



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

**FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS
NATURALES RENOVABLES**

**CARRERA DE INGENIERÍA
AGRONÓMICA**

**PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y CALIDAD
NUTRICIONAL DE FORRAJE VERDE
HIDROPÓNICO DE *Avena sativa* L. y *Hordeum
vulgare* L. CON DOS CORTES SUCESIVOS.**

TESIS DE GRADO PREVIO A
LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO AGRÓNOMO

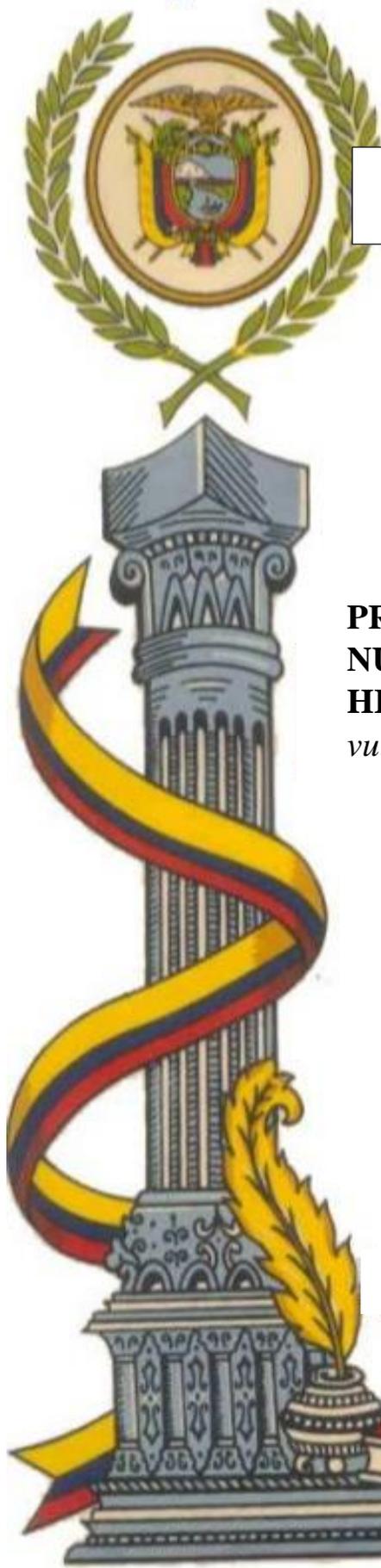
AUTOR:

James Rodrigo Castillo Valdivieso

DIRECTOR:

Ing. Bolívar Efrén Cueva Cueva Mg.Sc.

Loja – Ecuador
2017



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

CERTIFICACIÓN

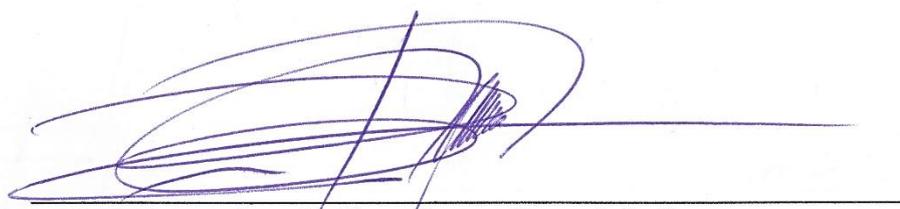
Ing. Bolívar Cueva Cueva Mg;Sc.

DIRECTOR DE TESIS

En calidad de Director de la tesis titulada **PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y CALIDAD NUTRICIONAL DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE *Avena sativa L.* y *Hordeum vulgare L.* CON DOS CORTES SUCESIVOS**, de autoría de la señor egresado de la Carrera de Ingeniería Agronómica **James Rodrigo Castillo Valdivieso**, ha sido dirigida, revisada y desarrollada dentro del cronograma aprobado, en su integridad; por lo que autorizo su presentación y publicación.

Loja, 22 de mayo de 2017

Atentamente,



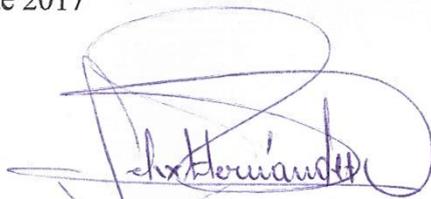
Ing. Bolívar Cueva Cueva Mg;Sc.
DIRECTOR DE TESIS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

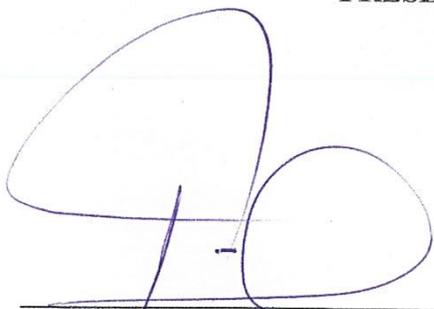
CERTIFICACIÓN

Una vez cumplida la reunión del Tribunal de calificación del Trabajo Final de Tesis **PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y CALIDAD NUTRICIONAL DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE *Avena sativa* L. y *Hordeum vulgare* L. CON DOS CORTES SUCESIVOS**, de la autoría del Señor JAMES RODRIGO CASTILLO VALDIVIESO, egresado de la Carrera de Ingeniería Agronómica, se le propuso realizar algunas correcciones, mismas que ya han sido incluidas en el documento final. En tal virtud, nos permitimos certificar que el trabajo final consolidado de investigación está acorde a los requerimientos de la Carrera de Ingeniería agronómica, por lo tanto se autoriza continuar con los trámites correspondientes.

Loja, 11 de Octubre de 2017



Ing. Félix Hernández Mg.Sc.
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL
CALIFICADOR**



Ing. Edmigio Valdivieso Mg. Sc.
VOCAL



Ing. Klever Chamba
VOCAL

AUTORÍA

Yo, **James Rodrigo Castillo Valdivieso**, declaro ser autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

Autor: James Rodrigo Castillo Valdivieso

Firma:  _____

Cédula: 1103576623

Fecha: 11 de Octubre de 2017

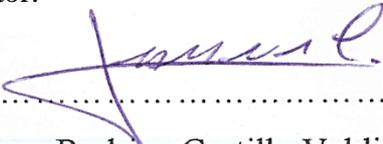
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO

Yo, James Rodrigo Castillo Valdivieso, declaro ser autor de la tesis titulada **PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y CALIDAD NUTRICIONAL DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE *Avena sativa* L. y *Hordeum vulgare* L. CON DOS CORTES SUCESIVOS**, como requisito para optar al grado de: Ingeniero Agrónomo, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja, para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con los cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero. Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los doce días del mes de Octubre del dos mil diecisiete, firma el autor.

Firma el autor.

Firma: 

Autor: James Rodrigo Castillo Valdivieso

Número de cédula: 1103576623

Dirección: Provincia Loja, Cantón Loja, Parroquia Sagrario

Correo electrónico: castillojamesv7@gmail.com

Teléfono: 2552029

Celular: 0979695157

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: Ing. Bolívar Cueva Cueva Mg. Sc.

Tribunal de grado: Ing. Félix Hernández Mg.Sc.

PRESIDENTE

Ing. Edmigio Valdivieso Mg. Sc.

VOCAL

Ing. Klever Chamba

VOCAL

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mis sinceros agradecimientos a todos quienes hicieron posible la culminación de la presente investigación:

A la Universidad Nacional de Loja, a la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables y a todos los docentes por sus conocimientos y experiencias brindadas durante los años de vida universitaria

Expreso mi más sincero agradecimiento a los docentes, Ing. Paulina Fernández Mg. Sc., por su ayuda en las primeras instancias para el desarrollo de la presente investigación, así como también de manera especial al Ing. Bolívar Cueva Cueva Mg. Sc., director de tesis por su apoyo técnico para la culminación con éxito de la misma.

De igual manera un agradecimiento cordial al Responsable del laboratorio de Bromatología, Ing. Vicente Apolo por su ayuda para el cumplimiento de la presente investigación.

Y a todas las personas, que de una u otra manera me supieron apoyar. A todos ellos mi más sincero agradecimiento.

James Rodrigo Castillo Valdivieso.

DEDICATORIA

Este trabajo va dirigido de manera especial para mis padres queridos LUIS CASTILLO Y MARTHA VALDIVIESO, quienes han sido mi apoyo y pilar fundamental para poder culminar con éxito mi carrera universitaria y han sabido brindarme su sacrificio, amor y consejos.

A mis hermanos LUIS, YONNY Y MARTHA por su comprensión y apoyo incondicional para seguir creciendo y superarme profesionalmente.

A mi esposa LORENA CHAMBA por apoyarme constantemente en mis estudios; y a mi querido hijo JUAN PABLO por ser mi mejor compañía en todo momento y sobre todo por ser la razón de mi vida y mi felicidad.

De igual manera para toda mi familia y amigos que supieron estar conmigo en los buenos y malos momentos, que con sus consejos supieron brindarme el apoyo necesario para no decaer y seguir adelante. A todos ellos dedico este trabajo fruto del esfuerzo y la dedicación perseverante.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
PORTADA	i
CERTIFICACIÓN	ii
CERTIFICACIÓN	iii
AUTORÍA	iv
CARTA DE AUTORIZACIÓN	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA	vii
ÍNDICE GENERAL	viii
ÍNDICE DE CUADROS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
1.INTRODUCCIÓN	1
2.REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Avena.....	3
2.1.1. La Avena como forraje verde hidropónico.....	3
2.1.1.1. Clasificación Taxonómica de la Avena.....	3
2.1.2. Características Morfológicas de la Avena.....	4
2.1.3. Valor Nutritivo de la Avena.....	6
2.1.4. Requerimientos Nutricionales de cultivo de Avena.....	6
2.2. La Cebada.....	7
2.2.1. LA CEBADA COMO FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO.....	7
2.2.1.1. Clasificación Taxonómica de la Cebada.....	7
2.2.2. Características Morfológicas de la Cebada.....	8
2.2.3. Valor Nutritivo del Grano Cebada.....	10
2.2.4. Requerimientos Nutricionales del Cultivo de Cebada.....	10
2.3. Hidroponía.....	10

2.4.Historia de la hidroponía	11
2.5.Importancia del forraje verde hidropónico.....	11
2.6.Forraje hidropónico.....	12
2.7.Ventajas del forraje hidropónico.....	12
2.8.Factores determinantes en la producción de Forraje Verde Hidropónico (FVH).....	13
2.8.1. Luz.....	13
2.8.1.Temperatura	13
2.8.2.Humedad	13
2.9.Trabajos Realizados en Hidroponía con Avena y Cebada	13
3.MATERIALES Y METODOLOGIA.....	17
3.1.Ubicación de ensayo.....	17
3.1.1.Ubicación geográfica de la Argelia Loja.....	17
3.1.2.Ubicación climática de la Argelia	17
3.1.3.Clasificación ecológica de la Argelia.....	17
3.2.Materiales.....	18
3.2.1. Material de campo y laboratorio	18
3.2.1.Materiales de Oficina	18
3.2.2.Soluciones minerales.....	18
3.3.Metodología	19
3.3.1.Metodología para evaluar la producción de biomasa	19
3.3.1.1.Selección de semilla.....	19
3.3.1.2.Lavado y desinfectado de semillas y bandejas.....	19
3.3.1.3.Pre germinación.....	20
3.3.1.4.Siembra	21
3.3.1.5.Germinación.....	21
3.3.1.6.Suministro de soluciones nutritivas.....	22
3.3.1.7.Cosecha y Estimación de biomasa vegetal.....	24
3.3.2.Metodología para determinar el valor nutricional de Avena y Cebada	26
3.3.2.1. Proteína	26
3.3.2.2. Materia seca.	28
3.3.2.3.Fibra	29
3.3.2.4.Cenizas	30
3.3.2.5.Grasa	32
3.3.3.Metodología para establecer los costos de producción de los tratamientos	35
3.3.3.1. Costos de producción por tratamiento.....	35
3.3.4.Diseño experimental.....	35

3.3.4.1. Factores en estudio	36
3.3.4.2. Hipótesis Modelo	37
3.3.4.3. Análisis de varianza	37
3.3.4.4. Variables independientes.....	38
3.3.4.5. Variables dependientes.....	38
3.3.4.6. Esquema de la disposición del ensayo.	39
4. RESULTADOS	40
4.1. Producción de biomasa de <i>Avena sativa</i> L. y <i>Hordeum vulgare</i> L.	40
4.1.1. Germinación.....	40
4.1.2. Días a la germinación.....	40
4.1.3. Altura de la planta al primer corte.....	43
4.1.4. Altura de la planta al segundo corte	43
4.1.5. Rendimiento de las plantas al primer corte	44
4.1.6. Rendimiento al segundo corte	45
4.1.7. Características morfológicas de color del forraje de avena y cebada.....	46
4.2. Valor nutricional de <i>Avena sativa</i> L. y <i>Hordeum vulgare</i> L. en dos cortes sucesivos	47
4.2.1. Proteína al primer corte	47
4.2.2. Proteína al segundo corte	47
4.2.3. Materia seca al primer corte	48
4.2.4. Materia seca al segundo corte	49
4.2.5. Fibra al primer corte.....	50
4.2.6. Fibra al segundo corte	50
4.2.7. Cenizas al primer corte.....	51
4.2.8. Cenizas al segundo corte	52
4.2.9. Grasa al primer corte.....	53
4.2.10. Grasa al segundo corte	54
4.3. Costos de producción por tratamiento de <i>Avena sativa</i> L. y <i>Hordeum vulgare</i> L.....	56
5. DISCUSIÓN	65
6. CONCLUSIONES	68
7. RECOMENDACIONES	69
9. ANEXOS	74

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Contenido	Página
Cuadro 1.	Análisis comparativo del valor nutricional del grano de avena y el FVH obtenido de las semillas de avena a los 10 cm de altura y 13 días de crecimiento.....	6
Cuadro 2.	Valor nutritivo de la avena	6
Cuadro 3	Comparación entre las características del FVH (cebada) y otras fuentes alimenticias.....	10
Cuadro 4.	Valor nutritivo de la cebada	10
Cuadro 5.	Soluciones y dosis nutritivas. Dosificación de 5ml/l y 7ml/l.....	23
Cuadro 6.	Soluciones y dosis nutritivas. Dosificación de 2.5ml/l y 4ml/l.....	23
Cuadro 7.	Análisis de varianza.....	37
Cuadro 8.	Variables independientes.....	38
Cuadro 9.	Costos de producción tratamiento uno.....	56
Cuadro 10.	Costos de producción tratamiento dos.....	57
Cuadro 11.	Costos de producción tratamiento tres.....	58
Cuadro 12.	Costos de producción tratamiento cuatro.....	59
Cuadro 13.	Costos de producción tratamiento cinco	60
Cuadro 14.	Costos de producción tratamiento seis.....	61
Cuadro 15	Costos de producción tratamiento siete.....	62
Cuadro 16.	Costos de producción tratamiento ocho.....	63

Cuadro 17	Costos de producción total.....	64
-----------	---------------------------------	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Contenido	Página
Figura 1.	Sistema radicular de la Avena.	4
Figura 2.	Tallo de Avena.	4
Figura 3.	Hoja de Avena.	5
Figura 4.	Inflorescencia de Avena.....	5
Figura 5.	Semilla de Avena.	5
Figura 6.	Sistema radicular de la Cebada.	8
Figura 7.	Hojas de Cebada.	8
Figura 8.	Tallo de Cebada.	8
Figura 9.	Inflorescencia de Cebada.	9
Figura 10.	Grano de Cebada.	9
Figura 11.	A) Semilla de avena y B) semilla de cebada.....	18
Figura 12.	A) Selección de semilla de avena y B) Selección de semilla de cebada.	19
Figura 13.	A) Lavado de semilla y B) Desinfección de semillas.	20
Figura 14.	A) Drenado del agua y B) Pre germinación de semillas	20
Figura 15.	A, B y C. Proceso de siembra de semilla bajo condiciones controladas para la producción de forraje hidropónico.....	21
Figura 16.	A) Germinación de semillas de avena y B) Germinación de semillas de cebada..	22
Figura 17.	A) y B) Fertirrigación del cultivo hidropónico de avena y cebada	24

Figura 18.	Escala de colorimetría para hojas	24
Figura 19.	Corte del forraje verde hidropónico de avena.....	25
Figura 20.	A) Picado del FVH y B) Pesado del FVH.	26
Figura 21.	A, B y C Determinación de proteínas en aparato kjeldahl.....	28
Figura 22.	Determinación de la fibra.....	30
Figura 23.	Determinación de la ceniza.....	32
Figura 24.	Determinación de grasa.....	34
Figura 25.	Esquema de la disposición del ensayo.....	39
Figura 26.	Porcentaje de germinación.....	40
Figura 27.	Días a la germinación	42
Figura 28.	Altura de la planta al primer corte.....	43
Figura 29.	Altura de la planta al segundo corte.....	44
Figura 30.	Rendimiento de las plantas al primer corte.....	45
Figura 31.	Rendimiento de las plantas al segundo corte.....	46
Figura 32.	Color del forraje de avena y cebada	46
Figura 33.	Porcentaje de proteína al primer corte.....	47
Figura 34.	Porcentaje de proteína al segundo corte.....	48
Figura 35.	Porcentaje de materia seca al primer corte.....	49
Figura 36.	Porcentaje de materia seca al segundo corte.....	49
Figura 37.	Porcentaje de fibra al primer corte.....	50
Figura 38.	Porcentaje de fibra al segundo.....	51
Figura 39.	Porcentaje de cenizas al primer corte.....	52
Figura 40.	Porcentaje de cenizas al segundo corte.....	53
Figura 41.	Porcentaje de grasa al primer corte.....	54
Figura 42.	Porcentaje de grasa al segundo corte.....	55
Figura 43.	Socialización de resultados de tesis.....	55

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo	Contenido	Página
Anexo 1.	Análisis estadístico para el porcentaje de germinación en el cultivo hidropónico de <i>Avena sativa</i> L. y <i>Hordeum vulgare</i> L.....	74
Anexo 2	Días a la germinación del cultivo hidropónico de <i>Avena sativa</i> L. y <i>Hordeum vulgare</i> L.....	74
Anexo 3.	Análisis estadístico para la variable altura de planta de <i>Avena sativa</i> L. y <i>Hordeum vulgare</i> L. al primer corte.....	75
Anexo 4.	Análisis estadístico para la variable altura de planta de <i>Avena sativa</i> L. y <i>Hordeum vulgare</i> L. al segundo corte.....	75
Anexo 5.	Análisis estadístico para la variable rendimiento de planta de <i>Avena sativa</i> L. y <i>Hordeum vulgare</i> L. al primer corte.....	76
Anexo 6.	Análisis estadístico para la variable rendimiento de planta de <i>Avena sativa</i> L. y <i>Hordeum vulgare</i> L. al segundo corte.....	76
Anexo 7.	Análisis estadístico para la variable porcentaje de proteína de <i>Avena sativa</i> L. y <i>Hordeum vulgare</i> L. al primer corte.....	77
Anexo 8.	Análisis estadístico para la variable porcentaje de proteína de <i>Avena sativa</i> L. y <i>Hordeum vulgare</i> L. al segundo corte.....	78
Anexo 9.	Análisis estadístico para la variable porcentaje Materia seca <i>Avena sativa</i> L. y <i>Hordeum vulgare</i> L. al primer corte.....	78
Anexo 10.	Análisis estadístico para la variable porcentaje Materia seca de <i>Avena sativa</i> L. y <i>Hordeum vulgare</i> L. al segundo corte.....	79
Anexo 11.	Análisis estadístico para la variable porcentaje de fibra de <i>Avena sativa</i> L. y <i>Hordeum vulgare</i> L. al primer corte.....	80

Anexo 12.	Análisis estadístico para la variable porcentaje de fibra de <i>Avena sativa</i> L. y <i>Hordeum vulgare</i> L. al segundo corte.....	80
Anexo 13.	Análisis estadístico para la variable porcentaje de Cenizas de <i>Avena sativa</i> L. y <i>Hordeum vulgare</i> L. al primer corte.....	81
Anexo 14.	Análisis estadístico para la variable porcentaje de Cenizas de <i>Avena sativa</i> L. y <i>Hordeum vulgare</i> L. al segundo corte.....	82
Anexo 15.	Análisis estadístico para la variable porcentaje de grasa de <i>Avena sativa</i> L. y <i>Hordeum vulgare</i> L. al primer corte.....	82
Anexo 16.	Análisis estadístico para la variable porcentaje de grasa de <i>Avena sativa</i> L. y <i>Hordeum vulgare</i> L. al segundo corte.....	83
Anexo 17.	Socialización de resultados de tesis.....	84

**PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y CALIDAD NUTRICIONAL DE
FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE *Avena sativa* L. y *Hordeum
vulgare* L. CON DOS CORTES SUCESIVOS.**

RESUMEN

La ganadería en Ecuador y la provincia de Loja es una actividad trascendental dentro de la producción agropecuaria; es importante conocer la calidad del forraje que alimenta al ganado, una alternativa para la producción de forraje es a través del cultivo hidropónico.

Se realizó ensayos en cultivo hidropónico de avena y cebada, con la aplicación de macro y micronutrientes, realizando dos cortes sucesivos, a los 20 días a partir de la siembra y a los 15 días después del primer corte. Se evaluó producción de biomasa, valor nutricional y costos de producción. Los tratamientos en experimento fueron T1=Avena+ Macronutriente 5,0 ml/l+ micronutriente 2,5 ml/l; T2=Avena+ Macronutriente 5,0 ml/l+ micronutriente 4,0 ml/l; T3=Avena+ Macronutriente 7,0 ml/l+ micronutriente 2,5 ml/l; T4=Avena+ Macronutriente 7,0 ml/l+ micronutriente 4,0 ml/l; T5=Cebada+ Macronutriente 5,0 ml/l+ micronutriente 2,5 ml/l; T6=Cebada+ Macronutriente 5,0 ml/l+ micronutriente 4,0 ml/l; T7=Cebada+ Macronutriente 7,0 ml/l+ micronutriente 2,5 ml/l; y T8=Cebada+ Macronutriente 7,0 ml/l+ micronutriente 4,0 ml/l.

La investigación se desarrolló en dos fases, una de campo que se realizó en el Banco de Germoplasma y una fase de laboratorio se realizó en el Laboratorio Bromatológico de la UNL. Los costos de producción se determinaron según la FAO.

En el primer corte la mejor producción de biomasa se alcanzó en el tratamiento T4. El mejor valor nutricional se determinó por la proteína, cuyo mejor resultado se obtuvo en el tratamiento T7; T6 y T3. La mejor producción de MS se alcanzó en el T3 y T7. En cuanto a fibra los mejores tratamientos fueron T7 y T3. En ceniza y grasa los mejores resultados se obtuvieron en el T2 y el T7.

Al segundo corte se logró mayor rendimiento en T4 y T8. El valor nutricional se determinó por la proteína en el T3 y T8. Para MS los resultados más efectivos fueron T3 y T6. Fibra al segundo corte los mejores tratamientos fueron el T2 y T8. En cuanto al contenido de ceniza y grasa los mejores resultados se obtuvieron en el T4 y T7. En cuanto a los costos de producción el tratamiento que resultó más rentable es el T3 y T7.

Palabras clave: Hidropónico, producción biomasa, calidad nutricional, avena, cebada.

ABSTRACT

Livestock in Ecuador and the province of Loja is a transcendental activity within the agricultural production; It is important to know the quality of the feed that feeds the cattle, an alternative for the production of fodder is through the hydroponic cultivation.

Tests were carried out in hydroponic cultivation of oats and barley, with the application of macro and micronutrients, making two successive cuts, at 20 days after sowing and at 15 days after the first cut. Biomass production, nutritional value and production costs were evaluated. The treatments in the experiment were T1 = Avena + Macronutrient 5.0 ml / l + micronutrient 2.5 ml / l; T2 = Oat + Macronutrient 5.0 ml / l + micronutrient 4.0 ml / l; T3 = Oat + Macronutrient 7.0 ml / l + micronutrient 2.5 ml / l; T4 = Oat + Macronutrient 7.0 ml / l + micronutrient 4.0 ml / l; T5 = Barley + Macronutrient 5.0 ml / l + micronutrient 2.5 ml / l; T6 = Barley + Macronutrient 5.0 ml / l + micronutrient 4.0 ml / l; T7 = Barley + Macronutrient 7.0 ml / l + micronutrient 2.5 ml / l; And T8 = Barley + Macronutrient 7.0 ml / l + micronutrient 4.0 ml / l.

The research was developed in two phases, one field that was carried out in the Bank of Germplasm and a laboratory phase was carried out in the Bromatological Laboratory of the UNL. Production costs were determined by FAO.

In the first cut the best biomass production was reached in the T4 treatment. The best nutritional value was determined by the protein, whose best result was obtained in the T7 treatment; T6 and T3. The best MS production was achieved in T3 and T7. As for fiber the best treatments were T7 and T3. In ash and fat the best results were obtained in T2 and T7.

The second cut achieved higher yields in T4 and T8. The nutritional value was determined by the protein in T3 and T8. For MS the most effective results were T3 and T6. Fiber to the second cut the best treatments were T2 and T8. As for ash and fat content the best results were obtained in T4 and T7. In terms of production costs, the most cost-effective treatment is T3 and T7.

Keywords: Hydroponic, biomass production, nutritional quality, oats, barley.

1. INTRODUCCION

En el Ecuador la ganadería ocupa un lugar preponderante en la producción agropecuaria; por lo tanto, el conocimiento de las mejores especies forrajeras es de gran importancia y constituye una rama agronómica que trae como consecuencia la intensificación del cultivo de las más diversas plantas forrajeras para el consumo de los animales. El adelanto ganadero no se logra solamente contando con animales con alto pedigrée, sino proporcionando, a la vez, una alimentación adecuada que permita mantener sus características genéticas de alta producción, que se perderían con una alimentación deficiente (Alba, 2014).

Según la FAO (2014) en los últimos 25 años, en todo el mundo se ha deforestado una superficie boscosa equivalente al territorio de la India (3.287.263 Km²). En América Central y América del Sur, la expansión de los pastizales para la producción ganadera ha sido una de las causas de esta enorme destrucción.

Según Pezo *et al.* (1996) los sistemas de producción de forraje convencional han venido experimentando serias dificultades marcadas por la situación actual del sector agropecuario, el intenso crecimiento en la tasa de urbanización y el aumento en el valor de las tierras centrales se han encargado de desplazar las explotaciones pecuarias hacia sectores donde se reduce el potencial de producción.

Frente a ello una de las alternativas para la producción de forraje es a través del cultivo hidropónico, el cual produce un gran beneficio económico en la producción por las ventajas que este ofrece (Arano, 1998).

El manejo de especies en forma hidropónica en Ecuador resulta una práctica que se encuentra en crecimiento, pero a la vez también se puede decir que existe poca información sobre especies principalmente forrajeras, aptas para ser utilizadas en nuestras regiones (Navarrete. 2008).

Estos antecedentes crean un ambiente ideal y necesario para investigar alternativas para producción de forraje hidropónico con especies gramíneas *Avena sativa* L. y *Hordeum vulgare* L. con la aplicación de diferentes concentraciones de macro y micronutrientes como lo recomienda Vargas(2007) realizando dos cortes sucesivos, con la finalidad de elevar la producción de biomasa para la alimentación animal y así contribuir con el

sector ganadero de la hoya de Loja y por otro lado contribuir a la no deforestación de nuestros campos. El trabajo de investigación se desarrolló en dos fases, una de campo donde se implementó el cultivo hidropónico de gramíneas *Avena sativa* L. y *Hordeum vulgare* L., para los dos cortes sucesivos, esto se llevó a cabo en el Banco de Germoplasma de la Universidad Nacional de Loja; luego de ello las muestras fueron enviadas al laboratorio de Bromatología de la Universidad Nacional de Loja, para su análisis bromatológico, estos análisis se realizaron siguiendo protocolos preestablecidos por Kjeldahj(proteína), Weende(fibra y ceniza) y Soxhlet(grasa), finalmente se determinaron los costos de producción por tratamiento tomando en cuenta algunas premisas propuestas por la FAO.

Los objetivos que orientaron la presente investigación fueron los siguientes

Objetivo general

Generar alternativas de producción de biomasa, mediante el cultivo de forraje verde hidropónico para manejar la dieta alimenticia de ganado beneficiando al ganadero de la región sur del Ecuador.

Objetivos específicos

Evaluar la producción de biomasa en forraje verde hidropónico (FVH) de dos gramíneas con dos cortes sucesivos.

Determinar el valor nutricional en forraje verde hidropónico (FVH) de gramíneas con dos cortes sucesivos.

Establecer los costos de producción de los tratamientos en la producción de forraje verde hidropónico.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1. Avena

La avena es una gramínea muy buena para la producción de heno o el pastoreo, pero es apreciada en zonas secas, muy altas o salinas una planta que puede adaptarse a una gran variedad de climas desde semicálidos a fríos y alturas desde 0 a 3.000 msnm. Aunque en general se siembra en regiones de clima frío seco o húmedo. Produce una cosecha anual (Rojas, 2009).

Su ciclo vegetativo esta en 180 días, grano mediano, se usa tierna como forraje y en seco como semilla, el peso de siembra es de 0,05 Tn/ha. Rendimiento en verde 34 Tn/ha, habito de crecimiento erecto, funciona bien asociada con vicia forrajera para corte (Fundación de las Naciones Unidas para el Desarrollo Agropecuario, 2006).

2.1.1. La Avena como forraje verde hidropónico

La avena ocupa los primeros lugares en importancia de cereales a nivel mundial, debido al uso para alimentación humana y animal principalmente. En este último se ha utilizado tanto en grano como en forraje ya sea en forma de heno o con animales en pastoreo (Rojas, 2009).

Dentro del grupo de los cereales, la avena es la principal especie cultivada en el mundo para la producción de forraje o grano, destinados a la alimentación de rumiantes. Su grano es de buena calidad, con un contenido de proteína de alto valor biológico, superior a otros cereales de grano pequeño. Ocupa el 7.9% de la superficie de cultivos anuales. Después del trigo y junto al maíz, es el segundo cereal más importante en superficie cultivada. El valor de su producción, que alcanza el 4.5% del valor total obtenido por los cultivos anuales en donde el 14% es utilizado como forraje (Rojas, 2009).

2.1.1. Clasificación Taxonómica de la Avena

Según Toapanta (2014), la clasifica a la avena de la siguiente manera.

Reino:	Vegetal
División:	Anthophyta
Clase:	Liliópsida
Sub-clase:	Commelinidas

Orden: Poales
Familia: Poáceas
Género: Avena
Especie: *Avena sativa* L. Cronquist (1981)

2.1.2. Características Morfológicas de la Avena



Figura 1. Sistema radicular de la Avena. Carretero, 2004

Sistema radicular: Seudo fasciculado, potentes y más abundantes (Figura 1) que en el resto de los cereales como el trigo y la cebada (Carretero, 2004).



Figura 2. Tallo de Avena. Carretero, 2004

Tallos: Cilíndrico, hueco en los entrenudos y macizo en los nudos, donde se insertan las hojas (Figura 2). En estado vegetativo es corto y puede dar lugar a estolones o rizomas. Hojas alternas, dísticas, lineares a lanceoladas; en su parte inferior se encuentra la vaina, envuelve el tallo y en la superior el limbo plano.

En la unión del limbo y la vaina puede haber una lígula membranosa o pelosa. El limbo puede presentar en su base dos prolongaciones laterales o aurículas, siendo además grueso y recto con poca resistencia al vuelco, la longitud puede variar de 0,50 a 1,5 m (Carretero, 2004).



Figura 3. Hoja de Avena. Carretero, 2004

Hojas: Sus hojas son planas y alargadas, con un limbo estrecho y largo de color verde oscuro (Figura 3) (Carretero, 2004).

Inflorescencias: Las inflorescencias de la avena son panículas, con racimos de espigas de dos a tres flores, situadas sobre largos pedúnculos (Figura 4) (Carretero, 2004).



Figura 4. Inflorescencia de Avena. Herbario UPNA. 2007

Flores: Hermafroditas, unisexuales o estériles, con 2 brácteas: lema y palea con aristas en diversas posiciones. Tienen 3 estambres, grandes anteras, exsertos en la floración. Gineceo con dos estigmas plumosos; en la base del gineceo están las lodículas que separan las glumelas y permiten la salida de las anteras (Carretero, 2004).



Figura 5. Semilla de Avena. Herbario UPNA. 2007

Semilla: Contenida en un fruto cariósipide, presenta una estructura llamada pericarpio; corresponde a la fusión de las paredes del ovario, se presenta unido a la testa de la semilla (Figura 5). Esta última la conforma el endosperma y el embrión que está formado de coleorriza, radícula, coleoptilo y escutelo (Carretero, 2004).

2.1.3. Valor Nutritivo de la Avena

Cuadro 1. Análisis comparativo del valor nutricional del grano de avena y el FVH obtenido de las semillas de avena a los 10 cm de altura y 13 días de crecimiento.

Nutriente o factor	Grano	FVH
Materia seca (%)	91,0	32,0
Cenizas (%)	2,3	2,0
Proteína Bruta (%)	8,7	9,0
Proteína Verdadera (%)	6,5	5,8
Pared Celular (%)	35,7	56,1
Contenido Celular (%)	64,3	43,9
Lignina (%)	3,6	7,0
Fibra Detergente Ácido (%)	17,9	27,9
Hemicelulosa (%)	17,8	28,2

Fuente: Extractado de Dosal J. 1987 pág. 63.

Cuadro 2. Valor nutritivo de la avena según Gómez (2012)

Parámetro	Base seca
Proteína cruda (%)	18.80
Energía metabolizable (Kcal/ Kg.MS)	3216
Digestibilidad (%)	83
Proteína digestible (%)	90

2.1.4. Requerimientos Nutricionales de cultivo de Avena

Según Dermanet (2009), los principales nutrientes que requiere este cultivo son nitrógeno, fósforo y potasio en mayores cantidades mientras que micronutrientes como molibdeno, cobalto, azufre y boro manganeso son requeridos en cantidades mínimas es por eso que al establecer el cultivo este requiere para el desarrollo inicial al menos de 138 kg de P₂O₅/ha (300 kg Superfosfato triple/ha), que puede ser aplicado sola o en mezcla con potasio, magnesio, azufre y boro.

2.2. La Cebada

Es un cereal anual cultivado sobre todo por su grano muy usado como alimento humano, para fabricar bebidas y como alimento del ganado. La cebada se usa en países templados y subtropicales para pastoreo y como heno en áreas muy secas o en suelos excesivamente alcalinos (FAO, 2014).

Además que esta se caracteriza por tener un grano mediano amarillo, dístico, espiga compacta, el peso varía de 61 a 64 kg/ha, su ciclo vegetativo varía entre los 150 días, es usada tierna como forraje y en seco para la industria cervecera (Fundación de las Naciones Unidas para el Desarrollo Agropecuario, 2006).

2.2.1. LA CEBADA COMO FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO

Estudios demuestran que la alimentación con cebada germinada representa una alternativa de alimentación complementaria obteniendo una buena conversión alimenticia, mayor ganancia de peso y un costo unitario accesible en la crianza de ganado (Dextre, 1997; Mazuelos, 1996). Asimismo, se recomienda utilizar para la etapa de gestación y lactancia el forraje hidropónico de avena - concentrado por su eficiente respuesta productiva, reproductiva y económica; en tanto que para la etapa de crecimiento y engorde el forraje hidropónico de cebada-concentrado por permitir un mayor índice de costo-beneficio (Casa, 2008).

2.2.1. Clasificación Taxonómica de la Cebada

Arellano (2015), clasifica a la cebada de la siguiente manera.

Clasificación científica

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Liliopsida
Orden:	Poales
Familia:	Poaceae
Género:	Hordeum
Especie:	<i>Hordeum vulgare</i> L.

2.2.2. Características Morfológicas de la Cebada

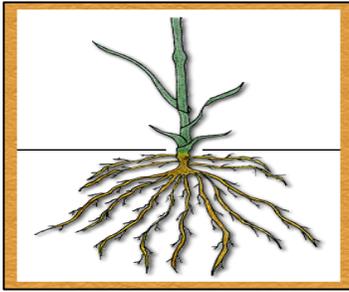


Figura 6. Sistema radicular de la Cebada. Orellana, 2015

Sistema radicular: La cebada produce raíces primarias y secundarias análogas al trigo. Las secundarias se desarrollan en los primeros 20cm, sobre todo, aunque esta profundidad varía según la fertilidad y humedad del suelo (Figura 6) (Orellana, 2015).

Hojas: La disposición de las hojas es alternada en la base de la lámina foliar se



Figura 7. Hojas de Cebada. Orellana, 2015

encuentra la liguila, y al lado de estas se encuentran dos apéndices llamados estípulas (Figura 7). La última hoja denominada hija bandera, se caracteriza por tener limbo más corto y vainas más largas que otras especies, las hojas son más estrechas y color verde claro, suele tener un color verde más claro que el trigo y en los primeros estadios de desarrollo la planta de trigo suele ser más erguida (Orellana, 2015).



Figura 8. Tallo de Cebada. Orellana, 2015

Tallos: Emite tallos a partir de los nudos situados en la base de la planta, este fenómeno es conocido como ahijamiento o amacollamiento, resulta tanto más pronunciado cuanto más favorables sean las condiciones de cultivo (Figura 8) (Orellana, 2015).



Figura 9. Inflorescencia de Cebada. Orellana, 2015

Inflorescencias: Se agrupan en forma de espiga. La espiga (Figura 9) tiene un eje central o raquis formado por una sucesión de nudos, a partir de cada uno de los cuales se desarrolle tres espiguillas, en la cebada cervecera y de dos carreras de espiguillas laterales son estériles y de la común son fértiles (Orellana, 2015).

Grano: Es un cariósipide con glumillas adheridas, tiene forma de hueso afilado en la punta, con un surco poco profundo a lo largo de su cara ventral. Dentro de la vaina está



Figura 10. Grano de Cebada. Orellana, 2015

la cariósipide un fruto en el cual el pericarpio (vestigios de la pared del ovario) se fusiona con la testa (Figura 10). Dentro de la testa el tejido predominante, unido en la periferie por la capa de la aleurona forma parte del endospermo. En la parte basal está el embrión (Orellana, 2015).

Desarrollo del grano: Los primeros periodos del desarrollo del grano, denominado estado acuoso y estado lechoso, duran al entorno de diez días. Aunque los granos no aumentan mucho peso durante esta fase, esta es extremadamente importante por que determina el número de células que posteriormente se utilizarán para almacenar almidón, el grano almacena almidón y contiene una consistencia semisólida masa blanda, que finalmente mientras el grano se aproxima a la madurez comienza a perder agua rápidamente, su consistencia se hace más sólida “masa dura”. En esta etapa el grano pierde también su color verde (Rimache, 2008).

2.2.3. Valor Nutritivo del Grano Cebada

Cuadro 3. Comparación entre las características del FVH (cebada) y otras fuentes alimenticias.

Parámetro	FVH (cebada)	Concentrado	Heno	Paja
Energía (kcal/kg MS)	3.216	3.000	1,680	1,392
Proteína Cruda (%)	25	30,0	9,2	3,7
Digestibilidad (%)	81,6	80	47,0	39,0
Kcal Digestible/kg	488	2,160	400	466
kg Proteína Digestible/Tm	46,5	216	35,75	12,41

Fuente: Sepúlveda, Raymundo. 1994.

Cuadro 4. Valor nutritivo de la cebada según Gómez (2012).

Parámetro	Base seca
Materia seca (%)	32
Proteína %	9
Ceniza (%)	2

2.2.4. Requerimientos Nutricionales del Cultivo de Cebada

Para el desarrollo normal de cualquier cultivo, entre los que está la cebada, se requiere carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, hierro, manganeso, cinc, cobre, molibdeno, boro y cloro. Los nutrimentos requeridos en mayor cantidad son nitrógeno, fósforo y potasio. Los demás se requieren en menores cantidades y por lo regular son abastecidos por el suelo. El carbono, hidrógeno y oxígeno se obtienen del agua y de la atmósfera (Mora, 2004).

2.3. Hidroponía

La hidroponía se basa en la producción de plantas en soluciones nutritivas líquidas en lugar de utilizar el suelo como sustrato. La mayoría de los trabajos han centrado su aplicación en vegetales y hortalizas, no obstante orientado hacia la producción de alimento para ganado y otras especies animales generando un producto altamente

nutritivo, rico en enzimas y vitaminas que se pueden desarrollar a escalas industriales que aumentarían el rendimiento por área (Rotar 2004).

2.4. Historia de la hidroponía

La producción del FVH es tan solo una de las derivaciones prácticas que tiene el uso de la técnica de los cultivos sin suelo o hidroponía y se remonta al siglo XVII cuando el científico irlandés Robert Boyle (1627-1691) realizó los primeros experimentos de cultivos en agua. Pocos años después, sobre el final de dicha centuria, John Woodward produjo germinaciones de granos utilizando aguas de diferentes orígenes y comparó diferentes concentraciones de nutrientes para el riego de los granos así como la composición del forraje resultante (Huterwal, 1960; y Ñíguez, 1988).

2.5. Importancia del forraje verde hidropónico

El FVH tiene mucha importancia ya que se puede contar con un suministro constante de alimento durante todos los días del año, evitando así alteraciones digestivas, una menor incidencia de enfermedades, un aumento en la fertilidad, en la producción de leche y en general todas las ventajas que se puedan obtener de una buena alimentación (Alvarado, 2011).

El FVH contiene todas las vitaminas libres y solubles necesarias para la alimentación del ganado, lo que las hace más asimilables además de que evita el gasto en suplementos alimenticios que se proporcionan al ganado lechero y de engorda (Alvarado, 2011).

El uso de FVH, ha mostrado excelentes resultados en animales monogástricos y poligástricos, ya que estos animales consumen las primeras hojas verdes (parte aérea), los restos de las semillas y las zona radicular, lo cual constituye un alimento completo en carbohidratos, proteínas; además, cabe mencionar que su aspecto, sabor, color textura (características organolépticas) le dan una gran palatabilidad al tiempo que aumenta la asimilación de otros alimentos, mejorando el metabolismo del animal. Asimismo, el FVH sirve de suero electrolítico, lo que evita la deshidratación del animal haciéndolo más productivo (Alvarado, 2011).

2.6. Forraje hidropónico

El forraje hidropónico es el resultado del proceso de germinación de granos que se realiza durante un periodo de 9 a 15 días. Pretendiendo que el grano germinado alcance una altura promedio de 25 centímetros (Chang *et al.* 2002). No obstante Müller *et al.* (2005) menciona que una edad de cosecha adecuada del cultivo puede estar entre 16 y 20 días de acuerdo a las necesidades del productor, sin pasar ese periodo de tiempo. Durante el proceso de germinación de una semilla se producen una serie de cambios que le permiten a la plántula en pocos días captar energía luminosa y a través de un proceso de crecimiento acelerado desarrollar su parte radicular y aérea con muy poco contenido de fibra y altos contenidos de aminoácidos en forma libre y que se aprovechan fácilmente por los animales (Valdivia, 1997).

(Santander, 2006). Menciona que el forraje verde hidropónico es un pienso o forraje vivo para alimento de animales de engorde para producción de carne o de leche. Se produce bajo la técnica del cultivo sin suelo en invernadero, que permite el control del gasto de agua y de todos los elementos del micro-clima para poder producirlo aún en condiciones adversas de clima. Sirve para producir cereales y gramíneas. Puede sustituir por completo o en gran parte el alimento procesado para animales y es económico y fácil de producir

2.7. Ventajas del forraje hidropónico

Con el forraje hidropónico se puede alimentar ganado vacuno, porcino, caprino, equino, y una gran cantidad de animales domésticos con excelentes resultados. Entre las ventajas que presenta el forraje hidropónico, se puede decir que: permite un suministro constante durante todo el año, se pueden emplear terrenos marginales, se reduce el desperdicio de agua, se obtiene una fuente alternativa de alto valor nutricional, es completamente natural por lo que hay una menor incidencia de enfermedades, se puede dar un aumento en la fertilidad y la producción de leche (Money 2005). En general, todas las ventajas que los animales puedan obtener de una buena alimentación.

2.8. Factores determinantes en la producción de Forraje Verde Hidropónico (FVH).

2.8.1. Luz

Para producir FVH en forma óptima, es necesario que durante los primeros tres días, las bandejas permanezcan en un ambiente de poca luminosidad para favorecer el crecimiento del brote de raíces, a partir del cuarto día hasta la cosecha es necesario un ambiente con buena luminosidad y que la distribución de la luz sea homogénea sobre las bandejas. Si el ambiente es muy cerrado se puede recurrir al uso de luz artificial (fluorescente), iluminando las bandejas por un máximo de 12 a 15 horas. No se debe exponer las bandejas directamente al sol (Alvarado. 2011).

2.8.1. Temperatura

En gramíneas es importante por su alto volumen de producción de FVH, aparte de su gran riqueza nutricional requiere de temperaturas que varía entre los 25 y 28° C. Si la temperatura está por encima de los 30°C se presentan problemas en la actividad celular disminuyendo la capacidad de absorción de agua por las raíces, agregando que las noches no son benéficas para las gramíneas, pues la respiración es muy activa y la planta utiliza importantes reservas de energía a costa de la fotosíntesis realizada durante el día (Alvarado, 2011).

2.8.2. Humedad

El cuidado de la humedad en el interior del invernadero es muy importante y se debe tener una humedad relativa de 65 a 70%. Valores superiores a 90% sin una buena ventilación puede causar graves problemas fitosanitarios debido fundamentalmente a enfermedades fungosas difíciles de combatir y eliminar (Alvarado, 2011).

2.9. Trabajos Realizados en Hidroponía con Avena y Cebada

El uso de fertilización en la producción de forraje verde hidropónico (FVH) resulta positiva como para recomendar su uso. Dosal A. (1987), manifiesta que probando

distintas dosis de fertilización en avena, encontró mejores resultados en volumen de producción y valor nutritivo del FVH cuando se utilizó 200 ppm de nitrógeno en la solución nutritiva.

Navarro (2008) al realizar una investigación en la cual evaluó tres cortes en dos gramíneas (cebada y trigo) y una leguminosa (vicia) para forraje verde hidropónico y su incidencia en la producción y contenido nutricional de estas: para ello se utilizó un diseño experimental bifactorial en bloques al azar, y las pruebas de significancia fueron Tukey al 5%, las variables en estudios fueron: días y porcentajes de germinación, altura al primer corte, rendimiento, contenido de proteína y análisis económico para los tratamientos, encontrándose como resultado en cuanto a días, porcentaje de germinación, altura y rendimiento a los tratamientos conformados por cebada como los mejores, a diferencia del contenido de proteína y rentabilidad cuyo tratamiento conformado por vicia fue el que mayores diferencias significativas se encontró.

En una investigación llevada a cabo en Chile en forrajes de invernadero, en suelo, se consideró dentro de las especies estudiadas en esta investigación se predispuso a la cebada para tres cortes sucesivos, en los cuales se obtuvo una primera cosecha con una producción excelente, para el segundo corte se obtuvo un equivalente al 25% de la primera y tercera cosecha no se llevó a cabo debido a que el cultivo no respondió. (Izquierdo, 2001).

Candia (2014), Al evaluar la calidad nutricional del forraje verde hidropónico de cebada fertilizada con soluciones de guano de cuy. En la que se usaron concentraciones de guano a 100 g/L (T1) y 200 g/L (T2) y una solución comercial (T3) que sirvió como control, donde se midieron las siguientes variables: los porcentajes de Materia Seca (MS), Proteína, Fibra Detergente Neutro (FDN) y Fibra Detergente Acido (FDA) y el rendimiento de nutrientes (Kg/ m²): El análisis químico de las soluciones de guano de cuy encontró 4,14% y 8,09% de Materia Seca y 2,77% y 5,56% de Materia orgánica en soluciones de guano de cuy de 100 g/L agua y 200 g/L agua, respectivamente, por lo que se deduce que las concentraciones de macro elementos eran adecuadas para el crecimiento normal de las plantas debido a que no se presentaron síntomas de deficiencia nutricional ni fitotoxicidad. No se encontró diferencia significativa entre los

porcentajes de MS, Proteína, FDN y FDA. Sin embargo, se encontró diferencia significativamente mayor ($p < 0,05$) en la producción de nutrientes en T1 y T2 respecto a T3. De igual forma, se evaluó el rendimiento forrajero (Kg/m^2), mostrando resultados significativamente mayores ($p < 0,05$) en T1 y T2 respecto a T3. Se evaluó el tamaño de planta mediante la longitud de tallo siendo mayor en T2 ($p < 0,05$) y la longitud de raíz fue mayor en T1 y T2 ($p < 0,05$).

Fuentes *et al* (2011), en Chile realizó ensayos en (*Avena sativa*) como forraje verde hidropónico (FVH) donde se evaluó cuatro tiempos de cosecha (7, 10, 13 y 16 DDS), midiendo los parámetros de altura de planta, conversión (materia seca de forraje por materia seca de semillas) y análisis químico del material cosechado. El día 16 fue el mejor tiempo de cosecha con $13,0 \text{ kg}/\text{m}^2$ caracterizado por presentar 36,86% materia seca, 14,79% proteína bruta, 18,77% fibra cruda y una mejor condición sanitaria de forraje. (Fuentes, Poblete, & Huerta, 2011)

Espejo y Pearson (1979) señalan que la cantidad de fibra en plantas jóvenes es baja si se compara con la planta madura, ya que la estructura de esta fibra cambia también a medida que evoluciona la planta, pues se hace más lignificada y, por lo tanto, menos digestible. Una elevada cantidad de fibra en la ración del animal disminuye el porcentaje de proteína en el alimento y reduce el peso del ganado. Otro factor que puede influir en la concentración de la fibra son los restos de semilla que quedaron después de la siembra de ésta para su germinación.

Donald *et al.* (1981) mencionan que entre más crece la planta, la concentración de proteína decrece, aunque con la aplicación de fertilizantes nitrogenados puede revertirse. En avena de 15 días de ciclo, con dosis de 0, 100 y 200 mg de $\text{N}\cdot\text{kg}^{-1}$ de suelo, se obtuvieron 278, 289 y $432 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ de proteína bruta.

Herrera-Torres *et al.* (2010) indican que la concentración de proteína en FVH al cabo de 15 días de crecimiento, tiende a aumentar a medida que se incrementa la concentración de N de la solución nutritiva, hasta valores de $200 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$. Una concentración mayor de $400 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ de nitrato no aumenta la concentración de proteína, si no por el contrario, lo disminuye.

Cerrillo *et al.* (2012) en el trabajo de investigación “Producción de biomasa y valor nutricional del forraje verde hidropónico de trigo y avena”, estimaron la producción de biomasa y el valor nutricional de forraje verde hidropónico (FVH) de trigo y avena. Determinando el peso de forraje verde y la composición química (MS, PC, EE, FDN, FDA, celulosa, hemicelulosa, lignina). Trabajaron en tres densidades de siembra, dos especies y dos fechas de cosecha. Los resultados indicaron que la avena en 12 días llega a producir 8 kg/m² de biomasa con 19 % MS, mientras que el trigo en el mismo tiempo produce 7 kg/m² de biomasa con 16.5 % de proteína cruda.

Miranda (2014), en la tesis de grado “Efecto del Suministro de Nutrientes en la Producción de Forraje Hidropónico de Cebada (*Hordeum vulgare*) y su utilización en la Alimentación de Cuyes (*Cavia por cellus*) en Crecimiento –Engorde” evaluó el forraje hidropónico de cebada (FH), cultivado con y sin suministro de nutrientes, en la alimentación de cuyes sobre su desempeño productivo, se empleó 64 cuyes de ambos sexos de la raza Perú, destetados a los 15 días de edad y distribuidos en 4 tratamientos: forraje hidropónico sin nutrientes (ASN), forraje hidropónico con nutrientes desde la germinación (ANG), forraje hidropónico con nutrientes a partir de los 8 días de edad (AN8) y alimentación convencional (ACT) como control, todos suplementados con concentrado; agrupados en pozas de 4 animales, distribuidos a través de un diseño de bloques completos al azar y evaluados por un periodo de 60 días con intervalo de 15 días.

El resultado del experimento total alcanzó resultados mayores en los tratamientos de ACT debido a su consumo del 100 % del alimento con mejor adaptabilidad, dando así una mejor ganancia diaria de peso respecto a los animales que fueron alimentados con forraje hidropónico, siendo el más bajo el tratamiento que no recibió nutrientes ASN con diferencias significativas a ($P < 0,05$). Concluye en que la aplicación de nutrientes a través de solución nutritiva al forraje hidropónico de cebada desde la germinación, mejora el valor nutritivo, la producción de forraje verde y la producción de proteína.

3. MATERIALES Y METODOLOGIA

3.1. Ubicación de ensayo

El trabajo de investigación se llevó a cabo en el invernadero de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja.

3.1.1. Ubicación geográfica de la Argelia Loja

“La Argelia”, se encuentra ubicada en las siguientes coordenadas planas.

Norte: 9554 365 UTM

Este: 700 452 UTM

Altitud: 2 160 msnm.

3.1.2. Ubicación climática de la Argelia

La clasificación climática según la Estación Meteorológica “La Argelia”, 2008; en un registro de 42 años, las condiciones climáticas son las siguientes:

Precipitación anual: 906,9 mm/año

Temperatura media anual: 15,5 °C

Temperatura máxima: 27,8 °C

Temperatura mínima: 3°C

Humedad relativa máxima: 78 %

Humedad relativa mínima: 72 %.

Humedad relativa media: 74 %

Velocidad del viento media: 3,1 m/s

3.1.3. Clasificación ecológica de la Argelia

Según Holdridge, ecológicamente la Estación Experimental “La Argelia-Loja”, corresponde a una Zona de vida conocida como bosque seco montano bajo bs-Mb.

3.2. Materiales

3.2.1. Material de campo y laboratorio

Semillas de avena y cebada las cuales se adquirieron en almacene agropecuario (Figura 11); la avena se adquirió en ciudad de Loja, semillas variedad CAYUSE con un porcentaje de germinación según la etiqueta comercial del 90 %; la cebada se adquirió en la ciudad de Ambato, semillas variedad ANAKIN R-1 con un porcentaje de germinación según la etiqueta comercial de 90 %, bandejas, taladro, flexómetro, hidrotérmetro, hipoclorito de sodio al 1%, fundas plásticas y de papel, tijeras de podar, cámara fotográfica, balanza.



Figura 11: A) Semilla de avena y B) semilla de cebada

3.2.1. Materiales de Oficina

Computadora, impresora, etiquetas, cuaderno, esferos, hojas boond, una USB.

3.2.2. Soluciones minerales

Solución A (Nitrógeno, Fosforo, Potasio, Calcio, Magnesio)

Solución B (Magnesio, Azufre, Hierro, Cobre, Boro, Manganeso, Zinc, Molibdeno, Sodio, Cloro)

3.3. Metodología

3.3.1. Metodología para evaluar la producción de biomasa forrajera de dos gramíneas con dos cortes sucesivos

3.3.1.1. Selección de semilla

Se utilizó semillas de avena y cebada sin malezas, libres de plagas, enfermedades, con una humedad de 12%, y porcentaje de germinación del 90 % para garantizar la viabilidad de las semillas y calidad del forraje. Figura 12.



Figura 12: A) Selección de semilla de avena y B) Selección de semilla de cebada

3.3.1.2. Lavado y desinfectado de semillas y bandejas

La semilla se sumergió en agua, con el fin de eliminar todo el material que flote, se drenó y se sumergió en agua con un 2% de hipoclorito de sodio por quince minutos (Figura 13) después de este periodo se drenó de nuevo, se le dio un lavado rápido y se pasó a la pre germinación. Para prevenir hongos y enfermedades en el forraje, se realizó una desinfección previa a las bandejas para FVH., para lo cual se las sumergió durante 15 minutos a cada bandeja en un contenedor con una mezcla de 1 ml de cloro por cada litro de agua, después se las enjuagó con agua natural hasta no mantener ningún rastro de cloro.

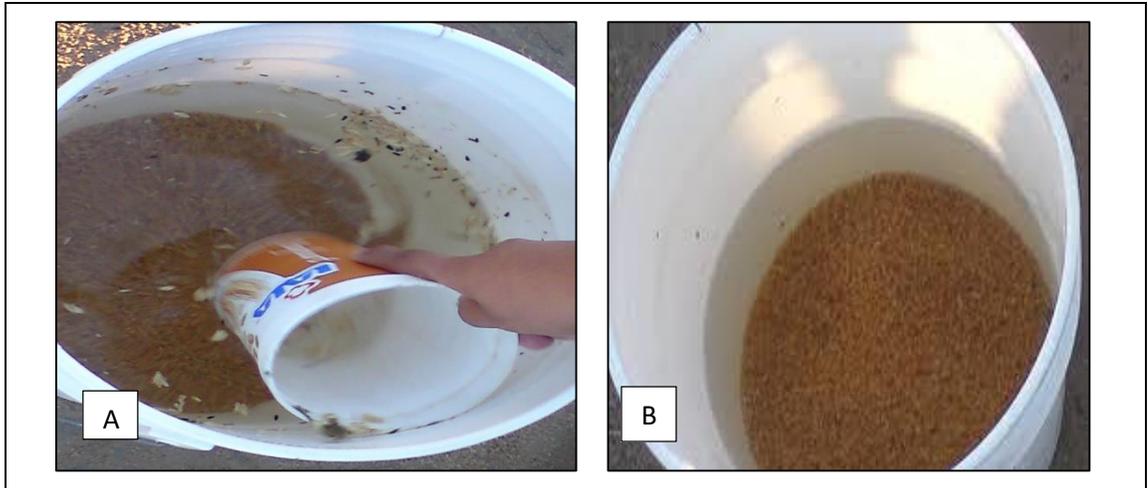


Figura 13: A) Lavado de semilla y B) Desinfección de semillas

3.3.1.3. Pre germinación

La semilla después de haber sido lavada y desinfectada, se humedeció durante 24 horas con agua aireada; se dividió en dos etapas de 12 horas cada una. Se remoja la semilla durante 12 horas continuas, se la saca durante 1 hora para oxigenarlas y se vuelve a remojar durante 12 horas más con agua limpia. Cumplido éste tiempo, se drenó el agua para que la semilla pueda respirar y se dejó reposar durante 48 horas en recipientes debidamente tapados para mantener una humedad ambiental alta. Figura 14.



Figura 14: A) Drenado del agua y B) Pre germinación de semillas

3.3.1.4. Siembra

La siembra se realizó en bandejas de 0.30 m de longitud por 0.20 m de ancho dando un área de siembra de 0,06 m² y con una altura de las bandejas de 3 cm. En cada bandeja se sembró una cantidad de 454 gramos de semilla de avena como de cebada. La semilla se distribuyó de manera homogénea en la bandeja, con la finalidad que no queden espacios sin semilla. Figura 15.

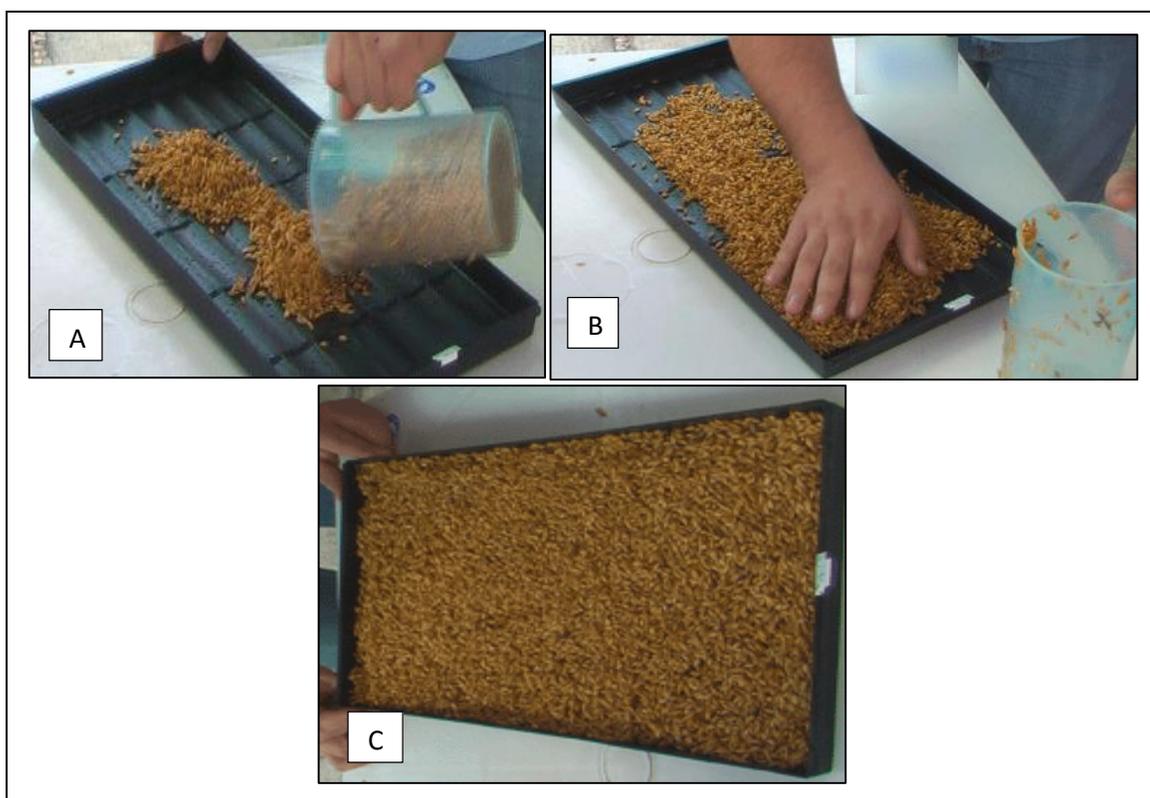


Figura 15. A, B y C. Proceso de siembra de semilla bajo condiciones controladas para la producción de forraje hidropónico.

3.3.1.5. Germinación

Para lograr una adecuada germinación (Figura 16) las bandejas se cubrieron con fundas plásticas negras, se colocaron en el invernadero brindando buena ventilación, oscuridad y con cuidado se suministró el riego evitando que se muevan las semillas, esto por cinco días. En forma paralela en el Banco de Germoplasma de la Universidad Nacional de Loja se realizó la prueba de germinación de las semillas de avena y cebada bajo

condiciones controladas en cámara de germinación a 20 °C de temperatura. Para ello se dispuso de 100 semillas por placa Petri, empleando papel absorbente para mantener la humedad. El porcentaje de germinación se evaluó diariamente durante los seis primeros días a partir de la siembra.

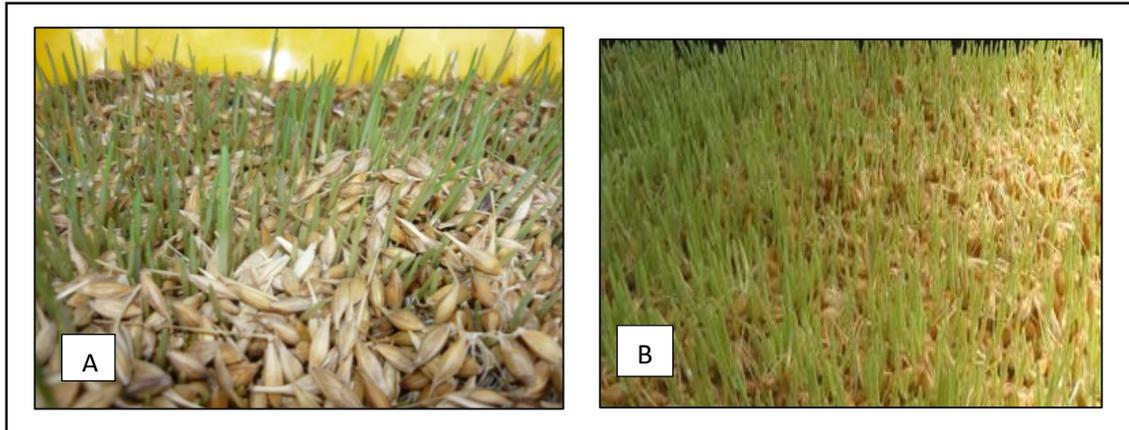


Figura 16: A) Germinación de semillas de avena y B) Germinación de semillas de cebada. Castillo 2017.

3.3.1.6. Suministro de soluciones nutritivas

Cuando aparecieron las primeras hojas se comenzó con la fertirrigación utilizando una combinación de soluciones nutritivas descritas por Vargas (2007) como se muestran en los Cuadros 5 y 6 (5 ml/l y 7 ml/l de solución A; 2,5 ml/l y 4 ml/l de solución B) hasta el séptimo día, luego se procedió a regar solamente con agua (Figura 17). En este lapso de tiempo se le suministró a los cultivos luz, temperatura adecuada, buena ventilación y cuidados sanitarios, durante 20 días, tiempo en que se procedió a realizar el primer corte; seguido a ello se prosiguió con la aplicación de las soluciones nutritivas según cada tratamiento. El segundo corte se realizó a los 15 días a partir del primer corte.

Cuadro 5. Soluciones y dosis nutritivas descritas por (Vargas, 2007). Dosificación de 5ml/l y 7ml/l

Solución A	Composición		Concentración
Nitrógeno	5%	5.00% de N	250 ppm
Fósforo	2%	4,60% de P ₂ O ₅	100 ppm
Potasio	4%	4.81% de K ₂ O	200 ppm
Calcio	2%	2.80% de CaO	38 ppm
Magnesio	0.75%	1.30% de MgO	100 ppm

Cuadro 6. Soluciones y dosis nutritivas descritas por (Vargas, 2007). Dosificación de 2.5ml/l y 4ml/l

Solución B	Composición	Concentración
Magnesio	28.000 ppm	70.0 ppm
Azufre	20.180 ppm	70.0 ppm
Hierro	1.560 ppm	3.9 ppm
Cobre	100 ppm	0.2 ppm
Boro	375 ppm	0.9 ppm
Manganeso	400 ppm	1.0 ppm
Zinc	252 ppm	0.6 ppm
Molibdeno	24 ppm	0.006 ppm
Sodio	215 ppm	0.5 ppm
Cloro	220 ppm	0.5 ppm

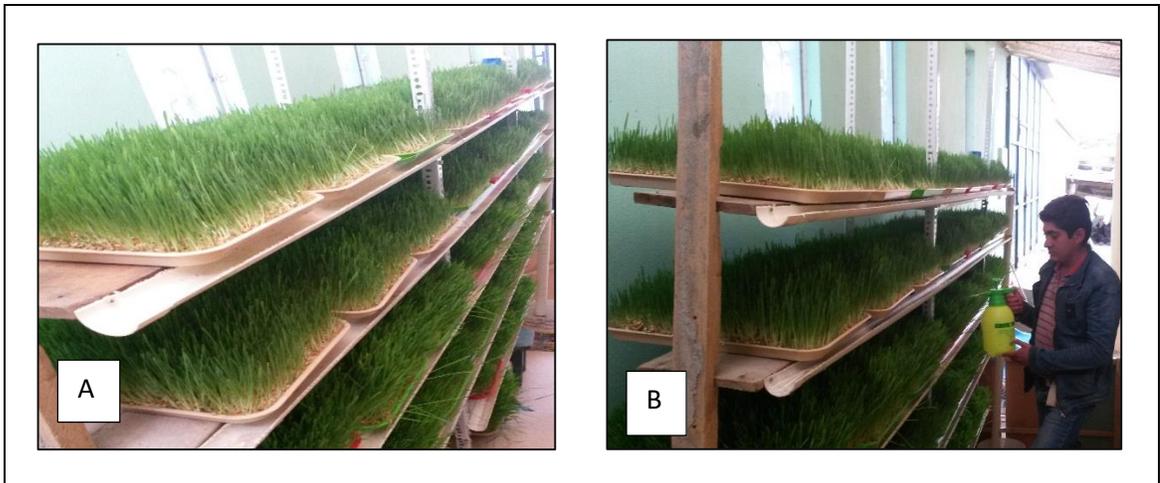


Figura 17. A) y B) Fertirrigación del cultivo hidropónico de avena y cebada. Castillo 2017.

3.3.1.7. Cosecha y Estimación de biomasa vegetal

Previo al corte se tomó datos de variables como altura de la planta y color del forraje. La altura de la planta se determinó con ayuda de un calibrador digital midiendo desde la base del tallo hasta la punta del epicótilo. Para determinar el color de las hojas se utilizó la escala de colorimetría para hojas propuesto por la (FAO, 2014)

La Carta de Colores de las Hojas consiste de seis tonalidades de verde: desde el verde - amarillento - número 1 en la Carta - hasta el verde oscuro - número 6 en la Carta. El color de las hojas puede ser comparado como se indica en la figura 18.

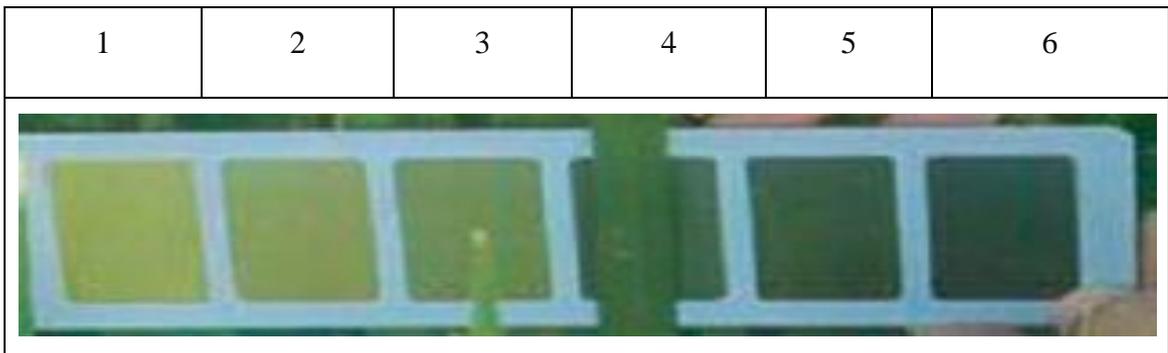


Figura 18: Escala de colorimetría para hojas propuesto por la (FAO, 2014)

El material se cosechó en dos cortes sucesivos, el primero cuando el cultivo de *Avena Sativa* L. como de *Hordeum vulgare* L. alcanzaron la edad de 20 días (Figura 19) y el

segundo a los 15 días a partir del primer corte como lo recomienda (Müller *et al.* 2005, Carballido 2005, Elizondo 2005).

La cosecha consistió en cortar el forraje a una altura de 2 cm sobre la base del tallo. Una vez cosechado el forraje se colocó en fundas de papel y se pesó, este peso corresponde a la producción de biomasa del cultivo, cada muestra fue identificada según el tratamiento, luego de ello las muestras fueron llevadas al laboratorio para continuar con los análisis respectivos



Figura 19: Corte del forraje verde hidropónico de avena. Castillo 2017.

Para estimar la producción de biomasa vegetal se procedió a trozar el material en tamaños de aproximadamente 3,0 cm y pesamos con ayuda de una balanza analítica el material fresco por separado cada repetición (Figura 20) esto se efectuó para cada uno de los cortes realizados, luego de ello las muestras se llevaron a la estufa a 60 °C hasta lograr un peso constante.

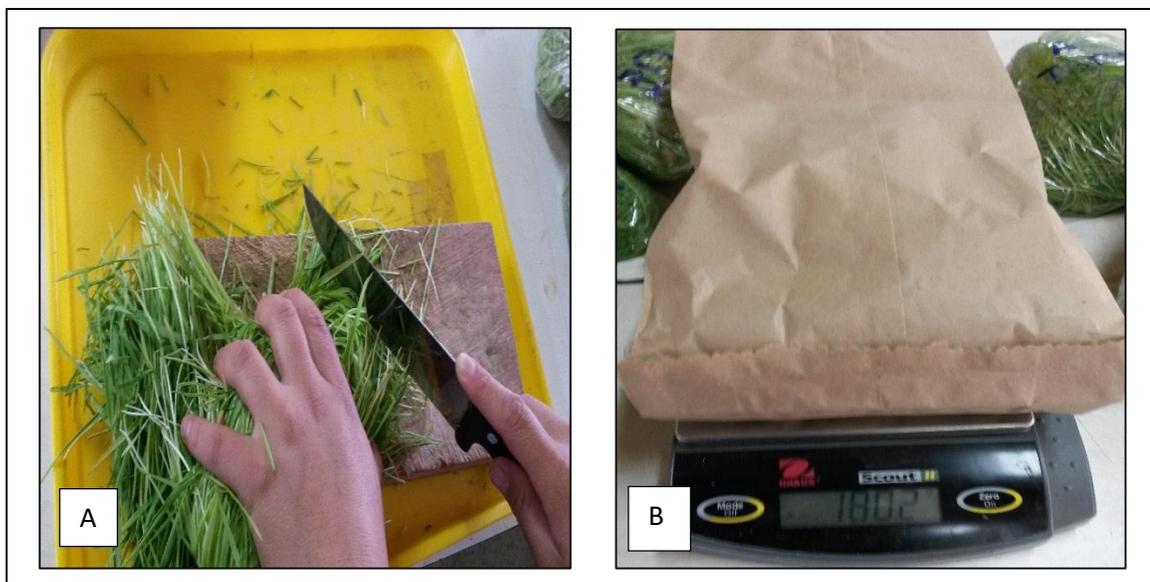


Figura 20: A) Picado del FVH y B) Pesado del FVH. Castillo 2017

3.3.2. Metodología para determinar el valor nutricional de Avena y Cebada en dos cortes sucesivos.

Para determinar el valor nutricional del forraje de las especies en estudio *Avena sativa* L. y *Hordeum vulgare* L. se procedió a calcular la materia seca, proteína, fibra, cenizas y grasa.

3.3.2.1. Proteína

La proteína bruta se la determinó (Figura 21) mediante el método del Kjeldahl, con el siguiente protocolo:

- Se pesa un disco de papel filtro en la balanza analítica.
- Se agrega 3gr de la muestra (molida) sobre el papel filtro ya pesado.
- Se envuelve la muestra en papel filtro y se colóca dentro del matraz kjeldahl.
- Agrega al matraz kjeldahl 20gr de la mezcla de catalizadores y 25 ml de ácido sulfúrico.
- Se coloca el matraz kjeldahl en el digestor y se enciende el extractor de gases del equipo y se coloca el botón de la parrilla de calentamiento en la posición media.

- Aumenta la temperatura hasta la ebullición de la solución. Digiere por un tiempo de 40 minutos.
- Utilizando los guantes de asbesto, gira el matraz ocasionalmente para facilitar la remoción del carbón.
- Suspende la digestión cuando la solución adquiere un color azul- verdoso transparente.
- Apaga la parrilla de calentamiento y deja enfriar el matraz kjeldahl y su contenido.
- Agrega a un matraz Erlenmeyer 50 ml de la solución de ácido bórico y cuatro gotas de la solución indicadora de rojo de metilo.
- Coloca el matraz Erlenmeyer en el extremo inferior del condensador, de tal manera que el extremo de la manguera por donde sale el destilado quede sumergido en la solución del matraz.
- Agrega al matraz kjeldahl 200 ml de agua y 25 ml de solución de tiosulfato de sodio mezclándolos perfectamente.
- Enseguida, agrega también al matraz 120 ml de la solución de hidróxido de sodio al 50 %, agítalo y colócalo en el destilador.
- Abre el agua de enfriamiento y enciende la parrilla de calentamiento del destilador.
- Destila la solución hasta lograr un volumen de 250 a 300 mililitros en el matraz Erlenmeyer.
- Terminada la destilación, desconecta la trampa kjeldahl y apaga la parrilla calefactora.
- Sujeta la bureta de 25 mililitros al soporte universal utilizando las pinzas.
- Usando el embudo, agrega a la bureta la solución de ácido clorhídrico. Ajusta el menisco a cero.
- Retira el matraz Erlenmeyer del destilador y titúlalo con la solución de ácido clorhídrico 0.1 normal.
- Agita la solución del matraz Erlenmeyer mientras titulas.

- Cuando la solución se vuelva incolora, cierra la válvula de la bureta y anota el volumen de la solución de ácido clorhídrico utilizado para neutralizar.

Para el cálculo del porcentaje de proteínas en la muestra se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Nitrógeno} = \frac{(V) \times (N) \times (\text{meq. N}) \times (100)}{\text{Peso de la muestra}}$$

V = Volumen gastado del ácido clorhídrico

N = Normalidad del ácido clorhídrico

Meq. N = miliequivalente del nitrógeno que es 0.014

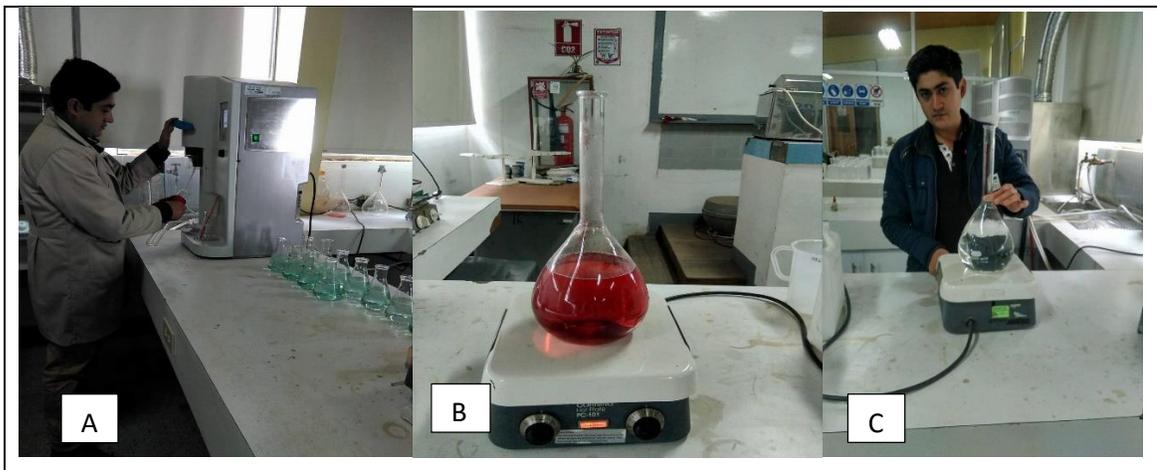


Figura 21. A, B y C Determinación de proteínas en aparato kjeldahl. Castillo 2017

3.3.2.2. Materia seca.

Para determinar la materia seca se procedió a tomar muestras de los 8 tratamientos, de las cuatro réplicas y de cada corte para luego determinar la materia seca (MS) total, la cual se obtuvo siguiendo el siguiente protocolo:

Se colocaron las muestras en fundas de papel para ser pesadas e ingresadas a la estufa sometiéndolas a 60°C pero como no elimina toda el agua retenida se lo hace a 105°C. La

pérdida de peso indica la humedad retenida por la muestra y relacionándola con la pérdida de peso por secado a 60°C, permite determinar el % de humedad total. Para el cálculo de la materia seca se lo realiza con las siguientes formulas:

$$X = Y + \frac{(100-Y) \times C}{100} \qquad \% M.S. = 100 - \% H.$$

X = Humedad total (H) en %

Y = Humedad inicial (Hi.) en, %

C = Humedad higroscópica (H.H.) en %

3.3.2.3. Fibra

Para determinar la fibra se procedió a tomar muestras de los 8 tratamientos, de las cuatro réplicas y de cada corte, que luego se envió al laboratorio de Bromatología de la Universidad Nacional de Loja.

El análisis (Figura 22) se lo realiza mediante el análisis proximal Weende como se detalla en el siguiente protocolo:

- Pesamos 2.0 g de muestra, en balanza analítica de precisión 0,1 mg.
- Transferimos a un vaso de 600 ml, evitando la contaminación con la fibra de papel. Agregar 200 ml de ácido sulfúrico al 0,255 N hirviendo.
- Colocar el vaso en el aparato sobre la placa caliente pre-ajustada para que hierva exactamente 30 minutos. Girar el vaso periódicamente para evitar que los sólidos se adhieran a las paredes.
- Filtrar a través de papel filtro o tela de lino.
- Enjuagar el vaso con 50-70 ml de agua hirviendo y verterla sobre el papel filtro o el lino.
- Transferir el residuo al vaso con ayuda de 200 ml de NaOH al 0.313 N % hirviendo y calentar a ebullición exactamente 30 minutos.

- Quitamos el vaso y filtramos en buckner con papel filtro de masa cocida y cenizas conocidas.
- Transferimos el residuo a un crisol a masa constante y secar a 130°C durante 2 horas.
- Enfriamos y determinamos su masa, por último se calcina a 600°C durante 30 minutos y se determina su masa. Para el cálculo del porcentaje de fibra cruda se lo realiza con la fórmula siguiente:

$$\% \text{ de Fibra cruda} = \frac{(A - B)}{C} \times 100$$

A = Peso del crisol con el residuo seco (g)

B = Peso del crisol con la ceniza (g)

C = Peso de la muestra (g)

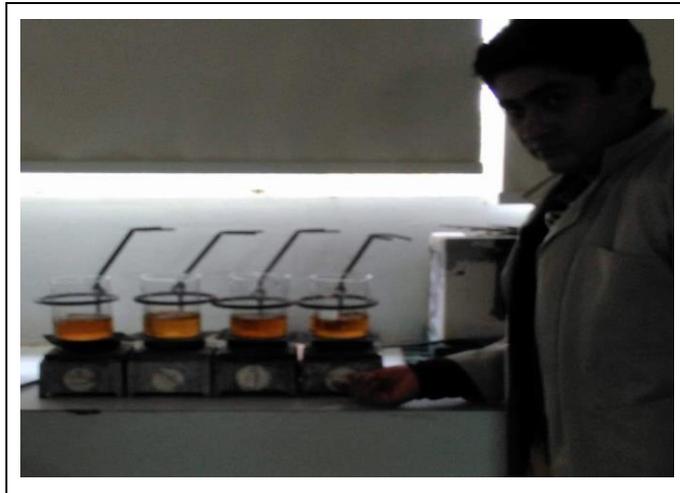


Figura 22. Determinación de la fibra. Castillo 2016.

3.3.2.4. Cenizas

Para determinar la ceniza se procedió a tomar muestras de los 8 tratamientos, de las cuatro réplicas y de cada corte, que luego se envió al laboratorio de Bromatología de la Universidad Nacional de Loja.

Donde se realizó el siguiente protocolo mediante un análisis proximal Weende (Figura 23):

- Se enciende la mufla y ajusta su temperatura a 600°C.
- Se calibra la balanza analítica ajustando a cero antes de realizar cualquier pesada.
- Identificamos los crisoles de porcelana anotando con un lápiz el número correspondiente en su parte inferior.
- Pesamos el crisol vacío con cuidado y registra el peso exacto como.
- Retiramos el crisol de la balanza y agregamos 2gr aproximadamente de la muestra, con precisión de 0,1 mg.
- Pesamos nuevamente el crisol con la muestra de alimento y registra su peso como.
- Utilizando las pinzas, colocamos el crisol con la muestra en la mufla y se incinera la muestra durante dos horas.
- Una vez transcurrido éste tiempo se apaga la mufla y abre la compuerta y retira el crisol con las pinzas.
- Colocamos el crisol en el desecador hasta que se enfríe a temperatura ambiente
- Se registrar el peso exacto del crisol con las cenizas. Se realiza el cálculo del porcentaje de cenizas de la muestra utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de cenizas} = \frac{(P3-P1)}{(P2-P1)} \times 100 \quad \% \text{ de cenizas} = \frac{\text{Peso de la ceniza}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

Dónde:

P1 = Peso del crisol vacío

P2 = Peso del crisol más muestra

P3 = Peso del crisol más cenizas



Figura 23. Determinación de la ceniza. Castillo 2016.

3.3.2.5. Grasa

Para determinar la grasa (Figura 24) se procedió a tomar muestras de los 8 tratamientos, de las cuatro réplicas y de cada corte, que luego se envió al laboratorio de Bromatología de la Universidad Nacional de Loja. Para determinar el EE se utilizó el método Soxhlet, método oficial para la determinación de grasas en muestras sólidas de alimento.

- Se pesa el matraz en la balanza analítica y registra su peso exacto como.
- Pesa un disco de papel filtro en la balanza. Anota su peso exacto como.
- Agrega aproximadamente 2 gramos de la muestra molida al papel filtro y pésalo. Anota su peso exacto como.
- Envuelve la muestra en el papel filtro formando un cartucho cuidando que no se tire ni escape nada.
- Tapa el cartucho con un trozo de algodón e introdúcelo en la cámara de extracción Soxhlet.
- Conecta el refrigerante, la cámara de extracción y el matraz.
- Bajo la campana de extracción, coloca el arreglo sobre una placa calefactora y sujétalo al soporte universal utilizando las pinzas.
- Mide con la probeta 50 mililitros de éter etílico y agrégalos por la parte superior del

refrigerante utilizando el embudo. Tapa el refrigerante con un trozo de algodón.

- Abre la válvula del agua de enfriamiento del refrigerante y verifica que fluye libremente.
- Enciende la parrilla calefactora, cierra la campana de seguridad y enciende el ventilador para iniciar el proceso de extracción.
- Extraer durante 4 horas ajustando el calor de la placa calefactora para obtener una velocidad de condensación de 2 a 3 gotas por segundo.
- Al finalizar el tiempo de extracción, abre la campana, apaga la placa calefactora y retira con cuidado el matraz y la cámara de extracción Soxhlet. Utiliza los guantes de asbesto para evitar quemaduras.
- Retira el cartucho de la cámara de extracción y arma de nuevo el equipo como lo hiciste anteriormente.
- Coloca un vaso de precipitado de 100 ml. bajo la válvula de la cámara de extracción y ábrela para recuperar el solvente.
- Enciende la placa calefactora y cierra la campana de seguridad.
- Vigila la recuperación del solvente en el vaso de precipitado hasta que se evapore totalmente.
- Abre la campana de seguridad y vacía el solvente recuperado en otro recipiente.
- Con cuidado desmonta y retira el equipo de extracción, dejando el matraz balón sobre la placa calefactora.
- Cierra la campana de seguridad y evapora los restos de solvente del matraz cuidando que no se queme la grasa.
- Cuando se haya evaporado todo el solvente, abre la campana, apaga la placa calefactora y coloca el matraz en el desecador para que se enfríe.
- Pesa el matraz con la grasa obtenida en la balanza analítica. Registra su peso exacto.
- Calcula el porcentaje de grasa cruda en la muestra con la fórmula:

$$\% \text{ de extracto etéreo} = \frac{(P4 - P1)}{(P3 - P2)} \times 100 \quad \text{o} \quad \% \text{ de grasa} = \frac{PG}{PM} \times 100$$

Dónde:

P1 = Peso del recipiente vacío (balón)

P2 = Peso del papel filtro

P3 = Peso del papel filtro con la muestra

P4 = Peso del recipiente con la grasa obtenida

P4 - P1 = Peso de la grasa obtenida **PG**

P3 - P2 = Peso de la muestra **PM**

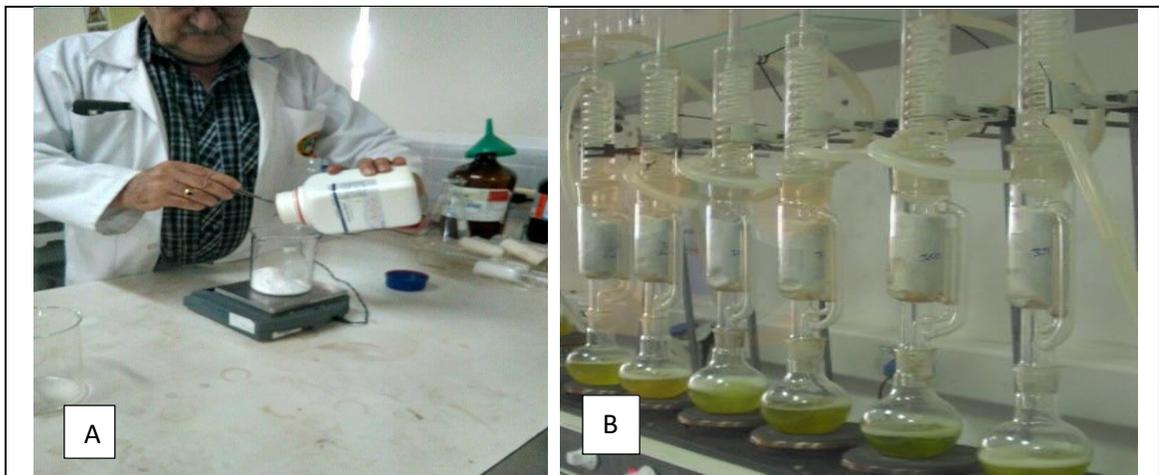


Figura 24. A) Pesado de reactivo para determinar la grasa y B) Determinación del extracto eter. Castillo 2016.

3.3.3. Metodología para establecer los costos de producción de los tratamientos en la producción de forraje verde hidropónico.

3.3.3.1. Costos de producción por tratamiento

Los costos de producción fueron elaborados según lo recomienda la FAO, así se realizó la discriminación de los costos de FVH:

Se comenzó con los cálculos para el caso del FVH, con una serie de premisas básicas el costo de las semillas.

El cálculo económico se realizó en base a los recursos mínimos necesarios.

Se dispone de espacio suficiente para alcanzar los volúmenes de producción requeridos.

Tenemos el suministro adecuado y suficiente de energía eléctrica.

Existe un volumen de agua apta para el proyecto de cultivo.

El riego se hizo de forma manual utilizando una bomba plástica de uso común.

Se tomó nota de todos los valores directos e indirectos por cada tratamiento y repetición, al final de la investigación se estimó el valor o costo de producción de forraje verde hidropónico por cada tratamiento y total de todo el ensayo. Costos de Producción: Costos. Fijos, Costos Variables, Costo Unitario

3.3.4. Diseño experimental

La investigación se planteó independientemente para cada especie forrajera. Se empleó un diseño factorial con tres factores, con ocho tratamientos y cuatro repeticiones. Cuyo modelo matemático es el siguiente:

$$y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Dónde:

Y_{ijkl} = Observación de la unidad experimental del i-ésimo tratamiento y l-ésima réplica.

μ = Efecto de la media general.

α_i = Efecto del i-ésimo tratamiento (especies)

β_j = Efecto del j-ésimo bloque o réplica (macronutrientes)

γ_k = Efecto del k-ésimo tratamiento (micronutrientes)

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de la Interacción del i-ésimo tratamiento (especie) y Efecto del j-ésimo bloque o réplica

$(\alpha\gamma)_{ik}$ = Efecto de la Interacción del i-ésimo tratamiento (especies) y Efecto del k-ésimo tratamiento (micronutrientes) y del k-ésimo tratamiento (micronutrientes)

$(\beta\gamma)_{jk}$ = Efecto de la Interacción del j-ésimo bloque o réplica (macronutrientes) y del k-ésimo tratamiento (micronutrientes)

$(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ = Efecto de la Interacción del i-ésimo tratamiento (especies), j-ésimo bloque o réplica (macronutrientes) y del k-ésimo tratamiento (micronutrientes)

ε_{ijkl} = Valores de variables aleatorias independientes normalmente distribuidas que tienen media cero y varianza σ^2 (error experimental).

3.3.4.1. Factores en estudio

Factor A (Forrajes)

F₁: Avena

F₂: Cebada

Factor B (Dosis Macronutrientes)

M₁: dosis 1 (5,0 ml/l)

M₂: dosis 2 (7,0 ml/l)

Factor C (Dosis micronutrientes)

m₁: dosis 1 (2,5 ml/l)

m₂: dosis 2 (4,0 ml/l)

3.3.4.2. Hipótesis Modelo

H₀: Los cortes sucesivos de avena y cebada como forraje verde hidropónico no incrementan su producción y valor nutritivo.

H₁: Los cortes sucesivos de avena y cebada como forraje verde hidropónico incrementan su producción, valor nutritivo.

3.3.4.3. Análisis de varianza

Para el análisis estadístico de los datos obtenidos en las diferentes variables evaluadas en el presente trabajo de investigación sobre Producción de biomasa y calidad nutricional de forraje verde hidropónico de *Avena sativa* L. y *Hordeum vulgare* L. con dos cortes sucesivos, se utilizó el software InfoStat (Di Rienzo et al. 2008) versión 2008, en el cual se realizó en análisis de varianza ANOVA estableciendo diferencias significativas con el test de Tukey a un nivel de confianza del 95%. Se probaron supuestos de homogeneidad de varianzas y normalidad para cada una de las variables en los distintos ensayos. En el Cuadro 7 se presenta la matriz con las medidas resumen empleada para el análisis de la información.

Cuadro 7. Análisis de varianza

Fuentes de Variación	GL	SC	CM	Relación F
Factor A	1			
Factor B	1			
Factor C	1			
Interacción AxB	1			
Interacción AxC	1			
Interacción BxC	1			
Interacción AxBxC	1			
Error Experimental	24			
Total	31			
TEST: TUKEY ALFA=0,05				
Error:	gl:			
Tratamientos	Medias	n	EE	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)				
C.V: coeficiente de variación				
E.E: error estándar \bar{x}				

3.3.4.4. Variables independientes

Cuadro 8: Variables independientes

Tratamiento	Especie	Macronutriente	Micronutriente
1	Avena	5,0 ml/l	2,5 ml/l
2	Avena	5,0 ml/l	4,0 ml/l
3	Avena	7,0 ml/l	2,5 ml/l
4	Avena	7,0 ml/l	4,0 ml/l
5	Cebada	5,0 ml/l	2,5 ml/l
6	Cebada	5,0 ml/l	4,0 ml/l
7	Cebada	7,0 ml/l	2,5 ml/l
8	Cebada	7,0 ml/l	4,0 ml/l

3.3.4.5. Variables dependientes

- Biomasa vegetal
- Porcentaje de proteína
- Porcentaje de materia seca
- Porcentaje de fibra
- Porcentaje de cenizas
- Porcentaje de grasa
- Costos de producción por tratamiento

3.3.4.6. Esquema de la disposición del ensayo.

TRATAMIENTOS

I	T3	T1	T5	T7	T8	T2	T4	T6
II	T2	T6	T4	T8	T7	T5	T1	T3
III	T1	T5	T7	T2	T4	T6	T3	T8
IV	T5	T7	T8	T1	T2	T3	T6	T4

Figura 25. Esquema de la disposición del ensayo.

4. RESULTADOS

4.1. Producción de biomasa de *Avena sativa* L. y *Hordeum vulgare* L. con dos cortes sucesivos

4.1.1. Germinación

Según el análisis de varianza (ANOVA) aplicado para el porcentaje de germinación en el cultivo hidropónico de *Avena Sativa* L. y *Hordeum vulgare* L. (Figura 26), se pudo determinar que no fue significativo. De la misma manera la prueba de Tukey (Anexo 1) nos muestra que no existen diferencias significativas entre tratamientos con una $p=0,0184$, donde se observa que el tratamiento T1= Avena + Macro 5,0 ml/l + micro 2,5 ml/l alcanzo un máximo porcentaje de germinación del 91,25 %, frente al T8= Ce+ Macro 7,0 ml/l + micro 4,0 ml/l que alcanzo un % de germinación del 86,25.

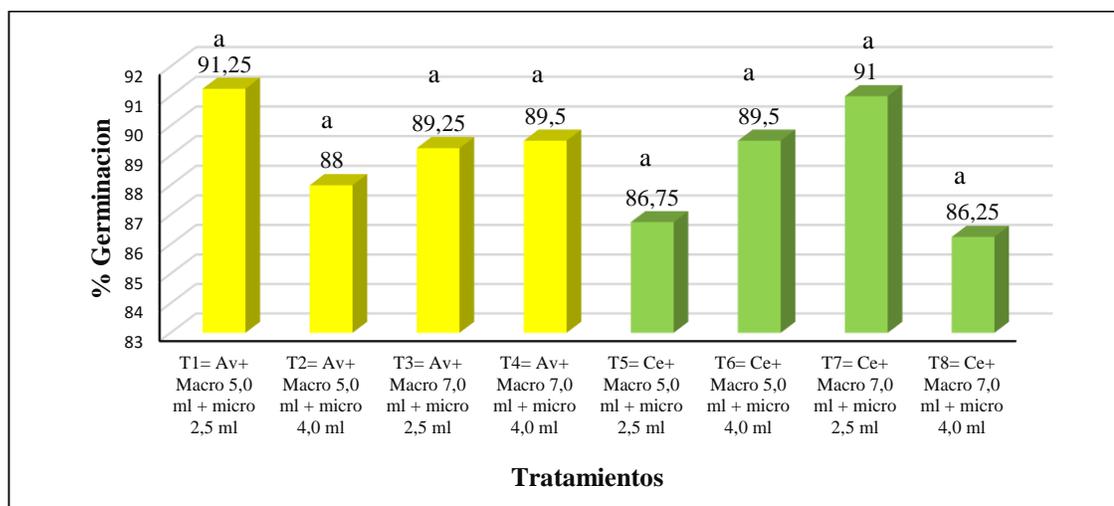


Figura 26. Porcentaje de germinación en el cultivo hidropónico de *Avena Sativa* L. y *Hordeum vulgare* L.

4.1.2. Días a la germinación

El inicio de la germinación se inició a los dos días de la siembra en las bandejas, con porcentajes de 9 %, 14%, 11%, 10%, 7 %, 15 % 12 % y 20 para los tratamientos T1= Avena + Macronutrientes 5,0 ml/l + micronutrientes 2,5 ml/l, T2= Avena + Macronutrientes 5,0 ml/l + micronutrientes 4,0 ml/l, T3= Avena + Macronutrientes 7,0

ml/l + micronutrientes 2,5 ml/l, T4= Avena + Macronutrientes 7,0 ml/l + micronutrientes 4,0 ml/l, T5= Cebada + Macronutrientes 5,0 ml/l + micronutrientes 2,5 ml/l, T6= Cebada + Macronutrientes 5,0 ml/l + micronutrientes 4,0 ml/l, T7= Cebada + Macronutrientes 7,0 ml/l + micronutrientes 2,5 ml/l, T8= Cebada + Macronutrientes 7,0 ml/l + micronutrientes 4,0 ml/l respectivamente, estabilizándose a los cinco días con porcentajes de 91,25%; 88,0 %; 89,25 %; 89,5 %; 86,75 %; 80 %; 91 % y 86,25 % para los tratamientos T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7 y T8 respectivamente (Anexo 2; Figura 27).

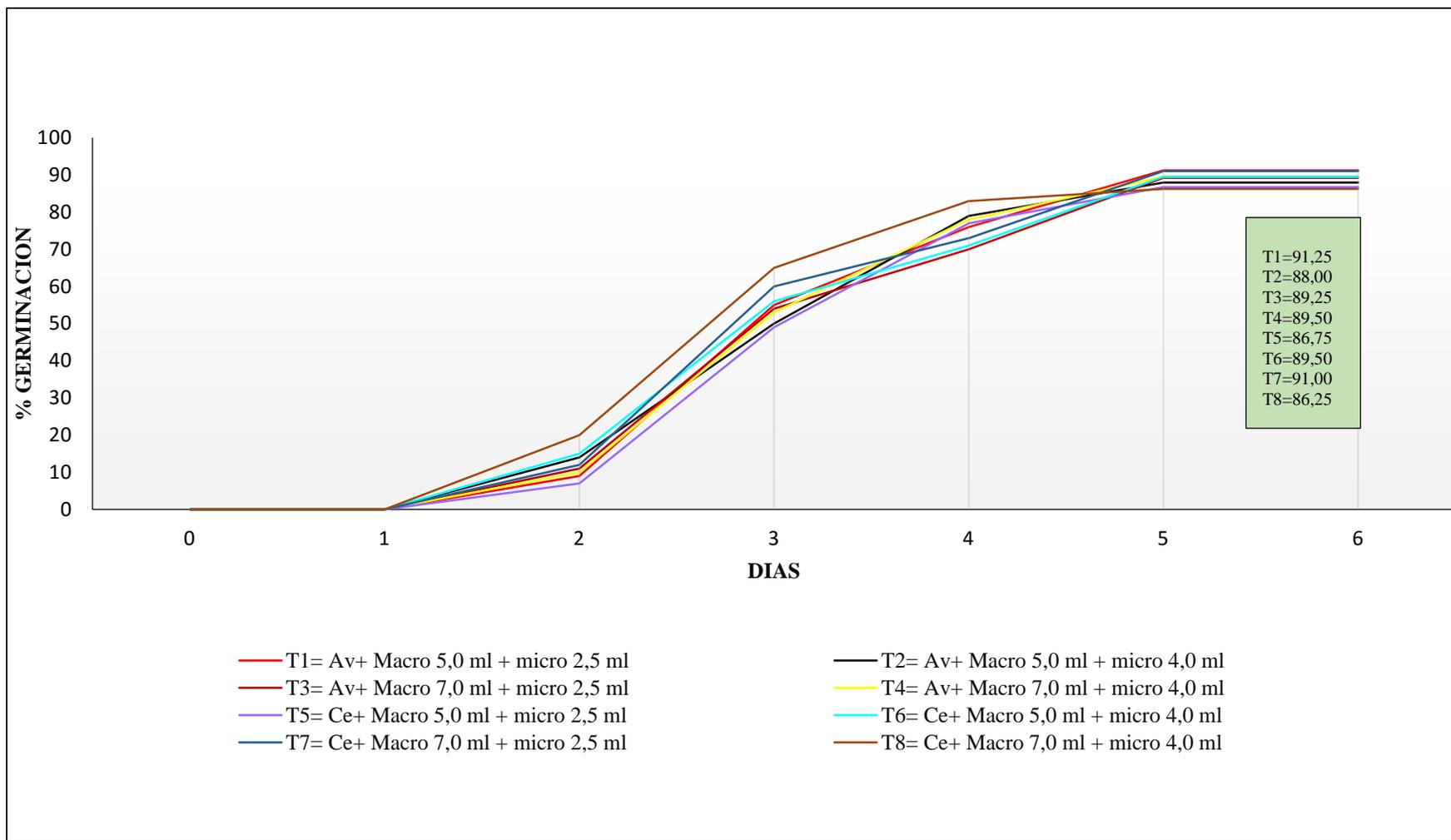


Figura 27. Días a la germinación

4.1.3. Altura de la planta al primer corte

Según el análisis de varianza (ANOVA) aplicado para la altura de la planta al primer corte, se pudo determinar que fue significativo. De la misma manera la prueba de Tukey (Anexo 3) nos muestra diferencias significativas entre tratamientos con una $p= 0,2732$ donde se observa que los mejores tratamientos son el T8= Cebada+ Macronutriente 7 ml/l + 4,0 ml/l micronutrientes y T4= Avena+ Macronutriente 7 ml/l + 4,0 ml/l micronutrientes, con una altura de 17,55 y 17,25 cm; frente a los tratamientos T5= Cebada + Macronutrientes 5,0 ml + micronutrientes 2,5 ml/l y T1= Avena + Macronutrientes 5,0 ml/l + micronutrientes 2,5 ml/l con una altura de 13,18cm y 13,20 cm respectivamente (Figura 28).

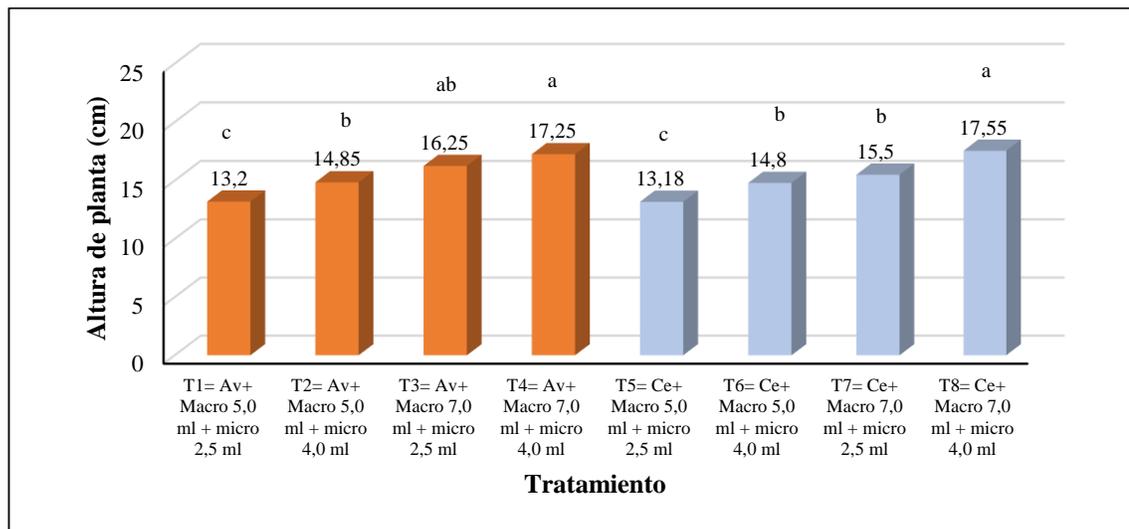


Figura 28. Altura de la planta al primer corte.

4.1.4. Altura de la planta al segundo corte

Según el análisis de varianza (ANOVA) aplicado para la altura de la planta al segundo corte, se pudo determinar que fue significativo. De la misma manera la prueba de Tukey (Anexo 4) nos muestra diferencias significativas entre tratamientos con una $p= 0,0008$ donde se observa que los mejores tratamientos son el tratamiento T8= Cebada+ Macronutriente 7 ml/l + 4,0 ml/l micronutrientes, que alcanzó una altura promedio de 13,50 cm y el tratamiento T3= Avena + Macronutriente 7 ml/l + micronutrientes 2,5 ml/l

con una altura promedio de 12,85 cm; frente al tratamiento T1= Macronutrientes + micronutrientes que alcanzó una altura promedio de 10,08 cm (Figura 29).

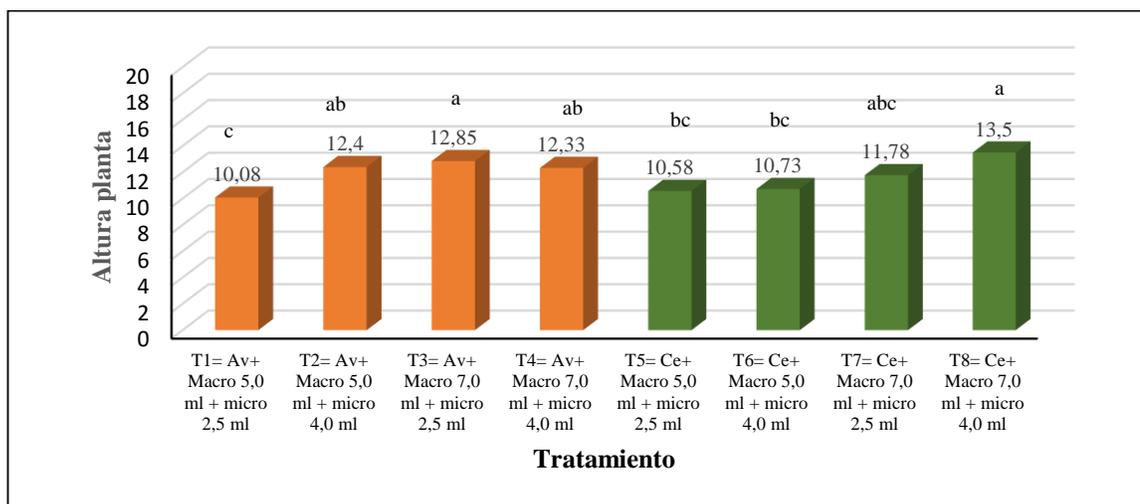


Figura 29. Altura de la planta al segundo corte.

4.1.5. Rendimiento de las plantas al primer corte

Según el análisis de varianza (ANOVA) aplicado para rendimiento de la planta al primer corte, se pudo determinar que fue significativo. De la misma manera la prueba de Tukey (Anexo 5) nos muestra diferencias significativas entre tratamientos con una $p= 0,1292$ donde se observa que los mejores tratamientos son el tratamiento T8= Cebada+ Macronutriente 7 ml/l + 4,0 ml/l micronutrientes, que alcanzó rendimiento de 388,20 gramos y el tratamiento T4= Avena + Macronutriente 7 ml/l + micronutrientes 4,0 ml/l que alcanzó un rendimiento de 387,48 gramos; frente a los tratamientos T5= Cebada + Macronutrientes 5,0 ml/l + micronutrientes 2,5 ml/l y el tratamiento T6= Cebada + Macronutrientes 5,0 ml/l + micronutrientes 4,0 ml/l que alcanzaron un rendimiento de 196,53 gramos y 188,93 gramos respectivamente (Figura 30).

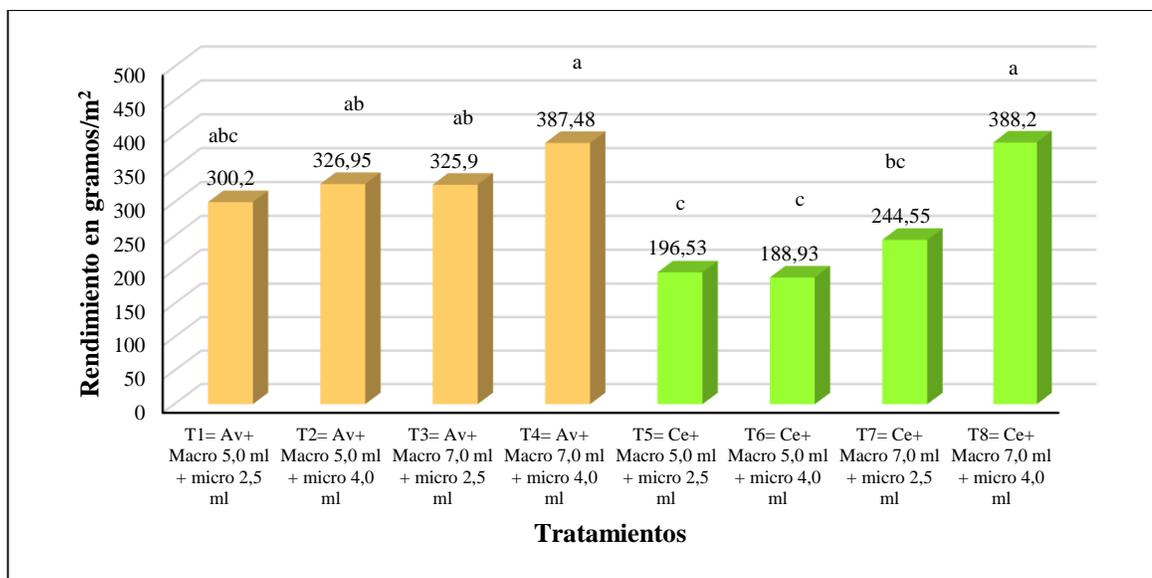


Figura 30. Rendimiento de las plantas al primer corte.

4.1.6. Rendimiento al segundo corte

Según el análisis de varianza (ANOVA) aplicado para rendimiento de la planta al segundo corte, se pudo determinar que fue significativo. De la misma manera la prueba de Tukey (Anexo 6) nos muestra diferencias significativas entre tratamientos con una $p=0,7783$) donde se observa que el mejor tratamiento es el T8= Cebada+ Macronutriente 7 ml/l + 4,0 ml/l micronutrientes, que alcanzó rendimiento de 92,83 gramos; frente a los tratamientos T5= Cebada + Macronutrientes 5,0 ml/l + micronutrientes 4,0 ml/l, T4= Cebada + Macronutrientes 5,0 ml/l + micronutrientes 2,5 ml/l y T1= Avena + Macronutrientes 5,0 ml/l + micronutrientes 2,5 ml/l que alcanzaron rendimientos de 58,08 gramos, 52,75 gramos y 46,08 gramos respectivamente (Figura 31).

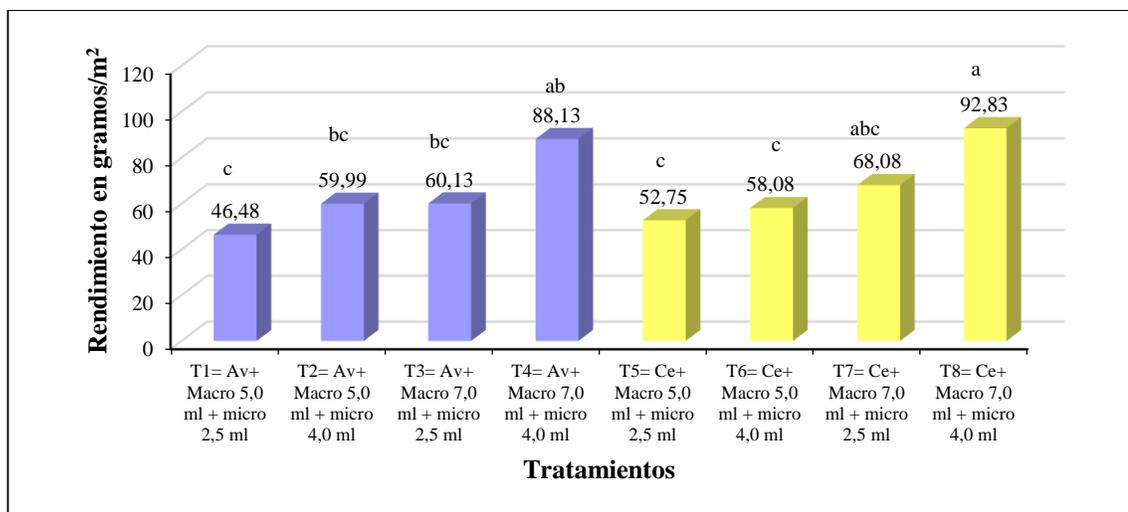


Figura 31. Rendimiento de las plantas al segundo corte.

4.1.7. Características morfológicas de color del forraje de avena y cebada según la escala de colorimetría FAO (2014)

La determinación del color se lo realizo tomando muestras de los tratamientos cuales se le comenzó a comparar de acuerdo a la escala técnica de colores en la que la planta en excelentes condiciones se encuentra dentro del número 4, con los resultados visualizados tenemos como mejor resultado a T3 y T4 para el caso de la avena; y al T7 y T8 para el caso de la cebada que de acuerdo a la escala técnica de colores en la que la planta en excelentes condiciones se encuentra dentro del número 5, lo que podemos afirmar que el nivel de fertilización tiene un efecto significativo en el desarrollo correcto del cultivo hidropónico (Figura 32).

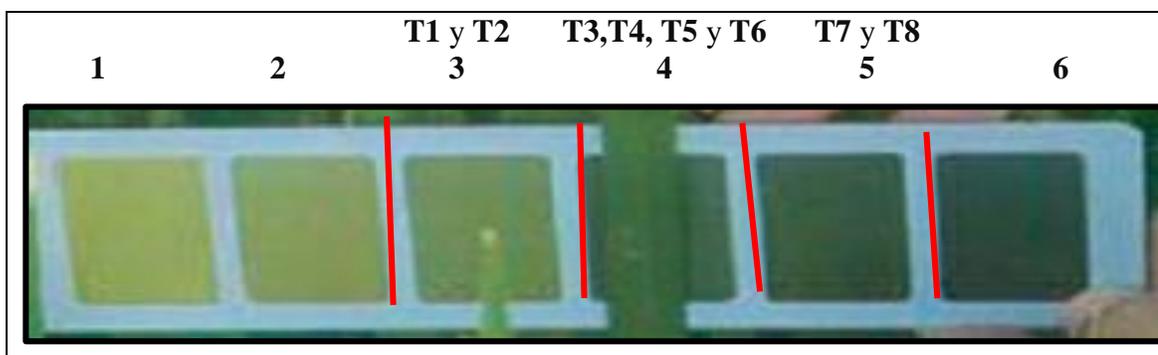


Figura 32: Color del forraje de avena y cebada según la escala de colorimetría FAO (2014)

4.2. Valor nutricional de *Avena sativa* L. y *Hordeum vulgare* L. en dos cortes sucesivos

4.2.1. Proteína al primer corte

Según el análisis de varianza (ANOVA) aplicado para el porcentaje de proteína de las plantas al primer corte, se pudo determinar que fue altamente significativo. De la misma manera la prueba de Tukey (Anexo 7) nos muestra diferencias significativas entre tratamientos con una $p=0,0004$ donde se observa que los mejores tratamientos son el tratamiento T7= Cebada+ Macronutriente 7 ml/l + 2,5 ml/l micronutrientes que alcanzó un porcentaje de proteína del 29,51 % y el tratamiento T6= Cebada+ Macronutriente 5,0 ml/l + 4,0 ml/l micronutrientes que alcanzó un porcentaje de proteína del 29,18 %; frente al tratamientos T8= Cebada + Macronutrientes 7,0 ml/l + micronutrientes 4,0 ml/l que alcanzó un porcentaje de proteína del 21,59 % (Figura 33).

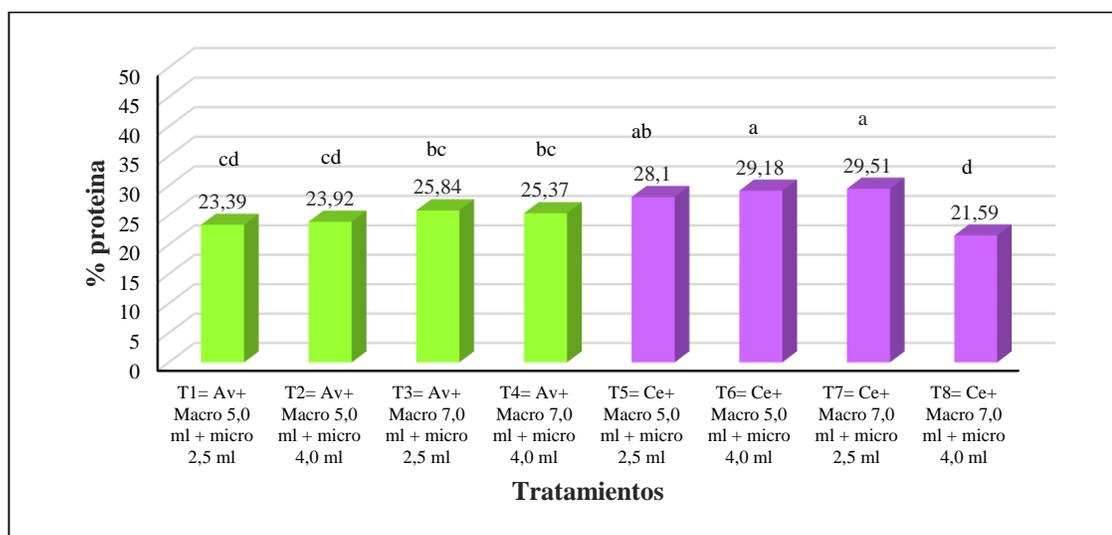


Figura 33. Porcentaje de proteína al primer corte.

4.2.2. Proteína al segundo corte

Según el análisis de varianza (ANOVA) aplicado para el porcentaje de proteína de las plantas al segundo corte, se pudo determinar que fue significativo. De la misma manera la prueba de Tukey (Anexo 8) nos muestra diferencias significativas entre tratamientos con una $p=0,0550$ donde se observa que los mejores tratamientos son el tratamiento

T3= Avena + Macronutriente 7 ml/l + 2,5 ml/l micronutrientes que alcanzó un porcentaje de proteína del 29,35 %, el tratamiento T1= Avena + Macronutriente 5,0 ml/l + 2,5 ml/l micronutrientes que alcanzó un porcentaje de proteína del 28,75 % y el tratamiento T2= Avena+ Macronutriente 5,0 ml/l + 4,0 ml/l micronutrientes que alcanzó un porcentaje de proteína del 28,27 % ; frente a los tratamientos T5= Cebada + Macronutrientes 5,0 ml/l + micronutrientes 2,5 ml/l que alcanzó un porcentaje de proteína del 20,47 %, el tratamiento T7= Cebada + Macronutriente 7,0 ml/l + 2,5 ml/l micronutrientes que alcanzó un porcentaje de proteína del 20,16 % y el tratamiento T6= Cebada + Macronutriente 5,0 ml/l + 4,0 ml/l micronutrientes que alcanzó un porcentaje de proteína del 20,12 % (Figura 34).

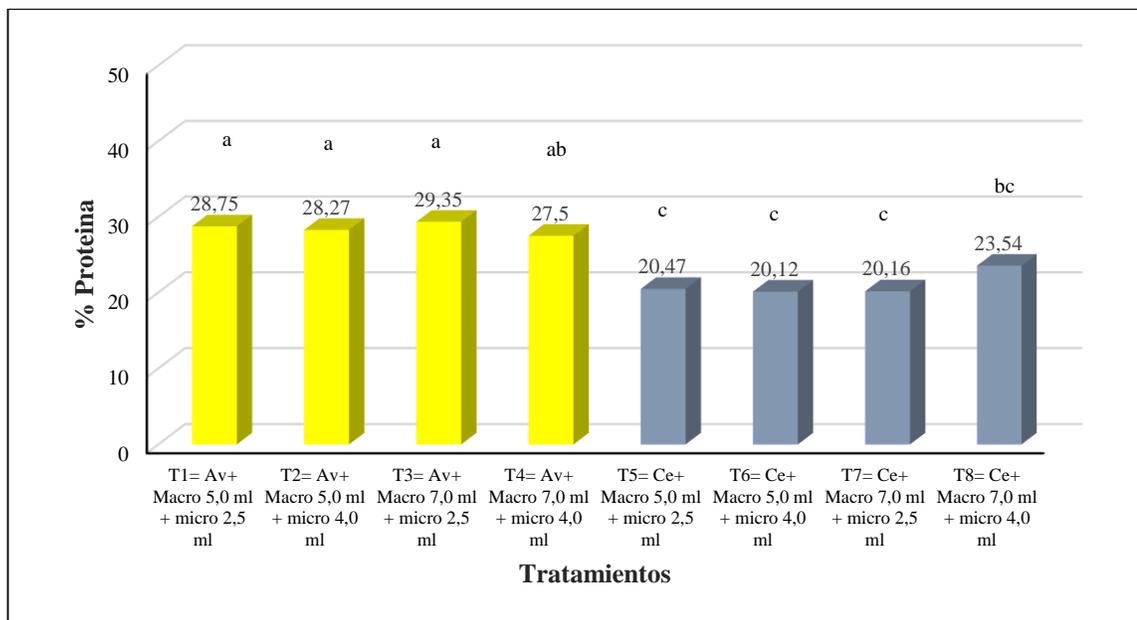


Figura 34. Porcentaje de proteína al segundo corte.

4.2.3. Materia seca al primer corte

Según el análisis de varianza (ANOVA) aplicado para el porcentaje de materia seca de las plantas al primer corte, se pudo determinar que no fue significativo. De la misma manera la prueba de Tukey (Anexo 9) nos muestra que no existen diferencias significativas entre tratamientos con una $p= 0,5957$) donde se observa que el tratamiento con mayor % de materia seca es el T3= Avena + Macronutriente 7 ml/l + 2,5 ml/l micronutrientes que alcanzó un porcentaje de materia seca del 35,61 %; frente al

tratamiento T7= Cebada + Macronutriente 7,0 ml/l + 2,5 ml/l micronutrientes alcanzó un porcentaje de materia seca de 24,05 % (Figura 35).

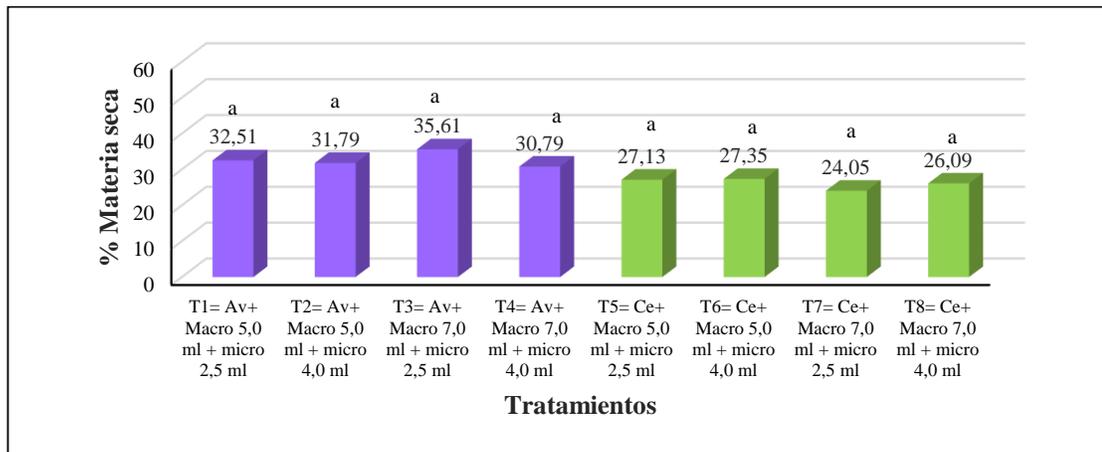


Figura 35. Porcentaje de materia seca al primer corte.

4.2.4. Materia seca al segundo corte

Según el análisis de varianza (ANOVA) aplicado para el porcentaje de materia seca de las plantas al segundo corte, se pudo determinar que fue significativo. De la misma manera la prueba de Tukey (Anexo 10) nos muestra diferencias significativas entre tratamientos con una $p= 0,8786$) donde se observa que el mejor tratamiento es el T6= Cebada + Macronutriente 5,0 ml/l + 4,0ml/l micronutrientes alcanzó un porcentaje de materia seca de 10,66 %; frente al tratamiento T4= Avena + Macronutriente 7,0 ml/l + 4,0 ml/l micronutrientes alcanzó un porcentaje de materia seca de 7,71 % (Figura 36).

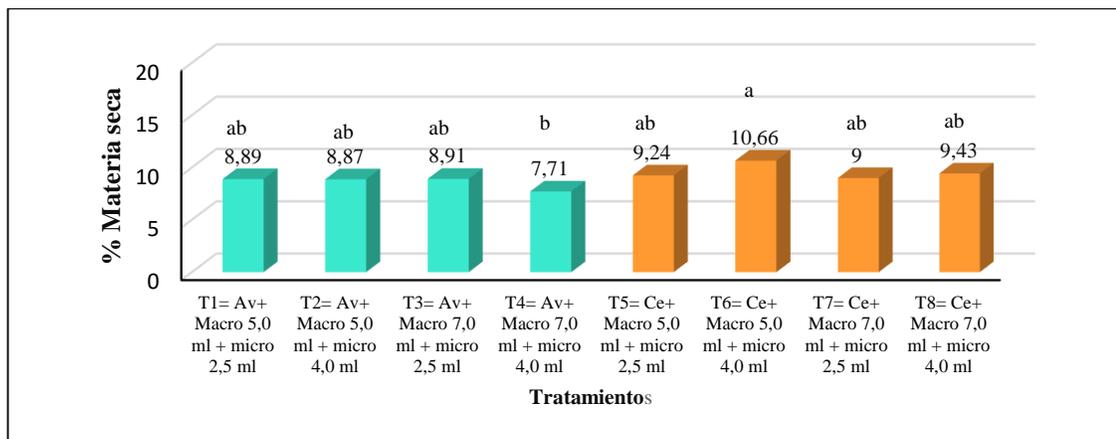


Figura 36. Porcentaje de materia seca al segundo corte.

4.2.5. Fibra al primer corte

Según el análisis de varianza (ANOVA) aplicado para el porcentaje de fibra de las plantas al primer corte, se pudo determinar que fue significativo. De la misma manera la prueba de Tukey (Anexo 11) nos muestra diferencias significativas entre tratamientos con una $p= 0,4522$) donde se observa que el mejor tratamiento es el T7= Cebada + Macronutriente 7,0 ml/l + 2,5 ml/l micronutrientes, alcanzó un porcentaje de fibra de 38,02 %; frente a los tratamientos T6= Cebada + Macronutriente 5,0 ml/l + 4,0 ml/l micronutrientes que alcanzó un porcentaje de fibra de 33,90 % y al tratamiento T4=Avena + Macronutriente 7,0 ml/l + 4,0 ml/l micronutrientes, que alcanzó un porcentaje de fibra del 33,61 % (Figura 37).

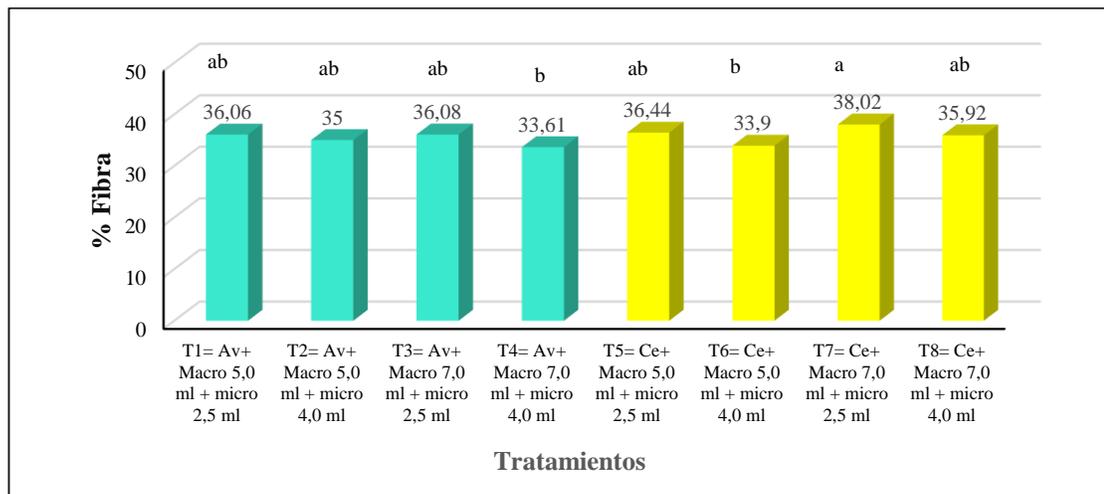


Figura 37. Porcentaje de fibra al primer corte.

4.2.6. Fibra al segundo corte

Según el análisis de varianza (ANOVA) aplicado para el porcentaje de fibra de las plantas al segundo corte, se pudo determinar que no fue significativo. De la misma manera la prueba de Tukey (Anexo 12) nos muestra que no existen diferencias significativas entre tratamientos con una $p= 0,9502$) donde se observa que el tratamiento con mayor % de fibra es el T2= Avena + Macronutriente 5 ml/l + 4,0 ml/l micronutrientes, que alcanzó un porcentaje de fibra del 38,42 %; frente al tratamiento

T3= Avena + Macronutriente 7,0 ml/l + 2,5 ml/l micronutrientes, que alcanzó un porcentaje de fibra de 33,68 % (Figura 38).

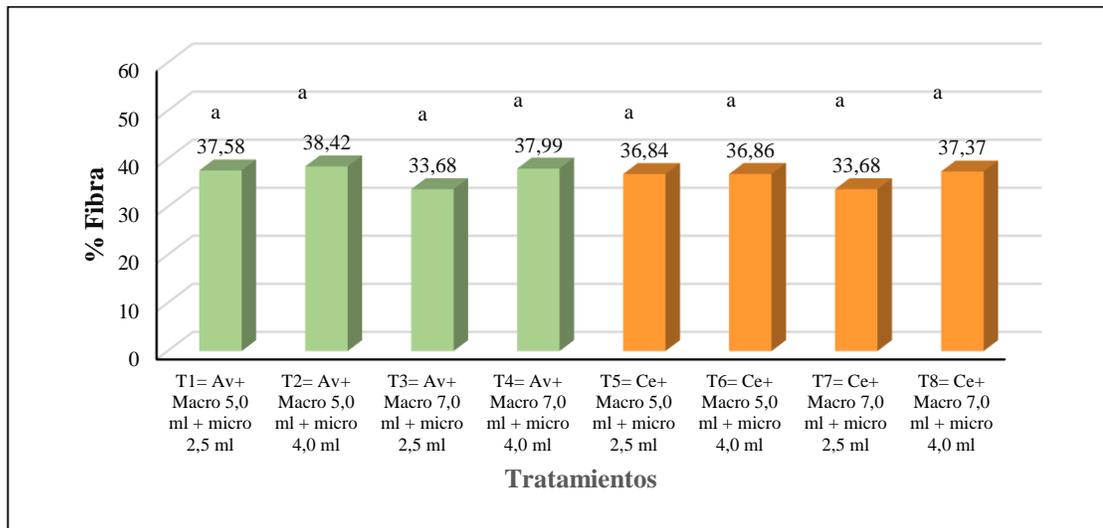


Figura 38. Porcentaje de fibra al segundo corte.

4.2.7. Cenizas al primer corte

Según el análisis de varianza (ANOVA) aplicado para el porcentaje de ceniza de las plantas al primer corte, se pudo determinar que fue significativo. De la misma manera la prueba de Tukey (Anexo 13) nos muestra diferencias significativas entre tratamientos con una $p= 0,9297$) donde se observa que los mejores tratamientos son el tratamiento T7= Cebada + Macronutriente 7,0 ml/l + 2,5 ml/l micronutrientes, que alcanzó un porcentaje de ceniza del 5,75 % y el tratamiento T8= Cebada + Macronutriente 7,0 ml/l + 4,0 ml/l micronutrientes, que alcanzó un porcentaje de ceniza del 5,69 %; frente a los tratamientos T3= Avena + Macronutrientes 7,0 ml/l + micronutrientes 2,5 ml/l, que alcanzó un porcentaje de ceniza del 4,65 % y el tratamiento T1= Avena+ Macronutriente 5,0 ml/l + 2,5 ml/l micronutrientes, que alcanzó un porcentaje de ceniza del 4,30 % (Figura 39).

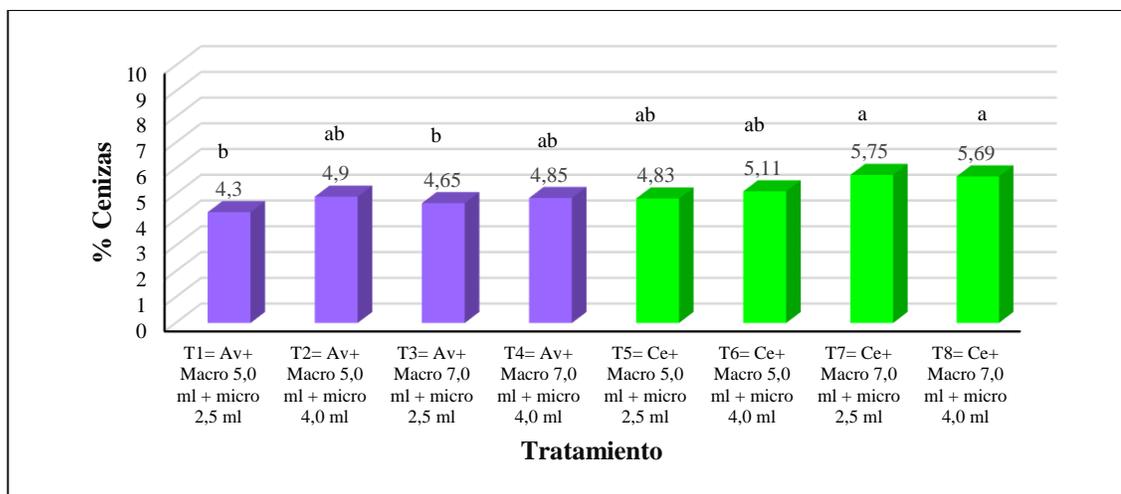


Figura 39. Porcentaje de cenizas al primer corte.

4.2.8. Cenizas al segundo corte

Según el análisis de varianza (ANOVA) aplicado para el porcentaje de ceniza de las plantas al segundo corte, se pudo determinar que fue significativo. De la misma manera la prueba de Tukey (Anexo 14) nos muestra diferencias significativas entre tratamientos con una $p = 0,9096$) donde se observa que los mejores tratamientos son el tratamiento T5= Cebada + Macronutriente 5,0 ml/l + 2,5 ml/l micronutrientes, que alcanzó un porcentaje de ceniza del 5,14 %, el tratamiento T7= Cebada + Macronutriente 7,0 ml/l + 2,5 ml/l micronutrientes, que alcanzó un porcentaje de ceniza del 5,06 % y el tratamiento T8= Cebada + Macronutriente 7,0 ml/l + 4,0 ml/l micronutrientes, que alcanzó un porcentaje de ceniza del 5,02 %; frente a los tratamientos T3= Avena + Macronutriente 7,0 ml/l + 2,5 ml/l micronutrientes, que alcanzó un porcentaje de ceniza del 3,89 %, el tratamiento T2= Avena + Macronutriente 5,0 ml/l + 4,0 ml/l micronutrientes, que alcanzó un porcentaje de ceniza del 3,86 % y el tratamiento T4= Avena + Macronutriente 7,0 ml/l + 4,0 ml/l micronutrientes, que alcanzó un porcentaje de ceniza del 3,71 % (Figura 40).

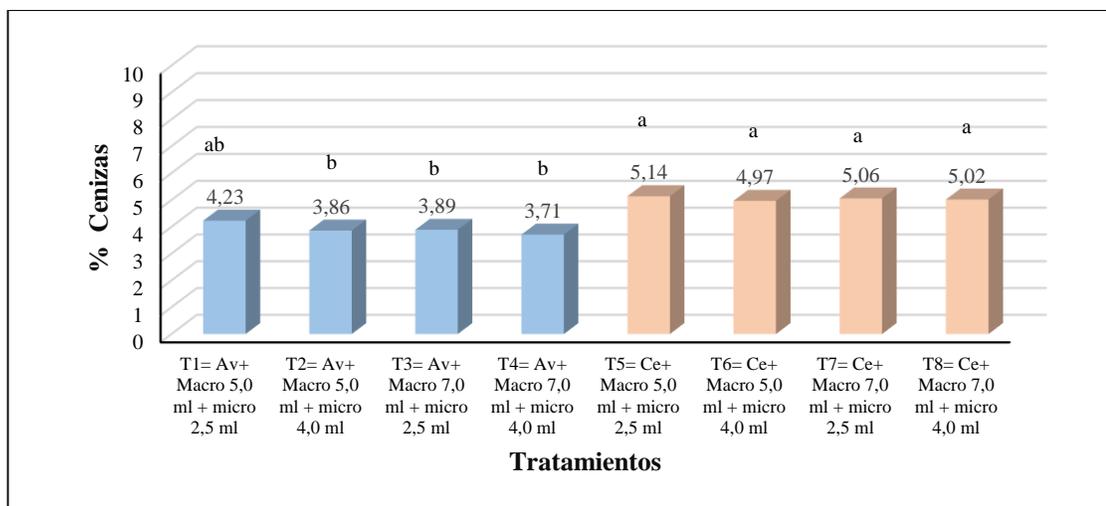


Figura 40. Porcentaje de cenizas al segundo corte.

4.2.9. Grasa al primer corte

Según el análisis de varianza (ANOVA) aplicado para el porcentaje de grasa de las plantas al primer corte, se pudo determinar que fue significativo. De la misma manera la prueba de Tukey (Anexo 15) nos muestra diferencias significativas entre tratamientos con una $p= 0,0001$) donde se observa que el mejor tratamiento es el tratamiento T5= Cebada + Macronutriente 5,0 ml/l + 2,5 ml/l micronutrientes, que alcanzó un porcentaje de grasa del 8,31 %; frente a los tratamientos T6= Cebada + Macronutriente 5,0 ml/l + 4,0 ml/l micronutrientes, que alcanzó un porcentaje de grasa del 4,65 %, el tratamiento T7= Cebada + Macronutriente 7,0 ml/l + 2,50 ml/l micronutrientes, que alcanzó un porcentaje de grasa del 3,62 % y el tratamiento T8= Cebada + Macronutriente 7,0 ml/l + 4,0 ml/l micronutrientes, que alcanzó un porcentaje de grasa del 3,47 % (Figura 41).

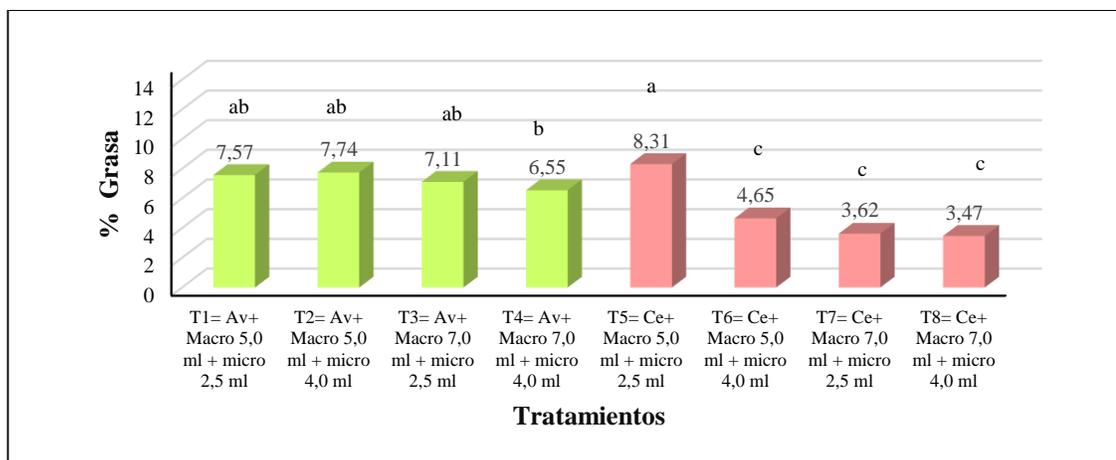


Figura 41. Porcentaje de grasa al primer corte. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

4.2.10. Grasa al segundo corte

Según el análisis de varianza (ANOVA) aplicado para el porcentaje de grasa de las plantas al segundo corte, se pudo determinar que fue altamente significativo. De la misma manera la prueba de Tukey (Anexo 16) nos muestra diferencias significativas entre tratamientos con una $p= 0,0260$) donde se observa que el mejor tratamiento es el tratamiento T4= Avena + Macronutriente 7,0 ml/l + 4,0 ml/l micronutrientes, que alcanzó un porcentaje de grasa del 6,89 %; frente a los tratamientos T6= Cebada + Macronutriente 5,0 ml/l + 4,0 ml/l micronutrientes, que alcanzó un porcentaje de grasa del 3,20 % y el tratamiento T5= Cebada + Macronutriente 5,0 ml/l + 2,5 ml/l micronutrientes, que alcanzó un porcentaje de grasa del 2,94 % (Figura 42).

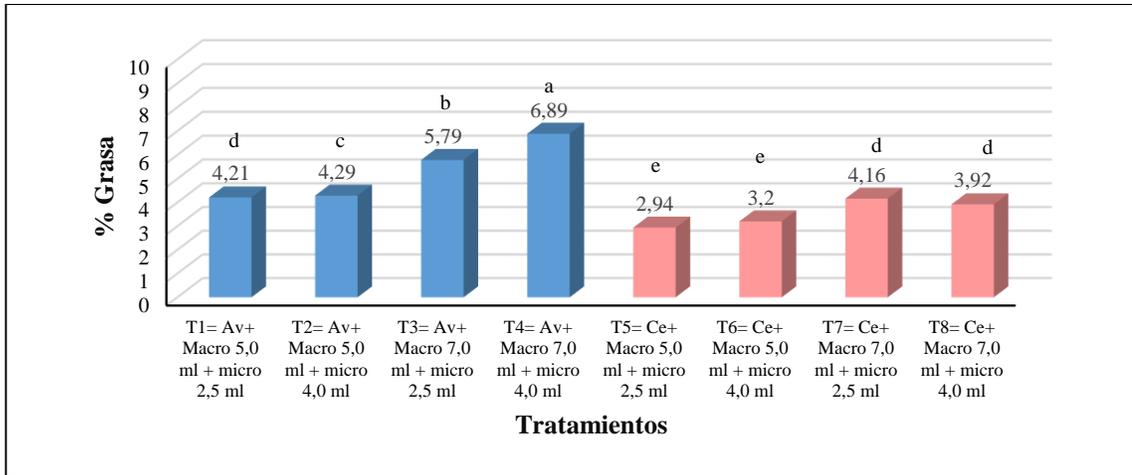


Figura 42. Porcentaje de grasa al segundo corte.

4.3. Costos de producción por tratamiento en un área de 0,24 m² para la producción de forraje verde hidropónico de *Avena sativa* L. y *Hordeum vulgare* L.

Los costos de producción se determinaron tomando en cuenta las, herramientas, insumos, mano de obra e interés de capital, que se utilizó en cada fase del cultivo como son la pregerminación, siembra, riego y fertilización (Cuadro 9). Para determinar el costo de las herramientas y equipos se sacó la depreciación según los años de vida útil, dando como resultado final un costo de producción de 22,13 dólares para producir en una superficie de 0,24 m²

Cuadro 9. Costos de producción tratamiento uno para una superficie de 0.24 m²

Costos de producción para el tratamiento 1 (Avena)							
Actividad	Equipo, herramienta, insumos, mano de obra	Unidad	Cantidad	Costo unitario \$	Costo Variable \$	Costo fijo \$	Sub Total \$
Pregerminación	Recipiente plástico	Uno	1	0,38	0,38		0,38
	Semilla avena	Libra	4	0,60	2,40		2,40
	Cloro	mililitro	125	0,0012	0,18		0,18
	Agua	metro cubico	1	0,50		0,50	1,00
	Mano de obra	hora	1	1,5	1,5		1,5
Siembra	Bandeja	Bandeja	4	0,0054	0,87		0,87
	Fundas	Fundas	4	0,10	0,40		0,40
	Mano de obra	hora	0,5	0,75	0,75		0,75
Riego y fertilización	Bomba	bomba	1	0,5	0,5		0,5
	Fertilizante Macronutriente Foltron plus	Miligramo	5 ml(por aplicación) 2 aplic/dia 140 ml	0,02	2,80		2,80
	Fertilizante Micronutriente BioZymetf	Miligramo	2,5 ml(por aplicación) 2 aplic/dia 70 ml	0,04	2,80		2,80
	Mano de obra	hora	5	1,5	7,5		7,5
Subtotal							21,08
Interés de capital		%	5				1,05
Total Tratamiento Uno:							22,13

Los costos de producción se determinaron tomando en cuenta las, herramientas, insumos, mano de obra e interés de capital, que se utilizó en cada fase del cultivo como son la pre germinación, siembra, riego y fertilización (Cuadro 10). Para determinar el costo de las herramientas y equipos se sacó la depreciación según los años de vida útil, dando como resultado final un costo de producción de 23,90 dólares para producir en una superficie de 0,24 m²

Cuadro 10. Costos de producción tratamiento dos para una superficie de 0.24 m²

Costos de producción para el tratamiento 2 (Avena)							
ACTIVIDAD	Equipo, herramienta, insumo	Unidad	Cantidad	Costo unitario \$	Costo Variable \$	Costo fijo \$	Sub Total \$
Pregerminación	Recipiente plástico	uno	1	0,38	0,38		0,38
	Semilla avena	libra	4	0,60	2,40		2,40
	Cloro	mililitro	125	0,0012	0,18		0,18
	Agua	metro cubico	1	0,50		1,00	1,00
	Mano de obra	hora	1	1,5	1,5		1,5
Siembra	Bandeja	Bandeja	4	0,0054	0,87		0,87
	Fundas	Fundas	4	0,10	0,40		0,40
	Mano de obra	hora	0,5	0,75	0,75		0,75
Riego y fertilización	Bomba	bomba	1	0,5	0,5		0,5
	Fertilizante Macronutriente Foltron plus	Miligramos	5 ml(por aplicación) 2 aplic/día 140 ml	0,02	2,80		2,80
	Fertilizante Micronutriente BioZymetf	Miligramos	4 ml(por aplicación) 2 aplic/día 112 ml	0,04	0,04		4,48
	Mano de obra	hora	5	1,5	7,5		7,5
Subtotal							22,76
Interés de capital		%	5				1,14
Total Tratamiento Dos:							23,90

Los costos de producción se determinaron tomando en cuenta las, herramientas, insumos, mano de obra e interés de capital, que se utilizó en cada fase del cultivo como son la pre germinación, siembra, riego y fertilización (Cuadro 11). Para determinar el costo de las herramientas y equipos se sacó la depreciación según los años de vida útil, dando como resultado final un costo de producción de 23,33 dólares para producir en una superficie de 0,24 m²

Cuadro 11. Costos de producción tratamiento tres para una superficie de 0.24 m²

Costos de producción para el tratamiento 3 (Avena)							
ACTIVIDAD	Equipo, herramienta, insumo.	Unidad	Cantidad	Costo unitario \$	Costo Variable \$	Costo fijo \$	Sub Total \$
Pregerminación	Recipiente plástico	uno	1	0,38	0,38		0,38
	Semilla avena	libra	4	0,60	2,40		2,40
	Cloro	mililitro	125	0,0012	0,18		0,18
	Agua	metro cubico	1	0,50		1,00	1,00
	Mano de obra	hora	1	1,5	1,5		1,5
Siembra	Bandeja	Bandeja	4	0,0054	0,87		0,87
	Fundas	Fundas	4	0,10	0,40		0,40
	Mano de obra	hora	0,5	0,75	0,75		0,75
Riego y fertilización	Bomba	bomba	1	0,5	0,5		0,5
	Fertilizante Macronutriente Foltron plus	Miligramos	7 ml(por aplicación)) 2 aplic/día 140 ml	0,02	3,92		3,92
	Fertilizante Micronutriente BioZymetf	Miligramos	2,5 ml(por aplicación) 2 aplic/día 70 ml	0,04	2,8		2,80
	Mano de obra	hora	5	1,5	7,5		7,5
Subtotal							22,22
Interés de capital		%	5				1,11
Total Tratamiento tres:							23,33

Los costos de producción se determinaron tomando en cuenta las, herramientas, insumos, mano de obra e interés de capital, que se utilizó en cada fase del cultivo como son la pre germinación, siembra, riego y fertilización (Cuadro 12). Para determinar el costo de las herramientas y equipos se sacó la depreciación según los años de vida útil, dando como resultado final un costo de producción de 25,08 dólares para producir en una superficie de 0,24 m²

Cuadro 12. Costos de producción tratamiento cuatro para una superficie de 0.24 m²

Costos de producción para el tratamiento 4 (Avena)							
ACTIVIDAD	Equipos, herramienta, insumo	Unidad	Cantidad	Costo unitario \$	Costo Variable \$	Costo fijo \$	Sub Total \$
Pregerminación	Recipiente plástico	uno	1	0,38	0,38		0,38
	Semilla avena	libra	4	0,60	2,40		2,40
	Cloro	militro	125	0,0012	0,18		0,18
	Agua	metro cubico	1	0,50		1,00	1,00
	Mano de obra	hora	1	1,5	1,5		1,5
Siembra	Bandeja	Bandeja	4	0,0054	0,87		0,87
	Fundas	Fundas	4	0,10	0,40		0,40
	Mano de obra	hora	0,5	0,75	0,75		0,75
Riego y fertilización	Bomba	bomba	1	0,5	0,5		0,5
	Fertilizante Macronutriente Foltron plus	Miligramos	7 ml(por aplicación) 2 aplic/día 140 ml	0,02	3,92		3,92
	Fertilizante Micronutriente BioZymetf	Miligramos	4 ml(por aplicación) 2 aplic/día 112 ml	0,04	4,48		4,48
	Mano de obra	hora	5	1,5	7,5		7,5
Subtotal							23,88
Interés de capital		%	5				1,20
Total Tratamiento cuatro:							25,08

Los costos de producción se determinaron tomando en cuenta las, herramientas, insumos, mano de obra e interés de capital, que se utilizó en cada fase del cultivo como son la pre germinación, siembra, riego y fertilización (Cuadro 13). Para determinar el costo de las herramientas y equipos se sacó la depreciación según los años de vida útil, dando como resultado final un costo de producción de 22,55 dólares para producir en una superficie de 0,24 m²

Cuadro 13. Costos de producción tratamiento cinco para una superficie de 0.24 m²

Costos de producción para el tratamiento 5 (Cebada)							
ACTIVIDAD	Equipo, herramienta, insumo.	Unidad	Cantidad	Costo unitario \$	Costo Variable \$	Costo fijo \$	Sub Total \$
Pregerminación	Recipiente plástico	uno	1	0,38	0,38		0,38
	Semilla cebada	libra	4	0,70	2,80		2,80
	Cloro	mililitro	125	0,0012	0,18		0,18
	Agua	metro cubico	1	0,50		1,00	1,00
	Mano de obra	hora	1	1,5	1,5		1,5
Siembra	Bandeja	Bandeja	4	0,0054	0,87		0,87
	Fundas	Fundas	4	0,10	0,40		0,40
	Mano de obra	hora	0,5	0,75	0,75		0,75
Riego y fertilización	Bomba	bomba	1	0,5	0,5		0,5
	Fertilizante Macronutriente Foltron plus	Miligramos	5 ml(por aplicación)) 2 aplic/dia 140 ml	0,02	2,80		2,80
	Fertilizante Micronutriente BiozYmetf	Miligramos	2,5 ml(por aplicación) 2 aplic/dia 70 ml	0,04	2,80		2,80
	Mano de obra	hora	5	1,5	7,5		7,5
Subtotal							21,48
Interés de capital		%	5				1,07
Total Tratamiento cinco:							22,55

Los costos de producción se determinaron tomando en cuenta las, herramientas, insumos, mano de obra e interés de capital, que se utilizó en cada fase del cultivo como son la pre germinación, siembra, riego y fertilización (Cuadro 14). Para determinar el costo de las herramientas y equipos se sacó la depreciación según los años de vida útil, dando como resultado final un costo de producción de 24,32 dólares para producir en una superficie de 0,24 m²

Cuadro 14. Costos de producción tratamiento seis para una superficie de 0.24 m²

Costos de producción para el tratamiento 6 (Cebada)							
ACTIVIDAD	Equipo, herramienta, insumo.	Unidad	Cantidad	Costo unitario \$	Costo Variable \$	Costo fijo \$	Sub Total \$
Pregerminación	Recipiente plástico	uno	1	0,38	0,38		0,38
	Semilla cebada	libra	4	0,70	2,80		2,80
	Cloro	mililitro	125	0,0012	0,18		0,18
	Agua	metro cubico	1	0,50		1,00	1,00
	Mano de obra	hora	1	1,5	1,5		1,5
Siembra	Bandeja	Bandeja	4	0,0054	0,87		0,87
	Fundas	Fundas	4	0,10	0,40		0,40
	Mano de obra	hora	0,5	0,75	0,75		0,75
Riego y fertilización	Bomba	bomba	1	0,5	0,5		0,5
	Fertilizante Macronutriente Foltron plus	Miligramos	5 ml(por aplicación) 2 aplic/dia 140 ml	0,02	2,80		2,80
	Fertilizante Micronutriente BioZymetf	Miligramos	4 ml(por aplicación) 2 aplic/dia 112 ml	0,04	4,48		4,48
	Mano de obra	hora	5	1,5	7,5		7,5
Subtotal							23,16
Interés de capital		%	5				1,16
Total Tratamiento seis:							24,32

Los costos de producción se determinaron tomando en cuenta las, herramientas, insumos, mano de obra e interés de capital, que se utilizó en cada fase del cultivo como son la pre germinación, siembra, riego y fertilización (Cuadro 15). Para determinar el costo de las herramientas y equipos se sacó la depreciación según los años de vida útil, dando como resultado final un costo de producción de 23,73 dólares para producir en una superficie de 0,24 m²

Cuadro 15. Costos de producción tratamiento siete para una superficie de 0.24 m²

Costos de producción para el tratamiento 7 Cebada)							
ACTIVIDAD	Equipo, herramienta, insumo.	Unidad	Cantidad	Costo unitario \$	Costo Variable \$	Costo fijo \$	Sub Total \$
Pregerminación	Recipiente plástico	uno	1	0,38	0,38		0,38
	Semilla cebada	libra	4	0,70	2,80		2,80
	Cloro	mililitro	125	0,0012	0,18		0,18
	Agua	metro cubico	1	0,50		1,00	1,00
	Mano de obra	hora	1	1,5	1,5		1,5
Siembra	Bandeja	Bandeja	4	0,0054	0,87		0,87
	Fundas	Fundas	4	0,10	0,40		0,40
	Mano de obra	hora	0,5	0,75	0,75		0,75
Riego y fertilización	Bomba	bomba	1	0,5	0,5		0,5
	Fertilizante Macronutriente Foltron plus	Miligramos	7 ml(por aplicación) 2 aplic/dia 140 ml	0,02	3,92		3,92
	Fertilizante Micronutriente BioZymetf	Miligramos	2,5 ml(por aplicación) 2 aplic/dia 70 ml	0,04	2,80		2,80
	Mano de obra	hora	5	1,5	7,5		7,5
Subtotal							22,60
Interés de capital		%	5				1,13
Total Tratamiento siete:							23,73

Los costos de producción se determinaron tomando en cuenta las, herramientas, insumos, mano de obra e interés de capital, que se utilizó en cada fase del cultivo como son la pre germinación, siembra, riego y fertilización (Cuadro 16). Para determinar el costo de las herramientas y equipos se sacó la depreciación según los años de vida útil, dando como resultado final un costo de producción de 25,49 dólares para producir en una superficie de 0,24 m²

Cuadro 16. Costos de producción tratamiento ocho para una superficie de 0.24 m²

Costos de producción para el tratamiento 8 (cebada)							
ACTIVIDAD	Equipo, herramienta, insumo.	Unidad	Cantidad	Costo unitario \$	Costo Variable \$	Costo fijo \$	Sub Total \$
Pregerminación	Recipiente plástico	uno	1	0,38	0,38		0,38
	Semilla cebada	libra	4	0,70	2,80		2,80
	Cloro	mililitro	125	0,0012	0,18		0,18
	Agua	metro cubico	1	0,50		1,00	1,00
	Mano de obra	hora	1	1,5	1,5		1,5
Siembra	Bandeja	Bandeja	4	0,0054	0,87		0,87
	Fundas	Fundas	4	0,10	0,40		0,40
	Mano de obra	hora	0,5	0,75	0,75		0,75
Riego y fertilización	Bomba	bomba	1	0,5	0,5		0,5
	Fertilizante Macronutriente Foltron plus	Miligramos	7 ml(por aplicación) 2 aplic/dia 140 ml	0,02	3,92		3,92
	Fertilizante Micronutriente BiozYmetf	Miligramos	4 ml(por aplicación) 2 aplic/dia 112 ml	0,04	4,48		4,48
	Mano de obra	hora	5	1,5	7,5		7,5
Subtotal							24,28
Interés de capital		%	5				1,21
Total Tratamiento Uno:							25,49

Los costos de producción total se determinaron mediante la suma de cada uno de costos de producción por tratamiento, lo cual dio una suma total de 190,53 Dólares para la producción de una superficie de 1,92m²

Cuadro 17: Costos de producción total para una superficie de 1.92 m²

Tratamiento	Costo tratamiento
Uno	22,13 Dólares
Dos	23,90 Dólares
Tres	23,33 Dólares
Cuatro	25,08 Dólares
Cinco	22,55 Dólares
Seis	24,32 Dólares
Siete	23,73 Dólares
Ocho	25,49 Dólares
Costo total	190,53 Dólares

El forraje hidropónico envés de balanceado la relación es que el balanceado para vacas tiene una concentración de 22% de proteína con menor porcentaje de digestibilidad que el forraje hidropónico, entonces el forraje tiene 15% de proteína pero en digestibilidad es casi total, se puede comparar que con dos kilos (2000 gramos) de forraje hidropónico o con un kilo (1000 gramos) de balanceado comercial, suponiendo que se le da 2000 gramos al animal se le está dando 300 gramos de proteína con 90% de digestibilidad y en el balanceado comercial en 1000 gramos se le está dando 220 gramos de proteína con un 50% de digestibilidad. Si se va alimentar al animal solo con forraje hidropónico este consumiría del 6 al 7 % de su peso porque es muy rico en nutrientes y muy digestible, una vaca de 500 kilos consumiría 30 kilos al día, en 1.92 m² se produjo 12.38 kilogramos por día con una producción escalonada ósea cada día se cosecha y a la vez se siembra. Necesito sembrar una área de 4.65 m² para obtener los 30 kilos para alimentar a la vaca diariamente, el coso diario para producir este forraje es de 461.43 dólares, sin embargo el costo sale bastante elevado porque se cosecha solo la parte foliar sin la semilla, y haciendo el cálculo con toda la semilla sale que se produce en la misma área de 1.92 m² un total de 108.38 kilogramos por día, con un costo de 190.53 dólares, lo cual significa que para producir 30 kilogramos diarios para la alimentación de una vaca de 500 kilos el valor es de 52.74 dólares.

5. DISCUSION

En la presente investigación sobre la producción de biomasa y calidad nutricional de forraje verde hidropónico de *Avena sativa* L. y *Hordeum vulgare* L., con dos cortes sucesivos se evaluó algunas variables como la producción de forraje verde, valor nutricional y costos de producción por tratamiento.

En el primer corte realizado a los 20 días a partir de la siembra la mejor producción de biomasa se obtuvo en el tratamiento T4= avena+ macronutriente 7,0 ml/l + micronutriente 4,0 ml/l con un rendimiento de 0,387 kg/0,06 m² que es equivalente a 6,45 kg/m² con una altura promedio de las plantas de 17,55 cm y con una coloración verde oscura; y el T8= cebada + macronutriente 7,0 ml/l + micronutriente 4,0 ml/l que alcanzó un rendimiento de 0,388 kg/0,06 m² equivalente a 6,47 kg/m² con una altura promedio de las plantas de 17,25 cm y una coloración verde oscuro según la escala de colorimetría de la FAO (2014). En el segundo corte realizado a los 15 días a partir del primer corte los mejores resultados de producción de forraje se obtuvieron en el tratamiento T4 con 0,088 kg/0,06 m² equivalente a 1,47 kg/m² y T8 con 0,092 kg/0,06 m² equivalente a 1,53 kg/m² resultados que nos muestran una disminución significativa de la producción de forraje al segundo corte ;en cuanto a la altura de la planta al segundo corte el mejor resultado se obtuvo en el T8 y T3 con 12,85 y 13,50 cm respectivamente con una coloración verde oscura, Todos estos resultados se asemejan a los obtenidos por Fuentes *et al* (2011), quienes realizaron ensayos en (*Avena sativa*) como forraje verde hidropónico (FVH) donde se evaluó cuatro tiempos de cosecha 7, 10, 13 y 16 después de la siembra (DDS), midiendo parámetros de altura de planta y producción de biomasa del material cosechado. El día 16 fue el mejor tiempo de cosecha mostrando una mejor altura y por ende una mayor producción de forraje de 13,0 kg/m² respecto de los otros días de cosecha. Estos resultados también coinciden con Cerrillo *et al.* (2012) Quienes investigaron la “Producción de biomasa y valor nutricional del forraje verde hidropónico de trigo y avena” donde evaluando producción del forraje verde hidropónico de trigo y avena en dos fechas de cosecha, llegando a la conclusión que la avena en 12 días llega a producir 8 kg/m² de biomasa, mientras que el trigo en el mismo tiempo produce 7 kg/m² de biomasa, siendo a los doce días la mejor fecha para la cosecha. Resultados que se

corroboran con los alcanzados por Izquierdo (2001) en una investigación llevada a cabo en forrajes de cebada con tres cortes sucesivos, en los cuales se obtuvo una primera cosecha con una producción excelente, para el segundo corte se obtuvo un equivalente al 25% de la primera y tercera cosecha no se llevó a cabo debido a que el cultivo no respondió.

Para el análisis del valor nutricional en el primer corte; los mejores tratamiento para el porcentaje de proteína fue el tratamiento T7= cebada+ macronutriente 7,0 ml/l + micronutriente 2,5 ml/l con 29,51 %; el T6= cebada+ macronutriente 5,0 ml/l + micronutriente 4,0 ml/l con 29,18 % y T3= avena+ macronutriente 7,0 ml/l + micronutriente 2,5 ml/l con 25,84 %. En el segundo corte los mejores tratamientos para el porcentaje de proteína fueron el tratamiento T3= avena+ macronutriente 7,0 ml/l + micronutriente 2,5 ml/l con 29,35 % y T8= cebada+ macronutriente 7,0 ml/l + micronutriente 4,0 ml/l con 23,54 %. Estos resultados se corroboran con los obtenidos por Fuentes *et al* (2011), quienes realizaron ensayos en (*Avena sativa*) como forraje verde hidropónico (FVH) donde se evaluó cuatro tiempos de cosecha (7, 10, 13 y 16 DDS), midiendo los parámetros de altura de planta y análisis químico del material cosechado. El día 16 fue el mejor tiempo de cosecha, caracterizado por presentar 14,79% de proteína y una mejor condición sanitaria de forraje; por otro lado los resultados coinciden con los logrados por Cerrillo *et al.* (2012) en forraje verde hidropónico de trigo y avena quienes cosecharon a los 12 días después de la siembra un porcentaje de proteína del 16.5 %.

En cuanto al contenido de Materia seca los resultados más efectivos en el primer corte fueron el T3= avena+ macronutriente 7,0 ml/l + micronutriente 2,5 ml/l con un porcentaje de 35,61 y el T7= cebada+ macronutriente 7,0 ml/l + micronutriente 2,5 ml/l con un % de MS de 27,35; para el segundo corte los mejores resultados se obtuvieron en el T3= avena+ macronutriente 7,0 ml/l + micronutriente 2,5 ml/l con un porcentaje de 8,91 y el T6= cebada+ macronutriente 5,0 ml/l + micronutriente 4,0 ml/l con un porcentaje de MS de 10,66 resultados se corroboran con los obtenidos por Fuentes *et al* (2011), quienes realizaron ensayos de forraje verde hidropónico en avena (FVH) donde se evaluó cuatro tiempos de cosecha (7, 10, 13 y 16 DDS). El día 16 fue el mejor tiempo

de cosecha que presentó un 36,86% de materia seca. Por otro lado los resultados concuerdan con Cerrillo *et al.* (2012) quien analizando el valor nutricional del forraje verde hidropónico de trigo y avena alcanzó al día 12 después de la siembra un porcentaje de 19 % de materia seca.

En cuanto al contenido de fibra en el primer corte los tratamientos que presentaron un mayor porcentaje fueron el T7= cebada+ macronutriente 7,0 ml/l + micronutriente 2,5 ml/l con un porcentaje de 38,02 y el T3= avena+ macronutriente 7,0 ml/l + micronutriente 2,5 ml/l que alcanzó un porcentaje de 36,08. En el segundo corte los contenidos de fibra más alto se obtuvieron en el T2= avena+ macronutriente 5,0 ml/l + micronutriente 4,0 ml/l con un porcentaje de 38,42 y el T8= cebada+ macronutriente 7,0 ml/l + micronutriente 4,0 ml/l que alcanzó un porcentaje de 37,37. Resultados que se difieren con Fuentes *et al* (2011), quienes realizaron ensayos en (*Avena sativa*) como forraje verde hidropónico (FVH) donde se evaluó cuatro tiempos de cosecha (7, 10, 13 y 16 DDS). El día 16 fue el mejor tiempo de cosecha mismo que presentó un 18,77 % de fibra, lo cual concuerda con lo mencionado por Espejo y Pearson (1979) señalan que la cantidad de fibra en plantas jóvenes es baja si se compara con la planta madura, ya que la estructura de esta fibra cambia también a medida que evoluciona la planta, pues se hace más lignificada y, por lo tanto, menos digestible. Por ende el análisis del contenido nutricional del forraje verde hidropónico con la aplicación de nutrimentos coincide con Miranda (2014), quien mencionó que la aplicación de nutrientes a través de solución nutritiva al forraje hidropónico desde la germinación mejora el valor nutritivo y la producción de forraje verde.

En cuanto a los costos de producción el tratamiento que resultó más rentable de aplicar según el valor nutricional alcanzado en el FVH es el T3 con un costo de 23,33 dólares para producir en una superficie de 0,24 m² y T7 con un costo de 23,73 dólares para producir en una superficie de 0,24 m².

6. CONCLUSIONES

La mejor producción de biomasa en las especies forrajeras avena y cebada se logró en el primer corte realizado a los 20 días a partir de la siembra en las concentraciones de macronutrientes 7ml/l + micronutrientes 4ml/l y 7ml/l + micronutrientes 2,5 ml/l sin embargo para el segundo corte el rendimiento disminuyó en un promedio de 76,97 %.

En cuanto al valor nutricional de proteína, ceniza, grasa, materia seca los mejores resultados se obtuvieron en el primer corte en las concentraciones de macronutrientes 7ml/l + micronutrientes 2,5ml/l para el caso de avena; y en las concentraciones de macronutrientes 5ml/l + micronutrientes 4ml/l y macronutrientes 7ml/l + micronutrientes 2,5ml/l para la cebada, resultados que para el segundo corte disminuyeron, a excepción de la fibra cuyo contenido aumentó para el segundo corte. El forraje verde hidropónico de las especies *Avena sativa* L. y *Hordeum vulgare* L. por su alto contenido de nutrientes para la alimentación de ganado bovino de leche y carne, se puede utilizar como un buen suplemento del 20 % de la dieta.

Los costos de producción por tratamiento que resultó más rentable de aplicar según el valor nutricional alcanzado en el FVH es el T3 y T7, con un costo de 23,33 dólares/0,24 m² y 23,73 dólares/0,24 m² respectivamente. Con base en las condiciones experimentales se puede concluir que la adición combinada de macro y micronutrientes en concentraciones de macronutrientes 7ml/l + micronutrientes 2,5ml/l para el caso de la avena y cebada incrementa la altura, rendimiento en biomasa y el valor nutricional en la planta.

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar el forraje de avena y cebada hidropónica para la alimentación de animales máximo hasta los 20 días a partir de la siembra, ya que conforme avanza la madurez del cultivo, baja su contenido nutricional, por el contrario el contenido de fibra aumenta. Se debe tomar en cuenta que una elevada cantidad de fibra en la ración del animal disminuye el porcentaje de proteína en el alimento y reduce el peso del ganado. Por lo que no es rentable mantener el cultivo por más tiempo.
- En vista de que la calidad nutritiva del FVH en el segundo corte disminuye notablemente, se recomienda utilizarlo sin realizar cortes.

8. BIBLIOGRAFÍA

Alba, F. 2014. Patos y Forrajes, Colegio Técnico Fiscomisional Agronómico Saleciano. Documento. Quito – Ecuador. 105 p.

Arano C. 1998. Forraje verde hidropónico y otras técnicas de cultivos en tierra. 54-56. Editado por el propio autor. Prov. Buenos Aires Argentina. 397 p.

Arellano, H. 2015. Manual de la cebada cervecera. 12p.

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. Revista Salud tecnol, Perú. 8 p.

Carballido, C. 2005. Forraje verde hidropónico. Artículos silvoagropecuarios: Forraje verde hidropónico. 21 p.

Carballo, C. 2000. Manual de procedimientos para germinar granos para la alimentación animal. México. 45 p.

Carretero. 2004. La Avena. Herbario de la Universidad Pública de Navarra. España.

Casa C. 2008. Efecto de la utilización del forraje verde hidropónico de avena, cebada, maíz y trigo en la alimentación de cuyes. Tesis. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 90p.

Cerrillo, M; Juárez, A; Rivera, J; Guerrero, M; Ramírez, R; Bernal, H. (2012) Producción de biomasa y valor nutricional del forraje verde hidropónico de trigo y avena Interciencia, vol. 37. Asociación Interciencia Caracas, Venezuela. pp. 906-913.

Darmanet, R. 2009. Manual de especies forrajeras y manejo de pasturas. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (inifap). Manual. México. 97 p.

Dextre A. 1997. Evaluación del germinado de cebada (*Hordeum vulgare*) suplementado con mezclas balanceadas simples en empadres, gestación y lactancia en cuyes (*Cavia porcellus*). Tesis. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. 103 p.

Dosal J. 1987. Efecto de la Dosis de Siembra, Epoca de Cosecha y Fertilización sobre la Calidad y Cantidad de Forraje de Avena Producido Bajo Condiciones de Hidroponía. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de Concepción, Sede Chillán. Chile.102 p.

Elizondo, J. 2005. Forraje verde hidropónico. Una alternativa para la alimentación animal. Re vista ECAG informa (32): 36-39 p.

Espejo S., J.; Pearson H., G. 1979. Explotación de Pastos. Acribia. Zaragoza, España 155 p.

Fao. 2014. Políticas pecuarias. Ganadería y Deforestación. Subdirección de Información Ganadería y de Análisis y Políticas del Sector Dirección de Producción y Sanidad Animal. 8 p.

FAO. (2014). Carta de colores de las hojas. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/006/y2778s/y2778s05.htm#TopOfPage>. 20 p.

Fumagalli, A; Kunts, C. 2002. Cómo mejorar la oferta forrajera de los sistemas de cría. Cadena de la Carne Vacuna. Tecnologías para nuevos escenarios. Re vista IDIA XXI: N°2 2002. p. 73-78.

Fuentes, F., Poblete, C., & Huerta, M. (2011). Evaluación de la producción y calidad nutritiva de avena como forraje verde hidropónico en condiciones de desierto. Volumen 29. Obtenido de http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292011000300011. 81 p.

Fundación de las Naciones Unidas para el Desarrollo Agropecuario (FAO).2006. Manual técnico forraje verde hidropónico.

Gómez Hidalgo, M. I. (2012). Evaluación del Forraje Verde Hidropónico de Maíz y Cebada, con Diferentes Dosis de Siembra para las Etapas de Crecimiento y Engorde de Cuyes.115 p.

HERRERA-TORRES, E.; CERRILLO-SOTO, M. A.; JUÁREZREYES, A. S.; MURILLO- ORTÍZ, M.; RÍOS-RINCÓN, F. G.; REYES-ESTRADA, O.; BERNAL-BARRAGÁN, H. 2010. Efecto del tiempo de cosecha sobre el valor proteico y

energético del forraje verde hidropónico de trigo. *Interciencia* 35(4): 284-289.
http://www.interciencia.org/v35_04/284.pdf. 35 p.

IGM. (2010). El Medio Ambiente. Obtenido de Instituto Geográfico Militar del Ecuador:
http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/Portal%20SNI%202014/GEOGRAFICA/Atlas%202013/ATLAS_CAP6_El_Medio_Ambiente.pdf. 25 p.

Izquierdo, J 2001. Manual Técnico “Forraje verde hidropónico” de FAO para América Latina y el Caribe. Ediciones FAO. Santiago – Chile. 16-20 p.

Mazuelos V, 1996. Utilización de los germinados de cebada (*Hordeum vulgare*) y de maíz en la alimentación de cuyes hembras de remplazo durante el empadre, gestación y lactación. Tesis. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima- Perú. 99p.

McDONALD, P. R; EDWARDS, A.; GREENHALGH, J. F. D. 1981. *Animal nutrition*. . Third Edition. Longman. London, Great Britain. 479 p.

Miranda (2014) en la tesis de grado “Efecto del Suministro de Nutrientes en la Producción de Forraje Hidropónico de Cebada (*Hordeum vulgare*) y su Utilización en la Alimentación de Cuyes (*Cavia porcellus*) en Crecimiento-Engorde. 102 p.

Mooney, J. 2005. Growing cattle feed hydroponically. 2002 Scholarship Report. Australian Nutffield Farming Scholars Association. Australia. 30 p.

Mora, M. 2004. La fertilización de cebada de riego en el estado de Querétaro. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (inifap). Publicación técnica N°1. Querétaro – México. 33 p.

Müller, L; Manfron, P; Santos, O; Me dei ros, S; Haut, V; Dourado, D; Binotto, E; Bandei ra, A. 2005. Producción y composición bromatológica de forraje hidropónico de maíz (*Zea mays* L.) con diferentes densidades de sie mbra y días de cosecha. Brasil. *Zootecnia Tropi cal* 23(2): 105-119.

Orellana, E. 2015. Evaluación de tres niveles de fertilización en forraje verde hidropónico de Cebada (*Hordeum vulgare*). Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca. Cuenca – Ecuador. 113 p.

- Pezo, D; Holfmann, F; Arze, J. 1996. Evaluación bioeconómica de un sistema de producción de leche basado en el uso intensivo de gramíneas fertilizadas en el trópi co húmedo de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 23 (1): 105-117 p.
- Rimache, M. 2008. Cultivo de avena, trigo y cebada, Primera edición. Macro E.I.R.L. Perú. 70 p.
- Rojas, M. 2009. Evaluación de los parámetros de producción y calidad nutricional de forraje verde hidropónico de avena y trigo producidos de manera artesanal en el zoológico de buin, chile. Universidad de la Salle. Bogotá – Colombia. 66 p.
- Santander, F. 2006. Forraje verde hidropónico. 5 p.
- Sepúlveda, R. 1994. Notas Sobre Producción de Forraje Hidropónico. Chile.21 p.
- Toapanta, M. 2014. Forrajicultura. Universidad Técnica de Ambato. Carrera de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Documento. Ambato. Ecuador.46 p.
- Vargas, C. 2007. Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. *Rev. Agronomía Mesoamericana*. Cartago. Costarrica. 8 p.

9. ANEXOS

Anexo 1. Análisis estadístico para el porcentaje de germinación en el cultivo hidropónico de *Avena sativa* L. y *Hordeum vulgare* L.

ANÁLISIS DE LA VARIANZA					
Variable: % Germinación					
F.V.	SC	gl	CM	FC	P-valor
Modelo	92,88	7	13,27	1,40	0,2498
Especie Forrajera	10,13	1	10,13	1,07	0,3111
Macronutriente	0,13	1	0,13	0,01	0,9094
Micronutriente	12,50	1	12,50	1,32	0,2616
Especie forrajera x macronutriente	1,13	1	1,13	0,12	0,7332
Especie forrajera x micronutriente	0,50	1	0,50	0,05	0,8202
Macronutriente x micronutriente	8,00	1	8,00	0,85	0,3669
Especie forrajera x Macronutriente x micronutriente	60,50	1	60,50	6,40 ns	0,0184
Error	227,00	24	9,46		
Total	319,88	31	CV= 3,46		
TEST: TUKEY ALFA=0,05 DMS=7,20					
Error: 0,0050		gl:12			
Especie forrajera	Macronutriente	Micronutriente	Medias	n	EE
Avena	5,0 ml	2,5 ml	91,25	4	1,54 a
Cebada	7,0 ml	2,5 ml	91,00	4	1,54 a
Cebada	5,0 ml	4,0 ml	89,50	4	1,54 a
Avena	7,0 ml	4,0 ml	89,50	4	1,54 a
Avena	7,0ml	2,5 ml	89,25	4	1,54 a
Avena	5,0 ml	4,0 ml	88,00	4	1,54 a
Cebada	5,0 ml	2,5 ml	86,75	4	1,54 a
Cebada	7,0 ml	4,0 ml	86,25	4	1,54 a
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)					

Anexo 2. Días a la germinación del cultivo hidropónico de *Avena sativa* L. y *Hordeum vulgare* L.

(% de Germinación)							
Tratamiento	Días						
	0	1	2	3	4	5	6
T1= Av+ Macro 5,0 ml + micro 2,5 ml	0	0	9	55	76	91,25	91,25
T2= Av+ Macro 5,0 ml + micro 4,0 ml	0	0	14	50	79	88	88
T3= Av+ Macro 7,0 ml + micro 2,5 ml	0	0	11	54	70	89,25	89,25
T4= Av+ Macro 7,0 ml + micro 4,0 ml	0	0	10	53	78	89,5	89,5
T5= Ce+ Macro 5,0 ml + micro 2,5 ml	0	0	7	49	77	86,75	86,75
T6= Ce+ Macro 5,0 ml + micro 4,0 ml	0	0	15	56	71	80	89,5
T7= Ce+ Macro 7,0 ml + micro 2,5 ml	0	0	12	60	73	91	91
T8= Ce+ Macro 7,0 ml + micro 4,0 ml	0	0	20	65	83	86,25	86,25

Anexo 3. Análisis estadístico para la variable altura de planta de *Avena sativa* L. y *Hordeum vulgare* L. al primer corte.

ANÁLISIS DE LA VARIANZA					
Variable: % Germinación					
F.V.	SC	gl	CM	F	P-valor
Modelo	76,73	7	10,96	23,86	<0,0001
Especie Forrajera	0,14	1	0,14	0,30	0,5890
Macronutriente	55,39	1	55,39	120,54	<0,0001
Micronutriente	20,00	1	20,00	43,53	<0,0001
Especie forrajera x macronutriente	0,07	1	0,07	0,15	0,6991
Especie forrajera x micronutriente	0,53	1	0,53	1,14	0,2956
Macronutriente x micronutriente	0,03	1	0,03	0,06	0,8164
Especie forrajera x Macronutriente x micronutriente	0,58	1	0,58	1,26 *	0,2732
Error	11,03	24	0,46		
Total	87,75	31	CV= 4,42		
TEST: TUKEY ALFA=0,05 DMS=1,58					
Error: 0,4595		gl:24			
Especie forrajera	Macronutriente	Micronutriente	Medias	n	EE
Cebada	7,0 ml	4,0 ml	17,55	4	0,34 a
Avena	7,0 ml	4,0 ml	17,25	4	0,34 a
Avena	7,0 ml	2,5 ml	16,25	4	0,34 a b
Cebada	7,0 ml	2,5 ml	15,50	4	0,34 b
Avena	5,0ml	4,0 ml	14,85	4	0,34 b
Cebada	5,0 ml	4,0 ml	14,80	4	0,34 b
Avena	5,0 ml	2,5 ml	13,20	4	0,34 c
Cebada	5,0 ml	2,5 ml	13,18	4	0,34 c
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)					

Anexo 4. Análisis estadístico para la variable altura de planta de *Avena sativa* L. y *Hordeum vulgare* L. al segundo corte.

ANÁLISIS DE LA VARIANZA					
Variable: altura de planta segundo corte					
F.V.	SC	gl	CM	FC	P-valor
Modelo	41,03	7	5,86	8,73	<0,0001
Especie Forrajera	0,58	1	0,58	0,86	0,3627
Macronutriente	22,28	1	22,28	33,19	<0,0001
Micronutriente	6,75	1	6,75	10,06	0,0041
Especie forrajera x macronutriente	0,81	1	0,81	1,21	0,2820
Especie forrajera x micronutriente	2,8	1	2,8	4,2	0,9489
Macronutriente x micronutriente	0,81	1	0,81	1,21	0,2820
Especie forrajera x Macronutriente x micronutriente	9,79	1	9,79	14,59 *	0,0008
Error	16,11	24	0,67	CV= 6,46	
Total	57,13	31			
TEST: TUKEY ALFA=0,05 DMS=1,91					
Error: 0,6711		gl:24			
Especie forrajera	Macronutriente	Micronutriente	Medias	n	EE
Cebada	7,0 ml	4,0 ml	13,50	4	0,41 a

Avena	7,0 ml	2,5 ml	12,85	4	0,41 a
Avena	5,0 ml	4,0 ml	12,40	4	0,41 a b
Avena	7,0 ml	4,0 ml	12,33	4	0,41 a b
Cebada	7,0ml	2,5 ml	11,78	4	0,41 a b c
Cebada	5,0 ml	4,0 ml	10,73	4	0,41 b c
Cebada	5,0 ml	2,5 ml	10,58	4	0,41 b c
Avena	5,0 ml	2,5 ml	10,08	4	0,41 c
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)					

Anexo 5. Análisis estadístico para la variable rendimiento de planta de *Avena sativa* L. y *Hordeum vulgare* L. al primer corte.

ANÁLISIS DE LA VARIANZA					
Variable: rendimiento de planta primer corte					
F.V.	SC	gl	CM	FC	P-valor
Modelo	170938,78	7	24419,83	8,90	<0,0001
Especie Forrajera	51945,09	1	51945,09	18,93	0,0002
Macronutriente	55621,13	1	55621,13	20,27	0,0001
Micronutriente	25173,19	1	25173,19	9,17	0,0058
Especie forrajera x macronutriente	12971,77	1	12971,77	4,73	0,0398
Especie forrajera x micronutriente	1138,60	1	1138,60	0,41	0,5256
Macronutriente x micronutriente	17311,02	1	17311,02	6,31	0,0192
Especie forrajera x Macronutriente x micronutriente	6777,97	1	6777,97	2,47 *	0,1292
Error	65869,44	24	2744,56	CV= 17,77	
Total	236808,22	31			
TEST: TUKEY ALFA=0,05 DMS=122,68					
Error: 2744,56		gl:24			
Especie forrajera	Macronutriente	Micronutriente	Medias	n	EE
Cebada	7,0 ml	4,0 ml	388,20	4	26,19 a
Avena	7,0 ml	4,0 ml	387,48	4	26,19 a
Avena	5,0 ml	4,0 ml	326,95	4	26,19 a b
Avena	7,0 ml	2,5 ml	325,90	4	26,19 a b
Avena	5,0ml	2,5 ml	300,20	4	26,19 a b c
Cebada	7,0 ml	2,5 ml	244,55	4	26,19 b c
Cebada	5,0 ml	2,5 ml	196,53	4	26,19 c
Cebada	5,0 ml	4,0 ml	188,93	4	26,19 c
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)					

Anexo 6. Análisis estadístico para la variable rendimiento de planta de *Avena sativa* L. y *Hordeum vulgare* L. al segundo corte.

ANÁLISIS DE LA VARIANZA					
Variable: rendimiento de planta 2do corte					
F.V.	SC	gl	CM	FC	P-valor
Modelo	7613,20	7	1087,60	7,22	0,0001
Especie Forrajera	144,63	1	144,63	0,96	0,3370
Macronutriente	42,19	1	42,19	28,00	<0,0001
Micronutriente	2562,03	1	2562,03	17,00	0,0004
Especie forrajera x macronutriente	34,30	1	34,30	0,23	0,6376

Especie forrajera x micronutriente	65,35	1	65,35	0,43	0,5165
Macronutriente x micronutriente	574,86	1	574,86	3,81	0,0626
Especie forrajera x Macronutriente x micronutriente	12,21	1	12,21	0,08 *	0,7783
Error	3616,81	24	150,70	CV= 18,66	
Total	11230,00	31			
TEST: TUKEY ALFA=0,05 DMS=28,74					
Error: 150,7		gl:24			
Especie forrajera	Macronutriente	Micronutriente	Medias	n	EE
Cebada	7,0 ml	4,0 ml	92,83	4	6,14 a
Avena	7,0 ml	4,0 ml	88,13	4	6,14 a b
Cebada	7,0 ml	2,5 ml	68,08	4	6,14 a b c
Avena	7,0 ml	2,5 ml	60,13	4	6,14 b c
Avena	5,0ml	4,0 ml	59,99	4	6,14 b c
Cebada	5,0 ml	4,0 ml	58,08	4	6,14 c
Cebada	5,0 ml	2,5 ml	52,75	4	6,14 c
Avena	5,0 ml	2,5 ml	46,48	4	6,14 c
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)					

Anexo 7. Análisis estadístico para la variable porcentaje de proteína de *Avena sativa* L. y *Hordeum vulgare* L. al primer corte.

ANÁLISIS DE LA VARIANZA					
Variable: porcentaje de proteína primer corte					
F.V.	SC	gl	CM	FC	P-valor
Modelo	230,67	7	32,95	17,53	<0,0001
Especie Forrajera	48,56	1	48,56	25,83	<0,0001
Macronutriente	2,61	1	2,61	1,39	0,2502
Micronutriente	22,95	1	22,95	12,21	0,0019
Especie forrajera x macronutriente	50,75	1	50,75	26,99	<0,0001
Especie forrajera x micronutriente	23,70	1	23,70	12,61	0,0016
Macronutriente x micronutriente	50,05	1	50,05	26,62	<0,0001
Especie forrajera x Macronutriente x micronutriente	32,04	1	32,04	17,04 **	0,0004
Error	45,12	24	1,88		
Total	275,79	31	CV= 5,30		
TEST: TUKEY ALFA=0,05 DMS=3,21					
Error: 1,88		gl:24			
Especie forrajera	Macronutriente	Micronutriente	Medias	n	EE
Cebada	7,0 ml	2,5 ml	29,51	4	0,69 a
Cebada	5,0 ml	4,0 ml	29,18	4	0,69 a
Cebada	5,0 ml	2,5 ml	28,10	4	0,69 a b
Avena	7,0 ml	2,5 ml	25,84	4	0,69 b c
Avena	7,0ml	4,0 ml	25,37	4	0,69 b c
Avena	5,0 ml	4,0 ml	23,92	4	0,69 c d
Avena	5,0 ml	2,5 ml	23,39	4	0,69 c d
Cebada	7,0 ml	4,0 ml	21,59	4	0,69 d
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)					

Anexo 8. Análisis estadístico para la variable porcentaje de proteína de *Avena sativa* L. y *Hordeum vulgare* L. al segundo corte.

ANÁLISIS DE LA VARIANZA					
Variable: porcentaje proteína segundo corte					
F.V.	SC	gl	CM	FC	P-valor
Modelo	477,19	7	68,17	21,26	<0,000 1
Especie Forrajera	437,12	1	437,12	136,33	<0,000 1
Macronutriente	4,33	1	4,33	1,35	0,2567
Micronutriente	0,24	1	0,24	0,07	0,7883
Especie forrajera x macronutriente	5,37	1	5,37	1,68	0,2079
Especie forrajera x micronutriente	14,32	1	14,32	4,47	0,0451
Macronutriente x micronutriente	2,77	1	2,77	0,86	0,3621
Especie forrajera x Macronutriente x micronutriente	13,04	1	13,04	4,07 *	0,0550
Error	76,95	24	3,21	CV= 5,30	
Total	554,14	31			
TEST: TUKEY ALFA=0,05 DMS=4,19					
Error: 3,20		gl:24			
Especie forrajera	Macronutriente	Micronutriente	Medias	n	EE
Avena	7,0 ml	2,5 ml	29,35	4	0,90 a
Avena	5,0 ml	2,5 ml	28,75	4	0,90 a
Avena	5,0 ml	4,0 ml	28,27	4	0,90 a
Avena	7,0ml	4,0 ml	27,50	4	0,90 a b
Cebada	7,0 ml	4,0 ml	23,54	4	0,90 b c
Cebada	5,0 ml	2,5 ml	20,47	4	0,90 c
Cebada	7,0 ml	2,5 ml	20,16	4	0,90 c
Cebada	5,0 ml	4,0 ml	20,12	4	0,90 c
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)					

Anexo 9. Análisis estadístico para la variable porcentaje Materia seca de *Avena sativa* L. y *Hordeum vulgare* L. al primer corte.

ANÁLISIS DE LA VARIANZA					
Variable: %materia seca primer corte					
F.V.	SC	gl	CM	FC	P-valor
Modelo	419,44	7	59,92	0,99	0,4647
Especie Forrajera	340,08	1	340,08	5,59	0,0265
Macronutriente	2,52	1	2,52	0,04	0,8404
Micronutriente	5,36	1	5,36	0,09	0,7690
Especie forrajera x macronutriente	20,83	1	20,83	0,34	0,5638
Especie forrajera x micronutriente	30,46	1	30,46	0,50	0,4859
Macronutriente x micronutriente	2,60	1	2,60	0,04	0,8379
Especie forrajera x Macronutriente x micronutriente	17,58	1	17,58	0,29 ns	0,5957
Error	1459,21	24	60,80	CV= 26,51	
Total	1878,65	31			
TEST: TUKEY ALFA=0,05 DMS=18,26					
Error: 60,80		gl:24			

Especie forrajera	Macronutriente	Micronutriente	Medias	n	EE
Avena	7,0 ml	2,5 ml	35,61	4	3,90 a
Avena	5,0 ml	2,5 ml	32,51	4	3,90 a
Avena	5,0 ml	4,0 ml	31,79	4	3,90 a
Avena	7,0ml	4,0 ml	30,79	4	3,90 a
Cebada	5,0 ml	4,0 ml	27,35	4	3,90 a
Cebada	5,0 ml	2,5 ml	27,13	4	3,90 a
Cebada	7,0 ml	4,0 ml	26,09	4	3,90 a
Cebada	7,0 ml	2,5 ml	24,05	4	3,90 a

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

Anexo 10. Análisis estadístico para la variable porcentaje Materia seca de *Avena sativa* L. y *Hordeum vulgare* L. al segundo corte.

ANÁLISIS DE LA VARIANZA					
Variable: %materia seca segundo corte					
F.V.	SC	gl	CM	FC	P-valor
Modelo	18,60	7	2,66	3,33	0,0127
Especie Forrajera	7,82	1	7,82	9,80	0,0045
Macronutriente	3,42	1	3,42	4,28	0,0494
Micronutriente	0,20	1	0,20	0,24	0,6253
Especie forrajera x macronutriente	0,06	1	0,06	0,07	0,7902
Especie forrajera x micronutriente	4,71	1	4,71	5,90	0,0230
Macronutriente x micronutriente	2,38	1	2,38	2,98	0,0973
Especie forrajera x Macronutriente x micronutriente	0,02	1	0,02	0,02 *	0,8786
Error	19,16	24	0,80	CV=9,83	
Total	37,76	31			
TEST: TUKEY ALFA=0,05 DMS=2,09					
Error: 0,79		gl:24			
Especie forrajera	Macronutriente	Micronutriente	Medias	n	EE
Cebada	5,0 ml	4,0 ml	10,66	4	0,45 a
Cebada	7,0 ml	4,0 ml	9,43	4	0,45 a b
Cebada	5,0 ml	2,5 ml	9,24	4	0,45 a b
Cebada	7,0ml	2,5 ml	9,00	4	0,45 a b
Avena	7,0 ml	2,5 ml	8,91	4	0,45 a b
Avena	5,0 ml	2,5 ml	8,89	4	0,45 a b
Avena	5,0 ml	4,0 ml	8,87	4	0,45 a b
Avena	7,0 ml	4,0 ml	7,71	4	0,45 b

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

Anexo 11. Análisis estadístico para la variable porcentaje de fibra de *Avena sativa* L. y *Hordeum vulgare* L. al primer corte.

ANÁLISIS DE LA VARIANZA					
Variable: % fibra primer corte					
F.V.	SC	gl	CM	FC	P-valor
Modelo	57,23	7	8,18	2,78	0,0287
Especie Forrajera	6,26	1	6,26	2,13	0,1575
Macronutriente	2,48	1	2,48	0,84	0,3673
Micronutriente	33,27	1	33,27	11,32	0,0026
Especie forrajera x macronutriente	12,41	1	12,41	4,22	0,70509
Especie forrajera x micronutriente	0,62	1	0,62	0,21	0,6504
Macronutriente x micronutriente	0,47	1	0,47	0,16	0,6918
Especie forrajera x Macronutriente x micronutriente	1,72	1	1,72	0,58 *	0,4522
Error	70,52	24	2,94	C= 4,81	
Total	127,75	31			
TEST: TUKEY ALFA=0,05 DMS=4,01					
Error: 2,93		gl:24			
Especie forrajera	Macronutriente	Micronutriente	Medias	n	EE
Cebada	7,0 ml	2,5 ml	38,02	4	0,86 a
Cebada	5,0 ml	2,5 ml	36,44	4	0,86 a b
Avena	7,0 ml	2,5 ml	36,08	4	0,86 a b
Avena	5,0ml	2,5 ml	36,06	4	0,86 a b
Cebada	7,0 ml	4,0 ml	35,92	4	0,86 a b
Avena	5,0 ml	4,0 ml	35,00	4	0,86 a b
Cebada	5,0 ml	4,0 ml	33,90	4	0,86 b
Avena	7,0 ml	4,0 ml	33,61	4	0,86 b
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)					

Anexo 12. Análisis estadístico para la variable porcentaje de fibra de *Avena sativa* L. y *Hordeum vulgare* L. al segundo corte.

ANÁLISIS DE LA VARIANZA					
Variable: % fibra segundo corte					
F.V.	SC	gl	CM	FC	P-valor
Modelo	11,60	7	8,18	1,04	0,4282
Especie Forrajera	4,03	1	4,03	2,53	0,1245
Macronutriente	0,40	1	0,40	0,25	0,6192
Micronutriente	3,84	1	3,84	2,42	0,1330
Especie forrajera x macronutriente	1,59	1	1,59	1,0	0,3273
Especie forrajera x micronutriente	1,18	1	1,18	0,74	0,3969
Macronutriente x micronutriente	0,55	1	0,55	0,35	0,5604
Especie forrajera x Macronutriente x micronutriente	1,01	1	1,01	4,0 ns	0,9502
Error	38,13	24	1,59	C= 3,38	
Total	49,73	31			
TEST: TUKEY ALFA=0,05 DMS=2,95					
Error: 1,58		gl:24			
Especie forrajera	Macronutriente	Micronutriente	Medias	n	EE
Avena	5,0 ml	4,0 ml	38,42	4	0,63 a

Avena	7,0 ml	4,0 ml	37,99	4	0,63 a
Avena	5,0 ml	2,5 ml	37,58	4	0,63 a
Cebada	7,0ml	4,0 ml	37,37	4	0,63 a
Cebada	5,0 ml	4,0 ml	36,86	4	0,63 a
Cebada	5,0 ml	2,5 ml	36,84	4	0,63 a
Cebada	7,0 ml	2,5 ml	36,77	4	0,63 a
Avena	7,0 ml	2,5 ml	33,68	4	0,63 a
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)					

Anexo 13. Análisis estadístico para la variable porcentaje de Cenizas de *Avena sativa* L. y *Hordeum vulgare* L. al primer corte.

ANÁLISIS DE LA VARIANZA					
Variable: % ceniza primer corte					
F.V.	SC	gl	CM	FC	P-valor
Modelo	6,91	7	8,18	5,50	0,0007
Especie Forrajera	3,62	1	3,62	20,15	0,0002
Macronutriente	1,61	1	1,61	8,97	0,0063
Micronutriente	0,52	1	0,52	2,90	0,1017
Especie forrajera x macronutriente	0,73	1	0,73	4,08	0,0548
Especie forrajera x micronutriente	0,17	1	0,17	0,92	0,3469
Macronutriente x micronutriente	0,27	1	0,27	1,48	0,2350
Especie forrajera x Macronutriente x micronutriente	1,5	1	1,5	0,01 *	0,9276
Error	4,31	24	0,18	C= 8,46	
Total	11,22	31			
TEST: TUKEY ALFA=0,05 DMS=0,99					
Error: 0,17		gl:24			
Especie forrajera	Macronutriente	Micronutriente	Medias	n	EE
Cebada	7,0 ml	2,5 ml	5,75	4	0,21 a
Cebada	7,0 ml	4,0 ml	5,69	4	0,21 a
Cebada	5,0 ml	4,0 ml	5,11	4	0,21 a b
Avena	5,0ml	4,0 ml	4,90	4	0,21 a b
Avena	7,0 ml	4,0 ml	4,85	4	0,21 a b
Cebada	5,0 ml	2,5 ml	4,83	4	0,21 a b
Avena	7,0 ml	2,5 ml	4,65	4	0,21 b
Avena	5,0 ml	2,5 ml	4,30	4	0,21 b
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)					

Anexo 14. Análisis estadístico para la variable porcentaje de Cenizas de *Avena sativa* L. y *Hordeum vulgare* L. al segundo corte.

ANÁLISIS DE LA VARIANZA					
Variable: % ceniza segundo corte					
F.V.	SC	gl	CM	FC	P-valor
Modelo	10,75	7	1,54	8,93	<0,0001
Especie Forrajera	10,10	1	10,10	58,79	<0,0001
Macronutriente	0,13	1	0,13	0,76	0,3930
Micronutriente	0,30	1	0,30	1,75	0,1987
Especie forrajera x macronutriente	0,11	1	0,11	0,62	0,4403
Especie forrajera x micronutriente	0,06	1	0,06	0,33	0,5730
Macronutriente x micronutriente	0,05	1	0,05	0,30	0,5902
Especie forrajera x Macronutriente x micronutriente	2,4	1	2,4	0,01 *	0,9060
Error	4,12	24	0,17	C= 9,25	
Total	14,87	31			
TEST: TUKEY ALFA=0,05 DMS=0,97					
Error: 0,17		gl:24			
Especie forrajera	Macronutriente	Micronutriente	Medias	n	EE
Cebada	5,0 ml	2,5 ml	5,14	4	0,21 a
Cebada	7,0 ml	2,5 ml	5,06	4	0,21 a
Cebada	7,0 ml	4,0 ml	5,02	4	0,21 a
Cebada	5,0ml	4,0 ml	4,97	4	0,21 a
Avena	5,0 ml	2,5 ml	4,23	4	0,21 a b
Avena	7,0 ml	2,5 ml	3,89	4	0,21 b
Avena	5,0 ml	4,0 ml	3,86	4	0,21 b
Avena	7,0 ml	4,0 ml	3,71	4	0,21 b
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)					

Anexo 15. Análisis estadístico para la variable porcentaje de grasa de *Avena sativa* L. y *Hordeum vulgare* L. al primer corte.

ANÁLISIS DE LA VARIANZA					
Variable: % grasa primer corte					
F.V.	SC	gl	CM	FC	P-valor
Modelo	104,63	7	14,95	48,25	<0,0001
Especie Forrajera	39,85	1	39,85	128,63	<0,0001
Macronutriente	28,33	1	28,33	91,45	<0,0001
Micronutriente	8,85	1	8,85	28,57	<0,0001
Especie forrajera x macronutriente	8,89	1	8,89	28,71	<0,0001
Especie forrajera x micronutriente	5,87	1	5,87	18,96	0,0002
Macronutriente x micronutriente	3,87	1	3,87	12,50	0,0017
Especie forrajera x Macronutriente x micronutriente	8,96	1	8,96	28,91 *	<0,0001
Error	7,44	24	0,31	C= 9,08	
Total	112,06	31			
TEST: TUKEY ALFA=0,05 DMS=1,30					
Error: 0,30		gl:24			
Especie forrajera	Macronutriente	Micronutriente	Medias	n	EE
Cebada	5,0 ml	2,5 ml	8,31	4	0,28 a

Avena	5,0 ml	4,0 ml	7,74	4	0,28 a b
Avena	5,0 ml	2,5 ml	7,57	4	0,28 a b
Avena	7,0ml	2,5 ml	7,11	4	0,28 a b
Avena	7,0 ml	4,0 ml	6,55	4	0,28 a b
Cebada	5,0 ml	4,0 ml	4,65	4	0,28 c
Cebada	7,0 ml	2,5 ml	3,62	4	0,28 c
Cebada	7,0 ml	4,0 ml	3,47	4	0,28 c
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)					

Anexo 16. Análisis estadístico para la variable porcentaje de grasa de *Avena sativa* L. y *Hordeum vulgare* L. al segundo corte.

ANÁLISIS DE LA VARIANZA					
Variable: % grasa segundo corte					
F.V.	SC	gl	CM	FC	P-valor
Modelo	48,77	7	6,97	98,56	<0,0001
Especie Forrajera	28,79	1	28,79	407,22	<0,0001
Macronutriente	15,06	1	15,06	213,00	<0,0001
Micronutriente	1,62	1	1,62	22,98	0,0001
Especie forrajera x macronutriente	1,30	1	1,30	18,39	0,0003
Especie forrajera x micronutriente	1,60	1	1,60	22,60	0,0001
Macronutriente x micronutriente	0,01	1	0,01	0,09	0,7674
Especie forrajera x Macronutriente x micronutriente	0,40	1	0,40	5,63 **	0,0260
Error	1,70	24	0,70	C= 5,90	
Total	50,46	31			
TEST: TUKEY ALFA=0,05 DMS=1,30					
Error: 0,30		gl:24			
Especie forrajera	Macronutriente	Micronutriente	Medias	n	EE
Avena	7,0 ml	4,0 ml	6,89	4	0,13 a
Avena	7,0 ml	2,5 ml	5,79	4	0,13 b
Avena	5,0 ml	4,0 ml	4,92	4	0,13 c
Avena	5,0ml	2,5 ml	4,21	4	0,13 d
Cebada	7,0 ml	2,5 ml	4,16	4	0,13 d
Cebada	7,0 ml	4,0 ml	3,92	4	0,13 d
Cebada	5,0 ml	4,0 ml	3,20	4	0,13 e
Cebada	5,0 ml	2,5 ml	2,94	4	0,13 e
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)					

Anexo 17. Socialización de resultados de tesis.



Figura 43. Socialización de resultados de tesis con los estudiantes del quinto ciclo de la Carrera de Ingeniería Agronómica