**EVALUATION OF THREE NUTRITIVE SOLUTIONS WITH
DIFFERENT LEVELS OF BIOL IN THE PRODUCTION OF CEBADA
HYDROPONIC GREEN FORRAJE (*Hordeum vulgare* L.)**

Autor: Urresta Insuasti Alexis Rodrigo

Director: Ing. Miguel Gómez

ABSTRACT

For the production of hydroponic fodder is required of chemical fertilizers, as an alternative; in the face of this, it is proposed to use biol as a nutrient solution. The objective of this study was to determine the effect of three nutrient solutions on the yield, nutritional quality and benefit-cost ratio of hydroponic green forage. An experimental design of random complete blocks (three blocks) was employed with 4 treatments: Nutrient solution with biol equal in N to the solution proposed by FAO (T1), Nutrient solution with biol +25%N (T2), Nutrient solution with biol -25%N (T3) and solution FAO (T4). The rehearsal was repeated three times in a row. For this he accommodated a 14.28 m² chapel-like greenhouse, with three easels containing 4 trays in which 580 g of barley seed was placed. The variables evaluated were: plant height, chlorophyll measurement, fresh-dry performance and benefit-cost analysis. The highest yield achieved T4 being higher than T1, T2 and T3 treatments with 42.3%, 44.1% and 14.2%, for each case. No significant differences were found in T2, T3 and T4 treatments with a range of 15 to 18% as regards nutritional analysis for protein content. For the fiber content all treatments were shown to be statistically similar with values between 25 and 26%. For the chlorophyll variable biol treatments had higher content than t4-treated fodder. When making the profit-cost ratio, the T3 and T4 had the highest values at \$2.09 and \$2.41, respectively. Nutrient solution with biol -25%N could be considered as a replacement to T4, as this recycles nutrients and eliminates dependence on chemical components.

Keywords: biol, chemical fertilizers, hydroponic fodder, nutrient recycling, nutrient solution.

CAPÍTULO I

1. Introducción

1.1. Antecedentes

La producción agrícola es muy susceptible a los efectos del cambio climático. Los cambios producidos en suelo sumado a la baja disponibilidad de agua, influyen de manera negativa en la producción de alimentos (Fernández, 2013). El aumento de las temperaturas termina por reducir la producción de los cultivos deseados, a la vez que provoca la proliferación de malas hierbas y plagas. Los cambios en los regímenes de lluvias aumentan las probabilidades de fracaso de las cosechas a corto plazo y de reducción de la producción a largo plazo (Nelson, 2009).

A su vez, solo el 24.74 % del suelo del país tiene verdadera vocación agrícola, el 75.26 % restante se destina a especies forestales o es suelo no cultivable, por lo que el modelo de crecimiento del sector agropecuario debería estar enfocado en la competitividad antes que en la ampliación de la frontera agrícola (Jiménez, Castro, Yépez y Wittmer, 2012). Una solución para esto sería la intensificación de la agricultura. Sin embargo, el exceso de fertilizantes en el suelo causa salinidad, pérdida de fertilidad natural, lixiviación de nutrientes, emisión de gases efecto invernadero; y, contaminación de cuerpos de agua superficiales y subterráneas (Cueto y Figueroa, 2012).

La hidroponía se muestra como una alternativa para la agricultura, siendo una técnica en la cual se brinda las condiciones idóneas para el desarrollo y crecimiento de una planta a través de agua y una solución nutritiva completa (Gilzan, 2007). La solución nutritiva se define como disolución de agua que contiene oxígeno, y una fracción o la totalidad de todos los nutrientes completamente sintetizados en forma disponible para la planta (Santos y Rios, 2016). Para un crecimiento idóneo, las plantas necesitan de 16 elementos esenciales, 9 de estos se los conoce como macronutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, sodio, cloro, silicio y azufre), ya que la planta va a hacer uso ellos en cantidades mayores a 40 ppm y 7 elementos menores a 10 ppm conocidos como micronutrientes (hierro, manganeso, cobre, cinc, boro, molibdeno y cobalto) (Consejo Nacional para la Vida y el Trabajo [CONEVYT], 2008).

La solución nutritiva FAO ha sido probada, en varios países de América Latina y el Caribe, su aporte, en términos generales, se constituye de 13 elementos minerales esenciales para el crecimiento de distintas especies hortícolas y cultivos agrícolas. De acuerdo a esta fórmula, para llegar a la solución nutritiva final 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 viables (Food and Agricultural Organization [FAO], 2001).

Aguirre (2014), menciona que si se compara el forraje a cultivo abierto con el forraje verde hidropónico (FVH), el costo de la producción del FVH es 10 veces menor, porque se produce un kilogramo de materia seca por cada ocho litros de agua. En el sistema de producción convencional las pérdidas de agua por evapotranspiración, escurrimiento superficial e infiltración son altas al comparar en cultivo condiciones hidropónicas en forrajes, cuyas eficiencias varían entre 270 a 635 litros de agua por kg de materia seca. Además, posee niveles óptimos de vitaminas, nutrientes esenciales y carotenoides, tiene una alta digestibilidad por su baja presencia de lignina y celulosa. Esto se atribuye a las condiciones ambientales controladas en que se realiza este cultivo. La producción de FVH es económicamente viable por lo que merece ser tomada en cuenta por los pequeños y medianos productores. Si se usa semilla de calidad (porcentaje de germinación mayor al 75%), la eficiencia de conversión por kilo de semilla fluctúa entre 6 a 10 kilos de FVH (FAO, 2001).

Candia (2014), afirma que la utilización de Forraje Verde Hidropónico de cebada fertilizada con soluciones orgánicas podría considerarse una buena opción para incrementar la productividad. Esto fue demostrado al usar soluciones nutritivas con guano de cuy obtenido mejor rendimiento y mayor producción de nutrientes comparado con una solución comercial. Choque (2015), a su vez, con el uso de té de estiércol de llama, obtuvo resultados superiores a trabajos realizados con soluciones nutritivas convencionales.

Las concentraciones de biol influyen en la calidad cualitativa y cuantitativa de la cebada hidropónica, y se recomienda usar concentraciones del 40 % a 60 % en agua de riego; esto se demostró en el porcentaje de materia seca al observar diferencias entre los tratamientos producidos con biol, la cebada producida al 60% obtuvo un 9.87 % y la de menor valor fue la cebada producida al 40% al presentar 8.47%; lo mismo se comprobó para fibra bruta con 25.25 % y 21.25% respectivamente (Beltrán, 2014).

1.2. Problema de investigación

Para producción de forraje verde hidropónico se necesita de fertilizantes químicos, los cuales son importados y su procesamiento es altamente dependiente de energía. Tanto las materias primas como los productos terminados están en manos de unas pocas empresas que la distribuyen, lo que crea una dependencia para los agricultores del país (Aillon y Milques, 2012). Por otra parte, la elaboración de fertilizantes requiere de recursos no renovables y varios autores alertan de su explotación indiscriminada. Por su parte, Angus (2012) mencionó, que para producir fertilizantes nitrogenados se requiere 1% del total de combustible fósil utilizado en el mundo e informa que el fósforo debe ser reciclado porque en el peor de los casos las minas de este mineral estarán agotadas aproximadamente en el año 2030. Adicionalmente, Hendrix (2012) recalcó, que se podría dar lugar a una industria monopolizada, ya que el 87% de las reservas de la roca fosfórica se localizan en 5 países (Estados Unidos, Marruecos, China, Argelia y Siria).

1.3. Justificación

Tanto en las actividades agrícolas como pecuarias se producen desechos orgánicos, que no son manejados de una manera adecuada por lo que contaminan el ambiente. Ante esta condición se propone aplicación de nueva tecnología que permita el tratamiento y procesamiento de estos (León, 2013). El reciclaje de nutrientes es un proceso por el cual una materia o un producto ya utilizado ingresan nuevamente al sistema agrícola. La efectividad del proceso de reciclaje de los nutrientes en pasturas es significativamente afectada por el manejo del pastoreo. Con el reciclaje de nutrientes se puede disminuir la lixiviación de nitrógeno en un 50%, así también, se reduce la lixiviación del fósforo significativamente (Granstedt, Schneider, Seuri y Thomsson, 2008). Es una estrategia para reducir la contaminación de los mares y las emisiones de efecto invernadero; con esto se puede enriquecer los paisajes biológicos y conservar la biodiversidad a largo plazo (economía sostenible) (Stein, Hufnagel y Granstedt, 2013).

El excremento bovino posee todos los nutrientes que la planta necesita para su crecimiento, lo permite la reutilización de los nutrimentos (Capulín, Núñez, Sánchez, Martínez y Soto, 2015). El estiércol fresco y específicamente la fracción líquida (purines) puede ser usada para la nutrición de cultivos, ya sea al suelo o en sistemas hidropónicos, pudiendo ser una fuente importante de nutrientes (Capulín, Núñez. y Etchevers, 2006). Otra forma de dar utilidad al estiércol fresco es a través de la elaboración de biol, mismo que contiene varios ingredientes orgánicos que se descomponen en recipientes herméticamente sellados (Fondo de colaboración para el desarrollo social [FONCODES], 2014). Este tiene la ventaja de ser un producto estable biológicamente, con poca presencia de patógenos y alto contenido de materia orgánica. El biol de bovino contiene un 40.48%, y el de porcino 22.87% de materia orgánica, esto va a depender de los materiales con los que se realice (Biobolsa, 2015).

El uso del biol mejora la frondosidad del cultivo, permite más eficiencia en los cultivos aumentando el rendimiento en maíz, papa y quinua (Instituto nacional de investigación agraria [INIA], 2008). Se presenta como una alternativa al alcance de los pequeños productores que no pueden acceder a los productos químicos por sus altos costos, además de ser importante en la producción ecológica de los cultivos (Mamani, Chavez, y Ortuño, 2014). El uso de biofertilizantes realizados a base de estiércol fermentado podría ser una opción para atender problemáticas de escases de elementos de alta importancia para la agricultura como el N y P (Louis Bolk Institute 2010; SWISSAID 2010).

La producción de forraje hidropónico se puede ver mejorada con la adición de biol, ya que este ayuda a estimular el desarrollo de las plantas, activando su vigor y poder germinativo interpretándose como un aumento significativo en rendimientos de cosecha (Suquilanda, 2006). En el Ecuador, la hidroponía tiene escasa literatura disponible, en muchos casos no adecuando los sistemas de producción a las condiciones del país.

Propone una alternativa al cultivo tradicional, ya que este sistema no es muy usado en nuestro entorno, por lo que los resultados pueden ser una fuente de consulta para aquellos que quieran implementarlo como un recurso de producción (Colón, 2009).

En los países de la región Andina, el uso de la cebada como forraje verde hidropónico ha tenido respuestas positivas, en su composición química y en su producción, pudiendo llegar a sustituir hasta un 75% de la alfalfa por el germinado de cebada en la alimentación de cuyes (Quispe, Paquiyaury, Ramos, Contreras y Véliz, 2016). La finalidad del presente trabajo de investigación es buscar una forma más eficiente de producción de forraje, a través del uso de diferentes niveles de biol en la hidroponía.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar tres soluciones nutritivas con diferentes niveles de biol en la producción de forraje verde hidropónico de cebada.

1.4.2. Objetivos específicos

- Analizar la producción de forraje verde hidropónico en cebada con la aplicación de soluciones nutritivas formuladas con diferentes niveles de biol.
- Determinar el contenido nutricional del forraje verde hidropónico en estudio.
- Determinar la relación beneficio-costos de los tratamientos en estudio.

1.5. Hipótesis

H₀: Las soluciones nutritivas con diferentes niveles de biol producen los mismos efectos en el forraje verde hidropónico de cebada que la solución hidropónica de la FAO.

H_a: Las soluciones nutritivas con diferentes niveles de biol no producen los mismos efectos en el forraje verde hidropónico de cebada que la solución hidropónica de la FAO.

CAPÍTULO II

2. Marco teórico

2.1. La hidroponía

La hidroponía empieza en el siglo XIX, proveniente de las investigaciones de Woodward y Saussure sobre las vías de absorción de los nutrientes que tienen las plantas (Beltrano, 2015). El doctor William Gericke de la universidad de California en la década de 1920, convirtió los métodos de laboratorio a procesos utilitarios para la elaboración de alimentos, más tarde, estos estudios fueron aplicados durante la Segunda Guerra Mundial (Correa, 2009). Actualmente, más del 70% de la vegetación es hidropónica, este alto porcentaje se debe a la gran cantidad de plantas que crecen de forma natural en los océanos y otros hábitats acuáticos (Beltrano y Giménez, 2015).

La hidroponía es un conjunto de técnicas que permite el cultivo de plantas en un medio libre de suelo (Urrestarazu, 2015). A partir de este concepto se desarrollaron procedimientos que se apoyan en medios que sostienen a la planta, conocidos como sustratos en sistemas con aportes de soluciones de nutrientes estáticos o circulantes, considerando las necesidades nutricionales de la planta para su normal desarrollo. Además, de controlar factores como la temperatura, humedad y agua (Marulanda y Izquierdo, 2003). La planta necesita todos los elementos en una solución nutritiva; los que necesita en mayor cantidad se los llama macronutrientes y otros que los necesita en poca cantidad se los denomina micronutrientes u oligoelementos (Zarate, 2014).

2.1.1. Importancia del cultivo hidropónico

El cultivo hidropónico es recomendado cuando no existen suelos disponibles, y cuando se desea sembrar independientemente de la época del año, podría ser una posibilidad ante suelos altamente alcalinos o cansados a causa de los monocultivos. Los cultivos que se desarrollan de mejor manera en este sistema de producción son la lechuga, la col, tomate, pimientos, pepino, entre otros (Alvarea, 2011).

2.2. Forraje verde hidropónico

La producción de Forraje Verde Hidropónico (FVH) consiste en generar alimento fresco, rico en vitaminas, minerales y con alto contenido de humedad a partir de la germinación de semillas, especialmente de gramíneas (Aguirre, 2014). Sumado a esto, la FAO (2001) menciona otras cualidades para estos forrajes como la precocidad de la producción, la alta sanidad, la disponibilidad de siembra en cualquier época del año y localidad geográfica, siempre y cuando se establezcan condiciones mínimas para ello. La cosecha de estos forrajes se realiza en períodos de 10 a 12 días (Carballido, 2007). Es utilizado para alimentación principalmente de ovinos, caprinos, conejos y cuyes, en períodos de sequía y escasez de alimento (Aguirre, 2014).

2.2.1. Instalaciones

La localización de un lugar para producir FVH no presenta grandes requisitos. La unidad de producción debe ser cercana al espacio donde se encuentran los animales, como parte de una buena estrategia, un sitio adecuado para esto sería que existan condiciones agometeorológicas desfavorables para la producción normal de forraje como inundaciones, sequías recurrentes o simplemente suelos con baja fertilidad (Marulanda y Izquierdo, 2003).

Las instalaciones pueden ser artesanales, los componen estructuras sencillas de cañas o palos, revestida de plástico transparente común. El piso es de tierra y las estanterías son simples construidas con materiales que se tiene a la mano, como por ejemplo palos, cañas y restos de madera de envases o desechos de aserraderos (Marulanda y Izquierdo, 2003). Los tamaños de bandejas y formas son muy variados en este tipo de instalaciones (Zarate, 2014).

2.2.2. Ventajas

En el sistema de producción de FVH, las pérdidas de agua por evapotranspiración, escurrimiento superficial e infiltración son bajas si se compara con un sistema tradicional, cuyas eficiencias varían entre 270 a 635 litros de agua por kg de materia seca. Alternativamente, para la producción de 1 kilo de FVH requiere de 2 a 3 litros de agua con un porcentaje de materia seca que oscila 12 % a 18 %, dependiendo de la especie forrajera. Esto se interpreta en un consumo total de 15 a 20 litros de agua por kilogramo de materia seca obtenida en un ciclo corto aproximadamente en 14 días (Marulanda y Izquierdo, 2003).

Tabla1

Gasto de agua para producción de forraje en condiciones de campo

Especie	Litros de agua / kg de materia seca (promedio 5 años)
Avena (<i>Avena sativa</i>)	365
Cebada (<i>Hordeum vulgare</i>)	521
Trigo (<i>Triticum sp</i>)	505
Maíz (<i>Zea mays</i>)	372

Fuente: Carámbula y Terra (2000)

2.3. Procesos de producción del forraje verde hidropónico

2.3.1. Selección de la semilla

Se deben utilizar semillas sin plagas ni enfermedades, no se usan semillas tratadas con fungicidas o preservantes (FAO, 2001). La semilla debe tener parámetros de calidad altos; debe ser entera, seca y tener por lo menos un 85 % de poder germinativo (Ortiz, 2015). Se deben utilizar semillas preferiblemente locales; también las semillas deben estar libres de agentes externos como piedras, paja, tierra, semillas partidas fundamentalmente, que no hayan sido tratadas con agentes tóxicos (FAO, 2001).

2.3.2. Lavado y desinfección de semilla

Se deben lavar las semillas para eliminar desechos, ya que en estas podrían llegar a ser un agente contaminante por la gran cantidad de microorganismos que poseen. Primeramente, se las sumerge y agita por varios segundos, luego remoja eliminando el agua; este procedimiento se repite hasta que las semillas queden completamente limpias (Ortiz, 2015). Para eliminar hongos y bacterias contaminantes se deben lavar y desinfectar las semillas con una solución de hipoclorito de sodio al 1% o solución de lejía preparada, diluyendo 10 ml de hipoclorito de sodio por cada litro de agua (FAO, 2001).

2.3.3. Pre germinación y remojo de semilla

Las semillas pasan por un proceso de remojo con agua por un lapso de 12 a 24 horas, para activar el grano e iniciar su actividad enzimática; además se produce un ablandamiento de cutícula que sirve para facilitar la salida de la raíz (Ortiz, 2015). Este remojo se divide en dos períodos de 12 horas cada uno, considerando una hora de oreado entre las dos etapas (Aguirre, 2014).

2.3.4. Germinación

Se inicia con la siembra de las semillas en las bandejas, a una altura de cama de semillas de 1.5 cm, luego las bandejas son colocadas en estanterías bajo sombra y son regadas con agua tres veces al día, recomendándose el riego con micro aspersores o nebulizadores para climas con baja humedad (Ortiz, 2015).

La siembra se realiza en bandejas plásticas previamente perforadas en uno de los extremos para impedir la acumulación de agua, las bandejas deben situarse en un lugar con temperatura y ausencia de luz para favorecer la germinación (Aguirre, 2014). Las dosis óptimas de semillas a sembrar por metro cuadrado oscilan entre 2.2 kilos a 3.4 kilos considerando que la disposición de las semillas o "siembra" no debe superar los 1.5 cm de altura en la bandeja (FAO, 2001).

2.4. Beneficios y características forrajeras en la producción de cebada hidropónica

La planta de cebada destaca como forraje ya que produce un alto contenido de materia seca. Otras características que la hacen interesante son su alto contenido energético, su buena adaptación a las condiciones de la zona sur en general (Alpizar, 2004). En el caso de la cebada, en las evaluaciones de las variedades se ha llegado a producciones de entre 12 a 18 mil kg de materia seca. Dependiendo del tipo de variedad (Álvarez, 2009).

2.5. Solución nutritiva

La solución nutritiva está constituida por el agua de riego y los nutrientes minerales esenciales, los que se añaden a través de sales o fertilizantes comerciales, en cantidades y proporciones adecuadas, de manera que cubran las necesidades de las plantas durante su crecimiento y desarrollo (Alpizar, 2004).

Cualquier solución nutritiva completa contendrá los macronutrientes esenciales para la planta, tales como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre, elementos que la planta requiere en cantidades relativamente elevadas. También deberá contener los micronutrientes esenciales, como hierro, zinc, manganeso, cobre, boro y molibdeno, aportados generalmente a partir de un complejo comercial (Baixauli y Aguilar, 2002).

Actualmente no existen soluciones específicas por estados de desarrollo, variedades, métodos de cultivo, especies o condiciones climáticas. Además, es posible que jamás existan esa información tan precisa porque la inmensidad de factores de que afectan la producción es tan grande que las soluciones nutritivas podrían ser innumerables (Beltrano y Giménez, 2015).

2.5.1. Elementos esenciales para la elaboración de la solución nutritiva

Para un desarrollo adecuado las plantas necesitan de 16 elementos esenciales, de los cuales 9 se requieren en cantidades mayores a 40 ppm conocidos como macronutrientes (Hidrógeno, Carbono, Oxígeno, Nitrógeno, Calcio, Fósforo, Magnesio, Potasio y Azufre) Y 7 elementos se requieren en cantidades menores a 10 ppm, conocidos como micronutrientes (Cloro, Zinc, Boro, Hierro, Cobre, Manganeso, Molibdeno) (Conevyt, 2008).

2.5.2. pH en la solución nutritiva

Un factor a tener en cuenta en una solución nutritiva es el pH. Este parámetro juega un papel fundamental en la disponibilidad de los elementos para la planta, bien por la insolubilización de éstos, bien por el paso a una forma no asimilable por las raíces (Figura 1). En determinados casos, los dos procesos se dan a la par. Por otra parte, los pH extremos dañan directamente las raíces (Santos y Ríos, 2016).

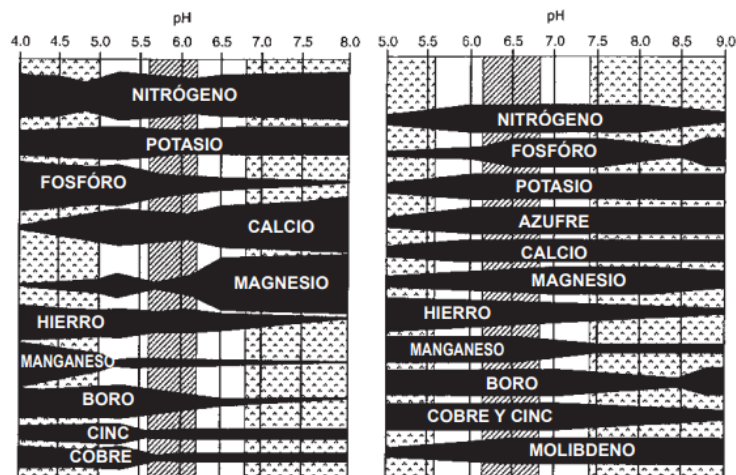


Figura 1. Disponibilidad de nutrientes en función del pH
Fuente: Bailey (1996).

La planta es capaz de modificar el pH del entorno radicular por la absorción diferencial de los iones presentes en la disolución (Figura 2). De forma muy simplificada, si la planta toma aniones la raíz libera OH⁻ para mantener el equilibrio de cargas, alcalinizando la solución. La absorción de cationes produce, por el contrario, una acidificación al liberar la raíz iones H⁺. Si la planta toma más cationes que aniones, baja el pH y si toma más aniones que cationes, sube el pH (Santos y Ríos, 2016).

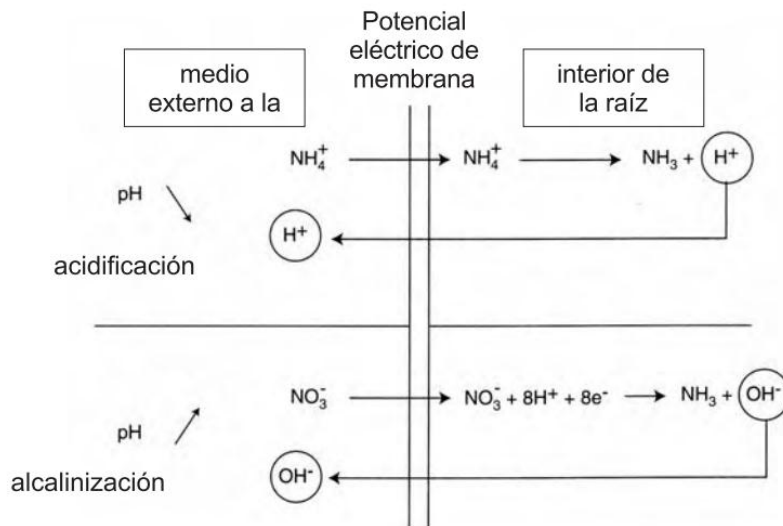


Figura 2. Modificación del pH por mecanismos fisiológicos en el medio interno y externo de la raíz
Fuente: Lemaire et al. (1989).

2.5.3. Materias primas

El material esencial para la preparación de las soluciones hidropónicas, está representado por un grupo de sales inorgánicas que contienen uno o varios de los elementos que requieren las plantas para su crecimiento (Chavez, Rangel y Mendoza,

2006). Como estas necesitan del aporte de una veintena de elementos, es necesario entonces, realizar una combinación de distintas sales en diferentes proporciones, a fin de que en la mezcla obtenida se encuentren presentes todos los nutrientes imprescindibles para la planta (Beltrano y Giménez, 2015). No existe una fórmula específica pues existen diversas combinaciones de sales para ofrecerle al cultivo los elementos necesarios (Santos y Ríos, 2016).

Tabla 2

Valores deseables de macro y micro nutrientes para una solución nutritiva hidropónica

Elemento	Límites	Óptimo
Nitrógeno	150-1000	250
Calcio	100-500	200
Magnesio	50-100	75
Fósforo	50-100	80
Potasio	100-400	300
Azufre	200-1000	400
Cobre	0.1-0.5	0.5
Boro	0.5-5	1
Hierro	2-10	5
Manganeso	0.5-5	2
Molibdeno	0.01-0.05	0.02
Zinc	0.5-1	0.5

Fuente: Douglas (1976)

2.5.4. Soluciones nutritivas típicas

Los trabajos de investigación de varios científicos a lo largo del tiempo han dado como resultado propuestas de soluciones nutritivas típicas (Correa, 2009). Es difícil decir que pueda haber una solución nutritiva mejor que otra, en general son bastante similares en su concentración, diferenciándose mayormente por los tipos de cultivos producidos (Beltrano y Giménez, 2015). Por otro lado, la mayoría de las soluciones que actualmente existen están basadas en el primer trabajo de Hoagland y Arnon (Oasis, 2017).

2.5.5. Factores que afectan la solución nutritiva.

Oasis (2017), menciona que para obtener resultados satisfactorios con la solución nutritiva se deben controlar los siguientes factores:

- Calidad del agua: Todas las fuentes de agua naturales contienen algunas impurezas, algunas son benéficas para el crecimiento de las plantas y otras son perjudiciales; si se pretende iniciar un proyecto de hidroponía de tamaño

comercial, se debe hacer un análisis químico del agua que se vaya a usar como fuente para evitar posibles problemas nutricionales.

- Sólidos totales (idealmente no debe sobrepasar los 250 ppm, si el valor es de 3000 ppm no deberá usarse).
- Cloruros (si los sólidos totales exceden los 500 ppm).
- Dureza (para ajustar los niveles de calcio y magnesio en la solución nutritiva). Metales pesados (deben estar libres de sulfuros y cloros ya que en ciertas cantidades son tóxicos para las plantas).
- Temperatura de la solución: La temperatura radicular es muy importante para la mayoría de cultivos, ya que, si no se encuentra en su temperatura ideal, la planta detendrá su crecimiento y en algunos casos, se puede manifestar deficiencias nutrimentales. De manera general, la temperatura de las raíces no debe bajar de 13°C ni estar sobre los 30°C, puede variar dependiendo del cultivo el rango.
- Oxigenación: En la zona radicular se debe tener muy buena oxigenación, ya que los pelos radiculares requieren O₂ para realizar sus procesos fisiológicos. En los cultivos en solución, se menciona por algunos autores como Ellis y Swaney que el nivel adecuado en la solución nutritiva debe ser entre las 5 a 8 ppm a una temperatura de 15.5 °C de la solución.

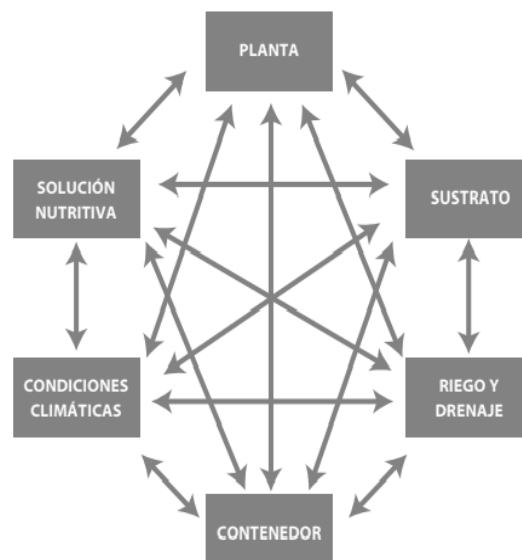


Figura 3. Componentes necesarios para implementar un sistema hidropónico

Fuente: Aguirre (2014)

2.5.6. Preparación solución nutritiva

FAO (2001), menciona que la solución nutritiva final, comúnmente llamada también solución concentrada de riego se prepara, en base a los aportes realizados por una única solución madre. Este es un procedimiento sencillo y rápido, lo cual denota que para la producción de FVH no se necesitan grandes y complicados procedimientos.

La fórmula FAO, se prepara a través de una mezcla de soluciones nutritivas madres o concentradas, llamadas “A” y “B”.

2.6. El biol

Es un fertilizante foliar (líquido) de origen orgánico, que es producto de la descomposición anaeróbica (sin aire), de los desechos orgánicos, sustratos de plantas (leguminosas: alfalfa, arveja, haba, etc.) y estiércol fresco de animales (vacuno, porcino, ovino, gallinas, cuy, etc.) que se obtienen por medio de la filtración del bioabono y que se aplica a los cultivos para mejorar su crecimiento y desarrollo estimulando una mayor resistencia a plagas y enfermedades (Jaén, 2011).

Suquilanda (2006), indica que el biol es una fuente de fitorreguladores, que se obtienen como producto del proceso de descomposición anaeróbica de los desechos orgánicos. Para corregir los desequilibrios que se manifiestan en ataques de plagas y enfermedades, la agricultura urbana sostenible utiliza productos elaborados a partir de materiales simples, sustancias o elementos presentes en la naturaleza (aunque en algunos casos pueden incorporar productos sintéticos) que protegen y/o mejoran los sistemas productivos en los que se aplican y que se denominan biopreparados. Son sustancias y mezclas de origen vegetal, animal o mineral presentes en la naturaleza que tienen propiedades nutritivas para las plantas o repelentes y atrayentes de insectos para la prevención y control de plagas y/o enfermedades.

2.6.7. Cosecha del biol

Jaén (2011), propone al finalizar el proceso de fermentación se procede a la cosecha del Biol (aproximadamente dos meses). Tomar en cuenta las siguientes consideraciones agitar el biol, utilizar un colador, en recipientes plásticos realizar el etiquetado e incluir la fecha de elaboración y finalmente almacenar en lugares frescos.

2.6.8. Aplicación del biol:

Según Felipe y Moreno (2004), el biol por lo general es aplicado por sistemas de irrigación como un fertilizante líquido. Por lo cual en la Tabla 3 se detallan los tipos de cultivo y las dosis comúnmente usadas.

Tabla 3

Dosis de aplicación de biol en cultivos de la zona sur de Perú

Cultivo	Dosis
Papa	300 L. de biol/ha. En tres aplicaciones foliares. Cada aplicación en una disolución de 50 % (100 L de biol en 200 L. de agua).
Algodón	160 L. de biol/ha. En cuatro aplicaciones foliares. Cada aplicación en una disolución de 20 % (40 L de biol en 200 L. de agua).
Uva	320 L. de biol/ha. En cuatro aplicaciones foliares. Cada aplicación en una disolución de 20 %.
Maíz	160 L. de biol/ha. En cuatro aplicaciones.
Espárrago	320 L. de biol/ha. En cuatro aplicaciones. Cada aplicación en una disolución de 20 %.

Fuente: Granja Casa Blanca Perú (2004)

2.7. Nitrógeno

El N cumple funciones esenciales en las plantas tanto en formas orgánicas como inorgánicas. Este nutriente juega un rol esencial en el crecimiento del vegetal, ya que es constituyente de moléculas como: clorofila; aminoácidos esenciales; proteínas; enzimas (Perdomo, Barbazán y Durán, 2015). La planta puede absorber el nitrógeno en forma de nitrato (NO³) o amonio (NH₄) (Molina, 2002).

El nitrógeno (N) es uno de los nutrientes más importantes en las plantas, favorece un crecimiento rápido de tallos y hojas, asegura el color verde oscuro y aumenta la producción (Perdomo, Barbazán y Durán, 2015). Está altamente relacionado con el contenido proteico ya que forma parte de los aminoácidos y por ende de la estructura de las proteínas en los cultivos (16 a 18 %). La deficiencia provoca un crecimiento retardado y mala formación de granos y frutos (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación [SAGARPA], 2012).

2.8. Clorofila

La clorofila es el pigmento fotosintético más importante, la molécula cromófora interviene directamente en el proceso de absorción y conversión de la energía luminosa (Inanc, 2011). Este pigmento se ubica en las membranas tilacoidales, su color verde se debe a que absorben todas las longitudes de onda de la luz visible, el cual es reflejado y percibido por nuestros ojos (Jeffrey, 1989). Están conformadas por estructuras policíclicas planas estables, formados por cuatro anillos pirrólicos, donde los cuatro átomos de nitrógeno que poseen estos cuatro anillos están asociados a un átomo de Mg² (Stryer, 2002).

2.9. Proteína

La proteína es un nutriente esencial de los alimentos que está formado por cadenas repetitivas de aminoácidos (Boatella, 2004). Es uno de los componentes más variable en las pasturas, los factores que inciden sobre el valor nutritivo modificarán notoriamente el contenido de proteína. Las proteínas foliares se concentran principalmente en los cloroplastos, a su vez el 40 % de estas proteínas cloroplásticas son solubles en soluciones. A esto se suma el contenido de proteína de las gramíneas puede variar entre 3% en una gramínea tropical y muy madura hasta más de 30% en una pastura muy tierna y fertilizada (Cruz y Lemaire, 1996). En términos generales, el contenido de pared celular está inversamente relacionado con el contenido de proteína, el contenido de celulosa suele ser de 20 a 30% de la materia seca, en tanto que las hemicelulosas pueden variar entre 10 y 30 % (Cantagio, 1997).

2.10. Fibra

En nutrición animal y química agrícola la fibra es un término indefinido. Cruz y Sánchez (2012), la describen como: a) la fracción menos digestible de los alimentos, b) el componente estructural de la pared celular de las plantas, c) la porción del alimento digerida principalmente en el rumen y d) la fracción del alimento que promueve la rumia. Desde el punto de vista de la fisiología de la nutrición, la fibra es la porción del alimento que: a) limita la digestión, b) requiere ser masticada para la reducción del tamaño de partícula y c) ocupa espacio en el rumen (Cantagio, 1997).

Weis (1993), menciona que la fibra juega un papel muy importante dentro de la alimentación del ganado lechero y rumiantes en general. Es indispensable para mantener la funcionalidad ruminal, estimular el masticado, la rumia y mantener un pH adecuado que permita la buena salud y digestión. El contenido de fibra en la dieta se asocia con la composición de la leche, ya que por medio de su digestión se producen los principales precursores de la grasa láctea. Además, la calidad y cantidad de fibra consumida afectan la capacidad de consumo voluntario y la cantidad de energía que pueda aportar una ración. Así, la fibra tiene implicaciones importantes en las prácticas de alimentación del ganado lechero al afectar la salud, la producción y servir para estimar el contenido de energía de los forrajes y alimentos, así como el consumo voluntario

2.11. Análisis beneficio-costo

El análisis beneficio-costos es el proceso para evaluar los costes y beneficio de un proyecto, con el objetivo de determinar la viabilidad de este (Ortega 2012). Para ello, los costos y beneficios deben ser cuantificados y expresados en unidades monetarias, con el fin de poder calcular los beneficios netos (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza [UICN], 2018). La aplicación como herramienta de evaluación persigue como objetivo maximizar el bienestar social, promoviendo la asignación eficiente de los recursos (De Rus, 2010).

En el B/C se deben mostrar los flujos de beneficios y costos con los supuestos y evidencia empírica detrás de estas cifras para validarlo. Asimismo, es necesario utilizar

una tasa de descuento apropiada al tipo de proyecto, el período de tiempo, los precios reales del año base, además de incluir los costos de inversión, de remplazo, valor residual, costos de operación e ingresos (Sartori et al. 2014).

El marco metodológico para implementar el análisis consta de las siguientes partes: a) conocer el proyecto y cómo se realizará; b) asegurar que muestre viabilidad financiera (distribución de ingresos y egresos y tasa de descuento), para calcular el valor actual neto; c) identificar costos y beneficios sociales y estimarlos con los costos de oportunidad (Ramírez 2016).

Es recomendable realizar la relación B/C de la medida en cuestión a través de una secuencia de pasos ordenados. FAO (2019) dividen el B/C en etapas, según se detalla a continuación: 1. Definir el problema y las alternativas posibles. 2. Identificar los involucrados y afectados por el proyecto. 3. Identificar las categorías de impacto y los indicadores de medida. 4. Predecir cuantitativamente los impactos a lo largo de la vida del proyecto. 5. Valoración económica de los impactos. 6. Descontar los costos y beneficios para obtener valores presentes. 7. Calcular los indicadores de resumen para cada alternativa. 8. Análisis de sensibilidad y de riesgo.

López (2018), menciona que para seleccionar el mejor tratamiento se utiliza los costos y la rentabilidad como criterios de decisión, en donde:

- Si costos del nuevo tratamiento son iguales o menores que los del testigo y los rendimientos altos se acepta el nuevo tratamiento.
- Si el costo es menor y el rendimiento es similar, se puede optar por el nuevo tratamiento.
- Si el costo es igual y el rendimiento también, no hay un criterio económico para hacer la selección, y en este caso se utilizarían otros criterios de decisión (conveniencia, preferencias personales).
- Si los costos del nuevo tratamiento son altos y los rendimientos iguales o muy bajos. Se descarta el tratamiento nuevo.
- Si los costos son similares y los rendimientos bajos, se descarta el tratamiento nuevo.
- Si el rendimiento es mayor y a la vez, el costo también es mayor, es necesario hacer un análisis económico, comparando los beneficios adicionales que el tratamiento promete (valor monetario del rendimiento adicional).

2.12. Marco legal

Plan nacional de desarrollo 2017-2021

- Objetivo 3 Respecto a la deforestación y cambio de uso del suelo, pérdida de biodiversidad, reducción y contaminación de fuentes de agua, y a la erosión y desertificación de los suelos– agudizará inevitablemente los múltiples efectos negativos del cambio climático en la sociedad.
- Reducir la dependencia de productos derivados de energías fósiles, y, así, modificar el patrón de producción y acumulación sin descuidar los límites biofísicos y ciclos naturales.
- Promover buenas prácticas que aporten a la reducción de la contaminación, la conservación, la mitigación y la adaptación a los efectos del cambio climático, e impulsar las mismas en el ámbito global.

Normativas agro calidad 2018

- Artículo 3. Hacer un uso responsable de la energía y de los recursos naturales como el agua, el suelo, las materias orgánicas y el aire.
- Artículo 14. La producción vegetal orgánica estará basada en los siguientes principios: La reducción al mínimo del uso de recursos no renovables y de medios de producción ajenos a la explotación. El reciclaje de los desechos y los subproductos de origen vegetal y animal como recursos para la producción agrícola y ganadera.
- Artículo 16. La producción hidropónica, no se considera agricultura orgánica y no es certificable mediante las normas del instructivo de agrocalidad.
- Artículo 36. El ganado se alimentará con piensos orgánicos que cubran las necesidades nutricionales de los animales en las diversas etapas de su desarrollo; una parte de su ración podrá contener piensos procedentes de explotaciones en fase de transición a la agricultura orgánica

CAPÍTULO III

3. Marco metodológico

3.1. Descripción del área de estudio

La presente investigación se llevó a cabo en la parroquia Los Ceibos, perteneciente al cantón Ibarra, ubicada en la provincia de Imbabura, Barrio 20 de octubre, a una altitud de 2120 msnm, una latitud de 81186 y una longitud de 10039875 (coordenadas UTM) (Figura 4).

3.1.1. Condiciones climáticas

La temperatura promedio anual se encuentra en 18 centígrados, la precipitación promedio anual es 714 milímetros, alcanzando una humedad relativa del 68% (Ilustre Municipio de Ibarra, 2014).

3.1.2. Mapa de ubicación del ensayo

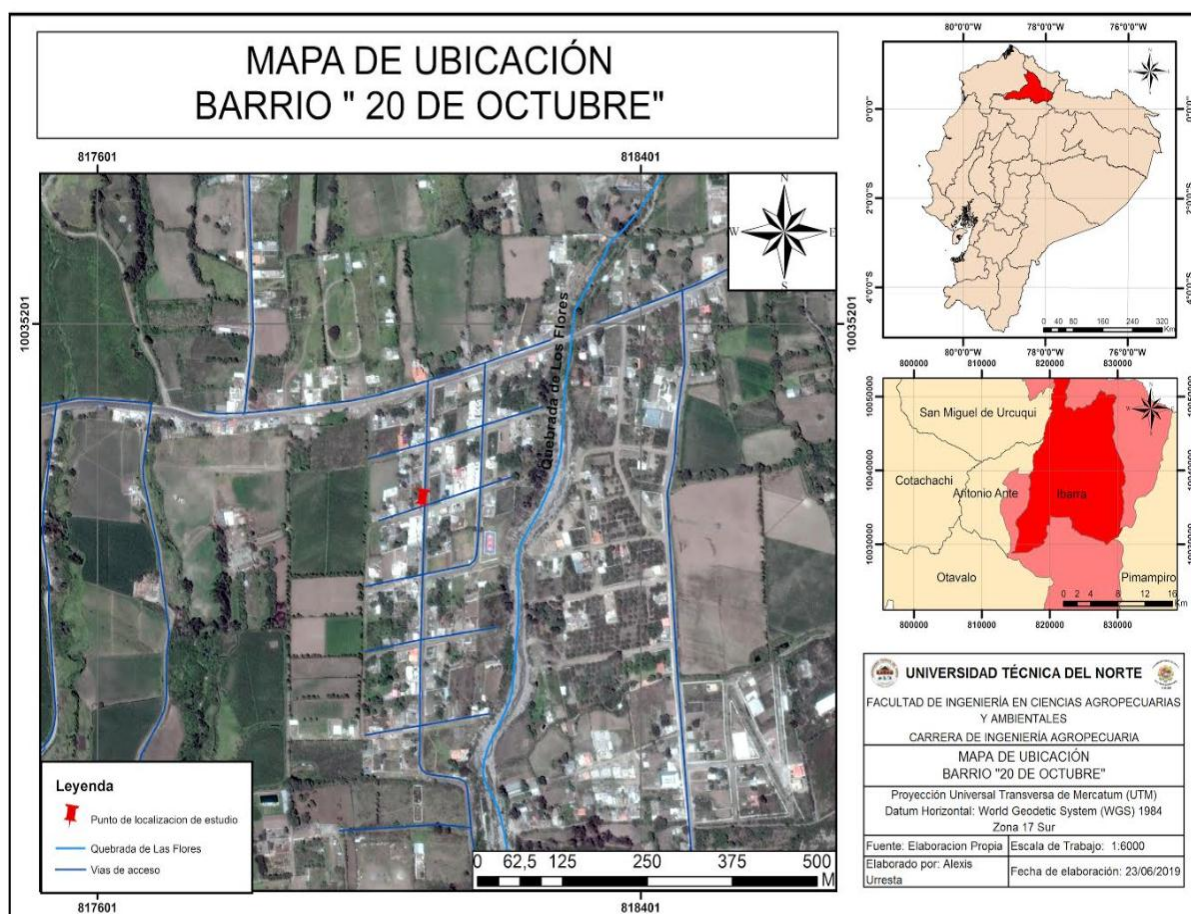


Figura 4. Ubicación del área de estudio

3.2. Materiales y métodos

3.2.1. Material experimental

- Semilla cebada (41.76 kg)
- Biol (31.25 l)
- Solución nutritiva (8.10 l)

3.2.2. Materiales de campo

- Libro de campo
- Bandejas plásticas
- Manguera
- Baldes 10 litros
- Malla de sombra
- Baldes 100 litros
- Termo higrómetro
- Tijera de podar
- Alambre
- Pala

3.2.3. Materiales de oficina

- Computador
- Calculadora
- Hojas cuadriculadas
- Impresora
- Esferos, regla

3.2.4. Insumos

- Semillas de cebada
- Biol
- **Solución nutritiva A**
 - Fosfato mono amónico
 - Nitrato de calcio
 - Nitrato de potasio
- **Solución nutritiva B**
 - Sulfato de magnesio
 - Sulfato de cobre

- Sulfato de manganeso
- Sulfato de zinc
- Ácido bórico
- Molibdato de amonio
- Quelato de hierro

3.3. Manejo del experimento

3.3.1. Tratamientos en estudio

Forraje

1.-Cebada

Soluciones nutritivas

1.-Solución nutritiva con biol 297 cm³

2.-Solución nutritiva con biol 371 cm³

3.-Solución nutritiva biol 223 cm³

4.-Solución nutritiva FAO

3.3.2. Tratamientos

Tabla 4

Tratamientos a evaluar

Tratamiento	Codificación	Descripción
T1	Biol	Solución nutritiva con Biol igual en N a FAO.
T2	Biol (25%+N)	Solución nutritiva con biol con 25%N+ en cebada.
T3	Biol (25%-N)	Solución nutritiva con biol con 25%N- en cebada.
T4	FAO	Solución nutritiva de la FAO

3.3.3. Diseño experimental

3.3.4. Características del experimento

Tratamientos: 4

Bloques: 3

Total de unidades experimentales: 12

Unidad experimental: 1 bandeja de forraje

Dimensiones de la bandeja: 0.60 m x 0.40 m x 0.014 m

Área total por bandeja: 0.240 m²

Área neta del ensayo: 2.88 m²

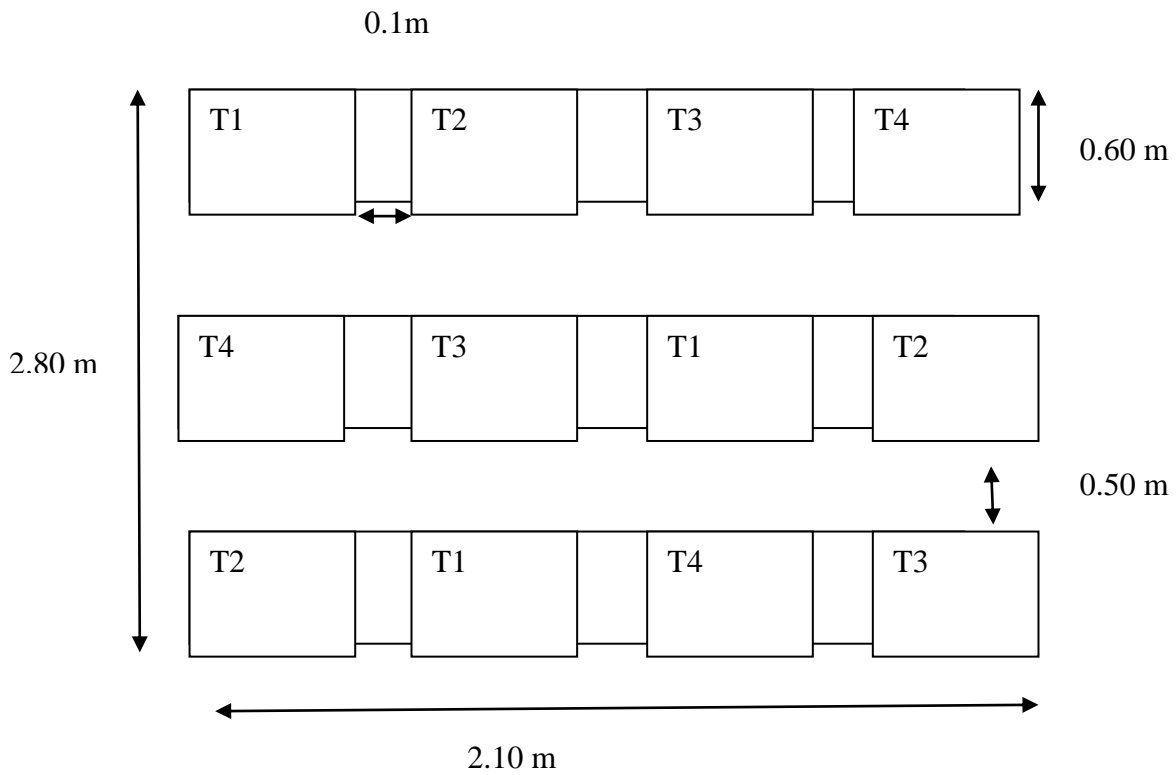
3.3.5. Análisis estadístico

Tabla 5

Análisis de varianza (ADEVA) Evaluación de tres soluciones nutritivas con diferentes niveles de biol en la producción de forraje hidropónico de cebada

	Fórmula (n-1)	G.L.
Bloques	3-1	2
Soluciones nutritivas	4-1	3
Error		6
Total		11

3.3.5.1. Diseño de bloques completos al azar



3.3.6. Variables a evaluarse

3.3.6.1. Altura de planta

Para realizar la medición de altura de planta se consideró la distancia entre el comienzo del tallo y el límite más alto de los tejidos fotosintéticos, se tomó la altura de plantas al día de la cosecha (día 16). Este procedimiento se efectuó acorde a lo descrito por Niklas (1994). Se tomó 10 plantas al azar por bandeja, la medición se la realizó con una regla milimetrada y el resultado se lo expresó en cm. Esta medición se la realizó durante los tres ciclos productivos.

3.3.6.2. Medición de clorofila

Para esta variable se utilizó el medidor de clorofila Apogee modelo MC-100. La medición de clorofila se realizó en 10 plantas al azar por bandeja al día 16 (figura 5). Los resultados se expresaron en micromoles por metro cuadrado de superficie de la hoja ($\mu\text{mol m}^2$). Esta medición se realizó en el segundo ciclo productivo.



Figura 5. Toma de datos de contenido de clorofila en plantas de cebada cultivadas en sistemas hidropónicos con distintos niveles de N en forma de biol.

3.3.6.3. Rendimiento

3.3.6.3.1. Peso fresco

Se consideró como peso fresco a la parte área de la muestra de cada una de las bandejas. Para esto se seleccionaron franjas de la parte media de la bandeja 0.10 x 0.12 m se separó la zona radicular y de follaje con la ayuda de una tijera de podar y se pesó en una balanza gramera (Figura 6). El pesaje se realizó al final del periodo de crecimiento en los 3 ciclos productivos. El rendimiento se expresó en kilogramos por metro cuadrado (kg/m^2).



Figura 6. Toma de datos de contenido de clorofila en plantas de cebada cultivadas en sistemas hidropónicos con distintos niveles de N en forma de biol.

3.3.6.3.2. Materia seca

Después de realizarse el pesaje para la variable rendimiento peso fresco, el follaje se depósito en fundas de papel y se colocó en el horno a una temperatura de 105 °C durante 12 horas hasta que el peso de la materia fue constante (Figura 7). En esta variable se determinó el rendimiento de materia seca en kg/m². Esta medición se realizó en los tres ciclos productivos.



Figura 8. Pesaje forraje verde hidropónico de cebada con distintos niveles de N en forma de biol para determinar la materia

3.3.6.4. Contenido nutricional

Una vez efectuada la cosecha al día 16 se pesó 200 g de forraje, se colocó en bolsas de papel para su posterior etiquetado (Figura 8). Se realizó un análisis proximal que incluyó los contenidos de proteína y fibra. Los análisis fueron realizados en el laboratorio de la Universidad Técnica del Norte siguiendo los métodos oficiales de la Asociación Oficial de Químicos Agrícolas AOAC (2014). Se realizó un análisis proximal por unidad experimental en el segundo ciclo productivo.

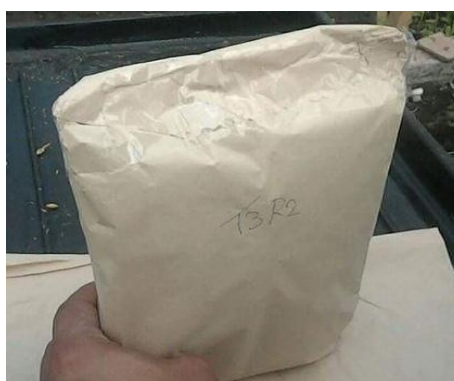


Figura 7. Recolección de forraje verde hidropónico de cebada con distintos niveles de N en forma de biol previo al envío al laboratorio.

3.3.6.5. Análisis beneficio-costo

En esta investigación, se efectuó un análisis económico, donde realizo el cálculo de la utilidad neta, que se logra por los ingresos obtenidos de la venta de uno o varios bienes (Roldán, 2017). Para el análisis beneficio costo se siguió la metodología de Briones, Patrano y Armijos (2016), donde se obtuvo información recopilada del libro de campo, determinando costos de producción, utilidad bruta y el análisis beneficio-costos, que se logra por los ingresos obtenidos de la venta de forraje depreciación, involucrados en la producción de forraje verde hidropónico. El proceso se inició con la recopilación de datos, se organizó estos en una tabla comparativa sobre los tratamientos, sobre los costos de producción y beneficio, analizando e interpretando los resultados. Con la relación beneficio-costos se determinó el beneficio de cada una los tratamientos, la interpretación fue: si el resultado fue mayor a 1 se consideró como una ganancia y si su resultado presento un valor inferior a 1 se generaron pérdidas (FAO, 2014).

3.4. Manejo específico del experimento

3.4.1. Preparación del biol

Previo a la realización del experimento, se elaboró el biol. El estiércol bovino y leche cruda se obtuvieron de la Granja Experimental La Pradera. La ceniza que se utilizó fue proveniente de la quema de nogal. Se usó agua potable en todo el experimento. La preparación del biol se realizó acorde a la recomendación de Zagoya, Ocampo, Macías y De la Rosa (2015).

Se agregaron y mezclaron los siguientes ingredientes en un tanque de 160 litros

- Estiércol fresco de bovino (40 kg)
- Ceniza (3.2 kg)
- Levadura fresca (320 g)
- Leche (1.6 l)
- Agua (115 l)
- Melaza (1.6 kg)

Se procedió al sellado una vez terminado el proceso de preparación. El tanque previamente fue agujereado. En este espacio se colocó un neplo, una manguera, un anillo y una botella plástica (Figura 9). La cosecha del biol se realizó a los dos meses (Jaén, 2011). Después se pasó por un colador para obtener un material líquido. Una muestra de 500 ml fue enviada al laboratorio Agrar Projekt para su análisis químico (Anexo 1).





Figura 9. Preparación del biol. a) Recolección del excremento bovino, b) Pesaje de los ingredientes, c) Mezcla del biol, d) Sellado del tanque.

3.4.2. Instalación del invernadero

Se instaló un invernadero acorde a las recomendaciones de Martínez y Garbi (2015). Las dimensiones fueron 3.4 m de largo, 4.2 m de ancho y 2.10 m de alto, con una ventana de 1.5 x 1.5 m. Para facilitar la aireación, las ventanas fueron cubiertas con sarán al 70%. Se colocó plástico traslúcido de protección UV para la cobertura del invernadero con una pendiente de 10% orientación norte sur. Dentro del invernadero se instalaron tres caballetes. Adicionalmente, se puso una malla de sombra al 60%, la cual recubría la parte alta del invernadero. Con respecto al manejo del invernadero, la temperatura se mantuvo entre 20 a 26 °C y la humedad relativa estuvo en un rango entre 60 y 65% (Figura 10).

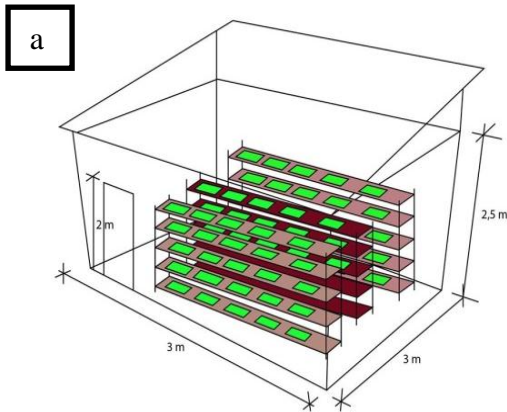




Figura 10. Instalación del invernadero. a) Diseño del invernadero, b) Construcción, c) Vista interna, d) Vista externa.

3.4.3. Obtención de la semilla

Se seleccionaron semillas acordes a las recomendaciones de García, Ruiz, Lira, Vera y Méndez (2016), con alto poder germinativo (% de germinación de 85%). Se realizó una prueba de germinación para validar este porcentaje.

3.4.4. Preparación solución nutritiva de la FAO

Para llegar a la solución nutritiva final de la FAO se prepararon dos soluciones concentradas denominadas solución nutritiva A y B. Una vez que se obtuvieron las dos soluciones, se procedió a agregar 1.25 cm^3 de solución A y 0.05 cm^3 de solución B por cada litro de solución final. Se usó envases de plástico con la finalidad de no alterar la composición de las soluciones nutritivas.

3.4.5. Preparación solución nutritiva A

En un recipiente plástico de 10 litros, se puso 6 litros de agua y agregó las sales minerales. Siguiendo el orden anotado en la Tabla 5. Se agitó permanentemente hasta disolver totalmente las sales. Una vez disueltas las sales se agregó agua hasta alcanzar 10 litros y se procedió a mezclar durante 10 minutos más, hasta que no existió presencia de residuos sólidos (FAO, 2001).

Tabla 6

Solución nutritiva A.

Elementos	Cantidad en gramos
Fosfato mono amónico	340
Nitrato de calcio	2080
Nitrato de potasio	1100

3.4.6. Preparación solución nutritiva B

En un recipiente plástico de 5 litros, se colocó 2 litros de agua y agregó las sales minerales. Siguiendo el orden mencionados en la tabla 6. Cuando estaban totalmente disueltas las sales se agregó agua hasta completar los 4 litros (FAO, 2001).

Tabla 7

Solución nutritiva B.

Elementos	Cantidad en gramos
Sulfato de magnesio	492
Sulfato de cobre	0.48
Sulfato de manganeso	2.48
Sulfato de zinc	1.20
Ácido bórico	6.20
Molibdato de amonio	0.02
Quelato de hierro	50

3.4.7. Preparación solución nutritiva a base de biol

Una vez obtenidos los resultados del análisis de biol (Anexo1), se procedió a realizar los tratamientos en base al contenido de nitrógeno. El biol se disolvió en el agua de riego. Aplicando para el T1 porcentaje igual en nitrógeno (297 cc/l), T2 +25% nitrógeno (371cc/l), T3 -25% nitrógeno (223 cc/l) (Figura 11). Todos los tratamientos tuvieron los mismos volúmenes de aplicación de soluciones nutritivas



Figura 11. Soluciones nutritivas preparadas para su aplicación en el forraje verde hidropónico de cebada

3.4.8. Lavado y desinfección de semilla

La desinfección se realizó con hipoclorito de sodio a una proporción de 5 ml por cada 25 litros de agua, durante dos minutos (Vega y Quispe, 2015). Luego de haber desinfectado las semillas se enjuagó para reducir la presencia del desinfectante. Posteriormente se remojó la semilla durante 24 horas (Figura 12) (FAO, 2001).



Figura 12. Proceso de desinfección y oreo de la semilla para la producción de forraje verde hidropónico con diferentes niveles de N en forma de biol

3.4.9. Pre germinación

Una vez terminado el proceso de remojo, se colocó la semilla en un lugar oscuro a una humedad relativa del 80%, cubierta con papel periódico humedecido y plástico negro de 10 micras por un lapso de 48 horas (FAO, 2001).

3.4.10. Siembra y densidad

Previo a realizar la siembra se desinfectaron las bandejas con hipoclorito de sodio 1cc/l (enjuague). La densidad de siembra fue obtenida a través de un pre ensayo, donde se probaron tres dimensiones de siembra (5, 3.5 y 2 kg/m²). La densidad menor (2 kg/m²) recomendada por Abadía (2018) fue la seleccionada al presentar mayor rendimiento y mejor conversión de semilla. Una vez determinada la dimensión de siembra se procedió a sembrar (480 g por bandeja) (Figura 13).



Figura 13. Siembra de semilla de cebada pre germinada en bandejas de forraje verde hidropónico

3.4.11. Riego

Previo a la aplicación de las soluciones nutritivas se determinó el pH con cintas medidoras, el pH en todos los tratamientos fue de 6 acorde a la escala de color. La frecuencia de riego se obtuvo a través de un pre ensayo. Se realizaron de 4 a 6 riegos acorde al horario establecido (Tabla 8). En cada riego se aplicó 200 ml por bandeja. El riego hizo de forma manual con pulverizadores plásticos de 500 ml. Finalizado el riego se guardó los pulverizadores bajo sombra hasta la próxima aplicación. En el día 15 se realizó un lavado del follaje únicamente con agua potable. Este horario de riego se siguió durante los tres ciclos productivos.

Tabla 8

Horario de riego establecidos durante los tres ciclos productivos para la producción de forraje verde hidropónico de cebada con diferentes niveles de N en forma de biol.

Horario de riego													
	Días												
	1	2-3	4-6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Horario			200ml/Bandeja (X)										
8:00	Reposos en agua 24h	Germinado sin agua	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
10:00			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
12:00			X	X	X								X
13:00			X			X	X	X	X	X	X	X	X
15:00			X	X	X								X
17:00			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Total riegos			6	5	5	4	4	4	4	4	4	6	

CAPÍTULO IV

4. Resultados y discusión

4.1. Altura de planta

Una vez realizado el análisis de varianza se indica que no existe interacción entre siembras y tratamientos ($F=1.03$; $gl=6$, 346; $P=0.4065$). Sin embargo, los resultados muestran un efecto individual de las siembras ($F=3.19$; $gl =2$, 346; $P=0.0423$) y tratamientos ($F=63.46$; $gl=3$, 346; $P=<0.001$) (Tabla 9).

Tabla 9

Análisis de varianza para altura de planta en forraje verde hidropónico con diferentes niveles y fuentes de N en cebada.

Fuentes de variación	Grados de libertad F. V	Grados de libertad Error	Valor F	Valor P
Siembras	2	346	3.19	0.0423
Tratamientos	3	346	63.46	<0.0001
Siembras: tratamientos	6	346	1.03	0.4065

La prueba de Fisher muestra que la tercera siembra obtuvo mayor altura de planta que en las otras siembras, la primera menor y la segunda una altura intermedia (Anexo 3), encontrándose diferencias de 0.29 cm (1.3%) y 0.8 cm (3.68%) para la segunda y primera siembra, respectivamente (Figura 14). Estos resultados se encuentran acorde a lo mencionado por Izquierdo (2015), donde la altura promedio para forraje verde hidropónico en ambientes controlados es de 20 a 25 cm. Además la FAO (2001), expresa que el FVH tiene un altura entre 20 a 30 cm.

La reducción en la altura presentada en la primera siembra pudo darse por la radiación UV-B ya que en el período (junio del 2018) se presentó una radiación intensa y una temperatura superior a los 25 grados centígrados (INAMHI, 2018). A la vez Carrasco (2009), afirma que la reducción de la altura puede darse por la oxidación de fitohormonas inductoras del tamaño de las células, ocasionado directamente por la exposición de las plantas a una radiación intensa. La inhibición de la expansión observada en el área foliar en condiciones de alta radiación UV-B, se debe a un mayor entrecruzamiento de los enlaces formados entre carbohidratos y ácido ferúlico, que reduce la extensibilidad de la pared celular (Dale, 1988).

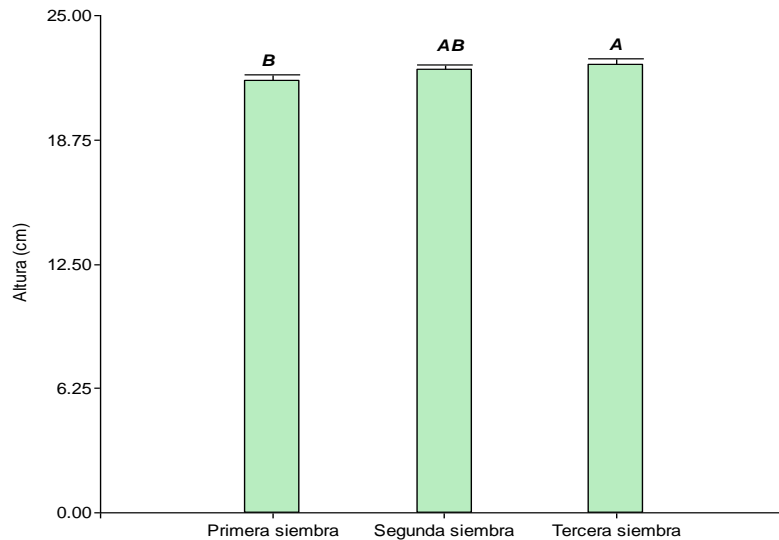


Figura 14. Promedio de altura de planta por siembra en forraje verde hidropónico con diferentes niveles y fuentes de N en cebada.

Adicionalmente, la prueba Fisher de las alturas tomadas al día de la cosecha (día 16) muestra que el T3 y T4 son similares, mostrando alturas promedio 23.89 y 24.05 cm. Por otra parte, estos son superiores al T1 y T2 (Anexo 3), mismos que presentan similitudes, con alturas promedio de 21.01 y 22.42 cm (Figura 15). La toxicidad pudo ser un factor que alteró la altura, ya que acorde a lo mencionado por Prieto (2008), el exceso de una fertilización puede afectar la altura y el desarrollo normal de las plantas. Según los límites establecidos por Douglas (1976), tanto el T1 y T2 muestran una alta concentración de magnesio excediendo este límite por 34 mg/l (34%) y 67.69 mg/l (68%), respectivamente. Los tratamientos T3 y T4 se encuentran en un rango óptimo de contenido de nutrientes.

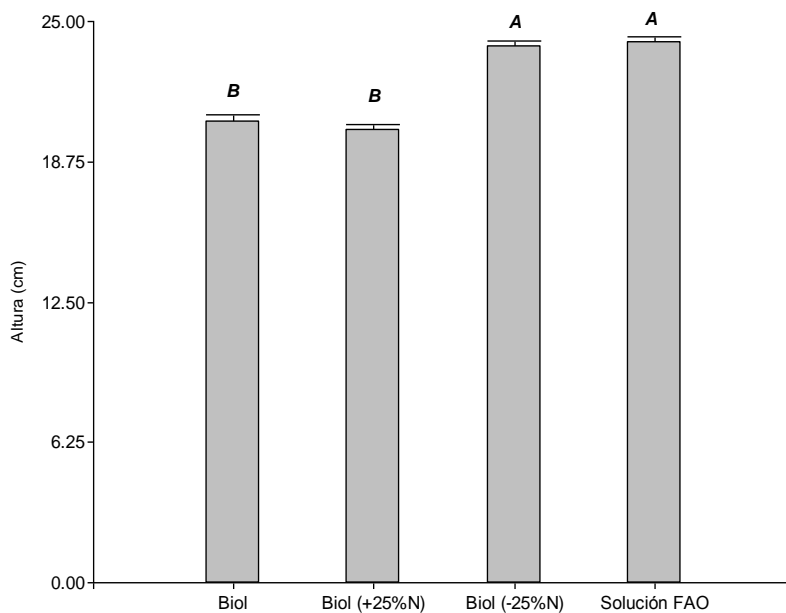


Figura 15. Promedio de altura por tratamiento en forraje verde hidropónico con diferentes niveles y fuentes de N en cebada.

Los resultados obtenidos por Vega y Quispe (2015), en un módulo automatizado, son superiores a los de este ensayo al utilizar la solución nutritiva de la FAO, con una altura promedio de 25 cm (siendo superior a todos los tratamientos). Las diferencias de altura entre las investigaciones pudieron darse por la intensidad y calidad de luz. A poca intensidad de luz las plantas se etiolan, volviéndose más altas; esto es producido por la luz roja lejana y reguladas por el estado fotostatorio del fitocromo (PSS) (Hogewoning et al., 2010).

Castillo, Del Carmen, Contreras y Morales (2013), mencionan que al usar una solución nutritiva con 200 mg/l de Nitrógeno, con distintas densidades de siembra, obtuvieron alturas de 21.28 cm, 20.64 cm y 18.94 cm, con una densidad alta, media y baja, respectivamente. Las alturas alcanzadas con la densidad alta son inferiores a las registradas por los T3 y T4, siendo estos superiores por 3.2 cm (15%) y 3.09 (14.52%) cm en cada caso. Con referencia a lo anterior, los tratamientos T1 y T2 son inferiores a la densidad media con 0.43 cm (2.08%) y 0.61 (2.95%). La variabilidad de resultados posiblemente se deba a las grandes densidades de siembra usadas por Castillo y colaboradores. Vera (2006), menciona que altas densidades de siembra modifican la disponibilidad de la luz, lo que conduce a una reducción de la altura.

Candía (2014) al usar una solución nutritiva de guano de cuy (*cavia porcellus*) a una concentración de 100 g/l de agua con un contenido de 151 mg/l de nitrógeno, usando la misma densidad de siembra (2kg/m²) de esta investigación, muestran alturas de 13.2 cm, inferior a todos los tratamientos en este estudio. Esto pudo darse por el tiempo de cosecha, puesto que en el primer estudio se cosechó a los 12 días y en el presente estudio a los 16 días. Marulanda e Izquierdo (2013), afirman que, si se realiza la cosecha en un período más largo, aumenta la altura del forraje. Con respecto a esto Bidwell (1993), menciona que el F.V.H alcanza su máximo crecimiento a los 16 días, aproximadamente con 25 cm, en este lapso de tiempo el forraje habrá formado y reproducido distintos tipos de células y tejidos.

Contreras, Cordero, Castro y Ccencho, (2008), registran alturas de 17.19 cm y 15.75 cm el día 16 en el FVH con soluciones nutritivas de la Universidad Nacional de Huancavelica con 190mg/l de N y la Universidad Nacional Agraria La Molina con 5 ml de solución A y 2 ml de la solución B por litro de agua (solución nutritiva de la FAO). La diferencia entre investigaciones puede darse por las variedades utilizadas y el tipo de soluciones.

4.2. Clorofila

Una vez realizado el análisis de varianza se indica que existe un efecto individual de los tratamientos aplicados, sobre el contenido de clorofila en el forraje (F=96.97; gl=3, 114; P=<0.001) (Tabla 10).

Tabla 10

Análisis de varianza para contenido de clorofila en forraje verde hidropónico con diferentes niveles y fuentes de N en cebada.

Fuentes de variación	F.V	Error	Valor F	Valor P
Tratamientos	3	114	96.97	<0.0001

Los resultados con respecto a contenido de clorofila de los tratamientos T1, T2 y T3 no muestran variabilidad con medias entre 163.61 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ a 174.72 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$, mismos que están por encima del T4 por 91.9 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$, 103.01 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ y 101.61 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ en cada caso (Figura 16).

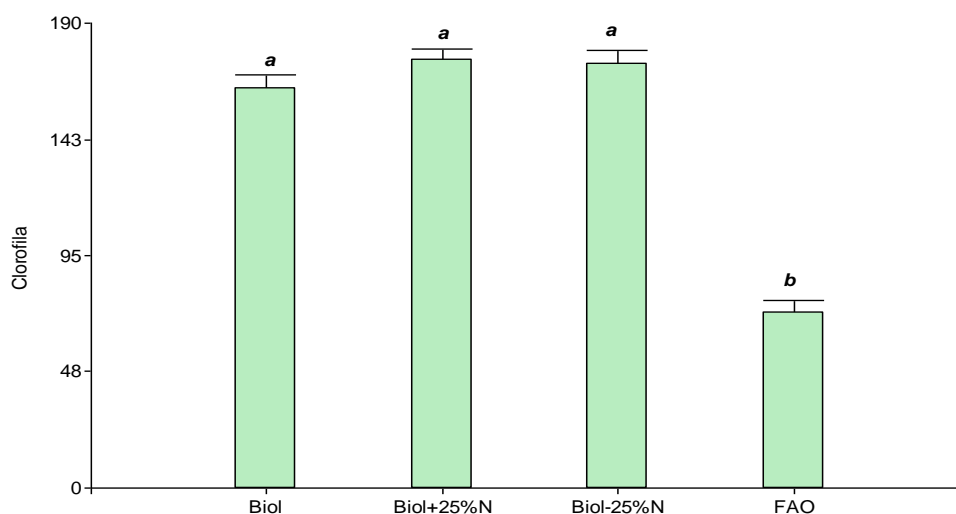


Figura 16. Contenido de clorofila en forraje verde hidropónico con diferentes niveles y fuentes de N en cebada.

Los resultados tomados en la segunda siembra son diferentes a los reportados por López (2014), donde la solución nutritiva inorgánica obtuvo mayor contenido de clorofila que la solución nutritiva orgánica elaborada con vermicompost en el cultivo de pepino. Además, Preciado, Fortis, García y Orozco (2011), mencionan que el tratamiento con soluciones nutritivas inorgánicas superó en unidades SPAD a las plantas tratadas con soluciones orgánicas en el cultivo de tomate riñón; este resultado está relacionado directamente con el contenido y actividad de la clorofila, más no guarda relación con el rendimiento.

Al determinar el contenido de clorofila en las hojas de las plantas de maíz fertilizadas con dosis diferentes de N (100 y 200 kg/ha), los autores Rincón y Ligarreto (2010) encontraron que cuando a las plantas se les suministró la mayor cantidad de N, los valores obtenidos con el medidor de clorofila fueron más altos; sin embargo, el rendimiento fue estadísticamente igual con los dos niveles de fertilización. Al igual que lo citado anteriormente, en esta investigación no se encontró una correlación directa para el contenido de clorofila con el rendimiento, tanto en peso fresco y seco.

Posiblemente se deba a otros factores como el contenido alto de micronutrientes de las soluciones nutritivas con biol como se observa en el Anexo 2.

Si bien en la literatura se encuentran resultados que fomentan el uso de los medidores de clorofila para definir criterios rápidos al momento de monitorear carencias de N o para determinar la efectividad de una fertilización nitrogenada, es necesario conocer el papel que los micronutrientes desempeñan en la fotosíntesis, así como el magnesio, que es el núcleo principal para la formación de clorofila en la planta (Cakmak y Yazici, 2010). En la investigación, puede que el magnesio haya influido en la concentración de clorofila, ya que los tratamientos T1, T2 y T3 superan el contenido de la solución nutritiva de la FAO por 129 mg/l, 162 mg/l y 95.04 mg/l, respectivamente.

4.3. Rendimiento

4.3.1. Peso fresco

Los resultados con respecto al rendimiento (peso fresco), muestran que existe interacción entre siembras y tratamientos ($F=3.27$; $gl=6, 22$; $P=0.0188$) (Tabla 11).

Tabla 11

Análisis de varianza para peso fresco en forraje verde hidropónico con diferentes niveles y fuentes de N en cebada.

Fuentes de variación	Grados de libertad F.V	Grados de libertad Error	Valor F	Valor P
Siembras	2	22	25.56	<0.0001
tratamientos	3	22	455.94	<0.0001
Siembras:	6	22	3.27	0.0188
tratamientos				

En la figura 17, se observa que el rendimiento del T1 fue similar en la primera y segunda siembra, mostrando pesos frescos de 6.96 kg/m² y 8.01 kg/m², respectivamente. En la tercera siembra este rendimiento fue superior con 9.26 kg/m². El T2 obtuvo un rendimiento estadísticamente idéntico en la primera y segunda siembra con pesos de 5.33 kg/m² y 5.66 kg/m². Dentro de este marco, en la tercera siembra se obtuvo un rendimiento de 7.53 kg/m² superior a los valores registrados por T2 en las distintas siembras. El rendimiento en el T3 no presentó variaciones estadísticas en las tres siembras con valores de 13.93, 12.92 y 14.54 kg/m². El T4 alcanzó un rendimiento de 17.30 kg/m² en la primera siembra, semejante a la tercera siembra con 18.34 kg/m². En la segunda siembra, este rendimiento fue inferior con 15.27 kg/m² (Anexo 5).

En la primera siembra, el T4 alcanzó mayor rendimiento, con un promedio de 17.30 kg/m², siendo superior a los tratamientos T3, T1 y T2, por 3.37, 10.34 y 11.97 kg/m², para cada solución nutritiva. En la segunda siembra, el T4 obtuvo un rendimiento

superior con una media de 15.27 kg/m², diferenciándose de los tratamientos T3, T1 y T2, con 2.35, 7.26 y 9.61 kg/m². En la tercera siembra, el T4 estuvo por encima de los demás tratamientos con 18.34 kg/m², superando a los tratamientos T3, T1 y T2, por 3.82, 9.08 y 10.81 kg/m², respectivamente.

En el estudio, la aplicación de biol no mostró alteraciones evidentes en las hojas de las plantas, pero si se expresó un efecto negativo en el rendimiento de las cosechas de los tratamientos T1, T2 y T3. Esto pudo darse por la alta cantidad de amonio. En este estudio el 90% de nitrógeno aplicado en las soluciones nutritivas con biol fue en forma de NH₄. Beltrano y Giménez (2015), afirman que el amonio puede causar fitotoxicidad, originando problemas de antagonismo con otros nutrientes, por lo que no se debe aportar más de un 5-10% del N total en una solución nutritiva. Si existe un desequilibrio entre ciertos elementos, la planta selectivamente toma uno con preferencia y excluye otros, causando toxicidad (Martínez, 2006). En este sentido Baixauli y Aguilar (2002), mencionan que el exceso de algún elemento provoca una disminución en la producción.

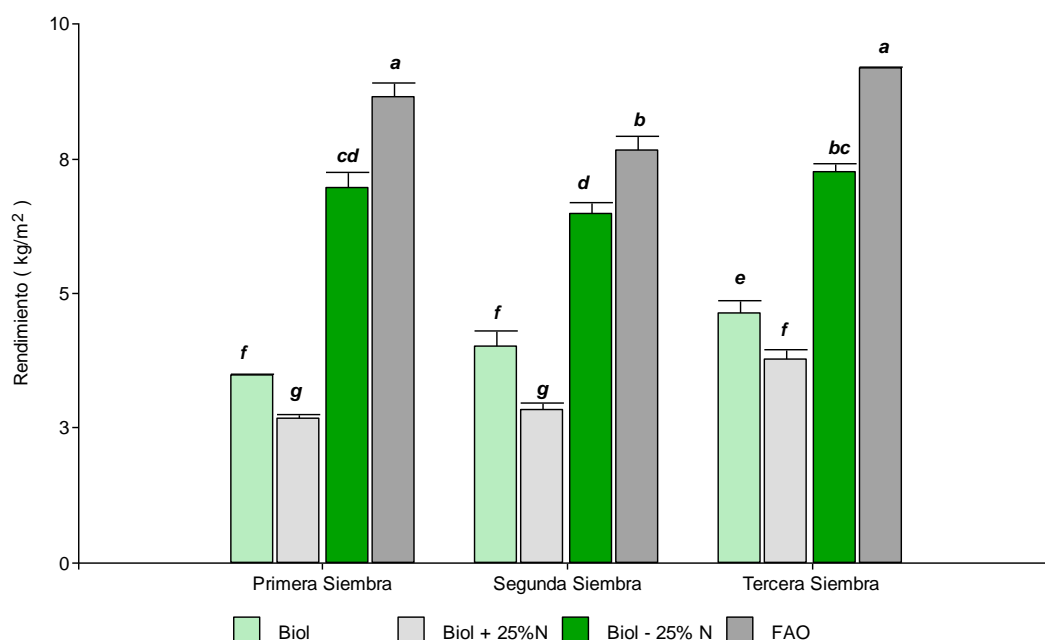


Figura 17. Rendimiento peso fresco por período de siembra en forraje verde hidropónico con diferentes niveles y fuentes de N en cebada.

Los rendimientos encontrados en este experimento, fueron inferiores registrados por Castillo y colaboradores (2013); donde obtuvieron rendimientos de 32.84 a 33.05 kg/m² de forraje cebada hidropónica con diferentes densidades de siembra (4.7 kg/m², 5.2 kg/m² y 5.7 kg/m²) y usando una solución nutritiva compuesta por 200 mg/l de N. Densidades de siembra superiores a las usadas en este experimento. Además de una concentración de N encima de T1, T2, T3 y T4 por 131 mg/l, 113.49 mg/l, 148.25 mg/l y 131 mg/l, respectivamente. A la vez Al-Karaki y Al-Hashimi (2012), alcanzaron un rendimiento de 20 kg/m² en el cultivo de cebada hidropónica, sin usar ninguna solución nutritiva, con una densidad de siembra de 2.6 kg/m² (usando 0.6 kg/m² más que en esta investigación). La densidad de siembra y la concentración de nutrientes en las

soluciones nutritivas pueden ser las variantes entre investigaciones, puesto que las altas densidades de siembra aumentan su rendimiento, pero reducen la conversión de semilla (Castillo et al., 2013). Sumado a esto el peso que se obtiene por considerar la raíz dentro del rendimiento

Rendimientos inferiores a los 20 kg/m², son reportados por varios autores quien consideran solo la parte aérea como rendimiento: Vargas (2015), reporta rendimientos de 17.6 kg/m², rendimiento inferior a T4 en la tercera siembra, pero superior a todos los tratamientos, con una densidad de siembra de 3 kg/m² (1kg/m² más que en esta investigación) y sin el uso de soluciones nutritivas. Cantacunta (2015), con una solución nutritiva de lixiviado de vermicompost con 7.90 mg/l de N (inferior a todos los tratamientos), con una densidad de siembra de 2.5 kg/m² (0.5 kg/m² más que en esta investigación), registra un rendimiento de 13.2 kg/m², superior a los tratamientos T1 y T2, pero por debajo de T3 y T4.

Abadia (2018), con una densidad de siembra de 2 kg/m² y usando la solución nutritiva de la FAO, obtuvo un rendimiento de 9.2 kg/m² similar al rendimiento presentado por T1 en la tercera siembra, pero inferior a T3 y T4. Al igual que lo citado por Castillo (2013), tanto la densidad de siembra como las soluciones nutritivas, pueden ser las que produzcan esta variedad de resultados.

4.3.2. Materia seca

Los resultados presentados en la Tabla 12, muestran que para la variable rendimiento de materia seca kg/m², no existe interacción entre siembras y tratamientos (F=2.19; gl=6, 22; P= 0.0831). Sin embargo, los resultados muestran que se encuentra un efecto individual de las siembras (F=4.02; gl=2, 22; P=0.0326) y soluciones nutritivas (F=97.22; gl=3, 22; P=<0.0001).

Tabla 12

Análisis de varianza para rendimiento materia seca por kg/ m² en forraje verde hidropónico con diferentes niveles y fuentes de N en cebada.

Fuentes de variación	Grados de libertad F.V	Grados de libertad Error	Valor F	Valor P
Siembras	2	22	4.02	0.0326
Tratamientos	3	22	97.22	<0.0001
Siembras: tratamientos	6	22	2.19	0.0831

La prueba de Fisher muestra que la tercera siembra obtuvo mayor rendimiento con 1.28 kg/m² de materia seca, en las distintas siembras, la primera es menor y la segunda intermedio, encontrándose diferencias de 0.06 kg/m² y 0.22 kg/m² para la segunda y

primera siembra (Figura 18). Pese a existir diferencias entre siembras, se puede observar que estas son mínimas al expresarlas en kg m^{-2} , a su vez, esta materia está dentro de los rangos normales mencionados por FAO (2001), donde el contenido de materia seca va desde 8 a 15%. Por otro lado, es importante mencionar que factores externos a la investigación como el clima pudieron haber sido diferentes en distintas siembras y pudieron ser los responsables de estos resultados. Mageed, Abd y Semida (2015), mencionan que las plantas pueden verse afectadas por condiciones meteorológicas durante las distintas temporadas del año, traduciéndose esto en pérdidas de rendimiento o materia seca. Sin embargo, en la investigación se siguió las recomendaciones (Resh, 2001), donde la temperatura de se mantiene de 18 a 25 °C y humedad entre 60-70%.

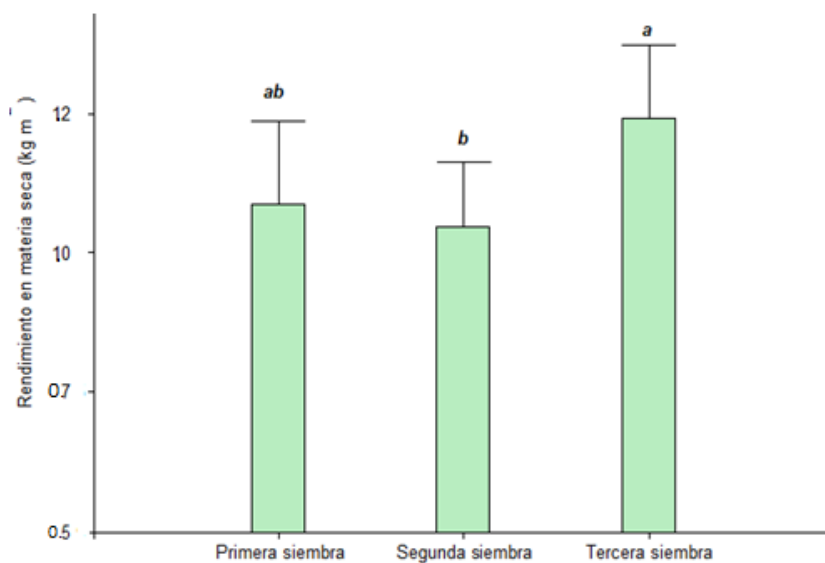


Figura 18. Rendimiento materia seca por m^2 por siembra en forraje verde hidropónico con diferentes niveles y fuentes de N en cebada

A través de la media de Fisher para el rendimiento de materia seca kg m^{-2} , muestra que el mejor tratamiento fue el T4 con 1.94 kg m^{-2} , seguido del T3 con 1.51 kg m^{-2} . Los tratamientos T1 y T2 fueron inferiores a los antes mencionados, pero estadísticamente similares, con valores de 0.72 y 0.57 kg m^{-2} (Figura 19).

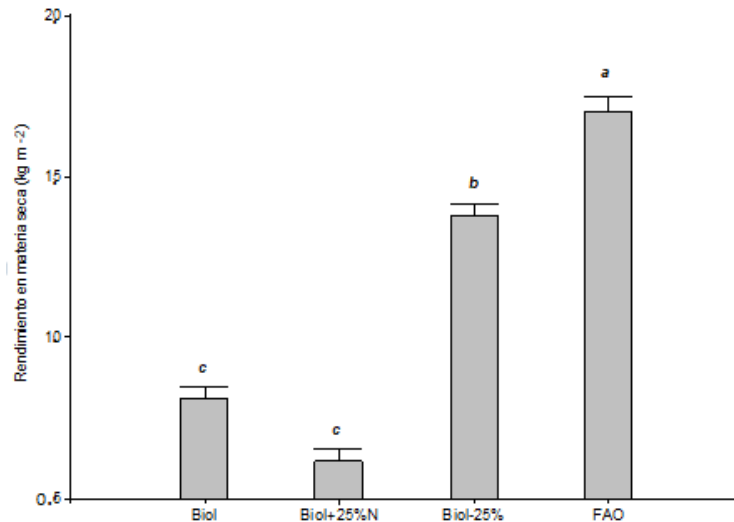


Figura 19 Rendimiento materia seca por m² en forraje verde hidropónico con diferentes niveles y fuentes de N en cebada.

Vargas (2015), sin usar soluciones nutritivas, con una densidad de siembra 3kg/m², obtuvo un rendimiento de 1.7 kg/m² de materia seca, inferior a T4 pero superior a T1, T2 y T3. Cantunta (2015) registra 1,9 kg/m², con el uso de vermicompost con 15 mg de N y una densidad de siembra de 2.5 kg/m², similar a T4 pero superior a los demás tratamientos. Al respecto Castillo (2017), reporto un rendimiento de 4.79 kg/m² al usar la solución nutritiva recomendada por Vargas (2007) con 250 mg/l de N en solución nutritiva. Los datos registrados en esta investigación no se asemejan a los reportados por Castillo, las diferencias pueden darse por la densidad de siembra, en el presente estudio se usó una densidad de 2kg/m² y Castillo utilizó una densidad de 4.5 kg/m², factor que influye en el rendimiento de materia seca.

4.4. Contenido nutricional

4.4.1. Contenido de proteína

Una vez realizado el análisis de varianza, se indica que existe un efecto individual de los tratamientos aplicados sobre el contenido de proteína (F=9.72; gl=3, 6; P=0.0101) (Tabla 13).

Tabla 13

Análisis de varianza para contenido de proteína en forraje verde hidropónico con diferentes niveles y fuentes de N en cebada.

	Grados de libertad F.V	de	Grados de libertad Error	Valor F	Valor P
Tratamientos	3		6	9.72	0.0101

Teniendo en cuenta la prueba de Fisher (LSD) para el contenido de proteína analizado por el método AOAC 920.87 (Anexo 7), muestra que los mejores comportamientos tuvieron los tratamientos T2, T3, T4 con valores de 15.55, 17.08% y 18.20%, respectivamente, siendo estadísticamente similares. El resultado más bajo tuvo el T1 con 10.60% (Figura 20). Los resultados obtenidos por los tratamientos T2, T3 y T4 se consideran dentro de los rangos normales que deben variar entre 12% a 25% de proteína acorde a Tarrillo (2007). El T1 no se encuentra dentro de esta clasificación, al tener un valor inferior al mínimo no se podría garantizar que se produzca una fermentación de los carbohidratos estructurales a nivel de rumen. Además, el bajo contenido de proteína en la alimentación de vacas podría causar disminución de la resistencia corporal en animales, pérdida y desgaste muscular, produciendo un desequilibrio nutritivo, descenso del consumo de ración y una baja en la producción (Lars, 2016).

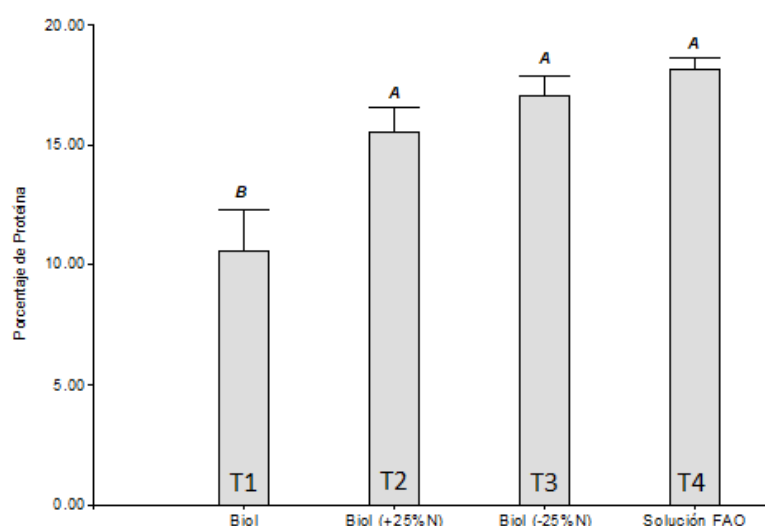


Figura 20. Contenido de proteína en forraje verde hidropónico con diferentes niveles y fuentes de N en cebada.

Los resultados obtenidos en esta investigación son inferiores a los registrados por Jumbo (2014), que al usar soluciones nutritivas en cebada hidropónica cosechada a los 12 días al 60% y 40% de biol con 55.2 mg/l y 36.8 mg/l de N, respectivamente, obtuvo 25.25% y 23.31% de proteína. Es posible que la variedad de resultados se deba a la edad de la cosecha, conforme avanza la madurez del cultivo puede haber una reducción del contenido proteínico, causado por un incremento de la materia seca, por la disolución de proteína por efecto oxidativo (Müller, Manfron, Santos, y Bandeira, 2005).

Gebremedhin, Deasi y Mayekar (2015) alcanzaron resultados en un rango de 13.83% a 13.89% al no suministrar ninguna solución nutritiva y cosechar a los 8 días. Cantunta (2015), con el uso de una solución nutritiva de lixiviado de humus y 21 mg/l de N, reporta 13% de proteína, al cosechar a los 15 días inferior a los tratamientos T2, T3 y T4, pero superior al T1 por 3%. La diferencia puede darse por la no aplicación de soluciones nutritivas o el bajo contenido de nitrógeno de estas.

4.4.2. Contenido de fibra

Una vez realizado el análisis de varianza se indica que no existe un efecto individual de los tratamientos aplicados sobre la fibra ($F=0.46$; $gl=6,3$; $P=0.7174$) (Tabla 14).

Tabla 14

Análisis de varianza para contenido de fibra en forraje verde hidropónico con diferentes niveles y fuentes de N en cebada.

Fuentes de variación	F.V	Error	Valor F	Valor P
Tratamientos	3	6	0.46	0.7174

Una vez realizada la prueba de Fisher para el contenido de fibra bruta analizado por el método AOAC 978.10 (Anexo 8), muestra que todos los tratamientos son estadísticamente similares con rangos entre 25% a 26% (Tabla 15). Estos resultados son superiores a los obtenidos por Jumbo (2014), quien al usar soluciones nutritivas con biol de estiércol bovino al 60% en el cultivo de cebada, cosechado a los 12 días (3 días menos que en este experimento) y con un contenido de nitrógeno de 55.2 mg/l, superior al T3 por 3.47 mg/l, pero inferior a los tratamientos T1 y T2 por 13.8 mg/l y 32.4 mg/l, respectivamente, obtuvo un porcentaje de fibra de 22.77%. Este resultado puede estar relacionado a la edad de la cosecha, mientras más temprana esta sea el nivel de fibra será más bajo (Müller et al., 2005). La disminución de fibra es consecuencia directa de la baja calidad que sufre la materia seca con el aumento de la edad del forraje, debido a la insolubilización de los carbohidratos (aumento de la fibra bruta) (Pérez, Pérez y Acosta, 2010).

Tabla 15

Prueba de Fisher (LSD) para contenido de fibra en forraje verde hidropónico con diferentes niveles y fuentes de N en cebada.

Tratamiento	Medias	Error Experimental
3	26.04	0.42
2	25.80	0.83
1	25.44	0.70
4	25.04	0.54

El aumento en el nivel de fibra en el forraje de cebada hidropónico presentado en este experimento puede deberse a la acumulación de carbohidratos tales como lignina, celulosa y hemicelulosas (Azim, Naseer y Ali 1989). El contenido de fibra se usa para la predicción de la condición de los forrajes. De acuerdo a Revuelta et al., 1967 citado por Lodoño (1993), clasifica a los forrajes de acuerdo con su contenido en fibra en: mediocres con 33.5% o superior, regular 28.1% a 30%, buena calidad 25.0% a 28.0%,

muy bueno 22.0% a 24.9%, y excelente no mayor de 19.5%. Los FVH de este estudio son de buena calidad, con medias de 25.04% a 26.04%.

4.5. Análisis beneficio-costo

En la variable beneficio-costo, se calculó la venta del kilogramo de forraje; de igual manera, se contabilizó todos los gastos, en este caso fueron: la compra de semilla, instalación del invernadero (depreciación) (Anexo 10), mano de obra y soluciones nutritivas; además, se utilizó un imprevisto del 3% del total de gastos. Los costos de producción en este ensayo se expresaron en dólares por unidad de producción (1000 m²) (Tabla 16).

Tabla 16

Análisis de costos de producción, rendimiento y beneficio- costo de forraje hidropónico por unidad de producción (1000 m²) para los tratamientos en estudio.

Tratamientos	T1	T2	T3	T4
	USD	USD	USD	USD
1.Mano de obra				
Labores culturales	60	65	52	40
Riego	30	30	30	30
Cosecha	82.5	84.5	71.5	123
2.Insumos				
Semilla	600	600	600	600
Soluciones nutritivas	178.2	222.6	133.8	89.1
3. Costos Fijos				
Invernadero (dep. 15 días)	37.3	37.3	37.3	37.3
Sistema de riego (dep. 15 días)	4.1	4.1	4.1	4.1
Total gastos (USD)	992	1043.5	928.7	923.5
Imprevistos (3%)	29.7	31.3	27.8	27.7
Costo de producción	1021.9	1074.8	956.6	951.2
Rendimiento kg	4596	3514	7853.8	9000
Rendimiento kg ajustado (15%)	3906.6	2986.9	6675.7	7650
Total ingresos (precio 0.30 USD/ kg)	1172	896	2002	2295
Utilidad bruta	150	-178.8	1046	1343.7
B/C	1.14	0.83	2.09	2.41

En la Tabla 16 se observa que los tratamientos T1, T2, T3 y T4 la mano de obra en referencia al total de gastos representan el 17.8%, 17.2%, 16.5% y 20.89%, respectivamente. La diferencia entre los tratamientos elaborados con biol, se debe a la preparación del forraje para la venta. El tratamiento de la FAO (T4) obtiene un valor

superior debido a la cosecha (Anexo 11), por su rendimiento alto se necesita más personal para realizar esta actividad. Con respecto a los insumos, estos representan el 78.4%, 78.83%, 79.01% y 74.61% para T1, T2, T3 y T4, correspondientemente. El valor de T4 es inferior debido al bajo costo de la solución nutritiva (Anexo 12) con respecto a los tratamientos con soluciones nutritivas con diferentes niveles de biol (Anexo 13). El valor de los insumos en especial la semilla es determinante a la hora de obtener un beneficio, lo que concuerda con lo mencionado por la FAO (2001), donde la semilla puede reflejarse en ganancias altas o pérdidas.

En el análisis de relación beneficio costo se muestra que por cada dólar invertido se obtuvo un beneficio de \$0.14, \$1.09 y 1.41 para T1, T3 y T4, respectivamente. Por lo contrario, el T2 tuvo una pérdida de \$0.17. La diferencia en el ingreso se debe básicamente a la cantidad en peso del forraje verde hidropónico obtenido a la cosecha y la venta de los mismos.

Cantunta (2015), al usar una densidad de siembra de 2.5 kg/m² y con el uso de una solución nutritiva de lixiviado de humus, reporta una relación B/C de 0.70, inferior a todos los tratamientos en esta investigación. Abadia (2018), obtiene una relación beneficio costo de 1.8 al usar la solución nutritiva de la FAO, inferior al reportado por T4, pero superior a todos los tratamientos con biol. La disparidad entre el T4 y el resultado de Abadia puede darse por condiciones climáticas o altitudes que influyen en el rendimiento. Además, valores superiores a T4 (2.41) son registrados por varios autores; Delgado (2016), obtuvo B/C de 2.8 con la solución nutritiva de la FAO, Vargas (2014) registra un B/C de 4.6 al hacer una valoración del forraje con respecto a la proteína. La diferencia entre los experimentos se debe al rendimiento y al valor de la semilla usada.

Al implementar un proyecto de producción hidropónica se debe considerar los riesgos, como la disminución de la calidad conforme avanza la madurez del cultivo. La proteína disminuye 0.7% al día, mientras el nivel de fibra se vuelve un limitante para la dosificación del forraje. Además, se debe conocer la especie animal a cuál se va a suministrar el alimento y las cantidades máximas de inclusión recomendadas en la dieta (Müller et al. 2005).

CAPÍTULO V

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente estudio se tienen las siguientes conclusiones:

- Las soluciones con biol no alcanzaron el rendimiento medido en peso fresco y materia seca obtenido con la solución nutritiva de la FAO. De los tratamientos con diferentes niveles de biol el T3 obtuvo mejores resultados. En la evaluación de la variable altura de planta de FVH se observó una diferencia significativa entre tratamientos, donde los tratamientos T3 y T4, presentaron mayor altura que los tratamientos T1 y T2.
- Considerando un enfoque nutricional, los tratamientos T2 (Biol 25%+N) y T3 (Biol 25%-N) alcanzaron los niveles de proteína obtenidos con la solución nutritiva de la FAO; mientras que, el contenido de fibra fue el mismo para todos los tratamientos.
- Para la elaboración de las soluciones nutritivas con biol se usan materias primas de poco costo, pero su relación beneficio-costos fue menor que la obtenida por el T4 (solución nutritiva FAO). De Los tratamientos con biol T1 y T3 presentaron un B/C superior a 1.
- El T3 presentó rendimientos y relación beneficio/costos menores a la solución nutritiva de la FAO (T4). Sin embargo constituye una alternativa para la producción de forraje hidropónico, ya que de esta forma se reciclan nutrientes, se elimina la dependencia de componentes inorgánicos provenientes de recursos no renovables; y se reduce la contaminación ambiental por uso de combustibles fósiles, hechos que no son considerados en los cálculos de costos de producción.

5.2. Recomendaciones

- Las soluciones nutritivas con biol analizadas desde el punto de vista de los rendimientos, presentan una variación apreciable comparada con la solución nutritiva química, esta experiencia se considera como el primer paso en la tarea de aplicar y ajustar formulaciones adecuadas de biol para la producción de FVH. con una solución perfectamente adaptada a los requerimientos del forraje se obtendrá mejores resultados.
- Basar las próximas investigaciones en las interacciones de micro elementos en soluciones nutritivas orgánicas. Obtener resultados de siembra en distintas épocas del año, distintas humedades relativas y pisos altitudinales. Realizar la segunda fase de trabajo de investigación, donde se evaluaría el aporte nutricional del T3 (Biol 25%-N) en forraje verde hidropónico de cebada en la alimentación de aves u otra especie de cría.
- Con el fin de aumentar el rendimiento por unidad de superficie, para facilitar y a la vez disminuir la mano de obra, se debe tecnificar el riego, control de humedad y temperatura. Además, considerar los riesgos de comercialización existentes en la zona donde se instalaría la unidad de producción de FVH.

6. Referencias bibliográficas

- Abadia, C. (2018). *Efecto de tres alturas de bandeja y tres densidades de siembra sobre la producción de forraje verde hidropónico de cebada (hordeum vulgare l.) en la localidad de Viacha, del departamento de la Paz* (tesis de pregrado). Universidad mayor de San Andrés facultad de agronomía, La Paz Bolivia.
- Aguirre, C. (2014). *Producción de forraje verde hidropónico*. Santiago De Chile: Instituto Nacional De Investigaciones Agropecuarias. Recuperado de <http://www.inia.cl/wp-content/uploads/2015/05/Producci%C3%B3n-de-forraje-verde-hidrop%C3%B3nico.pdf>.
- Aillon, F. y Milques, L. (2012). *Evaluación del programa de distribución de urea que comercializa el banco nacional de fomento a nivel nacional* (tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito Ecuador.
- Angus, J. F. (2012). "Fertilizer Science and Technology." In Robert A. Meyers (Ed.), *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology* (pp. 789-807). New York, United States of America: Springer New York. http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4419-0851-3_193.
- AOAC. (2014). *Official Methods of Analysis. Ass. Off. Anal. Chem.* Washington, D.C. USA
- Al-Karaki, G. N., y Al-Hashimi, M. (2012). *Green Fodder Production and Water Use Efficiency of Some Forage Crops under Hydroponic Conditions*. ISRN Agronomy, 2012, 5. doi:10.5402/2012/924672.
- Alpizar L. 2004. *Hidroponía cultivo sin tierra, técnica simple*. Cartago. Editorial Tecnológica de Costa Rica. 108p.
- Alvarea, M. (2011,). *Guía de jardinería*. Asunción,Paraguay.:Importancia de los cultivos hidropónicos .Recuperado de: <http://www.guiadejardineria.com/la-importancia-de-cultivos-hidroponicos/>.
- Alvarez, L. (2009). *Resultados y Lecciones en Introducción de Cebada Forrajera para Ganado Lechero*. Proyecto de Innovación en Regiones de La Araucanía, de Los Lagos y Metropolitana. Serie experiencias de innovación para el emprendimiento agrario, Chile.
- Ávila, O., Casierra, F., Riascos, D., 2012.- *Contenido de pigmentos fotosintéticos en hojas de caléndula bajo sol y sombra*. Temas agrarios, 17: (1) 60 - 71.

- Baixauli C, Aguilar J. 2002. *Cultivo sin suelo de Hortalizas*. Aspectos Prácticos y experiencias. Consejería de Agricultura, Pesca y Alimentación. Valencia.
- Beltrán, J. (2014). *Evaluación del efecto del biol a diferentes concentraciones en la producción de cebada y maíz hidropónico como una alternativa de aprovisionamiento de forrajes para cuyes* (tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Ecuador.
- Beltrano, J. (2015). *Introducción al cultivo hidropónico*. Buenos Aires, Argentina: Editorial de la universidad de la plata.
- Beltrano, J., y Gimenez, D. (2015). *Cultivo en hidroponía*. Buenos Aires, Argentina: Editorial de la universidad de la plata. Recuperado de <https://ebookcentral.proquest.com>.
- Biobolsa. (2015). *Manual de biol*. Ciudad de México, México: Sistema Biobolsa.
- Bidwell, R. (1993). *Fisiología Vegetal*. AGT Editores.
- Boatella, J. (2004). *Química y Bioquímica de los alimentos*. Edicions Universitat, Barcelona.
- Briones, K., Pastrano, E., y Armijos, V. (2016). *Relación beneficio – costo por tratamiento en la producción orgánica de las hortalizas (Cilantro, Lechuga, Cebolla Roja, Cebolla de Rama) en el cantón Santo Domingo de Los Colorados*. Universidad Estatal de Quevedo.
- Cakman, I., y Yazici, A. (2010). *Magnesium: A forgotten element in crop production*.
- Calles, D. (2005). *Evaluación de la Producción y Calidad de Forraje Verde Hidropónico (F.V.H) de Cebada con la Utilización de Diferentes Niveles de Azufre y su Respuesta*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Chimborazo, Ecuador. Recuperado de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2858>.
- Candia, L. (2014). *Evaluación de la calidad nutritiva de forraje verde de cebada hordeum vulgare hidropónico, fertilizado con soluciones de guano de cuy cavia porcellus a dos concentraciones*. In (pp. 55-62): Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Peruana Cayetano Heredia.
- Cangiano, A. (1997). *Producción animal en pastoreo*. Estación Experimental Agropecuaria INTA Balcarce. Argentina.

- Cantunta, T. (2015). *Efecto del abono orgánico líquido de humus en la producción de forraje verde hidropónico de cebada (hordeum vulgare) en condiciones de invernadero* (tesis pregrado) . Universidad Mayor De San Andrés Facultad De Agronomía Carrera De Ingeniería Agronómica. La Paz-Bolivia.
- Carámbula, M., y Terra, J. (2000). *Otro paso adelante en los mejoramientos de campo: la incorporación de gramíneas invernales Treinta y Tres (Uruguay):*. 5-16 (INIA Serie Actividades de Difusión ; 225) INIA Treinta y Tres. Unidad Experimental Palo a Pique (UEPP).
- Capulín Grande, J., Núñez Escobar, R. y Etchevers Barra, J. D. (2006). *Evaluación del extracto líquido de estiércol bovino como insumo de nutrición vegetal en hidroponia*.
- Capulín, J.; Núñez, R.; Sánchez, P.; Martínez, A.; Soto, M. (2015). *Producción de jitomate con estiércol líquido de bovino, acidulado con ácidos orgánicos e inorgánicos*. TERRA Latinoamericana 23(2): 241-247.
- Carballido CCD (2007) *Forraje verde hidropónico*. En Artículos Silvoagropecuarios. Www. ofertasagricolas, el articulo/ 88Consultoría Forrajera Chile.
- Carhuapoma Osnayo, W., Curi Castillo, G., Chávez Araujo, E. R., & Contreras Paco, J. (2014). *Producción de forraje verde hidropónico de cebada (Hordeum vulgare) usando efluente de piscigranja de truchas* (Vol. 8).
- Carrasco L. (2009). *Efecto de la radiación ultravioleta-b en plantas*. Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Universidad de Tarapacá. Arica-Chile.
- Castillo, F., del Carmen Moreno-Pérez, E., Contreras-Magaña, E., y Morales Gómez, J. (2013). *Hydroponic wheat and barley fodder yields and their effect on weight gain in sheep* (Vol. XIX).
- Castillo, J. *Producción de biomasa y calidad nutricional de forraje verde hidropónico de avena sativa y hordeum vulgare con dos cortes sucesivos* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Loja, Loja-Ecuador.
- Cruz, P. y Lemaire, G. (1996). *Diagnosis of the nitrogen status of grass stands*. Tropical Grasslands
- Chavez, E., Rangel, P. ,y Mendoza,A. (2006). *Manual para la preparación de soluciones nutritivas*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

- Choque, A. (2015). *“Efecto del té de estiércol de llama en la producción de forraje verde hidropónico de cebada (*hordeum vulgare* l.) en condiciones controladas* (tesis de pregrado). Universidad mayor de San Andrés, La Paz. Bolivia.
- Consejo Nacional para la Vida y el Trabajo [CONEVYT]. (2008). *Producción de jitomate mediante técnicas de hidroponía*. México: Guías de emprendizaje.
- Contreras, J. L., Tunque, M. y Cordero, A. (2015). *Rendimiento hidropónico de la arveja con cebada y trigo en la producción de germinados*. In (pp. 9-19). Gobierno regional de Huancavelica, Perú: Revista de investigación veterinaria de Perú.
- Contreras, A., Castro, P., y Ccencho, E. (2008). *Influencia de dos soluciones nutritivas en la composición química y producción de la cebada hidropónica*. In (pp. 63-67). Huancavelica, Perú: quinta esencia.
- Colón, A. (2009). *“Evaluación de híbridos de tomate (*lycopersicon esculentum* mill.. En hidroponía aplicando bioestimulante jisamar en el cantón la libertad* (tesis de pregrado). Universidad estatal península de Santa Elena, Ecuador.
- Correa, M. (2009). *¿Qué es la hidroponía?*. United States Department of Agriculture and United States Department of Commerce. Recuperado de <https://ebookcentral.proquest.com>.
- Cruz, M. y Sánchez, J. (2012). *La fibra en la alimentación del ganado lechero*. Costa Rica: Universidad de Costa Rica. Centro de Investigaciones en Nutrición Animal. Escuela de Zootecnia. Recuperado de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/nutrianimal/article/view/10317>.
- Cueto, A. y Figueroa, U. (2012). *Impacto ambiental de la fertilización y recomendaciones para mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes*. Querétaro: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Recuperado de http://www.cofupro.org.mx/cofupro/images/contenidoweb/file/seminario_fertilizacion/presentaciones_9agosto/dia1_presentacion1_jose_cueto.pdf
- Dale, J. (1988). *The control of leaf expansion*. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol* 39: 267-295.
- Delgado, J. (2016). *Producción de avena (*avena sativa*) como forraje verde hidropónico con tres métodos de producción, en el distrito 8 de la ciudad de El Alto* (tesis de pregrado). Universidad Mayor de San Andrés Facultad de Agronomía. La Paz. Bolivia.

- DE RUS, G. (2010): *Introduction to Cost-Benefit Analysis*. Looking for Reasonable Shortcuts, Cheltenham, Inglaterra, Edward Elgar.
- Douglas, J. (1976). *Advanced guide to hydroponics (soiless cultivation)*.
- Fernández, E. (2013). *Efectos del cambio climático en la producción y rendimiento de cultivos por sectores*. Bogotá: Fondo financiero de proyectos de desarrollo – FONADE e instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales – IDEAM. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Efectos+del+Cambio+Climat+ico+en+la+agricultura.pdf/3b209fae-f078-4823-afa0-1679224a5e85>
- Food and Agricultural Organization (2001). *Manual Técnico Forraje Verde Hidropónico*. Santiago de Chile. Recuperado de <http://www.fao.org/3/ah472s.pdf>.
- Food and Agricultural Organization (2014). *Bioenergía y seguridad alimentaria evaluación rápida (befs ra) manual de usuario presupuesto agrícola*.
- Food and Agricultural Organization (2019). *Guía de análisis costo beneficio. Aplicación para medidas de adaptación al cambio climático en el sector agropecuario en Uruguay*. Montevideo. 163 pp.
- Felipe, C., y Moreno, U. (2004). *Primer curso de biodigestión*. Lima: Bioagricultura casa blanca.
- Fondo de cooperación para el desarrollo social FONCODES. (2014). *Producción y uso de abonos orgánicos: biol, compost y humus*. Lima: ministerio de desarrollo e inclusión social de Perú. Recuperado de <http://www.paccperu.org.pe/publicaciones/pdf/126.pdf>
- Granstedt, A., Schneider, T., Seuri, P. y Thomsson, O. (2008). *Ecological Recycling Agriculture to Reduce Nutrien Pollution to the Baltic Sea*. *Journal Biological Agriculture and Horticulture*, 26(3) 279-307
- Gilzan, J. (2007). *Hidroponía*. Montevideo: Instituto De Investigaciones Agropecuarias.
- González, V., y Pomares, F. (2008). *La fertilización y el balance de nutrientes en sistemas agroecológicos*. Valencia: Sociedad Española de Agricultura ecológica.
- Hendrix, J. (2012). *Sustainable agricultural practices impact on phosphate rock production*. *Procedia Engineering*, 46, 54–61.

- Hogewoning S., Douwstra P., Trouwborst G., van Ieperen W., y Harbinson J. (2010) *An artificial solar spectrum substantially alters plant development compared with usual climate room irradiance spectra.*
- Inanc A. (2011). Chlorophyll: structural properties, health benefits and its occurrence in virgin olive oils. *Akadem Gida.*
- INAHMI (2018). Anuario meteorológico. Quito-Ecuador
- Instituto Nacional de investigación Agraria [INIA]. (2008). *Tecnologías innovativas apropiadas a la conservación in situ de la agrobiodiversidad. Producción y uso del biol*: Folleto. Lima, Dirección de Investigación Agraria Subdirección de Recursos Genéticos y Biotecnología Programa Nacional de Investigación en Recursos Genéticos.
- Jaén, B. (2011). *Guía para uso y la preparación de biol*. Quito: Convenio 10-Co1-043 “Seguridad Alimentaria Y Desarrollo Económico Local En Bolivia Y Ecuador.
- Jeffrey, S. (1989) *Chlorophyll c pigments and their distribution in the chromophyte algae, in The Chromophyte Algae: Problems and Perspectives.* Eds., Systematics Association Spec. Vol. No. 38, Clarendon Press, Oxford.
- Jiménez, S., Castro, I., Yépez, J., Wittmer, C. (2012). *Impacto del cambio climático en la agricultura de subsistencia en el Ecuador.* Madrid: Fundación Carolina. Recuperado de <https://www.fundacioncarolina.es/wp-content/uploads/2014/08/AI66.pdf>
- León, R. (2013). *Pastos y forrajes, producción y manejo.* Quito - Ecuador, Ediciones Científicas Agustín Alvarez. Cía. Ltda.
- Londoño, F. 1993. *Fundamentos de Alimentación Animal.* Managua, Ni. 108-109 p
- López, G. (2014). *Soluciones nutritivas orgánicas en la producción y calidad del cultivo de pepino (cucumis sativus L.) bajo invernadero.* Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Torreón, Coahuila, México.
- López, J. (2018). *El análisis Económico de los Resultados de Investigación Agropecuaria* Fundesagro. Bogotá Colombia
- Louis Bolk Institute. (2010). *Organic fertilizers and bioferments.* Recuperado de <http://api.ning.com/files/EPCK7XEQfejOZ72xMXF3ae1nAEOKShGz4j2hIjERUUr5JT9JIKThuRBttCNLCKxqvwUDTi4aPIEoxuaXItrADKUbUPPmq--/MMbookletforsmallscalefarmersinAfrica.pdf>.

- Maldonado, R., Álvarez, E., Acevedo, D., y Ríos, E. (2013). *Nutrición mineral de forraje verde hidropónico*. Revista Chapingo. Serie horticultura, 19(2), 211-223. <https://dx.doi.org/10.5154/r.rchsh.2011.10.053>
- Mageed, T., Abd, A., y Semida. W. (2015). *Effect of deficit irrigation and growing seasons on plant water status, fruit yield and water use efficiency of squash under saline soil*. Scientia Horticulturae
- Mamani, P., Chavez, E., y Ortuño, N. (2014). *El biol fertilizante casero para la producción ecológica de cultivos*. Puno: Unidad de comunicación PROINPA.
- Marschner, H. 2012. *Mineral nutrition of higher plants*. Third edition. Academic press. Londres, Inglaterra. 889 p. <http://www.sciencedirect.com/science/book/9780123849052>
- Martínez, A. (2006). *Diagnóstico y manejo de enfermedades abióticas de plantas ornamentales leñosas en el paisaje con énfasis en estrategias de IPM*. Georgia (EE.UU.), Departamento de Fitopatología, Universidad de Georgia.
- Marulanda, C., y Izquierdo, J. (2003). *La huerta hidropónica popular*. Santiago de Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
- Melgar, P. (2013). *Los balances de nutrientes en sistemas ganaderos basados en el pastoreo*: Fertilizar N° 25.
- Moaveni, P., Ebrahimi, A. y Aliabadi H. (2010). *Physiological growth indices in winter rapeseed (Brassica napus L.) cultivars as affected by drought stress at Iran*. J. Cereals Oilseeds 1:11-16.
- Molina, E. 2002. Fuentes de fertilizantes foliares. Seminario de Fertilización foliar: *Principios y Aplicaciones. Laboratorio de Suelos y Foliares en colaboración con la Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo*. Costa Rica. p. 26 – 35.
- Morgan, J., O’Haire, R. (1992). *Limiting Factors in hydroponic barley grass production. Eighth International Congress on Soilless Culture. Proceedings*. International Society for Soilless Culture. Ireland pp. 241-261.
- Müller, L., Manfron, P., Santos, O., Medeiros, S., Haut, V., Dourado, D., Binotto, E., Bandeira, A. (2005). *Producción y composición bromatológica de forraje hidropónico de maíz (Zea mays L.) con diferentes densidades de siembra y días de cosecha*. Brasil. Zootecnia Tropical 23(2): 105-119.

- Nelson, G. (2009). *Cambio climático el impacto en la agricultura y los costos de adaptación*. Washington: Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias IFPRI.
- Niklas K. (1994). *Plant allometry: The scaling of form and process*. University of Chicago Press. Chicago, EEUU.
- Oasis. (2017). *Manual de Hidroponia*. Ciudad de México: Sustratos hidropónicos marca OASIS.
- Ortiz, W. (2015). *Forraje Verde Hidropónico*. Chancay: Instituto de Educación Superior Tecnológico Público Chancay.
- Perdomo, C., Barbazán, M., Duran (2015). *Nitrógeno. Cátedra de Fertilidad. Facultad de Agronomía*. Universidad de la Republica. Montevideo. Uruguay.
- Pérez, S., Pérez, A., y Acosta, M. (2010). *Efectos del estado de madurez en el valor nutritivo y momento óptimo de corte del forraje napier (*Pennisetum purpureum* Schum.) en época lluviosa*. Revista mexicana de ciencias pecuarias, 1(3), 277-286. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242010000300007&lng=es&tlng=es
- Preciado, P., Fortis, M., García, J., y Orozco. (2011). *Evaluación de soluciones nutritivas orgánicas en la producción de tomate en invernadero*.
- Prieto, M. (2008). *Plant contamination and phytotoxicity due to heavy metals from soil and water. Tropical and Subtropical Agroecosystems*. Recuperado de: <http://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/25>
- Quispe, A., Paquiyauri, Z., Ramos, Contreras, J., Véliz, M. (2016). Rev. investig. vet. Perú vol.27 no.1. *Influencia de niveles de azufre en la producción, composición química bromatológica y digestibilidad del forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare* L.)*. Lima. Recuperado de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S160991172016000100004&script=sci_arttext.
- Ramírez, J. (2016). *Análisis Costo–Beneficio de Prácticas ASAC en la Cuenca del Río Palacé*. Calí, Colombia, CIAT.
- Resh, H. (2001). *Cultivos Hidropónicos*. Quinta edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España 558 p.

Roldán, P. (2017). *Economipedia*. Revista de Economía. Recuperado de <http://economipedia.com/definiciones/utilidad-neta.html>

Sapag, N. (2008). *Preparación y evaluación de proyectos*. Bogotá: McGraw-Hill.

Sánchez, F., Moreno, E., Contreras, E., y Morales, J. (2013). *Producción de forraje hidropónico de trigo y cebada y su efecto en la ganancia de peso de borregos*. *Revista Chapingo*. Serie horticultura, 19(4), 35-43. Recuperado en 4 de febrero de 2019, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027-152X2013000400003&lng=es&tlng=es.

Santos, C., y Rios, D. (2016). *Cálculo de soluciones nutritivas en suelo y sin suelo*. Tenerife: Servicio de Agricultura y Desarrollo Rural.

Santos A., R. (1987). *Hydroponic green forage in animal nutrition*. *Agricultura Spain* 56(654): 40-42

Salas-Pérez, L., Preciado-Rangel, P., Esparza-Rivera, J. R., Álvarez-Reyna, V. d. P., Palomo-Gil, A., Rodríguez-Dimas, N., y Márquez-Hernández, C. (2010). *Rendimiento y calidad de forraje hidropónico producido bajo fertilización orgánica*. *Terra Latinoamericana*, 28, 355-360.

Sartori, D; Catalano, G; Genco, M; Pancotti, C; Sirtori, E; Vignetti, S; Del Bo, C. (2014). *Guide to Costbenefit Analysis of Investment Projects*. Economic Appraisal Tool for Cohesion Policy 2014-2020. Italy, European Commission, Directorate-General for Regional and Urban policy.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación [SAGARPA]. (2013). *Dirección General de Apoyos para el Desarrollo Rural. Uso de fertilizantes*. Recuperado de [Uso%20de%20Fertilizantes.pdf](#).

Stein-Bachinger, K., Reckling, M., Hufnagel, J. and Granstedt, A. (2013). *Ecologic Recycling Agriculture: Farming Guidelines (Agricultura ecológica de reciclaje: directrices para las explotaciones agrícolas (1a ed., Vol. 1, p. 136)*. Berlín: BERAS - Baltic Ecologic Recycling Agriculture and Society (Agricultura y sociedad de reciclaje ecológico del Báltico).

Stryer, L. (2002). *Biochemistry*. Freeman, New York, 974 p. 5ª edición

- Suquilanda M. 2006. *Agricultura orgánica, alternativa tecnológica del futuro*. Quito. 654p.
- SWISSAID. (2010). *Biogranjas*. Recuperado de http://www.swissaid.org.ec/sites/default/files/images/revistaSWISSAID_biogranjas_01_web.pdf.
- Tarrillo, H. (2007). *Forraje verde hidropónico, forraje de alta calidad, para la alimentación animal*. Arequipa, Perú. Recuperado de: <http://www.ofertasagricolas.cl/articulos/pt.php?id=88>
- UICN, Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (2018). *Análisis Costo-Beneficio de la restauración de paisajes forestales en Perú*. Quito, Ecuador: UICN-América del Sur. 28 p.
- Urrestarazu, M. (2015). *Manual práctico del cultivo sin suelo e hidroponía*. Asturias: Ediciones Mundi-Prensa
- Valdivia, B. (1997). *Producción de Forraje Verde Hidropónico*. Rodríguez, D. A. (editor) Hidroponía Comercial. Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. pp. 91-99.
- Vega, R., y Quispe, W. (2015). *Guía y manual técnico en un producción de forraje hidrópico en un módulo automatizado*. La Paz, Bolivia: Universidad Mayor De San Andres Facultad de Ingeniería Industrial.
- Vera, J. (2006), *Evaluación ecofisiológica de la competencia intraespecífica de Cenchrus ciliaris L. (Poaceae) en macetas*. Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ) 23: 151-160. Venezuela.
- Vargas, A. (2015). *Rendimiento de sorgo (sorghum bicolor) y cebada (hordeum vulgare) bajo tres densidades de siembra como forraje verde hidropónico*. (tesis pregrado). Universidad Mayor De San Andres Facultad De Agronomía. La Paz-Bolivia.
- Weiss, W. (1993). *Impact of nutrition on ruminal health*. Department of Dairy Science. Curso de Lance. Ohio, USA. pp. 5-10
- Zárate, M.(2014). *Manual de hidroponía*. México DF, México: Instituto de Biología www.ibiología.unam.mx

7. Anexos

Anexo 1. Análisis químico de biol bovino usado en este estudio

Resultados # 1: Alexis Urresta, Biol, 06-04-2018

pH, C.E. y contenido de micronutrientes en mg / litro (respectivamente ppm) en el Biol – Nutrientes en solución, disponibles para la planta

Parámetro	Unidad	# 1: Biol
pH		4.8
Conductividad Eléctrica - C.E.	mS/cm	8.42
Nitrato (NO ₃) NO ₃ - N	mg/l	103 23.3
Amonio (NH ₄) NH ₄ - N	mg/l	269 209
(NO ₃ +NH ₄) – N	mg/l	232
Fosfato (PO ₄) PO ₄ - P	mg/l	1 190 388
Potasio (K)	mg/l	423
Magnesio (Mg)	mg/l	452
Calcio (Ca)	mg/l	958
Sulfato (SO ₄) Azufre (SO ₄ – S)	mg/l	351 117
Sodio (Na)	mg/l	168
Cloruro (Cl ⁻)	mg/l	660
Hierro (Fe)	mg/l	5.0
Manganeso (Mn)	mg/l	4.5
Cobre (Cu)	mg/l	0.64
Zinc (Zn)	mg/l	1.5
Boro (B)	mg/l	12.8

Anexo 2. Tabla de nutrientes (mg/l) para las soluciones nutritivas evaluadas

Tratamiento	N	P	K	Ca	S	Mg	Cu	Mn	Zn	Fe
T1	69	29	125.63	284.32	34.74	134	0.19	1.33	0.44	1.48
T2	86.25	37	156.93	355.41	43.40	167.69	0.23	1.66	0.55	1.85
T3	51.75	22	94.32	213.63	26	100	0.14	1.00	0.33	1.11
T4	69	11	53	63	6.56	4.96	0.0024	0.003	0.004	0.0015

Anexo 3. Medias de altura de planta (cm) por siembra en forraje verde hidropónico con diferentes niveles y fuentes de N en cebada

Siembras	Tratamientos	Medias	
Segunda	3	24.48	A
Tercera	4	24.37	AB
Primera	4	24.10	AB
Tercera	3	24.03	AB
Segunda	4	23.68	AB
Primera	3	23.18	B
Tercera	2	21.01	C
Segunda	1	20.77	C
Tercera	1	20.71	C
Primera	1	20.21	CD
Segunda	2	20.03	CD
Primera	2	19.42	D

Anexo 4. Contenido de clorofila ($\mu\text{mol}/\text{m}^2$) para los diferentes tratamientos en forraje verde hidropónico con diferentes niveles y fuentes de N en cebada.

Tratamiento	Medias	Error Experimental
2	174.72	A
3	173.32	A
1	163.61	A
4	71.71	B

Anexo 5. Prueba media de Fisher rendimiento kg/m² peso fresco en distintas épocas de siembra en forraje verde hidropónico con diferentes niveles y fuentes de N en cebada

Siembra	Tratamiento	Medias	
Tercera	T4	18.34	A
Primera	T4	17.30	A
Segunda	T4	15.27	B
Tercera	T3	14.52	BC
Primera	T3	13.93	CD
Segunda	T3	12.92	D
Tercera	T1	9.26	E
Segunda	T1	8.01	F
Tercera	T2	7.53	F
Primera	T1	6.96	F
Segunda	T2	5.66	G
Primera	T2	5.33	G

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 6. Conversión de semilla por tratamiento en distintas épocas de siembra en forraje verde hidropónico con diferentes niveles y fuentes de N en cebada

Siembras	Tratamiento	Medias
Tercera	T4	9.17
Primera	T4	8.65
Segunda	T4	7.64
Tercera	T3	7.26
Primera	T3	6.96
Segunda	T3	6.46
Tercera	T1	4.63
Segunda	T1	4.01
Tercera	T2	3.76
Primera	T1	3.48
Segunda	T2	2.83
Primera	T2	2.66

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 7. Contenido de materia seca kg/m² en distintas épocas de siembra en forraje verde hidropónico con diferentes niveles y fuentes de N en cebada

Siembra	Tratamiento	Medias	
Tercera	T4	2.13	A
Primera	T4	2.07	A
Primera	T3	1.74	B
Segunda	T4	1.63	BC
Tercera	T3	1.45	BC
Segunda	T3	1.36	C
Tercera	T1	0.86	D
Segunda	T1	0.71	DE
Tercera	T2	0.68	DE
Primera	T1	0.60	DE
Segunda	T2	0.53	DE
Primera	T2	0.49	E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 8. Análisis contenido nutricional realizado por el método AOAC 2014



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCIÓN 002 – CONEA – 2010 – 129 – DC.
Resolución No. 001 – 073 – CEACES – 2013 – 13

FICAYA

Laboratorio de Análisis Físicos, Químicos y Microbiológicos


Informe N°:	33 - 2018
Análisis solicitado por:	Sr. Alexis Urresta
Empresa:	Particular
Muestreado:	Propietario
Fecha de recepción:	20 de julio de 2018
Fecha de entrega informe:	27 de julio de 2018
Ciudad:	Ibarra
Provincia:	Imbabura
Muestra:	Cebada
No. de Lote	No aplica
No. Unidades Analizadas	8

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado				Metodo de ensayo
		T1R1	T1R2	T2R1	T2R2	
Proteína Total B.S.	%	9,3	8,6	13,80	17,30	AOAC 920.87
Fibra Total B.S.	%	26,82	24,9	27,40	24,60	AOAC 978.10

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado				Metodo de ensayo
		T3R1	T3R2	T4R1	T4R2	
Proteína Total B.S.	%	18,7	16,1	18,00	17,60	AOAC 920.87
Fibra Total B.S.	%	25,2	26,4	24,50	24,50	AOAC 978.10

Los resultados obtenidos pertenecen exclusivamente para las muestras analizadas

Atentamente:


Biq. José Luis Moreño
Técnico de Laboratorio



Visión Institucional

La Universidad Técnica del Norte en el año 2020, será un referente en ciencia, tecnología e innovación en el país, con estándares de excelencia institucionales.

Av. 17 de Julio S-21 y José María
Córdova. Barrio El Olivo.
Teléfono: (06)2997800
Fax: Ext: 7711.
Email: utn@utn.edu.ec
www.utn.edu.ec
Ibarra - Ecuador

Anexo 9. Porcentaje de proteína de los forrajes evaluados

Tratamiento	Medias	Rango
4	18.20	A
3	17.08	A
2	15.55	A
1	10.60	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 10. Costo de invernadero hidropónico de madera artesanal por hectárea

Coste de invernadero hidropónico artesanal de madera por hectárea			
	Valor Unitario (USD)	Cantidad	Valor total (USD)
Mano de obra plástico	15	48	720
Colocar plástico	15	24	360
Total mano de obra			1080
Insumos			
Clavos 2	1.3	120	156
Clavos 2 1/2	1.5	85	127.5
Clavos 3	1.55	160	248
Grapas 5/8	1.5	100	150
Alambre 11	0.6	220	132
Alambre 10	0.5	270	135
Pingos	0.8	590	472
Guadua	2.1	285	598.5
Tiras de madera	8.9	800	7120
Tablón	18.9	40	756
Sarán (70%)	2.5	1000	2500
Sarán (50%)	2	2300	4600
Grapadora	35.2	1	35.2
Puntales de madera	480	18.84	9043.2
Plástico de invernadero	25	340	8500
Bandejas hidropónicas	5.4	1698	9169.2
Total			44822.6

Anexo 11. Costos de mano de obra por unidad de producción 1000 m² por ciclo de cultivo

Costos de labores culturales (1000 m ²) x 15 días				
	T1	T2	T3	T4
	USD	USD	USD	USD
Manejo de cortinas	15	15	15	15
Deshierba	10	10	10	10
Mantenimiento de humedad y reporte de daños	125	125	125	125
Preparación de la solución nutritiva	22.5	27.5	14.5	2.5
Total	60	65	52	40

Costos de cosecha (1000 m ²) x15 días				
	T1	T2	T3	T4
	USD	USD	USD	USD
kg/obtenidos	3906.6	2986.9	6675.7	7650
Número de sacos (50 kg)	78.1	59.7	133	153
Limpieza de follaje	20	26	23	-
Valor de total (0.80 USD/cosecha de saco)	82.5	84.5	71.5	123

Anexo 12. Costo de la solución nutritiva de la FAO incluida la solución nutritiva A y B para unidad de producción 1000 m² por ciclo de cultivo

Solución nutritiva FAO costo 1000m ²	
	Valor (USD)
Fosfato mono amónico	10.54
Nitrato de Calcio	10.34
Nitrato de Potasio	106
Sulfato de Magnesio	3.34
Sulfato de Cobre	2.8
Sulfato de Manganeso	4.3
Sulfato de zinc	3.3
Ácido Bórico	2.8
Molibdato de Amonio	30.5
Quelato de hierro	8.4
	86.92

Anexo 13. Costo de las soluciones nutritivas con diferentes niveles de biol para unidad de producción 1000 m² por ciclo de cultivo

soluciones nutritivas con biol por (1000 m ²)		
	Número de tanques (160l)	Valor (USD)
T1	20	178.2
T2	25	222.6
T3	15	133.8

Eficiencia del tanque de biol		
160	100	112
X	70	
Coste individual + depreciación		
Valor en 112 l	9,33	
Valor por litro	0,08	

Depreciación	USD
Tanque 160 Litros	23
Manguera transparente	1,5
Acople 1/2 (abrazadera)	0,5
Sujetador (neplo)	2,55
Balde 10 litros	5,2
Tres años	32,75
Valor de aplicación 15 días	0,45