

EVALUACIÓN DE LOS FORRAJES HIDROPÓNICOS DE CEBADA (*Hordeum vulgare*) Y TRIGO (*Triticum vulgare* L) EN CONDICIONES DE FERTILIZACIÓN ORGÁNICA Y MINERAL EN LA ALIMENTACIÓN DE CUYES (*Cavia porcellus*)

FRANCO MAURICIO AMAGUAÑA BURBANO

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS
PROGRAMA DE ZOOTECNIA
SAN JUAN DE PASTO
2012**

EVALUACIÓN DE LOS FORRAJES HIDROPÓNICOS DE CEBADA (*Hordeum vulgare*) Y TRIGO (*Triticum vulgare* L) EN CONDICIONES DE FERTILIZACIÓN ORGÁNICA Y MINERAL EN LA ALIMENTACIÓN DE CUYES (*Cavia porcellus*)

FRANCO MAURICIO AMAGUAÑA BURBANO

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Zootecnista.

**Presidente:
EFRÉN INSUASTY SANTACRUZ
Zoot. Esp. MSc.**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS
PROGRAMA DE ZOOTECNIA
SAN JUAN DE PASTO
2012**

“Las ideas y conclusiones aportadas en la tesis de grado, son de responsabilidad exclusiva de su autor”

Artículo 1ro del acuerdo No 324 de Octubre 11 de 1966, emanado del honorable consejo directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación:

EFRÉN INSUASTY
Zoot . M. Sc (Presidente)

EDMUNDO APRÁEZ GUERRERO
Zoot. Ph.D.(Jurado)

HERNÁN OJEDA
Zoot. Jurado (Delegado)

San Juan de Pasto, mayo de 2012

DEDICATORIA

Todo el fruto de este esfuerzo lo dedico a:

A *Dios* por la oportunidad de estar aquí, y rodearme de las cosas maravillosas que nos da la vida.

A mi madre, *Esperanza Lucrecia de Amaguaña (Q.E.P.D.)*. Quien es la esencia de mi vida, a quien le debo todo, lo que soy y lo que seré, gracias por haber sido una mujer tan maravillosa.

A mi padre, *Franco Ramiro Amaguaña Ordoñez*, que siempre quiso ver este sueño hecho realidad y siempre ha estado conmigo de forma incondicional.

A *mis hermanas*, en las que siempre encuentro un apoyo incondicional que me da la fuerza para continuar.

A mi novia *Ana Cristina Burbano* y a mi hija *Zarita Valentina Amaguaña Burbano*, ya que a pesar de las dificultades hemos salido adelante.

A la Facultad de Ciencias Pecuarias y al Programa de Zootecnia y así mismo a mis profesores, compañeros, amigos y a todos quienes me brindaron su mano amiga en el transcurso de mi carrera.

Gracias

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'Franco', with a large, sweeping flourish extending upwards and to the right.

FRANCO MAURICIO AMAGUAÑA BURBANO

AGRADECIMIENTOS

ALBERTO CAYCEDO VALLEJO (QEPD)	Ingeniero Agrónomo M. Sc.
EFRÉN INSUASTY SANTACRUZ Sc	Zootecnista M.
EDMUNDO APRAEZ GUERRERO	Zootecnista Ph`D
HERNAN OJEDA JURADO Esp.	Zootecnista
LUIS ALFONSO SOLARTE Esp.	Zootecnista
JAVIER ANDRÉS MARTÍNEZ B. Esp.	Zootecnista

Al personal que labora en la Facultad de Ciencias Pecuarias y Programa de Zootecnia de la Universidad de Nariño.

A todas aquellas personas que de una u otra forma contribuyeron a la culminación de este trabajo. Mil gracias

GLOSARIO

ANÁLISIS BROMATOLÓGICO: Procedimiento en laboratorio que determina la composición de un forraje o cualquier tipo de material orgánico. Se realiza generalmente para determinar su valor nutritivo o sus necesidades nutritivas.

BIOMASA: masa total de los componentes biológicos de un ecosistema.

CELULOSA: polímero de glucosa que se encuentra en un enlace resistente a la hidrólisis producida por las enzimas digestivas.

DENSIDAD: se refiere al peso por volumen del suelo, y está en relación a la porosidad. Un suelo muy poroso será menos denso; un suelo poco poroso será más denso. A mayor contenido de materia orgánica, más poroso y menos denso será el suelo.

ÍNDICE DE PRODUCTIVIDAD: indicador que combina los factores agronómicos y bromatológicos de un forraje.

MATERIA SECA: resultado de restar la humedad del material analizado (alimento) y que generalmente se da en términos de porcentaje.

VALOR NUTRITIVO: balance de nutrientes de un forraje o alimento para garantizar a los animales la asimilación y el aprovechamiento para el crecimiento y producción.

RESUMEN

El presente trabajo se llevó a cabo en el municipio de Yacuanquer (Nariño), situado a 24 Km de San Juan de Pasto, a una altura de 2687 msnm, temperatura promedio de 12°C, y humedad relativa de 82%.

El experimento se contó con dos etapas experimentales: la primera relacionada con la producción de forraje hidropónico de trigo y cebada bajo condiciones de fertilización orgánica y mineral. En la segunda etapa, se evaluó la digestibilidad aparente de los forrajes hidropónicos de trigo y cebada bajo condiciones de fertilización orgánica y mineral para la alimentación de cuyes.

Para la etapa de producción de forraje hidropónico se evaluó variables como producción de biomasa, índice de área foliar (IAF), altura de plantas y porcentaje de cobertura utilizando un diseño completamente al azar (DCA), con 4 tratamientos y 3 réplicas por tratamiento. Se realizó un análisis de varianza y la prueba de Tukey para cada una de las variables del estudio.

En la prueba de digestibilidad aparente, se emplearon 16 cuyes machos con un peso promedio de 800 g, utilizando un diseño completamente al azar (DCA), con 4 tratamientos y 4 réplicas por tratamiento. El periodo de acostumbramiento de los animales fue de 7 días y la etapa experimental de 10 días, durante los cuales se pesó el alimento suministrado y rechazado con el fin de determinar el consumo real. Las variables evaluadas fueron: consumo de alimento, digestibilidad aparente de materia seca, proteína, fibra cruda, extracto etéreo, ELN (Extracto Libre de Nitrógeno) y NDT (Nutrientes Digestibles Totales).

Los tratamientos evaluados fueron: T1 (forraje hidropónico de trigo con fertilización mineral), T2 (forraje hidropónico de cebada con fertilización orgánica), T3 (forraje hidropónico de trigo con fertilización orgánica) y T4 (forraje hidropónico de cebada con fertilización mineral).

En la prueba agronómica, se observó un mejor resultado en el tratamiento T1 (forraje hidropónico de trigo con fertilización mineral) con un rendimiento de 1,35 kg/materia seca, una altura de 24,04 cm, un porcentaje de cobertura de 96,18% y un índice de área foliar de 11,25. También obtuvieron resultados de importancia los demás tratamientos, así: el tratamiento T2 (forraje hidropónico de cebada con fertilización orgánica) con un rendimiento de materia seca de 1,30 kg; el T1 (forraje hidropónico de trigo con fertilización mineral) con un índice de área foliar de 10,59 y el T3 con una altura de 25,07 cm.

Para las variables de digestibilidad, los tratamientos T2 y T1 presentaron diferencias estadísticas significativas en las variables consumo de materia seca (T2: 51,64 g/día y T1: 51,82 g/día), materia seca (T2: 81,41% y T1: 80,01%), fracción de proteína (T2: 81,45% y T1: 83,15%), extracto etéreo (T2: 86,6% y T1: 84,18%), ELN (T2: 85,66% y T1: 92,43%), y NDT (T2: 85,65% y T1: 86,26%).

Así mismo las variables para la producción de forrajes hidropónicos presentaron diferencias estadísticas significativas, obteniendo una producción de materia seca de 1,35 kg para trigo con fertilización mineral, 1,30 kg de cebada con fertilización orgánica, con respecto a los tratamientos de trigo y cebada con fertilización orgánica (1,12 kg) y mineral (1,082 kg).

ABSTRACT

This work was carried out in the municipality of Yacuanquer(Nariño), located 24 km from San Juan de Pasto, at an altitude of 2687 meters, average temperature of 12 °C and relative humidity of 82%.

The experiment included two experimental stages: the first related to the production of hydroponic wheat and barley under conditions of organic and mineral fertilization. In the second stage, we evaluated the apparent digestibility of hydroponic fodder wheat and barley under organic and mineral fertilizer to feed guinea pigs.

For the stage production of hydroponic forage production evaluated variables such as biomass, leaf area index (LAI), plant height and percent cover using a completely randomized design (CRD) with 4 treatments and 3 replicates per treatment. An analysis of variance and Tukey test for each of the variables of the study.

The apparent digestibility test, we used 16 male guinea pigs with an average weight of 800 g, using a completely randomized design (CRD) with 4 treatments and 4 replicates per treatment. The period of acclimatization the animals were 7 days and 10 days experimental period, during which the food was weighed and rejected supplied in order to determine the actual consumption. The evaluated variables were: feed intake, apparent digestibility of dry matter, protein, crude fiber, ether extract, NFE (Nitrogen Free Extract) and TDN (Total Digestible Nutrients).

The treatments were: T1 (hydroponic wheat with mineral fertilizer), T2 (barley hydroponic organic fertilization), T3 (hydroponic forage wheat with fertilization) and T4 (hydroponic barley with mineral fertilization).

The agronomic test, we observed a better outcome in treatment T1 (wheat hydroponic mineral fertilization) with a yield of 1.35 kg / dry matter and height of 24.04 cm, a percentage of 96.18% coverage and leaf area index of 11.25. They also obtained significant results other treatments, as follows: T2 treatment (barley hydroponic organic fertilization) with a dry matter yield of 1.30 kg, the T1 (hydroponic wheat with mineral fertilization) with an index of area leaf of 10.59 and T3 with a height of 25.07 cm.

For variables of digestibility, T2 and T1 show statistically significant differences in dry matter intake variables (T2: 51.64 g / day and T1: 51.82 g / day), dry matter (T2: 81.41 % and T1: 80.01%), protein fraction (T2: 81.45% and T1: 83.15%),

ether extract (T2: 86.6% and T1: 84.18%), ELN (T2 : 85.66% and T1: 92.43%) and NDT (T2: 85.65% and T1: 86.26%).

Likewise variables for hydroponic fodder production show statistically significant differences, resulting in a production of 1.35 kg dry matter for wheat fertilization mineral, 1.30 kg of barley with organic fertilization treatments with respect to wheat and organic fertilization barley (1.12 kg) and mineral (1.082 kg).

CONTENIDO

Pág

INTRODUCCIÓN	21
1. DEFINICIÓN Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	22
2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	23
3. OBJETIVOS.....	24
3.1 OBJETIVO GENERAL	24
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	24
4. MARCO TEÓRICO	25
4.1. GENERALIDADES DE TRIGO Y CEBADA	25
4.2 PRODUCCIÓN DE FORRAJES HIDROPÓNICOS	26
4.3 PROCESOS EN LA ELABORACIÓN DE FORRAJE HIDROPÓNICO	28
4.3.1 Elección de las especies de granos.....	28
4.3.2 Selección de la semilla.....	28
4.3.3 Lavado de la semilla	28
4.3.4 Remojo y germinación de las semillas.....	28
4.3.5 Siembra en las bandejas.....	28
4.3.6 Riego. De acuerdo con Carballido	29
4.4 GENERALIDADES DE FERTILIZACIÓN.....	29
4.4.1 Fertilización orgánica. Bonghkam establece que:.....	30
4.4.2 Fertilización mineral. Llanos, citado por Cabrera indica:.....	31
4.5 NUTRICIÓN Y ALIMENTACIÓN.....	32
4.5.1 Generalidades del cuy(Cavia porcellus).	32
4.5.2 Requerimientos nutricionales del cuy	34
4.5.3 Experiencia en alimentación animal con forraje hidropónico	35
4.5.4 Generalidades de la digestibilidad. Polo, menciona que:.....	36
5. METODOLOGÍA	38

5.1. LOCALIZACIÓN.....	38
5.2. MATERIALES Y EQUIPOS.....	38
5.2.1 Invernadero.....	38
5.2.2 Andamios.....	38
5.2.3 Bandejas.....	38
5.3 PRODUCCIÓN DE HIDROPÓNICOS DE TRIGO Y CEBADA	39
5.3.1 Siembra.....	39
5.3.2 Germinación.....	39
5.3.3 Fertilización.....	39
5.3.3.1 Fertilización orgánica	39
5.3.3.2 Fertilización mineral	39
5.3.4 Riego.....	39
5.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	40
5.4.1 Diseño experimental	40
5.4.2 Modelo matemático.....	40
5.4.3 Tratamientos.....	41
5.4.4 Formulación de hipótesis	41
5.5 PRUEBA AGRONÓMICA	41
5.5.1 Producción de materia seca.....	41
5.5.2 Índice de área foliar (IAF).....	42
5.5.3 Altura de plantas	42
5.5.4 Porcentaje de cobertura.....	42
5.6 prueba bromatológica	43
5.6.1 Materia seca	43
5.6.2 Proteína	43
5.6.3 Fibra cruda.....	43
5.6.4 Extracto etéreo.....	43
5.6.5 FDN y FDA.....	43
5.7 PRUEBA DE DIGESTIBILIDAD	43

5.7.1 Animales	43
5.7.2 Instalaciones	43
5.7.3 Alimentación	44
5.7.4 Etapa pre-experimental.....	44
5.7.5 Etapa experimental	44
5.7.6 Análisis químico	44
5.7.7 Coeficiente de digestibilidad (C.D).....	44
5.7.8 Nutrientes digestibles totales (NDT.....	44
5.8 ASPECTOS SANITARIOS.....	45
5.9 ANÁLISIS ECONÓMICO	45
5.9.1 Análisis parcial de costos.....	45
6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	46
6.1. PRUEBA AGRONÓMICA	46
6.1.1 Producción de materia seca.....	46
6.1.2 Índice área foliar	49
6.1.3 Altura.....	50
6.1.4 Porcentaje de cobertura.....	52
6.2 PRUEBA BROMATOLÓGICA.....	53
6.3 PRUEBA DE DIGESTIBILIDAD	56
6.3.1 Consumo de materia seca	57
6.3.2 Digestibilidad de la materia seca	58
6.3.3 Digestibilidad de proteína.....	59
6.3.4 Digestibilidad de fibra cruda.....	61
6.3.5 Digestibilidad extracto etéreo.....	62
6.3.6 Digestibilidad del extracto libre de nitrógeno (ELN).	63
6.3.7 Nutrientes digestibles totales (NDT)	64

6.4 ANALISIS ECONÓMICO	65
BIBLIOGRAFÍA.....	69
ANEXOS.....	77

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Producción de forraje hidropónico	42

LISTAS DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Composición química de los granos de cebada y trigo	25
Tabla 2. Composición química de forraje hidropónico de trigo y cebada.....	27
Tabla 3. Requerimientos nutricionales del cuy	34
Fuente: Caicedo (1993)	34
Tabla 4. Procesos para la producción de forraje hidropónico	40
Tabla 5. Prueba agronómica para forraje hidropónico	46
Tabla 6. Análisis bromatológico de forrajes hidropónicos	53
Tabla 7. Producción de biomasa en gramos.....	57
Tabla 8. Costos de producción	65

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Consumo de materia seca en la prueba de digestibilidad.....	78
Anexo 2. Coeficiente de digestibilidad	79
Anexo 3. Análisis de varianza para producción de forraje hidropónico.....	80
Anexo 4. Prueba de Tukey para producción de forraje hidropónico	80
Anexo 5. Análisis de varianza para altura de planta	80
Anexo 6. Prueba de Tukey para altura de planta.....	81
Anexo 7. Análisis de varianza para porcentaje de cobertura de planta	81
Anexo 8. Prueba de Tukey para porcentaje de cobertura de planta.....	81
Anexo 9. Análisis de varianza para índice de área foliar	82
Anexo 10. Prueba de Tukey para índice de área foliar	82
Anexo 11. Análisis de varianza para consumo de materia seca.....	83
Anexo 12. Prueba de Tukey para consumo de materia seca	83
Anexo 13. Análisis de varianza para digestibilidad de materia seca.....	83
Anexo 14. Prueba de Tukey para digestibilidad de materia seca	84
Anexo 15. Análisis de varianza para digestibilidad de proteína.....	84
Anexo 16. Prueba de Tukey para digestibilidad de proteína.....	84
Anexo 17. Análisis de varianza para digestibilidad de fibra cruda	85
Anexo 18. Prueba de Tukey para digestibilidad de fibra cruda.....	85
Anexo 19. . Análisis de varianza para digestibilidad de extracto etéreo	85
Anexo 20. Prueba de Tukey para digestibilidad de extracto etéreo.....	86
Anexo 21. Análisis de varianza para digestibilidad de ELN	86
Anexo 22. Prueba de Tukey para digestibilidad de ELN.....	86
Anexo 23. Análisis de varianza para NDT	87
Anexo 24. Prueba de Tukey para NDT	87
Anexo 25. Datos de fertilización de forraje hidropónico de trigo y cebada.....	87

Anexo 26. Costos de producción de forraje hidropónico de trigo y cebada	88
Anexo 27. Costos de adecuación de invernaderos.....	88
Anexo 28. Costos de la estructura de estantes modulares.....	88
Anexo 29. Costos de implementos	89
Anexo 30. Costos de depreciación	89
Anexo 31. Costos de mano de obra.....	90
Anexo 32. Germinación de hidropónicos	90

INTRODUCCIÓN

El cuy, por ser un animal herbívoro, tiene dos tipos de digestión: la enzimática, a nivel del estómago e intestino delgado, y otra microbial a nivel del ciego, por lo que es capaz de aprovechar diferentes alimentos, especialmente pastos y forrajes; sin embargo, estos no proporcionan los nutrientes que requiere el animal para su normal crecimiento. Esta problemática se acentúa aun más, especialmente en las épocas secas, cuando los forrajes disminuyen sus niveles de proteína bruta, energía, y aumentan considerablemente los niveles de fibra; por lo tanto, el productor se ve en la necesidad de complementar esa alimentación con concentrados y bloques nutricionales, lo que provoca un incremento en los costos de producción y por consiguiente la disminución de la rentabilidad en la actividad.

Por lo anterior, el productor se ve en la necesidad de utilizar otras alternativas como es el caso de los forrajes hidropónicos, los cuales son un alimento vivo de alta digestibilidad y calidad nutricional, que representan una herramienta alimenticia rápida y segura, con la cual se puede hacer frente a los tradicionales problemas de escasez de alimento en algunas épocas el año.

Así, el forraje hidropónico es el resultado de un proceso de germinación generalmente de cereales como trigo, cebada, maíz y avena. Este método permite obtener excelentes resultados, puesto que no sólo proporciona todos los requerimientos que necesita para su normal desarrollo, sino que además, brinda la posibilidad de sostener una producción constante de biomasa por unidad de área en el menor tiempo posible y, sobre todo, bajo condiciones secas.

Bajo las anteriores consideraciones, este trabajo planteó la necesidad de buscar mayores opciones para hacer más eficientes los sistemas de explotación, a través de mejorar la calidad de la alimentación en periodos en donde la escases de forraje y la baja calidad nutricional disminuye la productividad pecuaria.

1. DEFINICIÓN Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

La alimentación del cuy se basa fundamentalmente de pastos y forrajes; sin embargo, debido a la ausencia de lluvias y mal manejo de pasturas, estos presentan deficiencias en su valor nutricional, lo que afecta el normal crecimiento y desarrollo del animal, en consecuencia, el productor se ve en la necesidad de cubrir esas deficiencias nutricionales con suplementos alimenticios como concentrados y bloque nutricionales, estos suplementos resultan de la combinación o la mezcla de materias primas de origen animal y vegetal, generalmente importadas, haciendo la producción cuyicola una actividad poco rentable.

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La falta de forrajes en los periodos secos y el mal manejo de pasturas, hace que la producción de cuyes en el ámbito comercial se vea restringida considerablemente; por lo anterior, se hace necesario introducir alternativas alimenticias que garanticen un alimento permanente durante todo el año, con buenas características nutritivas que satisfagan los requerimientos nutricionales del animal. A la problemática presentada, se presenta al forraje hidropónico especialmente orgánico como una alternativa viable para la alimentación animal.

Por consiguiente, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Qué efecto tiene la utilización de forraje hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare*) y trigo (*Triticum vulgare* L) obtenidos en condiciones de fertilización orgánica y mineral en la alimentación de cuyes (*Cavia porcellus*).

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar los forrajes, hidropónicos de cebada (*Hordeum vulgare*) y trigo (*Triticum vulgare L*) en condiciones de fertilización orgánica y mineral en la alimentación de cuyes (*Cavia porcellus*).

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la producción de forraje hidropónico de trigo y cebada obtenida en condiciones de fertilización orgánica y mineral.
- Determinar la digestibilidad aparente de los forrajes hidropónicos de cebada y trigo obtenidos en condiciones de fertilización mineral y orgánica.
- Realizar un análisis de costos de cada uno de los tratamientos empleados.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. GENERALIDADES DE TRIGO Y CEBADA

Según Ken-Jones y Aramos:

El trigo es un cereal considerado importante en la composición de la dieta para la alimentación animal, puesto que las partes que la componen endospermo, germen y cubierta externa se encuentran distribuidas de proteínas de buena calidad y que se aprovechan en la alimentación animal. Las proteínas de trigo se encuentran distribuidas en el grano, el salvado y el germen de trigo, es probable que la parte central no sea tan rica en proteína como la parte externa¹.

La composición química y nutricional tanto de los cereales antes de germinar como del forraje hidropónico de trigo y cebada, se presentan en la Tabla 1, y Tabla 2 respectivamente.

Tabla 1. Composición química de los granos de cebada y trigo

Grano	Materia Seca	Proteína %	Ceniza %	Extracto etéreo	Fibra %	ELN %
Cebada	89,00	11,60	2,40	1,80	5,10	79,10
Trigo	89,00	12,70	1,80	2,30	2,50	80,70

Fuente: D.C. Church. W.G. Pond (1998)²

Villacrés menciona:

La cebada es un alimento energético, rico en carbohidratos, principalmente almidón. Los hidratos de carbono son importantes porque aportan con más del 40% de calorías en la dieta y permite una eficaz utilización de la proteína; el aporte de la cebada en la dieta es importante como fuente proteica, rica en ácido glutámico, prolina, leucina y aminoácidos, importantes porque forman parte de todos los tejidos corporales. Presenta un mayor porcentaje de minerales como hierro, fósforo, zinc y potasio que otros cereales. Los granos

¹ KEN-JONES, D.W. Y ARAMOS. A.J. Química moderna de los cereales. Madrid, España 1956. p.12.

² CHURCH, D. Y POND, W. Fundamentos de Nutrición y Alimentación Animal. 6 Edición: México: UTEHA, 1988, p.43.

de cebada tienen importante aplicación nutricional como fuente de lisina, triptófano y vitaminas del complejo B, cuya concentración se incrementa bajo condiciones controladas de humedad, temperatura y aireación³.

Según Timaná y Cevallos:

Un factor importante para el eficiente uso de recursos alimenticios es el conocimiento de la composición química de los alimentos, así como de los requerimientos nutricionales. En importancia, después del maíz y sorgo, están el trigo, arroz y cebada en cuanto a calidad y cantidad de nutrientes.

Los cereales proporcionan entre 2.700 y 3.700 kcal/kg de E.D., 9 –13% de proteína, 2 – 7% de grasa y 2 - 10% de fibra⁴.

Así mismo, mencionan que el valor biológico de la proteína es moderado con tendencia a una disminución de lisina y triptófano en la mayoría de los granos. El contenido de minerales es bajo, especialmente de calcio; los granos de maíz y sorgo son más pobres en fósforo que la avena, el trigo, cebada y arroz. Todos los cereales son pobres en vitamina D y riboflavina⁵.

4.2 PRODUCCIÓN DE FORRAJES HIDROPÓNICOS

Según Izquierdo:

El forraje verde hidropónico (FVH) es una tecnología de producción de biomasa vegetal obtenida a partir del crecimiento inicial de las plantas en los estados de germinación y crecimiento temprano a partir de semillas viables. El FVH es un pienso o forraje vivo, de alta digestibilidad, calidad nutricional y muy apto para la alimentación animal⁶.

³ VILLACRÉS, Z. La cebada un cereal nutritivo. Instituto Nacional Autónomo de Investigación Agropecuaria. Departamento de Nutrición y Calidad. Programa regional de la cebada y trigo. Estación Experimental Santa Catalina. Ecuador 1996. p.45.

⁴ TIMANÁ, Segundo y CEBALLOS, Héctor. Efectos de una dieta suplementaria en base en cebada y trigo germinados en la alimentación de cuyes. 1984. Pasto (Nariño). Pág. 9. Tesis de grado para obtener el título de Zootecnista. Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Pecuarias. Programa de Zootecnia

⁵ Ibid., p. 10.

⁶ IZQUIERDO, Juan. Manuel técnico. Producción de forraje verde hidropónico. [En línea]. 1a edición. Santiago de Chile. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Febrero 2002. [Citado el 10-09-2011]. Disponible también en versión <http://www.rlc.fao.org/prior/segalim/pdf/1.pdf>

Tabla 2. Composición química de forraje hidropónico de trigo y cebada

Granos	Materia seca %	Proteína %	Ceniza %	Extracto etéreo %	Fibra %	ELN %
Cebada	20,23	17,77	5,28	4,41	16,15	58,08
Trigo	14,05	18,49	3,25	2,60	17,86	57,80

Fuente: Manual de forraje hidropónico(2011)⁷

Arano, señala:

La técnica de cultivo, por supuesto se basa en la producción sobre sustratos que no sean tierra, y se hace preferiblemente en invernaderos que permiten su producción, incluso en épocas de sequía u otras condiciones climáticas adversas, para no detener la alimentación de los animales de las variaciones del clima y poder mantener el engorde para producción de carnes y leche⁸.

Resh, afirma que:

Granos como cebada, trigo, arroz, sorgo y maíz suelen ser humedecidos durante 24 horas antes de colocarse en bandejas de cultivo (cerca de 0,5 metros cuadrados) durante doce días. Las bandejas colocadas sobre estantes pueden ser regadas en exceso manualmente con una solución de nutrientes que irán drenando de una a otra o bien el conjunto de sistemas de bandejas pueden ser montados sobre tambores rotativos que serán llenados automáticamente con una solución de nutrientes que ira siendo reciclada⁹.

También Rodríguez y Tarrillo, comentan que:

La producción de forraje hidropónico es la mejor alternativa dentro de un concepto nuevo de producción agrícola, ya que no se requiere de grandes extensiones de tierras ni de mucha agua. Tampoco se requiere de largos períodos de producción ni de métodos o formas para su conservación y almacenamiento. El crecimiento

⁷ AGROMEAT. Manual de forraje hidropónico. [On line]. Argentina, [Actualización septiembre 7 de 2011]. [Citado 02 octubre 2011. 14:54] Disponible en internet: <http://www.agromeat.com/index.php?idNews=89255>

⁸ ARANO, Carlos. Forraje verde hidropónico y otras técnicas de cultivos sin tierra. Prov. de Buenos Aires, Argentina. 1998. p.35

⁹ RESH M. Howard. Cultivos hidropónicos. Nuevas técnicas de producción. Segunda edición. Mundi-Prensa: España. 1987. p.147

es bastante rápido, prácticamente el periodo de producción es de solo de 12 a 15 días¹⁰.

Por lo tanto, según Estrada:

El cultivo hidropónico de pastos es una tecnología que se conoce de épocas antiguas para la alimentación del ganado, independientemente de los factores naturales como sol, lluvia y aun suelo. Este cultivo tiene algunas ventajas como la limpieza del forraje que permite ser cultivado en bandejas y no presenta contaminación de parásitos. Como todas las condiciones son controladas, la calidad del forraje producido es muy uniforme, palatable y con buenos nutrientes¹¹.

4.3 PROCESOS EN LA ELABORACIÓN DE FORRAJE HIDROPÓNICO

4.3.1 Elección de las especies de granos. La elección del grano a utilizar depende de la disponibilidad local y/o del precio a que se logren adquirir.

4.3.2 Selección de la semilla. En términos ideales, se debería usar semilla de buena calidad, de origen conocido, adaptadas a las condiciones locales, disponibles y de probada germinación y rendimiento.

4.3.3 Lavado de la semilla. Las semillas deben lavarse y desinfectarse con una solución de hipoclorito de sodio al 1%. Finalizado el lavado procedemos a un enjuague riguroso de las semillas con agua limpia.

4.3.4 Remojo y germinación de las semillas. Esta etapa consiste en colocar las semillas dentro de una bolsa de tela y sumergirlas completamente en agua limpia por un período no mayor a las 24 horas para lograr una completa imbibición.

4.3.5 Siembra en las bandejas. Las dosis óptimas de semillas a sembrar por metro cuadrado oscilan entre 2,2 kilos a 3,4 kilos considerando que la disposición de las semillas o "siembra" no debe superar los 1,5 cm de altura en la bandeja¹².

¹⁰ RODRIGUES DELFÍN, Alfredo y TARRILLO OLIVAS, Hugo. En: Producción de forraje verde hidropónico como alternativa de alimento para animales de las zonas afectadas por la ola de frío en el Sur del Perú. 2009. [On line]. [Citado el 6 octubre 2011]. Disponible en internet <<<http://www.forrajehidroponico.com>

¹¹ ESTRADA ALVAREZ, Julián. Pasto y Forrajes para el Trópico Colombiano. Primera edición. Manizales: Universidad de Caldas. Centro editorial. 2002. p.491.

¹² IZQUIERDO., Op. cit. p.36.

4.3.6 Riego. De acuerdo con Carballido. hay varias formas de regar el hidropónico, desde goteo, aspersión o nebulización, micro tubo, la forma más eficaz es utilizando el riego por nebulización o goteo en la germinación y por manguera o micro-tubo en la producción¹³.

4.4 GENERALIDADES DE FERTILIZACIÓN

Según Hernández:

Para crecer la planta necesita una serie de sustancias nutritivas. Sustancias nutritivas, son aquellas que pueden ser absorbidas por las plantas y que sirven para su alimentación; pueden ser moléculas o partículas cargadas eléctricamente. Los iones pueden ser cationes o aniones, y son los componentes de las sales que constituyen muchos abonos. El número de sustancias es grande, estas sustancias pueden ser minerales orgánicos e inorgánicos, cuyos elementos esenciales representan los elementos nutritivos¹⁴.

Para Salisbury y Ross:

La importancia de los nutrientes en el crecimiento y el desarrollo de los vegetales tiene innegables repercusiones en el establecimiento de los cultivos por lo que ya desde hace mucho tiempo, se ha presentado una considerable atención a las correlaciones entre la concentración de nutrientes en el suelo o la solución nutritiva y la producción obtenida¹⁵.

Al respecto, Sánchez de la Fuente, comenta que:

El uso de los fertilizantes para incrementar el rendimiento de los cultivos es, quizá, el medio más eficaz de que se dispone para modificar el suministro de nutrientes y, por tanto, la alimentación del vegetal. Se entiende, bien que cuanto mayor sea el conocimiento sobre la nutrición de la planta, tanto mayor será la eficacia del fertilizante añadido. La fertilización persigue, pues, adaptarse a las exigencias nutritivas de la planta¹⁶.

¹³ CARBALLIDO CARLIN, Claudio Daniel. Hidroponía. Forraje verde hidropónico. [En Línea.] México. Licols. [Actualización 17 sep. 2006]. [Citado 10 de octubre 2011]. Artículos silvopastoriles. Disponible en Internet: [www.usuarios.licols.es/forraje hidropónico](http://www.usuarios.licols.es/forraje_hidropónico)

¹⁴ HERNÁNDEZ Hernando Valentín. Fertilizantes y fertilización. Editorial Reverte S.A. Barcelona 1998. P.111.

¹⁵ SALISBURY, Frank y ROSS, Cleón. Fisiología vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica, México. 1994. P.367.

¹⁶ SÁNCHEZ DE LA PUENTE, Luis. La alimentación mineral de las plantas. Instituto de Recursos Naturales Y Agrobiología. Temas de divulgación. 1ª edición 1984. p.34.

Rodríguez, *et al.* explica que:

El punto más importante en un manejo hidropónico es la nutrición de la planta. En la agricultura los altos rendimientos están asociados a una buena fertilización, ya sea química u orgánica. Los fertilizantes que proveen nutrientes en las formas inorgánicas se llaman fertilizantes químicos; aquellos que provienen de residuos de plantas y animales se llaman fertilizantes orgánicos, en ambos casos las plantas absorben los nutrientes como iones orgánicos.¹⁷

4.4.1 Fertilización orgánica. Bonghkam establece que:

Los estiércoles son los principales insumos para considerar en la preparación de insumos orgánicos como aportantes de micro y macro nutrientes, los cuales han sido biológicamente ajustados en los organismos de los animales para que sean tomados por las plantas. Los estiércoles son preparados bioquímicos en los cuales proliferan en forma natural microorganismos transformadores de sustancias simples y complejas; estos mineralizan sustancias de estructuras complicadas, en elementos simples, al igual que pueden sintetizar a través de sus organismos, productos complejos que a la muerte de estos organismos son transformados en sales para la nutrición de las plantas¹⁸.

Sánchez, *et al.*; expresa que: “los abonos orgánicos mejoran el crecimiento radicular con aplicación foliar en hidroponía o directamente al suelo, aunque sus efectos dependen del tipo y dosis de sustancias empleadas”¹⁹. Al respecto, Chen, opina que: “las sustancias orgánicas proporcionan una mayor disponibilidad de nutrientes e incrementos en la absorción de nitrógeno, fósforo y potasio”²⁰.

Adani, argumenta que: “la materia orgánica también se le ha atribuido efectos bioestimulantes, denominados efectos directos, que consisten fundamentalmente en: mejorar el desarrollo radicular, cambios en la permeabilidad de las

¹⁷RODRIGUEZ, D.A., HOTOS, R.M. y CHANG, L.R.M. Soluciones nutritivas en hidroponía. Formulación y preparación. Centro de Investigación Hidropónica y Nutrición Animal. Departamento de Biología. Universidad Agraria la Molina. Lima Perú.

¹⁸BONGHKAM. E. Guía para compostaje y manejo de suelos, Bogotá Colombia, Ed. Espinos 2003. Serie ciencias y tecnología. p.432.

¹⁹ SANCHEZ, Carlos; ORTEGA, C.V. Y PEREZ BRULL, M.I. Efectos de los ácidos húmicos en remolacha azucarera en el cultivo hidropónico. Anales de edafología y agrobiología. 1972. p.31.

²⁰ CHEN Y. y AVIAN, T. Efecto de sustancias húmicas en plantas de crecimientos. En: Sustancias húmicas en suelos y ciencia de cultivo. Selección de lectura. Sociedad Agronómica Americana y Sociedad en Ciencias en Suelos (Eds). Madison. Wisconsin. USA. p.161.

membranas y modificación de determinadas actividades enzimáticas, implicadas en la toma y el metabolismo de nutrientes²¹.

Estrada, opina que: “Los fertilizantes orgánicos son productos elaborados a base de materiales naturales, los cuales para su uso se diluyen en agua y se aplican en dosis según el material que se utilice como materia prima²². Además, indica que: “previo a su aplicación, los fertilizantes foliares orgánicos deben someterse a un proceso de cocción o de fermentación, siendo la fermentación el proceso más adecuado de elaboración²³”.

Méndez afirma:

Que la materia orgánica, a demás de estar constituida por carbohidratos, aminoácidos, ácidos linfáticos, proteínas, etc. también está formado por las llamadas sustancias húmicas, que son una serie de compuestos de alto peso molecular. Estas sustancias han sido divididas en grupos de acuerdo a su solubilidad en, soluciones acidas y básicas concentradas: ácidos húmicos y fúlvicos. Los ácidos húmicos presenta contenidos más altos de nitrógeno; los ácidos fúlvicos se distinguen de los húmicos por su coloración más clara, por el contenido bajo de carbono y por su buena solubilidad en alcohol, álcalis y ácidos minerales.²⁴

4.4.2 Fertilización mineral. Llanos, citado por Cabrera indica:

Los sectores comerciales en Colombia y en especial el sector floricultor vienen empleando una serie de soluciones nutritivas que podrían clasificarse en varias especies, a saber: las soluciones nutritivas a partir de sales simples, las soluciones a partir de líquidos concentrados, las soluciones a partir de abonos compuestos sólidos²⁵.

²¹ ADANI, F., *et al.* El efecto del ácido húmico comercial en el crecimiento de plantas de tomate y nutrición mineral. En: Nutrición de plantas. Universidad de Alicante. España. 1998. P.561.

²² ESTRADA RODRÍGUEZ, B.A. Evaluación del efecto de tres fertilizantes foliares orgánicos en el rendimiento del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en la aldea Macanché, Flores, Petén. Investigación EPSA. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 1993. p41

²³ *Ibid.*, p. 45.

²⁴ MENDEZ, Gloria. Abonos orgánicos, principios, aplicaciones e impactos en la agricultura. Ed. Universidad de Costa Rica. San José de Costa Rica 2003. p212

²⁵ LLANOS, Pedro. La solución nutritiva, nutrientes comerciales, fórmulas completas. Bogotá: 18 de mayo de 2001. [Citado el 5 diciembre 2001]. www.walcoagro.com. Citado por CABRERA ROJAS, Claudia Patricia. Evaluación de tres variedades de maíz (*Zea maíz* L.) en condiciones hidropónicas en el corregimiento de la Laguna, municipio de Pasto, Departamento de Nariño. 2005. Pasto

Según Bernal:

Para que se presente una absorción significativa de nutrimentos a través de las hojas, es necesario que éstos se encuentren en una forma asimilable desde el punto de vista químico. Los compuestos orgánicos que forman los minerales con el ácido etilen-diamino-tetra-acético (EDTA); se denominan quelatos y son fácilmente absorbidos por las plantas superiores²⁶.

Bustamante, comenta que: “La utilización de fertilizantes químicos es requerida en todos los sistemas de producción agrícola, a largo plazo, con fines de mantener e incrementar los rendimientos de los cultivos, sobre todo cuando se extrae totalmente la planta del sistema de producción”²⁷. El mismo autor, indica que: Estos fertilizantes aportan poco a poco su contenido de nutrientes, poniendo en cada momento a disposición de la planta una pequeña parte, ya que no todos los nutrientes incorporados al suelo vía fertilizante son utilizados por la planta, pues sólo una fracción es incorporado por esta²⁸.

Así mismo, Bar-Josef²⁹, afirma que: “el riego y la fertilización foliar son los factores más importantes, a través de los cuales, los productores pueden controlar el desarrollo de la planta, los rendimientos y la calidad de los frutos”.

4.5 NUTRICIÓN Y ALIMENTACIÓN

4.5.1 Generalidades del cuy(Cavia porcellus). Informes de la Food and Agriculture Organization, FAO30, señala que: El cuy es una especie herbívora por excelencia, su alimentación es sobre todo a base de forraje verde y ante el suministro de diferentes tipos de alimento, muestra siempre su preferencia por el forraje.

(Nariño.) Pág. 19. Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas. Programa de Ingeniería Agronómica

²⁶ BERNAL EUSSE, Javier. Fertilización de pastos mejorados. Fertilización de cultivos de clima frío. Bogotá Colombia. Monómeros Colombo-Venezolanos. 1998.

²⁷ BUSTAMANTE SASTRÉ, Vladimir. Manejo de fertilizantes y abonos orgánicos. Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción del Trópico Húmedo de Tabasco. Primera edición 2000. ISBN 968-839-281-2. P.17.

²⁸ *Ibid.*, p.172.

²⁹ BAR YOSEF, B. Avances en la fertirrigación. En: Avances en agronomía. Academia Press, 1999. P.208.

³⁰ Food and Agriculture Organization FAO. Departamento de Agricultura. Producción de cuyes. [On line]. [Citado el 23 de diciembre del 2011]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/W6562S/w6562s04.htm>

Según Chauca:

El cuy es una especie versátil en su alimentación. Puede comportarse como herbívoro o se puede forzar su alimentación en función de un mayor uso de balanceado. Los cambios de alimentación no deben ser bruscos; hay que adaptarlos paulatinamente al cambio de forraje, ya que son muy susceptibles a presentar trastornos digestivos especialmente los de menor edad³¹.

Igualmente para Calderón y Cazares:

Estos animales son herbívoros monogástricos que mastican intensamente los alimentos de modo que el alimento está finamente molido cuando llega al estómago, donde inicia la digestión enzimática para luego pasar al intestino delgado, iniciando por el duodeno donde se secreta la bilis, la cual ayuda a la digestión de las grasas; además, la secreción del jugo pancreático interviene en la digestión de las proteínas, carbohidratos y grasas³².

También, Rico, menciona que: es una especie altamente adaptable variando su selectividad de plantas de acuerdo a la disponibilidad de forraje; así, cuando la disponibilidad de gramíneas es alta y la disponibilidad de leguminosas y otras son limitadas, las gramíneas representan la mayor parte de la dieta³³. El cuy es un animal que realiza cecotrofia, ya que produce dos tipos de heces, una rica en nitrógeno que es reutilizada (cecótrofo) y otra que es eliminada como heces duras³⁴. Al respecto, Calero del Mar, indica que: el cuy toma las heces y las ingiere nuevamente pasando al estómago e inicia un segundo ciclo de digestión que se realiza generalmente durante la noche. Este fenómeno constituye una de las características esenciales de la digestión del cuy³⁵.

³¹ CHAUCA L. 1997. Producción de cuyes (*Cavia porcellus*). Roma. p56

³² CALDERÓN YÉPEZ, Gladys Elizabeth y CAZARES IMBAQUINGO, Ricardo Rafael. Evaluación del comportamiento productivo de cuyes (*Cavia porcellus*) en las etapas de crecimiento y engorde, alimentados con bloques nutricionales en base a paja de cebada y alfarina. Tesis para optar el título de Ingeniero Agroindustrial. Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y ambientales. Universidad Técnica del Norte. Ibarra Ecuador. 2008. P.39.

³³ RICO, E. Evaluación de harina de tarwi y torta de soya en dietas para cuyes en la etapa de crecimiento. Tesis. Ingeniero Agrónomo. Cochabamba, Bolivia. Universidad Mayor de San Simón. Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias. Departamento de Zootecnia 1986. p.66.

³⁴ *Ibíd.*, p.36.

³⁵ CALERO DEL MAR, B. El cuy (*Cavia porcellus*). Introducción a la cuyicultura. Cusco Perú. Primera Edición. Editorial Garcilaso. 1978. p. 281.

4.5.2 Requerimientos nutricionales del cuy. Calderón y Cazares, manifiestan que: se entiende por necesidades nutritivas a las cantidades de nutrientes en las raciones que los cuyes requieren para cubrir necesidades de mantenimiento (procesos vitales como: respiración, mantener la temperatura corporal, circulación sanguínea) y necesidades de producción (crecimiento, engorde y gestación)³⁶.

Caicedo menciona que:

La alimentación juega un rol muy importante en toda explotación pecuaria, ya que el adecuado suministro de nutrientes conlleva a una mejor producción. El conocimiento de los requerimientos nutritivos de los cuyes, permitirá elaborar raciones balanceadas que logren satisfacer las necesidades de mantenimiento, crecimiento y producción³⁷.

Para cada fase de desarrollo del cuy se necesitan nutrientes como: proteínas, carbohidratos, grasas, vitaminas y minerales. Para la fase de crecimiento y engorde de cuyes tipo carne se han logrado buenos incrementos de peso con raciones de 14 a 17 % de proteína, los cuales se pueden suplir con forrajes de buena calidad alcanzando pesos superiores a 800 gramos por animal a los 3 o 4 meses de edad. Los requerimientos que presentan el NRC en cuanto a calcio es de 1,2 % y fósforo 0,6 %, funcionan para crecimiento y engorde, siendo mayores para las fases de gestación y lactancia, donde los animales responden a niveles de 1,4 % y 0,8 % de calcio y fósforo respectivamente³⁸. En la Tabla 3, aparecen los requerimientos nutricionales de los cuyes.

Tabla 3. Requerimientos nutricionales del cuy

NUTRIENTES	CRECIMIENTO Y ENGORDE
Proteína	13 - 17%
Energía	2,80%
Fibra	10%
Calcio	0,8 - 1,0%
Fósforo	0,4 - 0,7%
Grasa	3,5%

Fuente: Caicedo (1993)³⁹

³⁶ CALDERÓN Y CAZARES., Op. cit., p.45.

³⁷ CAICEDO, Alberto. Experiencias investigativas en la producción de cuyes. Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Pecuarias. Pasto, Colombia, 1993. pág. 235.

³⁸ *Ibíd.*, p. 78.

³⁹ *Ibíd.*, p.237.

Para Revollo:

Mejorando el nivel nutricional de los cuyes se puede intensificar su crianza de tal modo que se pueda aprovechar convenientemente su precocidad y prolificidad, así como su habilidad reproductiva. Los cuyes como productores de carne precisan del suministro de una alimentación completa y bien equilibrada, que no se logra si se suministra únicamente forraje, a pesar de la gran capacidad de consumo del cuy⁴⁰.

4.5.3 Experiencia en alimentación animal con forraje hidropónico. Tarrillo, indica que:

El forraje hidropónico ha sido y está siendo utilizado en diversos establos lecheros de Arequipa (Perú), obteniendo las siguientes ventajas: aumento de la producción de leche hasta niveles del 20%, se elevó el porcentaje de grasa y sólidos totales en la leche; se mejoró la condición corporal del animal; se redujeron los días vaca-vacía, se presentó una menor incidencia de mastitis y menor presencia de retención placentaria, lo mismo ocurrió con el estrés calórico⁴¹.

Bravo, comenta que:

Alimentó conejos laneros de la raza Angora con diferentes raciones de forraje hidropónico de avena, donde se observó un incremento en el porcentaje de pelo a medida que aumento la inclusión de este forraje en la ración; el porcentaje de animales con producción de pelo pasó de un 50% a un 90%. El forraje hidropónico de avena es un importante recurso a experimentar en la alimentación cunícola, puesto que no sólo mejora la cantidad y calidad del vellón, sino que además es una herramienta válida y probada en la disminución de los costos de producción⁴².

Vargas, expresa que:

A diferencia de otros forrajes, el forraje hidropónico no es fumigado contra ninguna plaga, estando libre de cualquier contaminación fitoquímica que pueda

⁴⁰REVOLLO SORIA, Karen. Alimentación y nutrición del cuy. Documento guía para los productores. [On line]. [Citado el 23 de diciembre del 2011]. Disponible en internet: <http://www.umss.edu.bo/epubs/etexts/downloads/37c.pdf>

⁴¹ TARRILLO, OLIVAS, Hugo. Forraje verde hidropónico Maximizando el campo [On line]. Arequipa. Perú. 2009. [Citado el 27 septiembre]. Disponible en internet: <http://www.forrajehidroponico.com/art003.htm>

⁴² BRAVO RUIZ, Miguel. R. Niveles de avena hidropónica en la alimentación de conejos Angora. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de Concepción, Sede Chillán. Chile.1998

afectar a los cuyes; además el uso de este forraje permite las siguientes ventajas: mayor número de crías logradas al año, menor mortalidad de crías, cubre los requerimientos de agua, cubre los requerimientos de vitamina C y reduce los costos de alimentación⁴³.

Para la FAO:

El forraje hidropónico representa una alternativa de producción de forraje para la alimentación de corderos, cabras, terneros, vacas en ordeño, caballos de carrera; otros rumiantes; conejos, pollos, gallinas ponedoras, patos, cuyes y chinchillas entre otros animales domésticos y es especialmente útil durante períodos de escasez de forraje verde⁴⁴.

4.5.4 Generalidades de la digestibilidad. Polo, menciona que:

El valor nutricional de alimentos no convencionales debe determinarse mediante métodos que permitan obtener resultados confiables en el menor tiempo y de la forma más económica posible. Teniendo en cuenta que la composición química de un alimento es solo indicativa del contenido de nutrientes del mismo, pero no de su disponibilidad para el animal, es necesario contar con datos de digestibilidad⁴⁵.

Para Londoño⁴⁶, “La importancia de determinar la digestibilidad de un alimento radica en que es un valor variable entre distintos alimentos y posee un valor práctico; una digestión incompleta frecuentemente representa pérdidas en la cadena productiva”, y según, Rodríguez⁴⁷, “Un incremento en la digestibilidad de forrajes, resulta en una ventaja doble, en primer término da un incremento en la concentración de los nutrimentos de la dieta y al mismo tiempo un aumento en la cantidad consumida”.

⁴³VARGAS FLOREZ, Alfredo. El forraje verde hidropónico y su uso en la crianza de cuyes. [On line]. Lima Perú 2011. [Citado el 26 de diciembre 2011]. Disponible en internet: <http://www.rmr-peru.com/forraje-verde-hidroponico.htm>

⁴⁴ FAO., Op. cit. p.9.

⁴⁵ POLO APONTE, Nicolás. El Portal del Subproductos: Nutrientes digestibles totales. [On line]. [Citado el 26 de diciembre del 2011]. Disponible en internet:http://tirsomestre.blogspot.com/2010/05/nutrientes-digestibles-totales-tdn_17.html

⁴⁶ LONDOÑO, HERNÁNDEZ, Fernández. Fundamentos de alimentación animal. Managua, Nicaragua. 1993

⁴⁷ RODRIGUEZ, D.A. Forraje verde hidropónico. 1ª edición. Editorial Diana S.A. de C.V. Universidad Agraria la Molina. Lima Perú. 2003. P.33.

Al respecto, Calderón y Cazares, explican que:

La digestibilidad de los alimentos es esencial, ya que determina el porcentaje de nutrientes que son utilizados por el animal y la cantidad de nutrientes que no son aprovechados (excretados) por el animal de un determinado alimento. La digestibilidad de un alimento se reduce: en el caso particular de los forrajes, cuando el pasto está maduro o pasado el tiempo de cosecha, debido a que sus tallos contienen mayor cantidad de lignina, lo cual hace indigestible al forraje y consecuentemente baja el consumo⁴⁸.

Es por eso que los mismos autores, manifiestan que: es importante considerar otro tipo de alimentos que se utilizan en la alimentación de los cuyes como los granos de cereales, subproductos de destilería, de molienda y de extracción de aceites, los cuales permiten equilibrar la dieta que requieren los cuyes en sus diferentes etapas de producción.⁴⁹

De acuerdo con, Church y Pond:

La digestibilidad es la desaparición del alimento en el aparato digestivo; sin embargo, una definición más amplia incluye la absorción, al mismo tiempo que la digestión. La información sobre la digestibilidad se utiliza en forma muy extensa en la nutrición de los animales para evaluar los alimentos o estudiar la utilización de los nutrimentos; la digestibilidad es muy variable, ya que en un mismo alimento proporcionado a un mismo animal, no siempre se digiere en la misma cantidad⁵⁰.

Los mismos autores, señalan que para la prueba de digestibilidad, el procedimiento es el siguiente:

Los animales son alimentados con una dieta de composición conocida durante un periodo de tiempo de varios días, durante los cuales se recogen las heces que son analizadas para determinar los componentes que interesan, consiste en la recolección de alimento y heces para lograr una medición directa de la digestibilidad aparente, se calcula por medio de la siguiente fórmula:

D.A = Digestibilidad Aparente

$$D.A = \frac{\text{Nutriente ingerido} - \text{Nutriente en heces}}{\text{Nutriente ingerido}} * 100$$

⁴⁸ CALDERÓN y CAZARES, Op. cit., p.65.

⁵⁰ CHURCH, D. Y POND. W., Op.cit. p.19.

⁵¹ Ibíd., p.46.

5. METODOLOGÍA

5.1. LOCALIZACIÓN

La presente investigación se realizó en: el municipio de Yacuanquer (Nariño), localizado a 1° 07' de longitud norte y a 77° grad os, 24' de longitud oeste del meridiano de Greenwich; a 6', 36" de latitud norte y a 3°, 20', 21" de latitud oeste del meridiano de Bogotá. La distancia de la cabecera municipal con respecto a la ciudad de San Juan de Pasto es de 24 kilómetros; con una temperatura promedio de 12°C y una altura promedio de 2687 msnm. La humedad relativa en invernadero fue de 82%⁵².

5.2. MATERIALES Y EQUIPOS

Para la determinación de algunas características en campo, se utilizaron los siguientes equipos:

- Altimetro
- Balanza
- Baldes
- Regla graduada en centímetros
- Tela
- Bomba espaldera
- Regadera
- Papel periódico
- Plástico negro calibre No 10

5.2.1 Invernadero. Se adecuaron instalaciones con las siguientes dimensiones: 4.5 m de largo por 5.5 m de ancho, con 2 m de altura. Estuvo cubierta con teja de zinc; el piso es en concreto lo que facilita un adecuado manejo fitosanitario evitando encharcamientos y los muros son en construcción de ladrillo.

5.2.2 Andamios. Estos fueron fabricados en madera rústica con cuatro niveles y doce bandejas individuales con un desnivel del 0,2%.

5.2.3 Bandejas. Las bandejas que se utilizaron fueron bandejas de plástico, con dimensiones de 55 cm de ancho por 77 cm de largo y 2,0 cm de profundidad.

⁵²Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Yacuanquer. 2008. p.86.

5.3 PRODUCCIÓN DE HIDROPÓNICOS DE TRIGO Y CEBADA

5.3.1 Siembra. La siembra de cebada y trigo se realizó en forma uniforme en cada bandeja con una cantidad de 1,5 kg/bandeja. Para ello se distribuyó una delgada capa de semillas, la cual no sobrepasó los 1,5 cm de altura o espesor. En la Tabla 4, se explica el proceso de producción de los forrajes hidropónicos de trigo y cebada en condiciones de fertilización orgánica y mineral.

5.3.2 Germinación. Luego de la siembra se colocó por encima de las semillas una capa de papel el cual se mojó previamente. Posteriormente se tapó con un plástico negro; las semillas deben estar en semioscuridad en el lapso de tiempo que transcurre desde la siembra hasta su germinación. En el Anexo 39, se muestra la siembra de trigo en el proceso de germinación.

5.3.3 Fertilización. La fertilización se realizó a partir del cuarto día, cuando aparecieron las primeras hojas, hasta cumplir el día 12. Se utilizó para tal fin una regadera manual, la cual dispersó el líquido uniformemente sobre las bandejas.

5.3.3.1 Fertilización orgánica. Se utilizó un fertilizante orgánico líquido comercial para la producción de forraje, elaborado por ASTROSOLES “Asociación Transformadora de Residuos sólidos” localizada en el municipio de Yacuanquer. Este es un fertilizante orgánico elaborado mediante procesos de materia orgánica en avanzado estado de descomposición, enriquecida con fósforo, calcio, potasio, azufre y elementos menores, lo que se convierte en un producto sanitariamente apto para la aplicación en cualquier cultivo, en plantas ornamentales y en jardinería.

La dosificación recomendada es de 3 cc por litro de agua. Su composición química de nitrógeno total según análisis químico realizado en el laboratorio de bromatología de la Universidad de Nariño es de 1,7%.

5.3.3.2 Fertilización mineral. Se utilizó Solucat 25 – 5 – 5 + M.E., fertilizante soluble compuesto por elementos mayores y elementos menores de alta pureza y solubilidad, los elementos menores están quelatados a excepción del Boro. Por su mayor contenido de nitrógeno, es una fuente importante durante la etapa de crecimiento del cultivo. Se disuelve rápidamente en el tanque de mezcla; puede ser usado como fertilizante foliar disuelto 1 g/litro y aplicarlo a las hojas.

Equiparando la fertilización química, según la cantidad de elementos que aportan, para el caso de nitrógeno, es de 0,82 g/litro de agua, y para el caso de la fertilización orgánica (N), es de 2,1 ml/litro de agua.

5.3.4 Riego. El riego se realizó cada tres horas por dos minutos. La calidad del agua empleada es la misma que la utilizada para consumo humano. Luego del tercer día se adicionó agua, por medio de una bomba espaldera por 4 veces/día

hasta cumplir el día 13, en el día 14 y 15, se dispuso a secar el forraje hidropónico para luego ser suministrado al animal.

Tabla 4. Procesos para la producción de forraje hidropónico

Día	Procedimiento
0	Selección de semillas Lavado con hipoclorito de sodio 1% Colocar semillas en bolsas de tela por 2 intervalos de 12 horas c/u (pre germinación)
Día 1	Esparcir 1,5 kg de semillas sobre las bandejas (1,5 cm de espesor) Cubrir con periódico húmedo y tapar con plástico negro durante 3 días
Día 4 - 12	Inicio de riego con agua y soluciones nutritivas
Día 13	Riego solo con agua (lavado)
Día 14 - 15	Secado del forraje hidropónico de trigo y cebada
Día 16	Suministro de forraje hidropónico según tratamientos

5.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

5.4.1 Diseño experimental. Se utilizó el diseño en bloques al azar (BCA). Constó de cuatro tratamientos con tres replicas cada uno para las variables agronómica, y para la variable bromatológica, cuatro tratamientos y cuatro replicas, se realizó al mismo tiempo un análisis de varianza y la prueba de significancia (Tukey) para determinar las diferencias entre medias. Los datos se procesaron en el paquete estadístico SAS.

5.4.2 Modelo matemático.

$$Y_{ij} = \mu + E_j + B_{ij} + E_{ij}$$

Y_{ij} = Respuesta de i ésima replica que recibe el j ésimo tratamiento.

μ = Media del experimento.

E_j = Efecto de j ésimo tratamiento.

R_{ij} = Efecto del i ésima replica j ésimo tratamiento.

E_{ij} = Error experimental i esima replica j ésimo tratamiento

5.4.3 Tratamientos.

T1 = Forraje hidropónico de trigo con fertilización mineral

T2 = Forraje hidropónico de cebada con fertilización orgánica

T3 = Forraje hidropónico de trigo con fertilización orgánica

T4 = Forraje hidropónico de cebada con fertilización mineral

5.4.4 Formulación de hipótesis. Con el análisis estadístico se plantean las siguientes hipótesis.

- **Hipótesis nula:** $H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$.

La media de los tratamientos es igual. No hay diferencias estadísticas significativas.

- **Hipótesis alterna:** $H_a = \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4$.

La media de los tratamientos no es igual. Al menos uno de los tratamientos muestra diferencias estadísticas significativas.

5.5 PRUEBA AGRONÓMICA

5.5.1 Producción de materia seca. Para estimar la producción de biomasa, se cosechó el material cuando el cultivo alcanzó la edad de 15 días. La biomasa seca se determinó a cada replica por tratamiento y en base al análisis proximal de Weende, se calculó la materia seca. En la Figura 1, se indica la producción de forraje hidropónico obtenido.

Figura 1. Producción de forraje hidropónico



5.5.2 Índice de área foliar (IAF). Para el cálculo de esta variable se tuvo en cuenta la metodología propuesta por Bernal³², que la define como “área foliar por unidad de superficie de terreno”. Se calcula de la siguiente manera:

1. Relación hoja: tallo. Peso de la planta menos el peso del tallo.
2. De las hoja intermedias se toma una hoja al azar y de esta se saca un centímetro del centro. Se calcula su área y su peso.
3. El índice del área foliar es el número de área foliar en metros cuadrados sobre el número de plantas en un metro de terreno.

5.5.3 Altura de plantas. Se midió con una cinta métrica la longitud de las plantas desde el cuello de la raíz hasta la punta de la yema terminal.

5.5.4 Porcentaje de cobertura. Es la expresión integral de la interacción de factores bióticos y abióticos sobre un espacio determinado. Para estimar el porcentaje de cobertura se utilizó un área de un metro cuadrado, el cual se dividió en 25 cuadrículas de 0,20 cm por 0,20 cm. La cobertura se estimó según la producción aparente en que el forraje cubrió cada cuadrícula según la siguiente escala de valores:

- 1= 10-20% de área cubierta (muy poco cubierta).
- 2= 21-40% de área cubierta (poco cubierta).
- 3= 41-60% de área cubierta (parcialmente cubierta).

³² BERNAL, Jorge. Pastos y forrajes tropicales. 3ª edición, Bogotá, Colombia. Buda. 1994, p.44.

4= 61-80% de área cubierta (cubierta).
5= > 80% de área cubierta (bien cubierta).

5.6 prueba bromatológica. Las variables bromatológicas se realizaron de acuerdo con los procedimientos descritos por el análisis químico de alimentos en los Laboratorios Especializados de Bromatología de la Universidad de Nariño.

5.6.1 Materia seca. La materia seca (MS), se determinó mediante análisis proximal o de Weende, este método sirve para determinar únicamente la cantidad de materia seca presente en una sustancia y no es una medida exacta del contenido de humedad puesto que en desecación ocurren una serie de reacciones químicas que ocasionan variaciones en esta determinación.

5.6.2 Proteína. El método utilizado para determinar la cantidad de proteína, fue el método Kjeldahl. Este es un método indirecto, realmente lo que se determina es la cantidad de nitrógeno presente en la muestra.

5.6.3 Fibra cruda. La fibra cruda (FC), se determinó por análisis proximal, se basa en la ebullición alterna de la muestra con un ácido y un álcali débil. El residuo que queda libre de componentes solubles se llama FC, descontando la ceniza.

5.6.4 Extracto etéreo. El extracto etéreo se realizó mediante análisis proximal o de Weende, el cual utiliza solventes, que generalmente son éter, cloroformo, benceno, entre otros, que a su vez arrastran consigo en el proceso otras sustancias diferentes a las grasas, por esto no es un valor generalizado.

5.6.5 FDN y FDA. Se realizó mediante el método desarrollado por Van Soest, donde se divide a la fibra vegetal en dos fracciones: la Fibra Detergente Neutro (FDA) y la Fibra Detergente Ácido (FDA).

5.7 PRUEBA DE DIGESTIBILIDAD

5.7.1 Animales. Para la investigación se dispuso de una muestra de 16 cuyes machos mejorados de 3 meses de edad, con un peso promedio de 900 a 1.000 g.

5.7.2 Instalaciones. La prueba de digestibilidad se realizó en un galpón con dimensiones de 3,8 m, de ancho por 4,6 m, de largo, el cual se desinfectó con una solución yodada al 10%; además, se utilizó cal para evitar la proliferación de microorganismos patógenos. Se utilizó bebederos y comederos tipo plásticos. Se dispuso de 16 jaulas metabólicas tipo rectangular; cuyas dimensiones fueron las siguientes: ancho de 34 cm, largo de 40 cm y 60 cm de alto.

5.7.3 Alimentación. La alimentación estuvo constituida básicamente de forraje hidropónico de cebada y trigo, según los tratamientos planteados. El suministro del alimento fue de 350 gramos por animal por día.

5.7.4 Etapa pre-experimental. El método utilizado en la presente investigación es el llamado método de digestibilidad In Vivo, sistema directo. Los animales se colocaron individualmente en cada jaula, su distribución fue al azar en el sitio de ubicación para cada tratamiento y con su respectiva réplica; hubo un periodo de adaptación de los animales a las jaulas y a las condiciones de manejo, se tuvo un pre ensayo de siete días, en los cuales se determinó el peso inicial, el consumo de forraje, rechazo de alimento, retiro de los sobrantes, material pisoteado y contaminado con orina.

5.7.5 Etapa experimental. Al iniciar esta etapa se pesó nuevamente los animales y se les suministró la cantidad de alimento determinada en la etapa pre-experimental en dos raciones diarias, esta etapa tuvo una duración de 10 días, al final de los cuales se pesaron los animales. Las prácticas de suministro de alimento se realizaron todos los días a la misma hora, de la siguiente manera: retiro del forraje de la bandeja y secado 24 horas antes.

5.7.6 Análisis químico. Por otra parte, las heces se recolectaron y pesaron en bolsas de papel e inmediatamente se colocaron en la estufa, para posterior envío al Laboratorio de Nutrición de la Universidad de Nariño para su respectivo análisis de materia seca parcial.

El análisis de las heces para cada tratamiento con su respectiva replica se hizo en los Laboratorios Especializados de Bromatología de la Universidad de Nariño, tanto de materia seca, proteína, extracto etéreo, ELN, FDN, FDA, lignina, hemicelulosa y celulosa. Según los procedimientos descritos por el análisis químico de alimentos del Laboratorio de Bromatología de la Universidad de Nariño.

5.7.7 Coeficiente de digestibilidad (C.D). Se calculó mediante la siguiente fórmula.

$$C.D = \frac{\text{Material ofrecido} - \text{material excretado}}{\text{Material ofrecido}} * 100$$

5.7.8 Nutrientes digestibles totales (NDT). Se determinó por medio de la ecuación así:

$$\% \text{ NDT} = \sum P.D. = (\text{PC} + \text{F.C.} + \text{ELN} + (\text{EE} * 2.25))$$

PC = Proteína Cruda

P.D = Principio Digestible

F.C. = Fibra Cruda

ELN = Extracto Libre de Nitrógeno

E.E = Extracto Etéreo

5.8 ASPECTOS SANITARIOS

Para efectuar este trabajo, se llevó a cabo el lavado y desinfección de los equipos con un producto a base de yodo, luego se procedió a la limpieza de pisos, paredes y techo utilizando agua a presión y cepillo.

Al iniciar las etapas de experimentación y previo diagnóstico, los animales se desparasitaron con un producto comercial a partir de Fenbendazole para el control de parásitos gastrointestinales.

5.9 ANÁLISIS ECONÓMICO

5.9.1 Análisis parcial de costos. Para determinar los costos reales y los beneficios económicos, se tuvo en cuenta los costos fijos y los costos variables.

Se realizó un análisis económico para observar la productividad para producir un kilogramo de alimento para cada uno de los tratamientos empleados.

- **Costos fijos.** Representa aquellos bienes adquiridos por la empresa, no con el ánimo de venderlos sino dedicarlos a la explotación de la empresa.
- **Costos variables.** Son aquellos costos que cambian de acuerdo a la producción de la explotación.

6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. PRUEBA AGRONÓMICA

Los resultados para las variables evaluadas en el forraje hidropónico de trigo y cebada, en condiciones de fertilización orgánica y mineral se pueden observar en la Tabla 5.

Tabla 5. Prueba agronómica para forraje hidropónico

Variable	Hidropónico trigo con fertilización mineral T1	Hidropónico cebada con fertilización orgánica T2	Hidropónico trigo con fertilización orgánica T3	Hidropónico cebada con fertilización mineral T4
MS/bandeja (kg)	1,35A	1,3A	1,12B	1,082B
IAF	11,25A	10,59A	9,8A	8,16B
Altura (cm)	24,04A	19,89B	25,07A	19,84B
Cobertura (%)	96,18A	95,57A	96,27A	96A

* Letras iguales en la fila no presentan diferencias estadísticas significativas

6.1.1 Producción de materia seca. En la Tabla 5, se muestran los resultados presentados en producción de materia seca. El análisis de varianza (Anexo 3) y la prueba de Tukey (Anexo 4), indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) para los tratamientos T1 con 1,35 kg/bandeja y T2 con 1,30 kg/bandeja, respecto a los tratamientos T3 y T4 donde fue menor con 1,12 kg/bandeja y 1,08 kg/bandeja respectivamente.

La producción de materia seca fue mayor para el forraje hidropónico de trigo fertilizado con solución mineral, este resultado es probable que se deba; primero, a la existencia de una relación directa entre el suministro de nutrientes especialmente el nitrógeno, la eficiencia que la planta hace de la fotosíntesis y los demás procesos metabólicos, y segundo, por las características fisiológicas de la planta que la diferencian de otros cereales Este efecto es consecuente con el resultado presentado en variables como índice de área foliar, altura y cobertura.

Bianchini⁵³, menciona que: la fertilización produce un rápido crecimiento y un aumento de la producción en materia seca, variando la respuesta básicamente, de acuerdo a la fuente de nitrógeno empleada al momento de la aplicación, a la dosis, al contenido de humedad y a los nitratos presentes.

Para Bidwell:

El nitrógeno ingresa a la formación de los aminoácidos, luego éstos entran en la síntesis de los polipéptidos, hormonas, la clorofila y las proteínas del vegetal. La molécula de la clorofila es la determinante del proceso fotosintético; cuando hay suficiente nitrógeno se produce: mayor cantidad de clorofila se incrementa la asimilación y síntesis de productos orgánicos, con lo que se obtiene mayor vigor vegetativo que se manifiesta por el aumento de velocidad de crecimiento determinado por un aumento de volumen y peso⁵⁴.

Según urbano:

La síntesis del material vegetal, que normalmente viene acompañada de un cambio de forma y un aumento irreversible de la masa del organismo, aumento de la longitud o de los diámetros del cuerpo del vegetal y su aumento en peso, el crecimiento de las diferentes partes de la planta suele determinarse por la altura, el área foliar o el peso seco, en relación con el tiempo transcurrido durante el ciclo de vida⁵⁵.

En tanto que Clavijo, citado por Cantarero y Martínez, Indica que: “el rendimiento es el producto de la radiación interceptada por el follaje durante el ciclo, su conversión en biomasa a través de la fotosíntesis y la distribución en materia seca hacia la producción cosechada”⁵⁶.

Bernal, hace referencia:

⁵³BIANCHINI, Joaquín. Nutrición de verdes y pasturas. En: Segundo congreso nacional de conservación y uso de forrajes. [On line]. [Citado el 12 de octubre 2010]. Disponible en internet http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y.../34-nutricion.pdf

⁵⁴ BIDWELL, R. G. S. 1990. Fisiología Vegetal. A.G.T. Editor. pp. 245-292

⁵⁵ URBANO GONZALES, Juan Fernando. Utilización de los germinados de maíz (*Zea mayz*) y trigo (*Triticum spp*) en alimentación de animales no rumiantes. Monografía presentada como requisito parcial para optar el título de Especialista en Producción de Recursos Alimentarios para Especies Pecuarias. Vicerrectoría de Investigaciones, Posgrados y Relaciones Internacionales. Facultad de Ciencia Pecuarias. Universidad de Nariño. 2012. p, 23

⁵⁶ CANTARERO HERRERA, Rodríguez José y MARTINEZ TORRES, Martin Alejandro. Evaluación de tres tipos de fertilización (gallinaza, estiércol vacuno y un fertilizante mineral) en el cultivo de maíz (*Zea Mayz*) variedad NB-6. Universidad Nacional Agraria. Facultad de Agronomía. Managua Nicaragua. 2002. p, 26

Las especies forrajeras, particularmente las gramíneas, responden muy bien a la fertilización, esta respuesta positiva se debe al nitrógeno; sin embargo, la mayor cantidad de forraje producido lleva necesariamente a una mayor extracción o demanda de otros nutrimentos particularmente P, K, S, Mg y Ca⁵⁷.

Al respecto, Montenegro citado por Acosta y Moncayo, reporta que:

En un programa de manejo de pastos, indudablemente, la práctica de la fertilización produce resultados satisfactorios en corto tiempo, ya que aumenta la fertilidad del suelo y, por ende, la cantidad y calidad de forraje, y con ella la capacidad de sostenimiento de mayor número de animales⁵⁸.

El forraje de cebada presentó igual comportamiento, este resultado posiblemente se deba al adecuado contenido de nutrientes que presentó la fertilización orgánica al estar sometida a procesos de fermentación, lo que permitió absorber y movilizar de manera eficiente nutrientes que pudieron ser necesarios para que el forraje realice sus procesos de síntesis, captación de energía, elaboración de compuestos proteicos; además, la fisiología de la planta debió influir de alguna manera los resultados encontrados.

Gómez asevera:

Los abonos orgánicos tienen un perfil bastante diferente al de los abonos químicos. Un primer aspecto, la lenta liberación de los nutrientes almacenados, los cuales, a excepción del K, pasan a la solución del suelo a medida que el proceso de descomposición del abono avanza con el tiempo. Tienen todo el conjunto de los elementos esenciales y en gran parte de los no esenciales, y por esto puede decirse que son completos⁵⁹.

Por su parte Díaz, comenta: “los fertilizantes foliares proveniente de la fermentación de materia orgánica tiene duración ilimitada; además, al suministrarse en dosis excesiva, no quema ninguna planta. Influye en forma

⁵⁷ Bernal, Op. Cit., p. 12

⁵⁸ ACOSTA y MONCAYO, Oscar. Evaluación del pasto kikúyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst) bajo dos métodos de labranza y fertilización orgánica y/o minerales zona de ladera. Pasto Colombia 2002, 180p. Trabajo de grado (zootecnista) Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Pecuarias, Programa de Zootecnia. p.15

⁵⁹ GOMEZ, J. La materia orgánica en los agroecosistemas, Cali. Universidad Nacional Colombia. 2000, p17

efectiva en la germinación de las semillas y en el desarrollo de las plantas pequeñas⁶⁰.

Meléndez citado por Montenegro afirma:

Que la materia orgánica además de estar constituida por carbohidratos, aminoácidos, ácidos linfáticos, proteínas etc. También está formada por las llamadas sustancias húmicas, que son una serie de compuestos de alto peso molecular. Estas sustancias han sido divididas en grupos de acuerdo a su solubilidad en soluciones acidas y básicas concentradas: Ácidos húmicos y fúlvicos. Los ácidos húmicos, presentan contenidos más altos de nitrógeno, tiene el punto de equivalencia cerca de un pH de 8,0 - 9,0 los ácidos fúlvicos se distinguen de los húmicos por su coloración más clara, por el contenido relativamente bajo en carbono, una CIC de hasta 700 meq/100g de sustancia, y por su buena solubilidad en alcohol, álcalis y ácidos minerales⁶¹.

En lo referente a la semilla, Tomaso⁶², argumenta que: la cebada generalmente presenta porcentajes de materia seca más bajos que el resto de los cereales, seguida del centeno y el triticale. Pero esto es en un nivel general porque en cada especie hay diferencias marcadas entre cultivares. De acuerdo con Gómez y colaboradores, "la producción de materia seca en las plantas es el resultado neto del balance entre los procesos metabólicos básicos. La materia seca es producida en el proceso fotosintético, los productos se acumulan y son distribuidos a los diferentes órganos de la planta"⁶³.

6.1.2 Índice área foliar. En la Tabla 5, se observa que para esta variable se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas entre los tratamientos T1, con 11,25 T2 con 10,59 y T3 con 9,8; esto con respecto, al tratamiento T4, que presentó el índice más bajo con 8,16 lo que se verifica con en el análisis de varianza y la prueba de Tukey (Anexo 5 y 6).

⁶⁰ DÍAZ GONZÁLEZ, Sergio Francisco. Evaluación de producción, crecimiento y calidad de forraje verde hidropónico. (Sorghum vulgare sudangrass Hybrid) en diferentes mezclas de soluciones nutritivas orgánicas. México. 2007. Tesis presentada como requisito parcial para obtener el título de Ingeniería Agronómica. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". División de Ciencia Animal, p.52.

⁶¹ MELENDEZ, Gloria. Abonos orgánicos. Principios aplicaciones e impactos en la agricultura. San José de Costa Rica 2003 p. 6

⁶² TOMASO, Juan Carlos. Cereales forrajeros de invierno. Mejoramiento genético y manejo de cereales forrajeros de invierno. 2000. Instituto nacional de Tecnología Agropecuaria. p, 256

⁶³ GÓMEZ, Clemencia.; BUITRAGO Consuelo.; CANTE M. y HUERTAS, B. Eco fisiología de la papa (Solanum tuberosum). Revista Comalfí. 1999. p.26.

Lo anterior es debido tal vez, a que estos tratamientos llevaron a cabo de mejor manera los procesos fotosintéticos, al estar apropiadamente distribuidas las hojas sobre los tallos; éstas cuentan con los elementos necesarios para convertir de manera eficaz la energía incidente, el dióxido de carbono atmosférico, los minerales y el agua en nutrientes.

Soto⁶⁴, menciona “a un mayor índice de área foliar, aumenta el aprovechamiento de la luz incidente que la planta emplea en sus procesos de fotosíntesis para formación de tejidos”.

Igualmente, Cerón y Noguera, asevera que: “se detecto una relación directa entre el índice de área foliar y la producción de biomasa, por el hecho que un área foliar aumenta el aprovechamiento de la luz incidente que la planta utiliza en sus procesos de fotosíntesis”⁶⁵. Castro, declara que: “una vez que han aparecido las raicillas y las primeras hojas, la planta está capacitada para realizar la fotosíntesis, motivo por el cual se debe exponer a condiciones óptimas de luminosidad, oxigenación y nutrientes”⁶⁶.

Los resultados encontrados en esta investigación están acordes con los encontrados por Bernal, quien afirma: “que para gramíneas de clima frío, el índice de área foliar puede encontrarse entre 9 y 10, bajo condiciones climáticas y de fertilización adecuadas”⁶⁷.

6.1.3 Altura. Los datos obtenidos para la variable altura registrados en la Tabla 5; y según el análisis de varianza (Anexo 7) y la prueba de Tukey (Anexo 8), evidencian que existen diferencias estadísticas significativas entre los distintos tratamientos, siendo los mejores, el T3 con 25,07 cm y el T1 con 24,04 cm de altura. Siguen en su orden, el T2 con 19.89 cm y el T4 con 19.84 cm. Los resultados encontrados probablemente obedecen a las características morfológicas que presenta el cultivo del trigo durante su crecimiento y desarrollo y

⁶⁴SOTO, Luis. Digestibilidad y consumo de pasto kikuyo (*P. clandestinum* Hoehst) en ovino bajo fertilización nitrogenada. Bogotá. Colombia. 1980 p 53. Trabajo de grado (Ms cs). Universidad Nacional. Programa de Estudios para Graduados en Ciencias Agrícolas.

⁶⁵ CERON B, Johanna y NOGUERA P. Sandra. Efecto de la zeolita sobre la productividad del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoehst) bajo diferentes niveles de fertilización mineral. Pasto Colombia 2007. 84p. Tesis de grado (zootecnia). Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Pecuarias. Programa de zootecnia.

⁶⁶CASTRO MEDINA, Bernardo. Manual de procedimientos para la producción de forraje verde hidropónico. [On line]. [Actualización julio 9 de2009]. [Citado el 14 octubre de 2010]. Disponible en internet: <http://www.agromeat.com/index.php?idNews=89255>

⁶⁷BERNAL., Op. cit. p.67.

que son influenciadas por factores genéticos y medioambientales. Al respecto, León, menciona que:

El crecimiento y desarrollo de un cultivo es un proceso complejo influenciado por factores que podemos categorizar en:

- **Factores genéticos:** La duración del ciclo del cultivo y de cada una de sus etapas está fuertemente ligada a factores genéticos.
- **Factores ambientales:** La radiación solar, temperatura, manejo del cultivo, fertilización, etc⁶⁸.

El mismo autor, comenta que:

El trigo posee una raíz fasciculada, es decir, con numerosas ramificaciones, las cuales alcanzan en su mayoría una profundidad de 25 cm, llegando algunas de ellas hasta un metro de profundidad. El tallo del trigo es una caña hueca, poco ramificada, con seis nudos que se alargan hacia la parte superior, alcanzando entre 0,5 a 2 metros de altura. La hoja tiene una longitud que varía de 15 a 25 cm y de 0,5 a 1 cm de ancho. El número de hojas varía de 4 a 6 cm y en cada nudo nace una hoja⁶⁹.

En cambio Guerrero⁷⁰, sustenta que: Los tallos aéreos de la planta de cebada pueden alcanzar alturas que van desde los 50 a los 110 centímetros. Así mismo Enríquez y Narváez, sostienen que:

La cebada es una planta de hojas estrechas y color verde claro. El tallo es de porte bajo. Es planta autógama. Las flores tienen tres estambres y un pistilo de dos estigmas. Las flores abren después de haberse realizado la fecundación, lo que tiene importancia para la conservación de los caracteres de una variedad determinada⁷¹.

Igualmente, Box afirma:

⁶⁸ LEÓN, Alberto Edel. *et al.* De tales harinas, tales panes: granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica. 1a ed. Hugo Báez Editor, Córdoba. 2007. p, 480

⁶⁹Ibíd., p, 26

⁷⁰ GUERRERO GARCIA, Andrés. Cultivos herbáceos intensivos. Sexta edición. Edición Multiprensa. Impreso en España. ISBN: 84-7114-797-1. 1998. p. 167

⁷¹ ENRIQUEZ INSUASTY, Carlos Christian y NARVÁEZ VILLOTA, María Isabel. Valoración nutricional del ensilaje de dos cereales forrajeros en mezcla con raygras. tesis de grado presentada como requisito parcial para optar al título de Zootecnista. Universidad de Nariño Facultad de Ciencias Pecuarias Programa de Zootecnia. 2003. p. 70

La cebada se presenta como una planta herbácea cuyo sistema radicular fasciculado es menos desarrollado que el del trigo, estimándose que el 60% del peso radicular se localiza a los primeros 25 – 30 cm del suelo, el tallo es más flexible que el trigo, lo que le facilita una mayor sensibilidad al encamado y las hojas son algo más estrechas y de color más claro que en del trigo⁷².

Los resultados encontrados son diferentes a los reportados por Díaz⁷³, quien encontró altura de 15.5 cm a los 14 días de producción utilizando diferentes mezclas de soluciones nutritivas orgánicas a base de lombri humus. Guzmán⁷⁴, obtuvo una altura de aproximadamente 20,75 con forraje hidropónico de trigo y Triticale en varios niveles de fertilización nitrogenada. Así mismo, Cuervo⁷⁵, encontró una altura promedio para maíz hidropónico de 20,06 cm, 19.84 cm en cebada hidropónico y para trigo hidropónico 15.38 cm, en un periodo de 15 días. Sánchez⁷⁶, obtuvo una altura promedio para cebada de 30 cm, en un periodo de crecimiento de 15 días, utilizando una solución nutritiva desde el días 4 hasta el día 15.

6.1.4 Porcentaje de cobertura. En la Tabla 5, se muestran los porcentajes de cobertura para los diferentes tratamientos. El análisis de varianza (Anexo 9) y la prueba de Tukey (Anexo 10), no revelaron diferencias estadísticas significativas para ninguno de los tratamientos empleados para esta investigación.

Los resultados encontrados, fueron favorables a las diferentes fertilizaciones, posiblemente porque los nutrientes presentes en ellas, permitieron a las plantas realizar procesos de crecimiento, diferenciación, captación de energía, absorción y movilización de nutrientes, elementos necesarios para la producción eficiente de forraje.

Al respecto, Donoso, expresa que: “Las plantas que forman las coberturas naturales, influyen directamente en el crecimiento y desarrollo de los sistemas agrícolas, pues sus doseles afectan la captación directa de radiación solar, precipitación y movimiento de aire a la vez que sus sistemas radiculares ocupan

⁷² BOX, Mateo. Prontuario de agricultura. Cultivos agrícolas.. J.M. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. España. Editorial Mundi-Prensa. 2005. P, 76

⁷³ DÍAZ GONZÁLEZ, Op. Cit. p. 40

⁷⁴ GUSMAN., Óp. cit., p.84.

⁷⁵ CUERVO, P. E. Evaluación de producción y calidad de forraje verde hidropónico en maíz, cebada, y trigo bajo condiciones de invernadero. Tesis. Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila. México. 2004

⁷⁶ SÁNCHEZ, C.A. Manual técnico “Producción de forraje verde hidropónico”, Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile. 2001, p149

grandes volúmenes de suelo, absorción de agua y la redistribución de nutrientes⁷⁷. Castro menciona que: “el grano es capaz de transformarse en pocos días en una plántula, con capacidad para captar energía del sol y absorber elementos minerales de la solución nutritiva, en este estado, las plantas tanto en su parte aérea como en la zona radicular se encuentra en un crecimiento acelerado”⁷⁸.

Según Muños:

“La cobertura, elemento de la vegetación claramente moderador de los factores del clima, es importante en el porcentaje de sobrevivencia de las planta durante sus primeros días de vida. Este efecto se aprecian especialmente en las plantas con fertilización, lo cual sugiere que sin fertilización una cobertura es negativa para la sobrevivencia de las plantas por un efecto de sombra y disminución de la calidad de fotosíntesis y de competencia”⁷⁹.

6.2 PRUEBA BROMATOLÓGICA

En la Tabla 6, se detallan los datos correspondientes al análisis de los forrajes hidropónicos de cebada y trigo en condiciones de fertilización orgánica y mineral.

Tabla 6. Análisis bromatológico de forrajes hidropónicos

⁷⁷ DONOSO, C. Ecología forestal, el bosque y su medio ambiente. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile, Valdivia. 1981. p.369.

⁷⁸ CASTRO, Óp. cit., p.19.

⁷⁹ MUÑOZ GAYOSO, Rafael. Bosque; Un algoritmo heurístico para resolver la asignación de usos alternativos en aéreas rural. Vol. 23. Publicado por Universidad Austral de Chile. SSN 0304-8799. 2001. P.23.

Análisis %	Hidropónico trigo con fertilización mineral	Hidropónico cebada con fertilización orgánica	Hidropónico trigo con fertilización orgánica	Hidropónico cebada con fertilización mineral
	T1	T2	T3	T4
MS	15,18	15,49	13,51	12,68
Proteína	19,21	17,51	18,23	19,23
Fibra cruda	16,44	13,28	17,36	14,01
EE	3,96	4,64	3,88	5,12
ENN	57,56	61,26	57,81	58,28
FDN	37,7	30,62	38,77	33,77
FDA	18,89	15,59	19,24	17,15
NDT	70,80	74,44	68,17	70,51
Celulosa	13,67	9,5	14,06	11,53
Hemicelulosa	20,81	15,03	19,53	16,62
Lignina	5,22	6,09	5,18	5,61

Fuente: Laboratorio de bromatología de la universidad de Nariño

En la Tabla anterior se observa porcentajes de materia seca entre 12,68% y 15,49%, donde el mayor valor perteneció al forraje hidropónico de cebada orgánica. Estos valores concuerdan con los datos reportados por Rodríguez⁸⁰ quien menciona que “es posible obtener un contenido de materias seca dependiendo de la especie forrajera entre 12 a 18%”. Igualmente Tarrillo⁸¹, aduce “que es posible obtener valores de materia seca entres 12 - 20% en sistemas hidropónicos”.

Bernal menciona que:

“La composición química de las plantas en general está en dependencia directa de su composición vertical, así la MS puede ser mayor en aquellos forrajes con menor relación hoja:tallo, ya que los tallos están formados mayoritariamente por carbohidratos estructurales que le dan sostén y firmeza a la planta y retienen poca agua”⁸².

Los mayores contenidos de proteína fueron los que se fertilizaron con la solución nutritiva mineral, tal como se puede observar en la Tabla 6, donde los

⁸⁰ RODRIGUEZ, Silvio. Hidroponía: Una solución de producción en Chihuahua, México. Boletín informativo de la red hidroponía N° 9. Lima. Perú. 2000.

⁸¹ TARRILLO, OLIVAS, Hugo. Forraje Verde Hidropónico Maximizando el campo [On line]. Arequipa. Perú. 2009. [Citado el 27 septiembre]. Disponible en internet: <http://www.forrajehidroponico.com/art003.htm>.

⁸²BERNAL. Op.cit. p, 53

tratamientos T1 y T4 (Fertilización mineral) superaron el 19% de contenido de proteína con respecto al T2 y T3 (Fertilización orgánica) que estuvieron por debajo de este porcentaje.

Esto posiblemente se deba a que en la fertilización mineral, se presentan nitratos y fosfatos, que se encuentra en una mejor disponibilidad para la planta; lo que le permite a la planta utilizar el resto de energía en otros procesos metabólicos. Al respecto Bernal⁸³ comenta "que el nitrógeno presente en una solución nutritiva mejora la calidad de los pastos, aumenta la relación hoja: tallo y el contenido de proteína de los forrajes", y Trujillo y Uriarte expresan que "el nitrato de las plantas, requiere energía proveniente de la fotosíntesis para su reducción a amonio y síntesis de aminoácidos (a mayor luz menor contenido de nitratos); por otro lado se mejora la digestibilidad del forraje, al disminuir la proporción de pared celular y lignina"⁸⁴.

Para fibra cruda el mejor registró fue para el T3 con 17,36% seguido del T1 16,44% y T4 14,01% siendo el menor valor reportado el T2 con 13,28%. NO encontrando diferencias estadísticamente significativas.

El mejor resultado para extracto etéreo, lo obtuvo, el T1 (forraje hidropónico de cebada en fertilización mineral) seguido del T2 (forraje hidropónico de cebada con fertilización orgánica) con 5,12%, 4,64% respectivamente.

Rodríguez y Tarrillo, encontraron rangos de lípidos de cebada hidropónica entre los 2,8% y 5,37% con un periodo de producción de 12 a 15 días. Bernal reporta que: el contenido de lípidos de las hojas varía en un rango de 3 y 10%, y que generalmente declinan con la edad; estos resultados concuerdan con los datos encontrados en esta investigación.

El valor más alto obedeció, quizás a que el forraje así como el grano, pudieron contener como lo menciona Church y Pond: grasas verdaderas, esteroides de ácidos grasos, lípidos compuestos, vitaminas liposolubles, ceras, resinas y terpenos, ya que el éter utilizado en su determinación disuelve este tipo de componentes, dando un aparente contenido graso que puede eventualmente sobreestimar el valor energético.

La FDA mostró una relación directa con la FDN, observándose un similar comportamiento en las variables en estudio, el T2 con 15,59%, el T1 con

⁸³ BERNAL EUSSE, Javier. Pastos y forraje tropicales. Producción y manejo. 3ª edición. Santa fe de Bogotá, DC, Colombia. ISBN 958-9406-00-9. Pág. 81.

⁸⁴ TRUJILLO, Ana Inés y URIARTE, Gonzalo. Valor nutritivo de pasturas. [On line] Departamento de Producción Animal y pasturas. Facultad de agronomía. Universidad de la republica de Uruguay. [Citado el 25 septiembre 2010]. Disponible en internet http://prodanimal.fagro.edu.uy/.../Trujillo_Uriarte.VALOR_NUTRITIVO_PASTURAS.pdf.

17,15%, el T3 con 18,89% y finalmente el T4 con 19,24%; sin embargo, las altas cantidades de FDA en los forrajes de trigo, probablemente se deban a la presencia de contenidos minerales adheridos a la pared celular como silicatos, aumentado así, la proporción de lignina.

La pared celular, representada por la FDN, presentó un valor de 38,77% para trigo con fertilización orgánica, valor que resulta superior al de trigo con fertilización mineral (33,77%) y la cebada fertilizada orgánicamente (30,62%). Estos resultados son diferentes a los de Vargas⁸⁵, quien comparó forrajes hidropónicos de arroz, maíz y sorgo y encontró valores para FDN de 58,25%, 43,13% y 66,66%; igualmente Herrera⁸⁶, obtuvo 46,6% para forraje hidropónico detrito en 12 días de crecimiento, valores que resultaron ser diferente a los encontrados en esta investigación.

Gomes⁸⁷, encontró valores para FDA en forraje hidropónico de maíz y sorgo de 13,0% y 22,23; igualmente, Vargas⁸⁸, encontró rangos para FDA entre 18 y 45%; también, Espinosa⁸⁹ et al., reporta valores para maíz hidropónico entre 14,62% y 29,06% utilizando macro y micronutrientes como solución nutritiva; resultados considerados como buenos para la alimentación animal. Al respecto, Gidenne, menciona que: “en dietas bajas en FDA se incrementa la degradabilidad de la fibra por el aumento en el tiempo de retención en el segmento coleo-cecal”⁹⁰.

6.3 PRUEBA DE DIGESTIBILIDAD

⁸⁵ VARGAS RODRIGUEZ, Claudio Fabián. Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. *Agronomía Mesoamericana*. Vol 19. ISBN 1021 – 7444. Costa Rica. 2008. p233 – 240.

⁸⁶ HERRERA TORRES, Esperanza; CERRILLO-SOTO, María Andrea; JUÁREZ REYES *et al.* Efecto del tiempo de cosecha sobre el valor proteico y energético del forraje verde hidropónico de trigo. *Asociación Interciencia*. ISSN 0378-1844. Vol. 35, Núm. 4, abril, Venezuela 2010, p286.

⁸⁷ GÓMEZ BURNEO, Juan Martín. Evaluación de la producción y la composición nutricional de tres tipos diferentes de forraje hidropónico. Madrid. 2008. Para optar el título de Ingeniero agrónomo. Carrera en ciencias y producción agropecuaria. Escuela Técnica Superior de Ingenieros agrónomos.

⁸⁸ VARGAS, Op. cit. p,237.

⁸⁹ ESPINOZA, Freddy; ARGENTI, Patricia, *et al.* Uso del forraje de maíz (*Zea mays*) hidropónico en la alimentación de toretes mestizos. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Producción Animal. Caracas. Venezuela. 2004. p303.

⁹⁰ GIDENNE, Thierry. Efecto del nivel de fibra, tamaño de partícula y el período de adaptación en la digestibilidad, medida en el íleon en heces de conejos adultos. *British Journal of Nutrition*. 1992 p133 – 146.

En la Tabla 8, se muestran los resultados de la prueba de digestibilidad de los nutrientes en cuanto a materia seca, proteína, fibra cruda, extracto etéreo y extracto libre de Nitrógeno (ELN).

Tabla 7. Producción de biomasa en gramos

Coefficiente de digestibilidad %	Forraje hidropónico o de trigo fertilización mineral T1	Forraje hidropónico o de cebada fertilización orgánica T2	Forraje hidropónico o de trigo fertilización orgánica T3	Forraje hidropónico o de cebada fertilización mineral T4
Periodo experimental (días)	10	10	10	10
Consumo promedio (MS g./día)	51,37	51,64	44,33	41,64
Digestibilidad de materia seca	80,01	81,41	79,88	78,02
Digestibilidad de proteína	83,15	81,45	79,35	78,54
Digestibilidad fibra cruda	43,87	66,75	47,12	58,93
Digestibilidad de extracto etéreo	84,18	86,6	84,12	84,6
Digestibilidad de ELN	92,43	85,66	84,56	85,12
% Nutrientes digestibles totales	82.45	84.26	81.54	80.62

6.3.1 Consumo de materia seca. En la tabla anterior, se muestra los consumos de materia seca y los coeficientes de digestibilidad. En el análisis de varianza y la prueba de Tukey (Anexos 11 y 12), se indican diferencias estadísticas altamente significativas para los tratamientos T2 y T1 con 51,64 g y 51,37 g respectivamente en comparación con los tratamientos T3: 44,33 g y T4 con 41,64 g.

Los mejores consumos de materia seca fueron para los forrajes de cebada y trigo en condiciones de fertilización orgánica y mineral debido posiblemente a la presencia de buenas características organolépticas como olor y sabor, a una

adecuada concentración de carbohidratos, grasas, proteína y a un buen contenido energético.

Preston y Leng, citados por Jiménez, mencionan que: “el consumo es uno de los mejores indicadores de la calidad del alimento y de su digestibilidad. El máximo nivel de consumo depende del equilibrio apropiado de sus nutrientes”⁹¹.

Montenegro, comenta que: “Uno de los factores de mayor influencia en la regulación del consumo voluntario es el contenido energético de la ración, adicionalmente este tipo de animales como conejos y cuyes consumen alimento en función de su tamaño, estado fisiológico y temperatura ambiental”⁹²

6.3.2 Digestibilidad de la materia seca. En la Tabla 7, se muestran los coeficientes de digestibilidad para los diferentes tratamientos. El análisis de varianza (Anexo 13), reveló diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos y la prueba de Tukey (Anexo 14), mostró que el tratamientos T2 posee la mayor digestibilidad con 81,41%, seguido de los tratamientos T1 con 80,01%, T3: 79,88% y el T4 con 78.02%.

El mayor coeficiente de digestibilidad encontrado puede deberse a que el forraje de cebada con fertilización orgánica presenta un adecuado equilibrio en sus diferentes componentes, especialmente en carbohidratos no estructurales como almidones y fructosas.

De acuerdo a los reportes de digestibilidad encontrados por Sagi Vela⁹³, en forraje hidropónico de cebada, la digestibilidad de materia seca puede variar entre 80 y 92%, lo cual concuerda con los resultados reportados en esta investigación.

⁹¹JIMENES, Jairo Rolando. Valoración nutritiva de granos germinados de arveja (*Pisum sativa*), trigo (*Triticum aestivum* L) y avena (*Avena sativa*) en la alimentación de cuyes tipo carne (*Cavia porcellus*) durante la fase de levante y engorde. Pasto-Colombia 2008. p 36. Tesis de grado (Zootecnista). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Pecuarias. Programa de Zootecnia

⁹²MONTENEGRO Javier. Evaluación de diferentes tipos de fertilización orgánica de pastos Bestford (*Lolium hybridum*) y valoración nutritiva en cuyes (*Cavia porcellus*) en etapa de levante. Pasto. Nariño. 2006. Para optar el título (zootecnia). Universidad de Nariño. Facultad de ciencias Pecuarias. Programa de Zootecnia. p.25.

⁹³ SAGI VELA, Luis. 1976. Revista La Serenísima, N° 35, Conferencia sobre cultivos hidropónicos. Exposición en la Bolsa de Cereales. Buenos Aires. Argentina.

Mc Donald, *et al.*, afirma que: “la digestibilidad de los alimentos guarda estrecha relación con la composición química, así mismo, menciona que en el proceso de germinación, los granos de almidón se hinchan, haciéndolos más susceptibles al ataque enzimático en el tracto digestivo”⁹⁴.

Dosal, concuerda con lo anterior al afirmar que:

La cantidad de materia seca que tiene una planta al final de un período de tiempo depende tanto del crecimiento en sí como de la cantidad de materia seca que tenía al principio del ciclo productivo. Durante la germinación existe una disminución de peso seco, debido al uso y consumo de sustancias de reserva por respiración; Luego, una vez producida la pigmentación de la planta posibilita la síntesis de sustancias orgánica⁹⁵.

Martín y Montico,⁹⁶ comentan: que la fertilización balanceada es la forma más práctica y eficiente para lograr pastos de buena calidad; también Basaure⁹⁷, menciona que “los fertilizantes activan los procesos bioquímicos en plantas (respiración, fotosíntesis, y el contenido de clorofila) e incrementan la calidad y rendimiento de los cultivos”.

6.3.3 Digestibilidad de proteína. En la Tabla 7, se muestra el coeficiente de digestibilidad para los distintos tratamientos. En el análisis de varianza (Anexo 15), reveló diferencias estadísticas significativas y mediante la prueba de comparación de medias de Tukey (Anexo 16), se encontró que el T1 posee la mejor digestibilidad con 83,15%, seguido en su orden el T2 con 81,45%. Los menores fueron para los tratamientos T3 y T4 con promedios de 79,35% y 78,54% respectivamente.

El forraje de trigo con fertilización mineral obtuvo el mejor resultado, debido tal vez a una mejor asimilación de algunos compuestos nitrogenados contenidos en granos, hojas y tallos, lo que pudo favorecer la descomposición de cadenas complejas de proteína en aminoácidos libres. Para Trujillo, “la fertilización nitrogenada tiene un efecto positivo sobre la producción de materia seca y el contenido de proteína. Los aminoácidos y las proteínas son sintetizados a partir de los azúcares por lo tanto los carbohidratos solubles disminuyen”⁹⁸; el mismo

⁹⁴ MC. DONALD, O. L. *et al.* Nutrición Animal. 3 ED. Zaragoza, España, ACRIBIA, 1986. p.270.

⁹⁵ DOSAL, Op cit. p. 89.

⁹⁶ MARTIN Beatriz y MONTICO, Sergio. Fertilización foliar en pasturas—Una alternativa. Cátedra de tierra. Universidad Nacional de Rosario. Argentina.

⁹⁷ BASAURE, Patricio. Ácidos húmicos. [On line]. [Citado el 7 de octubre 2010]. Disponible en internet en <http://www.manualdelombricultura.com>.

⁹⁸ TRUJILLO, Ana Inés y URIARTE, Gonzalo. Valor nutritivo de pasturas. [On line] Departamento de Producción Animal y Pasturas. Facultad de Agronomía. Universidad de la República de

autor⁹⁹, comenta que: “estos nutrientes se encuentran distribuidos en las diversas áreas del grano de trigo, y algunos se concentran en regiones determinadas. El almidón está presente únicamente en el endospermo, la fibra cruda está reducida casi exclusivamente al salvado y la proteína se encuentra por todo el grano”. Además Maynard, sostiene que: “la digestibilidad de la proteína se complementa cuando la composición química del alimento favorece la digestión, por el equilibrio nutricional que independientemente de su contenido proteico bruto, cobra mayor importancia a la variedad de aminoácidos que hagan parte de este¹⁰⁰” y finalmente para Carabaño¹⁰¹, argumenta que alimentando conejos “El trigo y la avena presentan los valores más altos de digestibilidad de la proteína (77 y 75% respectivamente), mientras que en la cebada, el maíz y el sorgo los valores son del orden de 10 a 15 puntos inferiores”.

Para el tratamiento T2 (forraje hidropónico de cebada con fertilización orgánica), el resultado presentado demuestra que el porcentaje de proteína es inferior al trigo, lo que indica que la proteína aportada por este forraje fue aprovechada en gran proporción por el animal gracias a bacterias de tipo proteolítica contenidas en el aparato digestivo del cuy.

En este sentido, Beauchemin y colaboradores reportan: “El bajo contenido de proteína del grano de cebada, debe estar conectado con la capacidad del mismo para producir, durante la germinación una suficiente capacidad de enzimas y de aminoácidos libres”¹⁰². Así mismo, Roborgh y Zwiép¹⁰³, hacen referencia: “que la fibra puede aumentar el nitrógeno metabólico fecal, acelera la digestión del tránsito intestinal y por lo tanto disminuye el tiempo del contacto del bolo con los jugos pancreático”; y según Aliaga, “la composición química del alimento, y en especial su relación energía - proteína pudo haber favorecido su digestión, ya que el balance entre la fracción nitrogenada y glúcidos es decisiva en el aprovechamiento de los componentes proteicos del alimento”¹⁰⁴.

Uruguay. [Citado el 25 septiembre 2010]. Disponible en internet http://prodanimal.fagro.edu.uy/.../Trujillo_Uriarte.VALOR_NUTRITIVO_PASTURAS.pdf

⁹⁹ Ibid., p45

¹⁰⁰ MAYNARD, A. L. Nutrición animal. Traducida de la 4ª edición Inglesa por Eduardo Escalona. México. 1981, p.515.

¹⁰¹ CARABAÑO, Op. cit. p, 5

¹⁰² BEAUCHEMIN, KA; MCALLISTER T.A. *et al.* Efectos de la masticación en la digestión de los granos de cereal enteros por el ganado. J. Anim. Ciencia. 1994. p. 72

¹⁰³ ROBORGH, J. R. y ZWIEP, N. Nutrición animal. Sevilla Universidad de Madrid 1990. p85

¹⁰⁴ ALIAGA, Luis. Producción de cuyes. Ed: UNCP, Huancayo Perú 1979. 82p

6.3.4 Digestibilidad de fibra cruda. En la Tabla 7, se observa que se presentan diferencias estadísticas altamente significativas entre los tratamientos, siendo el mejor, el T2 con 66,75%, seguido de los tratamientos T4 (58,93%), T3 (47,12%) y finalmente el tratamiento T1 con 43,87% quien presento el menor valor, respaldado por el análisis de varianza (Anexo 17) y la prueba de Tukey (Anexo 18).

Este coeficiente de degradabilidad de la fibra cruda para la cebada orgánica es atribuido quizás al alto contenido de fibra que posee este cereal, gracias a sus características físicas, que al ser sometidas a procesos de germinación, diferenciación y crecimiento favorecen los contenidos de carbohidratos estructurales, lo que puede aumentar el tiempo de retención y la degradación de los microorganismos presentes en el animal.

En este sentido Córdoba y Ramírez, mencionan que:

La cebada contiene una elevada proporción de hidratos de carbono (67%) y un alto contenido de fibra. En los últimos años su consumo ha decrecido y ha pasado a utilizarse básicamente como comida para animales. La cebada entera es la que aporta un contenido nutricional más alto; varios de sus productos como la paja y el heno tienen valor en dietas para animales¹⁰⁵. Beauchemin¹⁰⁶, argumenta que: la cebada tiene un casco fibroso, y requiere de alguna forma de tratamiento para una mejor utilización”. Contreras, también afirma que: “la fibra se considera un reflejo del contenido de celulosa, que es el componente esencial de las hojas y de los tallos de todos los cereales, así como de otros muchos tejidos vegetales”¹⁰⁷ y Box expresa: “el grano tiene unas características anatómicas parecidas al del trigo pero el de la cebada es vestido y permanece inserto entre las envueltas de la flor (glumillas) después de la cosecha”¹⁰⁸.

El menor resultado encontrado para el forraje de trigo mineral podría deberse posiblemente a la presencia de mayores contenidos de sílice y otros silicatos unidos a la pared celular, que impidió la acción fermentativa de los microorganismos.

Según, Parra *et al.*, indican:

¹⁰⁵ CORDOBA G. Jorge y RAMIREZ, C. Piero. Actividad agrícola: la cebada. [On line]. Lima. 2006. [Citado abril 2 de 2012]. p.2. Disponible en internet: <http://www.monografias.com/trabajos35/la-cebada/lacebada/shtml>

¹⁰⁶ BEAUCHEMIN, Op cit, p. 45

¹⁰⁷ CONTRERAS, Rafael. El cultivo de la cebada en Colombia. Bogotá ICA, 1972. p, 23

¹⁰⁸ BOX. Op. Cit., p 17

Que sólo una porción de la fracción de lignina, aquella que es indigestible, afecta a la digestibilidad de los componentes fibrosos. Estos resultados parecen indicar la presencia de diferentes tipos de lignina que a su vez varían en cuanto a su grado de relación con la fibra. La forma física de asociación de la lignina con los otros componentes de la pared celular es un aspecto importante en su efecto sobre la digestibilidad¹⁰⁹.

Al respecto Montenegro, señala que:

El factor principal al determinar la digestibilidad de la pared celular de la planta es la calidad de lignina y su distribución y asociación con otros componentes de la pared celular. La correlación nutritiva entre el contenido de lignina y la digestibilidad es estrechamente fuerte, pero hay diferencias entre las clases de plantas, entre especies y variedades¹¹⁰.

6.3.5 Digestibilidad extracto etéreo. En la Tabla 7, se muestra el resumen de los datos obtenidos para esta variable. El análisis de varianza (Anexo 19) reveló diferencias estadísticas significativas y mediante la prueba de comparación de medias (Anexo 20), se encontró que el T2 presentó la mayor digestibilidad con 86,60%, seguidos de los tratamientos T4, T1 y T3 con 84,59%, 84,18%, 84,12% respectivamente.

Este resultado permite aseverar que el forraje hidropónico de cebada orgánica, es un alimento de buena calidad que contiene un balance adecuado de ácidos grasos, ceras y esteroides encargados de mantener niveles energéticos estables, lo que puede aumentar la digestión de otros compuestos nutritivos.

Según el Centro Nacional de Producción más Limpia: La cebada contiene grasas (ácidos grasos libres, grasa neutra, lecitina y colesterolina) en una proporción que varía entre 2 y 3 %, están almacenadas en la capa de aleurona y en las células del escudete. Además contiene amilasa α y β y gomas¹¹¹. Igualmente Cadena, et al., manifiesta que: "la presencia de pequeñas cantidades de grasa favorece la

¹⁰⁹ PARRA Rafael, COMBELLAS Jimena y ENRIQUE GONZÁLEZ Jaime. Composición y valor nutritivo de forrajes. Instituto de Producción Animal, Facultad de Agronomía, Producidos en el trópico. Fracciones químicas que afectan la disponibilidad de los componentes fibrosos. En: Revista Científica Agronomía Tropical. Venezuela [On line]. [Citado al 9 septiembre 2010]. Disponible en internet: [http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_ci/Agronomia Tropical](http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_ci/Agronomia%20Tropical)

¹¹⁰ MONTENEGRO, Óp. cit., p.40.

¹¹¹ CENTRO NACIONAL DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA. En: Red interinstitucional de tecnologías limpias. Medellín Colombia. 2012. [Última actualización 4 de agosto de 2006]. Disponible en internet: www.cnpml.org

digestión de los principios orgánicos, particularmente la proteína¹¹². Palmquist, sostiene que: “Los lípidos de forrajes, cereales y semillas quedan expuestos a la acción microbiana, cuando la matriz vegetal ha sido masticada y degradada. La actividad lipolítica se ve influenciada por el estado de madurez del forraje, el contenido en nitrógeno y el tamaño de las partículas alimenticias”¹¹³.

6.3.6 Digestibilidad del extracto libre de nitrógeno (ELN). En la Tabla 7, se observa que los datos obtenidos para esta variable, indican diferencias estadísticas altamente significativas para el tratamiento T1 con 92,43%, respecto a los tratamientos T2, T3, T4 con 85.66%, 84.56% y 85.12% respectivamente. Donde el análisis de varianza (Anexo 21) y la prueba de Tukey (Anexo 22) son soporte de esto.

Los resultados de la investigación permiten deducir que el forraje hidropónico de trigo con fertilización mineral presentó el mejor resultado, debido tal vez, a las características propias de la semilla que al ser sometida a procesos de germinación puede obtener mayores contenidos de almidones y fructosas, amidas y nitratos que son almacenados en tallos y hojas, lo cual hace que las bacterias del ciego, prefieran degradar estos componentes, promoviendo así una eficiente fermentación.

Para Carabaño,

El contenido en almidón de los cereales es alto y oscila entre 40 a 70%. Los valores más bajos corresponden a los granos vestidos donde las cubiertas externas del grano suponen un peso entre el 5 - 7% para avena y cebada, respectivamente y los más altos a los que se denominan granos desnudos (30 y 18% para el maíz, trigo y sorgo)¹¹⁴. Igualmente, sostiene: de los granos de cereales comunes, el maíz, el sorgo y el trigo presentan el mayor contenido en almidón, en tanto que la avena y la cebada contienen menor cantidad y mayor contenido de pentosas y celulosa¹¹⁵.

Bondi¹¹⁶, señala que: “el elevado contenido de extractos libres de nitrógeno (principalmente almidón), es característico de la mayoría de los cereales, principal

¹¹² CADENA, M., DUARTE, A., y PELAEZ. Formación Abierta y a Distancia. SENA. Bogotá. Colombia. 1985

¹¹³ PALMQUIST. D.L. Utilización de grasas en dietas para rumiantes. XII curso de especialización FEDNA. [On line]. [citado el 9 septiembre 2010]. Disponible en internet: <http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/96capitulolIII.pdf>

¹¹⁴ CARABAÑO, Op. cit., p. 21.

¹¹⁵ *Ibíd.*, p. 22.

¹¹⁶ BONDI, Aron. Nutrición Animal. Zaragoza: Acribia, 1988. p.9.

carbohidrato de reserva”; y Zarate, reporta que: “el forraje verde contiene hasta un tercio de nitrógeno no proteico, ya sea, en forma de amidas, sales amoniacales, aminoácidos libres y nitratos. Estos compuestos se encuentran en mayor concentración en las hojas tiernas o zonas de crecimiento rápido de los pastos; igualmente sucede en las semillas en periodo de formación¹¹⁷”.

Por otra parte Mc Donald, comenta que: en el intestino grueso de animales monogástricos, sobre todo en el ciego, hay actividad microbiana. Estas bacterias son en su mayoría de tipo proteolítico y atacan a las proteínas no digeridas, produciendo una serie de compuestos tales como ácidos grasos, escotól, índol y aminoácidos¹¹⁸.

6.3.7 Nutrientes digestibles totales (NDT). En la Tabla 7, se muestra el resumen de nutrientes digestibles totales para este ensayo. El análisis de varianza (Anexo 23) y la prueba de Tukey (Anexo 24), indican diferencias estadísticas altamente significativas en donde el mejor tratamiento fue para el T2 con 84.26%,

Este resultado permite aseverar que la cebada puede mostrar un mayor contenido energético posiblemente debido a un apropiado equilibrio de nutrientes presentes tanto en la semilla como en la planta, esto sumado a una mejor utilización digestiva del almidón por parte del animal lo que le permitió, tal vez, aprovechar de forma más eficiente los nutrimentos que este necesita para su normal desarrollo.

En este sentido Izquierdo, menciona que: “Su valor nutritivo lo obtiene debido a la germinación de granos, en general, el grano contiene una energía digestible algo superior (3.300kcal/kg) que el forraje hidropónico (3.200 kcal/kg); sin embargo los valores reportados de energía en forrajes hidropónicos son ampliamente variables, en el caso particular de la cebada se aproximan a los valores encontrados para el alimento comercial especialmente por su valor energético y apropiado nivel de digestibilidad”. También Cheeke, afirma que: “La determinación de los NDT se basa en la supuesta equivalencia de los carbohidratos, proteínas y lípidos como fuente de energía, por lo que el valor final de NDT está en dependencia de su aparente utilización o biodisponibilidad de los nutrientes en forma global”¹¹⁹.

¹¹⁷ ZARATE TINOCO, Erika Geraldine. Acido gástricos. [On line]. 2ª edición. Perú 2009. [citado el 10 septiembre 2010]. Disponible en internet>><http://www.monografias.com>

¹¹⁸ Mc DONALD., Óp. Cit. p.42.

¹¹⁹ CHEEKE, Op. Cit. p, 56

6.4 ANALISIS ECONÓMICO

En la Tabla 8, se muestra los costos de producción de los 4 tratamientos evaluados. Los costos de producción (Anexo 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32) se realizaron con base en los costos fijos y costos variables por cada tratamiento.

Tabla 8. Costos de producción

DETALLE	Forraje hidropónico de trigo con fertilización mineral T1	Forraje hidropónico cebada con fertilización orgánica T2	Forraje hidropónico de trigo con fertilización orgánica T3	Forraje hidropónico de cebada con fertilización mineral T4
Costos fijos/año				
Depreciación equipos (5 años)	23.215	23.215	23.215	23.215
Mano de obra (Jornal)	456.250	456.250	456.250	456.250
Imprevistos (5%)	23.973	23.973	23.973	23.973
Total costos fijos (\$)	503.438	503.438	503.438	503.438
Costos variables/año				
Semilla 1,5Kg	22.599	18.225	22.599	18.225
Solución nutritiva	6.823	19.289	19.289	6.823
Imprevistos (5%)	1.471	1.876	2.094	1.252
Total costos variables (\$)	30.894	39.390	43.983	26.301
Costos totales de producción (\$)	534.332	542.828	547.421	529.739
Kg/ms/año	32,8	31,59	27,21	26,24
Valor/kg MS/año	16.291	17.184	20.118	20.188
Periodos/año	24	24	24	24
Costo Kg/ms/periodo	\$670	\$707	\$828	\$831

En el análisis económico se encontró que el menor costo correspondió al tratamiento T1 (forraje hidropónico de trigo con fertilización mineral) por un valor de \$670/kg de materia seca; seguido del T2 (hidropónico de cebada con fertilización orgánica), con \$707, estos resultados obedecieron posiblemente a un menor costo de producción y al mayor rendimiento en cuanto a kilogramo de materia seca producido.

Por otra parte los tratamientos T3 y T4, presentaron el mayor costo debido tal vez a los altos costos de producción que involucra producir un kg de forraje hidropónico orgánico; sin embargo, cabe anotar que si el productor realiza su propio abono foliar puede reducir los costos considerablemente.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos en el presente estudio a través de los objetivos trazados, se concluye que:

- En la prueba agronómica el mejor resultado fue para la aplicación de fertilización mineral sobre el forraje hidropónico de trigo, seguido de la fertilización orgánica de cebada, resultado que demuestra las excelentes bondades de la utilización de fertilizantes foliares en la producción de cultivos hidropónicos.
- Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la prueba de bromatología, se encontró que no existen diferencias marcadas para los tratamientos empleados, razón por la cual se puede concluir que su contenido nutricional está influenciado por factores intrínsecos (características morfológicas y taxonómicas) y extrínsecos (factores medioambientales).
- Los forrajes hidropónicos es una fuente importante en proteína, carbohidratos, fibra, ELN Y NDT, por lo tanto se convierte en una alternativa confiable para ser suministrado a los animales en periodos secos, logrando obtener un suministro constante de forraje durante todo el año.
- El costo promedio por kg de forraje se vio afectado por el costo del fertilizante, obteniendo el mejor resultado para el tratamiento forraje hidropónico de trigo con fertilización mineral con \$670 seguido del forraje hidropónico de cebada con fertilización orgánica con \$707.

RECOMENDACIONES

- Promover la utilización de forraje hidropónico especialmente de trigo y cebada en fertilización orgánica, puesto que además de proporcionar un alimento de alta digestibilidad es una excelente fuente de vitaminas y minerales.
- Para optimizar el consumo de forrajes hidropónicos de trigo y cebada, estos deben estar en excelentes condiciones, ya que a los primeros signos de deficiencia en la calidad los animales suspenden su consumo.

- Se recomienda que el forraje hidropónico sea utilizado solo como complemento en la alimentación animal tanto en monogástricos como en rumiantes y sobre todo en épocas de escasez de forraje.
- Promover la fertilización foliar orgánica como una alternativa viable para incrementar la producción forrajera.
- Elaborar fertilizantes foliares con recursos de la propia finca con el propósito de reducir costos de producción.

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA y MONCAYO, O. Evaluación del pasto kikúyo (*Pennisetum clandestinum* *Hoechst*) bajo dos métodos de labranza y fertilización orgánica y/o minerales zona de ladera. Pasto Colombia 2002, 180p. Trabajo de grado (zootecnista) Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Pecuarias, Programa de Zootecnia. p.15

ADANI, F., GEVEVINI, P. Y ZOCCHERO, G. El efecto del ácido húmico comercial en el crecimiento de plantas de tomate y nutrición minera. En: Nutrición de plantas. Universidad de Alicante. España. 1998. p561

AGROMEAT. Manual de forraje hidropónico. [On line]. Argentina, [actualización septiembre 7 de 2009]. [citado 02 octubre 2010. 14:54] Disponible en internet: <http://www.agromeat.com/index.php?idNews=89255>

ALIAGA, L. Producción de cuyes. Ed: UNCP, Huancayo Perú 1979. p82

ARANO, C. Forraje verde hidropónico y otras técnicas de cultivos sin tierra. Prov. de Buenos Aires, Argentina. 1998. p35

BASAURE, P. Ácidos húmicos. [On line]. [Citado el 7 de octubre 2010]. Disponible en internet en <http://www.manualdelombricultura.com>

BERNAL, J. Fertilización de pastos mejorados. Fertilización de cultivos de clima frío. Bogotá Colombia. Monómeros Colombo-Venezolanos. 1998

BERNAL, J. Pastos y forraje tropicales. Producción y manejo. 3ª edición. Santa fe de Bogotá, DC, Colombia. ISBN 958-9406-00-9. p.81.

BERNAL, J. Pastos y forrajes tropicales. 3ª edición, Bogotá, Colombia. Buda.1994. p44

BEAUCHEMIN, K; MCALLISTER T. Efectos de la masticación en la digestión de los granos de cereal enteros por el ganado. J. Anim. Ciencia. 1994. p. 72

BIANCHINI, J. Nutrición de verdeos y pasturas. En: Segundo congreso nacional de conservación y uso de forrajes. [On line]. [Citado el 12 de octubre 2010]. Disponible en internet [http:// www.produccion-animal.com.ar/produccion_y.../34-nutricion.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y.../34-nutricion.pdf)

BIDWELL, R. Fisiología Vegetal. A.G.T. 1990. Editor. pp. 245-292

BONDI, A. Nutrición Animal. Zaragoza: Acribia, 1988 p.9 – 46

BONGHAM, E. Guía para compostaje y manejo de suelos, Bogotá Colombia, Ed Espinos 2003. Serie ciencias y tecnología. p432

BOX, M. Prontuario de agricultura. Cultivos agrícolas. J.M. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. España. Editorial Mundi-Prensa. 2005. P, 76

BRAVO, Miguel. Niveles de avena hidropónica en la alimentación de conejos Angora. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de Concepción, Sede Chillán. Chile.1998

BUSTAMANTE, V. Manejo de fertilizantes y abonos orgánicos. Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción del Trópico Húmedo de Tabasco. Primera edición 2000. ISBN 968-839-281-2. P.17

CABRERA, C. Evaluación de tres variedades de maíz (Zea mayz L.) en condiciones hidropónicas en el corregimiento de la laguna, municipio de Pasto, Departamento de Nariño. 2005. Pasto (Nariño.) Pág. 19. Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas. Programa de Ingeniería Agronómica

CADENA, M., DUARTE, A., y PELAEZ. Formación abierta y a distancia. SENA. Bogotá. Colombia. 1985

CAICEDO, A. Experiencias investigativas en la producción de cuyes. Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Pecuarias. Pasto, Colombia, 1993. pág. 235

CALERO DEL MAR, B. 1978. El cuy (Cavia pocellus). Introducción a la cuyicultura. Cusco Perú. Primera Edición. Editorial Garcilaso. p.281

CANTARERO, Jy MARTINEZ, M. Evaluación de tres tipos de fertilización (gallinaza, estiércol vacuno y un fertilizante mineral) en el cultivo de maíz (Zea Mayz) variedad NB-6. Universidad Nacional Agraria. Facultad de Agronomía. Managua Nicaragua. 2002. p, 26

CARABAÑO, R. Valor nutricional de cereales en conejos. [On line] Departamento de producción animal. U.P. Madrid. [Citada 4 sep. 2009]. XI Curso especialización FEDNA disponible en internet: <http://www.docstoc.com/docs/3271513/valor-nutritivo-de-los-cereales-en-conejos-valor-nutritivo-de>

CARBALLIDO, C. Hidroponía. Forraje verde hidropónico. [On line]. México. Licols. [Actualización 17 septiembre 2006]. [Citado 10 de octubre 2010]. Artículos silvopastoriles. Disponible en Internet: [www.usuarios.licols.es/forraje hidropónico](http://www.usuarios.licols.es/forraje_hidropónico)

_____ Forraje Verde Hidropónico, Cómo realizar el cultivo, mejora la salud animal. [On line]. [Actualización 26 de Julio del año 2007]. [Citado el 7 septiembre 2010]. Disponible en internet: [->http://www.seragro.cl](http://www.seragro.cl)

CASTRO, B. Manual de procedimientos para la producción de forraje verde hidropónico. [On line]. [Actualización julio 9 de 2009]. [Citado el 14 octubre de 2010]. Disponible en internet: <http://www.agromeat.com/index.php?idNews=89255>

CEGARRA, J. Compostaje de desechos orgánicos y criterios de calidad del compost. En: Memorias: 7 Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. SCCS. Bucaramanga. 1994. pp. 22-30.

Centro Nacional de Producción Más Limpia. En: Red interinstitucional de tecnologías limpias. Medellín Colombia. 2012. [Última actualización 4 de agosto de 2006]. Disponible en internet: <http://www.cnpml.org>

CERON, J y NOGUERA , S. Efecto de la zeolita sobre la productividad del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst) bajo diferentes niveles de fertilización mineral. Pasto Colombia 2007. 84p. Tesis de grado (zootecnia). Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Pecuarias. Programa de zootecnia

CHEN, Y y AVIAN, T. Efecto de sustancias húmicas en plantas de crecimientos. En: Sustancias húmicas en suelos y ciencia de cultivo. Selección de lectura. Sociedad Agronómica Americana y Sociedad en Ciencias en Suelos (Eds). Madison. Wisconsin. USA. p.161.

CORDOBA, J. y RAMIREZ, P. Actividad agrícola: la cebada. [On line]. Lima. 2006. [Citado abril 2 de 2012]. p.2. Disponible en internet: <http://www.monografias.com/trabajos35/la-cebada/lacebada/shtml>

CONTRERAS, R. El cultivo de la cebada en Colombia. Bogotá ICA, 1972. p, 23

CHURCH, D. y POND, W. Fundamentos de nutrición y alimentación animal. 6 Ed: México: UTEHA, 1988, p.43

DÍAZ, S. Evaluación de producción, crecimiento y calidad de forraje verde hidropónico. (*Sorghum vulgare sudangrass Hybrid*) en diferentes mezclas de soluciones nutritivas orgánicas. México. 2007. Tesis presentada como requisito parcial para obtener el título de Ingeniería Agronómica. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". División de Ciencia Animal. p52

DONOSO, C. Ecología forestal, el bosque y su medio ambiente. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile, Valdivia. 1981. p369

DOSAL, A. Efecto de la dosis de siembra, época de cosecha y fertilización sobre la calidad y cantidad de forraje de avena producido bajo condiciones de hidroponía. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de Concepción, Sede Chillán. Chile. 1987

ELIZONDO, J. Forraje verde hidropónico. Una alternativa para la alimentación animal. En: revista ECAG. 2005. p36

ENRIQUEZ, C. y NARVÁEZ, M. Valoración nutricional del ensilaje de dos cereales forrajeros en mezcla con Raygras. Tesis de grado presentada como requisito parcial para optar al título de Zootecnista. Universidad de Nariño Facultad de Ciencias Pecuarias Programa de Zootecnia. 2003. p. 70

ESPINOZA, F; ARGENTI, P. Uso del forraje de maíz (*Zea mayz*) hidropónico en la alimentación de toretes mestizos. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Producción Animal. Caracas. Venezuela. 2004. p303

ESTRADA, J. Pasto y forrajes para el trópico colombiano. Primera edición. Manizales: Universidad de Caldas. Centro editorial 2002. P 491

ESTRADA, B. Evaluación del efecto de tres fertilizantes foliares orgánicos en el rendimiento del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en la aldea Macanché, Flores, Petén. Investigación EPSA. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de agronomía. 1993. p41.

GÓMEZ, J. Evaluación de la producción y la composición nutricional de tres tipos diferentes de forraje hidropónico. Madrid. 2008. Para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Carrera en Ciencias y Producción Agropecuaria. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos

GÓMEZ, C.; BUITRAGO, C.; CANTE, M. y HUERTAS, B. Ecofisiología de la papa (*Solanum tuberosum*). Revista Comalfi. 1999. p.26.

GOMEZ, J. La materia orgánica en los agroecosistemas, Cali. Universidad Nacional Colombia. 2000, p17

GUERRERO, A. Cultivos herbáceos intensivos. Sexta edición. Edición Multiprensa. Impreso en España. ISBN: 84-7114-797-1. 1998. p. 167

GUERRERO, D. Análisis de crecimiento durante la fase vegetativa de cinco fenotipos de copoazú *Theobroma grandiflorum* (Willd ex Spreng) Schum en la

amazonia occidental colombiana. En: Revista colombiana de ciencias hortícolas - Vol. 1 - No.1 - pp. 52-66, 2007

GIDENNE, T. Efecto del nivel de fibra, tamaño de partícula y el período de adaptación en la digestibilidad, medida en el íleon en heces de conejos adultos. *British Journal of Nutrition*. 1992 p133 – 146

GUTIÉRREZ, M, REYNOLDS, M. Algunas consideraciones en la relación entre fotosíntesis y el rendimiento de grano en trigo. *Ciencia Ergo Sum*, julio-octubre, vol. 12. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México. 2005. p. 149-154

HERRER, E.; CERRILLO, M.; JUÁREZ, R. Efecto del tiempo de cosecha sobre el valor proteico y energético del forraje verde hidropónico de trigo. *Asociación Interciencia*. ISSN 0378-1844. Vol. 35, Núm. 4, abril, Venezuela 2010, p286

HUZGAME. J. Producción de forrajes en forma hidropónica. Curso sobre cultivos hidropónicos. *Pasto Colombia*. CEPUM. 1989. p.95.

IZQUIERDO, J. Manual técnico. Producción de forraje verde hidropónico. [En línea]. 1a edición. Santiago de Chile. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Febrero 2002. [Citado el 10-09-2006.] Disponible también en versión <http://www.rlc.fao.org/prior/segalim/pdf/1.pdf>

JIMENES, J. Valoración nutritiva de granos germinados de arveja (*Pisum sativa*), trigo (*Triticum aestivum* L) y avena (*Avena sativa*) en la alimentación de cuyes tipo carne (*Cavia porcellus*) durante la fase de levante y engorde. *Pasto-Colombia 2008* p 36. Tesis de grado (Zootecnista). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Pecuarias. Programa de Zootecnia

KEN, D. y ARAMOS, A. Química moderna de los cereales. Madrid, España 1956. p12

LAREDO, M. Tabla de contenido nutricional de pastos y forrajes. Bogotá Colombia. ICA 1985. P, 30

LEÓN, A. De tales harinas, tales panes: granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica. 1a ed. Hugo Báez Editor, Córdoba. 2007. p, 480

LUNA, J y NARVÁEZ, J. valoración nutritiva de los ensilajes de avena (*Avena Sativa*) Variedad Cayuse, L 15/85 y Obonuco, tritcale 48 (*triticum SSR*) en el levante de novillas Holstein mestizo. *Pasto*. 2003, P 56. Tesis de grado (zootecnista). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Pecuarias. Programa de Zootecnia

MARTIN, B. y MONTICO, S. Fertilización foliar en pasturas—Una alternativa. Cátedra de tierra. Universidad nacional de Rosario. Argentina. 2004. p. 56.

MAYNARD, A. Nutrición animal. Traducida de la 4ª edición Inglesa por Eduardo Escalona. México, 1981 p.515.

MC. DONALD, O. Nutrición Animal. 3 Ed. Zaragoza, España, ACRIBIA, 1986. p.270

MELENDEZ, G. Abonos orgánicos. Principios aplicaciones e impactos en la agricultura. San José de Costa Rica 2003 p. 6

MONTENEGRO, J. Evaluación de diferentes tipos de fertilización orgánica de pastos Bestford (*Lolium hybridum*) y valoración nutritiva en cuyes (*Cavia porcellus*) en etapa de levante. Pasto. Nariño. 2006. Para optar el título (zootecnia). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Pecuarias. Programa de Zootecnia. p25

MUÑOZ , R. Bosque; Un algoritmo heurístico para resolver la asignación de usos alternativos en aéreas rural. Vol. 23. Publicado por Universidad Austral de Chile. ISSN 0304-8799. 2001. P.23.

PALMQUIST, D. Utilización de grasas en dietas para rumiantes. XII curso de especialización FEDNA. [On line]. [Citado el 9 septiembre 2010]. Disponible en internet: <http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/96capituloIII.pdf>

PARRA, R. COMBELLAS Jimena y ENRIQUE GONZÁLEZ Jaime. Composición y valor nutritivo de forrajes Producidos en el trópico. Instituto de Producción Animal, Facultad de Agronomía, En: Revista Científica Agronomía Tropical. Venezuela [On line]. [Citado al 9 septiembre 2010]. Disponible en internet: http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_ci/Agronomia Tropical

Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Yacuanquer. 2008. p86

POLO, N. El Portal del Subproductos: nutrientes digestibles totales. [On line]. [Citado el 26 de diciembre del 2011]. Disponible en internet: http://tirsomestre.blogspot.com/2010/05/nutrientes-digestibles-totales-tdn_17.html

QUINTERO, S. Valor nutritivo de los forrajes. En: curso de pastos y forrajes. Compendio No 1. ICA. p.125.

RESH, H. Cultivos hidropónicos. Nuevas técnicas de producción. Segunda edición. Mundi-Prensa: España. 1987. p. 47.

ROBORGH, J. y ZWIEP, N. Nutrición animal. Sevilla Universidad de Madrid 1990. p85

RODRIGUES, A y TARRILLO, H. Producción de forraje verde hidropónico como alternativa de alimento para animales de las zonas afectadas por la ola de frío en el Sur del Perú. 2009. [On line]. [Citado el 6 octubre 2010]. Disponible en internet <<<http://www.forrajehidroponico.com>

RODRIGUEZ, D., HOTOS, R. y CHANG, L. Soluciones nutritivas en hidropónica. Formulación y preparación. Centro de Investigación Hidropónica y Nutrición Animal. Departamento de biología. Universidad Agraria la Molina. Lima Perú.

_____ Forraje verde hidropónico. 1ª edición. Editorial DIANA S.A. de C.V. Universidad Agraria la Molina. Lima Perú. 2003. p.33.

RODRIGUEZ, S. Hidroponía: Una solución de producción en Chihuahua, México. Boletín informativo de la red hidroponía N° 9. Lima. Perú. 2000

SAGI VELA, L. Revista La Serenísima, N° 35, Conferencia sobre cultivos hidropónicos, exposición en la bolsa de cereales. 1976. Buenos Aires. Argentina

SANCHEZ, C; ORTEGA, C. Y PEREZ, M. Efectos de los ácidos húmicos en remolacha azucare en el cultivo hidropónico. Anales de edafología y agrobiología. 1972. p31

SÁNCHEZ, L. La alimentación mineral de las plantas. Instituto de Recursos Naturales Y Agrobiología. Temas de divulgación. 1ª edición 1984. p34

SALISBURY, F y ROSS, C. Fisiología vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica, México. 1994. p.367

SOTO, L. Digestibilidad y consumo de pasto kikuyo (*P clandestinum* Hoechst) en ovino bajo fertilización nitrogenada. Bogotá. Colombia. 1980 p 53. Trabajo de grado (Ms cs). Universidad Nacional. Programa de Estudios para Graduados en Ciencias Agrícolas

SPANGENBERG, G. Biotecnología y fisiología vegetal. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. [On line]. Edición 2004. [Citado el 11 octubre 2010]. Disponible en internet: >><http://www.inta.gov.ar>>

TARRILLO, H. Forraje verde hidropónico maximizando el campo [On line]. Arequipa. Perú. 2009. [Citado el 27 septiembre]. Disponible en internet: <http://www.forrajehidroponico.com/art003.htm>

TIMANA, S., y CEVALLOS, H. Efectos de una dieta suplementaria en base en cebada y trigo germinados en la alimentación de cuyes. 1984. Pasto (Nariño). Pág. 9. Tesis de grado para obtener el título de zootecnista. Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Pecuarias. Programa de Zootecnia

TOMASO, J. Cereales forrajeros de invierno. Mejoramiento genético y manejo de cereales forrajeros de invierno. 2000. Instituto nacional de Tecnología Agropecuaria. p, 256

TRUJILLO, A. y URIARTE, G. Valor nutritivo de pasturas. [On line] Departamento de Producción Animal y pasturas. Facultad de Agronomía. Universidad de la República de Uruguay. [Citado el 25 septiembre 2010]. Disponible en internet http://prodanimal.fagro.edu.uy/.../Trujillo_Uriarte.VALOR_NUTRITIVO_PASTURAS.pdf

URBANO, J. Utilización de los germinados de maíz (*Zea mayz*) y trigo (*Triticum spp*) en alimentación de animales no rumiantes. Monografía presentada como requisito parcial para optar el título de Especialista en Producción de Recursos Alimentarios para Especies Pecuarias. Vicerrectoría de Investigaciones, Posgrados y Relaciones Internacionales. Facultad de Ciencia Pecuarias. Universidad de Nariño. 2012. p, 23

VAN SOEST. P.J. Ecología nutricional de rumiantes. 2da edición. Ithaca: Cornell University Press. 1994. P.476.

VARGAS, A. El forraje verde hidropónico y su uso en la crianza de cuyes. [On line]. Lima Perú 2011. [Citado el 26 de diciembre 2011]. Disponible en internet: <http://www.rmr-peru.com/forraje-verde-hidroponico.htm>

VARGAS, C. Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. Agronomía Mesoamericana. Vol. 19. ISBN 1021 – 7444. Costa Rica. 2008. p233 - 240

VILLACRÉS, Z. La cebada un cereal nutritivo. Instituto Nacional Autónomo de Investigación Agropecuaria. Departamento de Nutrición y Calidad, Programa Regional de la Cebada y Trigo. Estación Experimental Santa Catalina. Ecuador 1996. p.45

WIKIPEDIA. Alimento. [On line]. [Citado el 27 de diciembre del 2011]. Disponible en internet: <http://es.wikipedia.org/wiki/Alimento>

ZARATE TINOCO, Erika Geraldine. Acido gástricos. [On line]. 2ª edición. Perú 2009. [Citado el 10 septiembre 2010]. Disponible en internet>><http://www.monografias.com>

ANEXOS

Anexo 1. Consumo de materia seca en la prueba de digestibilidad

T	R	MATERIAL OFRECIDO FV	% MATERIA SECA	MS OFRECIDA	PROM	ALIMENTO RECHAZO FV	% MATERIA SECA	MS RECHAZO	CONSUMO MS	PROM
T1	R1		15,18	53,13	53.13	11,4		2,33	50,8	51,37
	R2	350	15,18	53,13		7,7	20.46	1,57	51,56	
	R3		15,18	53,13		6,2		1,26	51,87	
	R4		15,18	53,13		9		1,84	51,29	
T2	R1		15,49	54,21	54.21	9,4		2,8	51,41	51.64
	R2	350	15,49	54,21		8,3	29.88	2,48	51,73	
	R3		15,49	54,21		9,1		2,71	51,5	
	R4		15,49	54,21		7,6		2,27	50,1	
T3	R1		13,51	47,28	47.28	15,4		4,03	43,25	44,33
	R2	350	13,51	47,28		9,4	26.2	2,46	44,82	
	R3		13,51	47,28		8,9		2,33	44,95	
	R4		13,51	47,28		11,3		2,96	44,32	
T4	R1		12,68	44,38	44.38	10,4		2,98	41,4	41,66
	R2	350	12,68	44,38		8,4	28.68	2,41	41,97	
	R3		12,68	44,38		10,7		3,07	41,31	
	R4		12,68	44,38		8,6		2,47	41,91	

Anexo 2. Coeficiente de digestibilidad

T	R	MS Cons	MS Excre	CD Ms	PB Con	PB Excre	CD PB	FB Con	FB Excr	CD FB	EE Con	EE Excr	CD EE	ELN Cons	ELN Excr	CD ELN
		(g)	(g)	(%)	(g)	(g)	(%)	(g)	(g)	(%)	(g)	(g)	(%)	(g)	(g)	(%)
Forraje hidropónico trigo fertilización mineral T3	1	50,8	10,8	76,97	9,04	2,034	77,51	7,74	2,75	64,45	1,86	0,38	79,4	27,09	4,44	83,61
	2	51,56	9,67	80,8	9,42	1,43	84,78	8,06	4,47	44,5	1,94	0,32	83,5	28,23	2,25	92,03
	3	51,87	10,3	79,7	8,57	1,67	82,57	8,19	5,33	34,95	1,97	0,32	83,6	28,68	1,96	93,16
	4	51,29	9,43	8,49	9,28	1,66	82,11	7,95	4,46	43,84	1,91	2,98	85,3	27,82	2,2	92,1
Promedio		51,37	10,0	61,49	9,0	1,69	81,74	7,98	4,252	46,93	1,92	1,00	83	27,95	2,71	90,22
Forraje hidropónico de cebada bajo fertilización orgánica T2	1	51,41	8,88	81,92	8,6	1,55	81,92	6,52	2,08	68,07	2,12	0,35	84,6	30,09	4,05	86,53
	2	51,73	10,29	79,29	8,7	1,64	81,19	6,61	2,61	60,45	2,15	0,29	87,3	30,45	4,81	84,22
	3	51,5	9,47	80,78	8,63	1,62	81,22	5,54	2,27	65,28	2,11	0,31	86,4	30,19	4,45	85,27
	4	50,1	9,26	81,52	8,77	1,42	83,79	6,65	2,65	60,15	2,14	0,33	85,9	30,69	4,11	86,64
Promedio		51,64	9,47	80,87	8,67	1,55	82,03	6,33	2,40	63,48	2,13	0,32	86,0	30,35	4,35	85,66
Forraje hidropónico trigo fertilización orgánica T4	1	43,25	10,6	73,47	7,2	1,49	79,55	7,94	3,61	47,97	1,55	0,24	84,2	23,13	3,7	83,97
	2	44,82	8,9	79,23	7,8	1,75	77,63	7,44	2,09	71,87	1,66	0,27	83,56	24,75	3,8	84,3
	3	44,95	8,3	80,73	7,8	1,5	80,87	7,48	2,25	69,9	1,67	0,26	84,6	24,9	3,6	85,41
	4		11,9	71,6	7,6	2,093	72,61	7,28	3,14	56,89	1,63	0,34	79,14	24,24	5,1	78,65
Promedio		44,32	9,93	76,25	7,6	1,708	77,6	7,53	2,77	61,65	1,627	0,277	82,87	24,25	4,1	83,082
Forraje hidropónico de cebada bajo fertilización mineral T1	1	41,4	9,22	77,72	7,96	1,71	78,56	5,79	2,6	55,07	2,12	0,4	81,1	24,13	3,53	85,37
	2	41,97	9,06	78,41	8,07	1,76	78,22	5,88	2,44	58,5	2,15	0,31	85,7	24,46	3,44	85,93
	3	41,31	9,12	77,92	7,94	1,68	78,84	5,79	2,32	59,97	2,11	0,33	84,1	24,7	3,63	84,93
	4		10,29	75,44	8,05	1,88	79,64	5,87	3,16	46,19	2,14	0,35	83,7	24,43	3,84	84,28
Promedio		41,91	9,42	77,37	8,0	1,75	78,81	5,8	2,63	54,93	2,13	0,34	83,6	24,43	3,61	85,12

ANALISIS DE VARIANZA Y PRUEBA DE TUKEY PARA PRODUCCION DE FORRAJE HIDROPONICO

Anexo 3. Análisis de varianza para producción de forraje hidropónico

	GL	SC	CM	FC	Pr > F
Tto	4	38	19	2,61	0,0001
Rep	3	200	50	0,99	
Error	9	172	19,11		
Total	16	410			

Anexo 4. Prueba de Tukey para producción de forraje hidropónico

Grupo Tukey	Media	N	Tto
A	1,35	3	1
A	1,3	3	2
A			
B	1,12	3	3
B			
B	1,08	3	4

* Letras iguales en la columna no presentan diferencias ($P < 0.05$)

Anexo 5. Análisis de varianza para altura de planta

	GL	SC	CM	FC	Pr > F
Tto	4	67,67	2.25	50.63	0.0001
Rep	2	0.93	0.46	1,05	
Error	6	2.67	0.44		
Total	11	71,28			

Anexo 6. Prueba de Tukey para altura de planta

Grupo Tukey	Media	N	Tto
A	25,07	3	3
A	24,0467	3	1
A			
B	19,8933	3	2
B			
B	19,8433	3	4

* Letras iguales en la columna no presentan diferencias ($P < 0.05$)

Anexo 7. Análisis de varianza para porcentaje de cobertura de planta

	GL	SC	CM	FC	Pr > F
Tto	3	1,043376	0.34779167	0.72	0.5766
Rep	2	0.39035000	0,19517500	0.40	
Error	6	2,906700	0.48445000		
Total	9	3,950076			

Anexo 8. Prueba de Tukey para porcentaje de cobertura de planta

Grupo Tukey	Media	N	Tto
A	96,2767	3	3
A			
A	96,1817	3	1
A			
A	96	3	4
A			
A	95,5117	3	2

* Letras iguales en la columna no presentan diferencias ($P < 0.05$)

Anexo 9. Análisis de varianza para índice de área foliar

	GL	SC	CM	FC	Pr > F
Tto	3	15,933435	531,114.167	7.66	0.0179
Rep	2	0.52166667	0.26083333	0.38	
Error	6	4,1614000000	0.69356667		
Total	11	20,094835			

Anexo 10. Prueba de Tukey para índice de área foliar

Grupo Tukey	Media	N	Tto
A	11,2533	3	1
A			
A	10,5967	3	2
A			
A	9,8833	3	3
B			
B	8,1633	3	4

*Letras iguales en la columna no presentan diferencias ($P < 0.05$)

ANALISIS DE VARIANZA Y PRUEBA DE TUKEY PARA DIGESTIBILIDAD DE FORRAJE HIDROPONICO

Anexo 11. Análisis de varianza para consumo de materia seca

FV	GL	SC	CM	FC	P de un Valor >
Tto	3	313.74	104.58	217.87	0.0001*
Replica	4	0.21	0.058021	0,19	
Error	12	5.87	0.48		
Total	15	319.61			

Anexo 12. Prueba de Tukey para consumo de materia seca

Grupo Tukey	Media	N	TTO
A	51,64	4	2
A	51,37	4	1
A			
B	44.33	4	3
B	41,64	4	4

*Letras iguales en la columna no presentan diferencias ($P < 0.05$)

Anexo 13. Análisis de varianza para digestibilidad de materia seca

	GL	SC	CM	FC	Pr > F
Tto	3	23,203725	7,73457500	24.32	0.0001
Rep	3	0,141075	0,047025	0.15	
Error	9	2,862375	0,31804167		
Total	15	26,207175			

Anexo 14. Prueba de Tukey para digestibilidad de materia seca

Grupo Tukey	Media	N	TTO
A	81,41	4	2
B	80,01	4	1
B			
B	79,89	4	3
C	78,02	4	4

* Letras iguales en la columna no presentan diferencias (P <0,05)

Anexo 15. Análisis de varianza para digestibilidad de proteína

	GL	SC	CM	FC	Pr > F
Tto	3	52	17	17.09	0,0005
Rep	3	0,75701875	0,25233958	0,25	
Error	9	9,15895625	1,01766181		
Total	15	61,33477500			

Anexo 16. Prueba de Tukey para digestibilidad de proteína

Grupo Tukey	Media	N	TTO
A	83,16	4	1
B	81,45	4	2
C	79,35	4	3
C			
C	78,54	4	4

*Letras iguales en la columna no presentan diferencias (P <0,05)

Anexo 17. Análisis de varianza para digestibilidad de fibra cruda

	GL	SC	CM	FC	Pr > F
Tto	3	1.347,05842	449,019473	542.91	0,0001
Rep	3	2,884069	0,96135625	1,16	
Error	9	744,355625	0,82706181		
Total	15	2.094,2981			

Anexo 18. Prueba de Tukey para digestibilidad de fibra cruda

Grupo Tukey	media	N	TTO
A	66,76	4	2
B	58,93	4	4
C	47,12	4	3
D	43,88	4	1

*Letras iguales en la columna no presentan diferencias (P <0,05)

Anexo 19. . Análisis de varianza para digestibilidad de extracto etéreo

	GL	SC	CM	FC	Pr > F
Tto	3	16,443369	5,48112292	9.48	0,0038
Rep	3	0,20186875	0,06728958	0,12	
Error	9	5,20235625	0,57803958		
Total	15	21,645725			

Anexo 20. Prueba de Tukey para digestibilidad de extracto etéreo

Grupo Tukey	Media	N	Tto
A	86,60	4	2
B	84,60	4	4
B			
B	84,18	4	1
B			
B	84,12	4	3

*Letras iguales en la columna no presentan diferencias (P <0,05)

Anexo 21. Análisis de varianza para digestibilidad de ELN

	GL	SC	CM	FC	Pr > F
Tto	3	162,860618750	54	74.05	0,0001
Rep	3	0,74511875	0,24837292	0,34	
Error	9	6,59785625	0,73309514		
Total	15	169,458475000			

Anexo 22. Prueba de Tukey para digestibilidad de ELN

Grupo Tukey	Media	N	Tto
A	92,43	4	1
B	85,67	4	2
B			
B	85,13	4	4
B			
B	84,56	4	3

*Letras iguales en la columna no presentan diferencias (P <0,05)

Anexo 23. Análisis de varianza para NDT

	GL	SC	CM	FC	Pr > F
Tto	4	57.815442750	9.62296	74.05	0.1377
Rep	4	22.278618714	0.43216	0.34	
Error	9	6,59785625	0.73309514		
Total	15	80.740300			

Anexo 24. Prueba de Tukey para NDT

Grupo Tukey	Media	N	Tto
A	84.26	4	2
B	82.45	4	1
B	81.54	4	3
B	80.62	4	4

*Letras iguales en la columna no presentan diferencias (P < 0.05)

Anexo 25. Datos de fertilización de forraje hidropónico de trigo y cebada

Fertilización	Orgánico	Mineral
Precio/fertilizante kg y/o litro	7000	5200
Dosificación recomendada ml y/o gr/litro agua	2,1	1
Litros de agua promedio/día fertilización	6	6
No de aplicaciones/día	2	2
No de días a fertilizar	9	9
No total de días producción	15	15

Anexo 26. Costos de producción de forraje hidropónico de trigo y cebada

Detalle	Cantidad	Vr unitario \$	Vr total \$	No ciclos/año	Vr/año \$
COSTO VARIABLE					
Semilla trigo 1,5Kg	1,5	620	930	24,3	22599
Semilla cebada 1,5Kg	1,5	500	750	24,3	18225
Fertilizante mineral (g)	54	5,2	280,8	24,3	6823,44
Fertilizante orgánico (ml)	113,4	7	793,8	24,3	19289,34

Anexo 27. Costos de adecuación de invernaderos

	Cantidad	Vr unitario \$	Vr total \$
ADECUACION INVERNADERO			
COSTOS FIJOS			
Cal para pintar (bulto)	1 Bulto	7500	7500
Mano de obra (jornal)	1	8000	8000
TOTAL		15500	15500

Anexo 28. Costos de la estructura de estantes modulares

	Cantidad \$	Vr unitario \$	Vr total \$
ESTRUCTURA ESTANTES MODULARES			
COSTOS FIJOS			
Guadua	5	9000	45000
Alambre de amarre	1	5000	5000
TOTAL		14000	50000

Anexo 29. Costos de implementos

Detalle	Cantidad	Vr unitario \$	Vr total \$
COSTOS FIJOS			
Baldes	1	4900	4900
Regadera	1	12000	12000
Plástico polietileno negro/m	3	9800	29400
TOTAL		26700	46300

Anexo 30. Costos de depreciación

Detalle	Cantidad	Vr unitario \$	Vr total \$	Vida útil/años	Depre. Vr/año \$
COSTOS FIJOS					
Adecuación de Invernadero	1	—	15500	2	3875
Estructura de estantes modulares	1	—	50000	3	5556
Bandejas de cultivo (77 largo *55 ancho)	24	9000	216000	5	8640
Implementos	1	26700	46300	3	5144
Depreciación equipos (5 años)		23215	23215		
TOTAL COSTOS FIJOS		35700	327800		23215

Anexo 31. Costos de mano de obra

Detalle	Cantidad	Vr unitario \$	Vr total \$
COSTOS FIJOS			
Mano de obra/hora/dia	1	1250	456250
TOTAL COSTOS FIJOS	1	1250	456250

Anexo 32. Germinación de hidropónicos

