

AÑO DE LA INVERSIÓN PARA EL DESARROLLO RURAL Y LA SEGURIDAD ALIMENTARIA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCABELICA

(CREADA POR LEY N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE ZOOTECNIA



TESIS

"INFLUENCIA DE NIVELES DE AZUFRE EN LA PRODUCCIÓN,
COMPOSICIÓN QUÍMICA BROMATOLÓGICA Y LA DIGESTIBILIDAD
DEL FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE CEBADA (*Hordeum vulgare*)"

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN
ALIMENTACIÓN ANIMAL

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO ZOOTECNISTA

PRESENTADO POR:

Bach. PAQUIYAURI LIZANA, Zoraida

Bach. QUISPE CUSI, Alida

HUANCABELICA - PERÚ

2013



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En el Auditorium de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, a los 11 días del mes de noviembre del año 2013, a horas 3:00 p.m, se reunieron los miembros del Jurado Calificador conformado por los siguientes: por el accesitario **Dr. Alfonso Gregorio CORDERO FERNANDEZ (PRESIDENTE)**, **Dra. María Del Carmen DURAN MAYTA (SECRETARIA)**, **Ing. Paul Herber MAYHUA MENDOZA (VOCAL)**, designados con la Resolución de Decano N° 228-2013-FCI-UNH, de fecha 07 de agosto del 2013, y ratificados con la Resolución de Decano N° 291-2013-FCI-UNH de fecha 04 de noviembre del 2013 a fin de proceder con la evaluación y calificación de la sustentación del informe final de tesis titulado: "INFLUENCIA DE NIVELES DE AZUFRE EN LA PRODUCCIÓN, COMPOSICIÓN QUIMICA BROMATOLOGÍA Y DIGESTIBILIDAD DEL FORRAJE VERDE HIDROPONICO DE CEBADA (*Hordeum vulgare*)", presentada por las Bachilleres **Zoraida Paquiyaury Lizana y Alida Quispe Cusi**, para optar el **Título Profesional de Ingeniero Zootecnista**; en presencia de la **Ing. Yola Victoria RAMOS ESPINOZA**, Asesora y al **Ing. José Luis CONTRERAS PACO**, como Co - Asesor del presente trabajo de tesis. Finalizado la evaluación a horas...4:45 p.m.; se invitó al público presente y a las sustentantes abandonar el recinto. Luego de una amplia deliberación por parte de los Jurados, se llegó al siguiente resultado:

Zoraida PAQUIYAURI LIZANA

APROBADO POR..... MAYO RIA

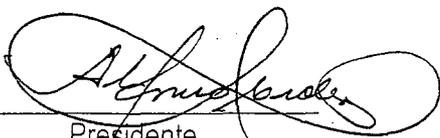
DESAPROBADO

Alida QUISPE CUSI

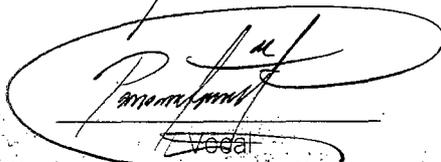
APROBADO POR..... MAYO RIA

DESAPROBADO

En conformidad a lo actuado firmamos a continuación:



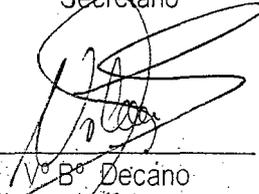
 Presidente



 Vocal



 Secretario



 Vº Bº Decano

DEDICATORIA

A nuestros padres y hermanos; por su apoyo y constante motivación haciendo fácil nuestro caminar de la vida.

Zoraida y Alida

AGRADECIMIENTO

- Expresamos nuestros agradecimientos al Decano de la Facultad de Ingeniería: MVZ. Nicasio Valencia Mamani, docentes, trabajadores de la Universidad Nacional de Huancavelica y la Escuela Académico Profesional de Zootecnia, por sus acertados consejos y transmisión de conocimientos durante los años de nuestra permanencia en esta Institución.
- A Ing. Yola Ramos Espinoza e Ing. José Luis Contreras Paco, por ser nuestros maestros y guías, por apoyarnos a establecer las bases de esta investigación y el respaldo incondicional en el desarrollo de este proyecto.
- A nuestros padres por brindarnos su invaluable apoyo moral y económico.
- A todas las personas que en forma directa e indirecta han contribuido en el presente trabajo de investigación.

ÍNDICE

Carátula

Dedicatorias

Agradecimientos

Índice

Índice de Cuadros y gráficos

Resumen

Introducción

CAPÍTULO I

PROBLEMA	12
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	13
1.3 OBJETIVOS: General y Específicos	13
1.4 JUSTIFICACIÓN	13

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO	15
2.1 ANTECEDENTES.....	15
2.2 BASES TEÓRICAS.....	16
2.3 HIPÓTESIS	25
2.4 DEFINICIÓN DE TERMINOS.....	25
2.5 VARIABLES EN ESTUDIO	26

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACION	28
3.1 AMBITO DE ESTUDIO.....	28
3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	28
3.3 NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	28
3.4 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	28
3.5 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	28
3.6 POBLACIÓN EXPERIMENTAL.....	28
3.7 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	29
3.8 PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	29
3.9 TÉCNICAS DE PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	32

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
4.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	34

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Resumen del análisis de varianza para la producción de biomasa (PB), y altura del tallo (AT), del forraje verde hidropónico de la cebada, en función a la niveles de niveles de azufre.....	35
Cuadro 2. Ecuaciones de regresión ajustadas para la producción de biomasa (PB) y altura de tallo (AT), del forraje verde hidropónico de la cebada en función de los niveles de azufre (S)	35
Cuadro 3. Valores medios (\bar{x}) y desviaciones estándares (σ) de los efectos de los niveles de azufre sobre la producción de biomasa (PB) y altura de tallo (AT) del forraje verde hidropónico de la cebada.....	38
Cuadro 4. Análisis químico bromatológico del forraje verde hidropónico de la cebada	38
Cuadro 5. Resumen del análisis de varianza de la digestibilidad aparente de: Proteína cruda (DAPT), fibra cruda (DAFC), extracto etéreo (DAEE), extracto libre de nitrógeno (DAELN) y Nutrientes digestibles totales (% NDT) del forraje verde hidropónico de la cebada, en función a los niveles azufre	42
Cuadro 6. Valores medios de los efectos de los niveles de azufre sobre la digestibilidad aparente de: proteína cruda (PC), fibra cruda (FC), extracto etéreo (EE), extracto libre de nitrógeno (ELN) y nutrientes digestibles totales (NDT) del forraje verde hidropónico de cebada	43
Cuadro 7. Ecuaciones de regresión ajustadas para la digestibilidad aparente: Proteína cruda (DAPT), fibra cruda (DAFC), extracto etéreo (DAEE), extracto libre de nitrógeno (DAELN), del forraje verde hidropónico de la cebada en función al nivel de azufre.....	44

Cuadro 1A. Base de datos del suministro de forraje verde hidropónico de la cebada y recolección de heces de los cuyes	55
Cuadro 2A. Análisis proximal del forraje verde hidropónico de cebada y heces de cuyes alimentados con forraje verde hidropónico de cebada.....	56
Cuadro 3A. Base de datos de las variables en estudio.....	57
Cuadro 4A. Análisis de Varianza para la producción de biomasa (PB) del forraje verde hidropónico de la cebada.....	58
Cuadro 5A. Análisis de Varianza para la altura de tallo del forraje verde hidropónico de la cebada.....	58
Cuadro 6A. Análisis de Varianza de la digestibilidad aparente de la proteína cruda del forraje hidropónico de la cebada.....	58
Cuadro 7A. Análisis de Varianza de la digestibilidad aparente de la fibra cruda del forraje verde hidropónico de la cebada.....	58
Cuadro 8A. Análisis de Varianza para la digestibilidad aparente del extracto etéreo del forraje verde hidropónico de la cebada.....	58
Cuadro 9A. Análisis de Varianza para la digestibilidad aparente del extracto libre de nitrógeno del forraje hidropónico de la cebada.....	59
Cuadro 10A. Análisis de varianza de los nutrientes digestibles totales del forraje hidropónico de la cebada.....	59
Cuadro 11A. Análisis de varianza de regresión de producción de biomasa del forraje verde hidropónico de cebada.....	59
Cuadro 12A. Análisis de varianza de regresión de altura de planta del forraje verde hidropónico de cebada.....	59

Cuadro 13A. Análisis de varianza de regresión de la digestibilidad aparente de la proteína.	59
Cuadro 14A. Análisis de varianza de regresión de la digestibilidad aparente de la fibra cruda.....	60
Cuadro 15A. Análisis de varianza de regresión de la digestibilidad aparente del extracto etéreo.....	60
Cuadro 16A. Análisis de varianza de regresión de la digestibilidad aparente de extracto libre de nitrógeno.	60
Cuadro 17A. Coeficientes de regresión lineal de producción de biomasa del forraje verde hidropónico de la cebada.....	60
Cuadro 18A. Coeficientes de regresión lineal de altura de planta del forraje verde hidropónico de la cebada.....	60
Cuadro 19A. Coeficientes de regresión cuadrática de la digestibilidad aparente de la proteína cruda del forraje verde hidropónico de la cebada.....	61
Cuadro 20A. Coeficientes de regresión cuadrática de la digestibilidad aparente de la fibra cruda del forraje verde hidropónico de la cebada.....	61
Cuadro 21A. Coeficientes de regresión lineal de la digestibilidad aparente del extracto etéreo del forraje verde hidropónico de la cebada.....	61
Cuadro 22A. Coeficientes de regresión cuadrática de la digestibilidad aparente del extracto libre de nitrógeno del forraje verde hidropónico de la cebada.....	61

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Curva, ecuación de regresión para la producción de biomasa (kg/m ²) en función de los niveles de azufre (ppm/m ²) para el forraje verde hidropónico de la cebada.....	37
Figura 2. Curva, ecuación de regresión para la altura de tallo (cm) en función de los niveles de azufre (ppm/m ²) para el forraje verde hidropónico de cebada.	37
Figura 3. Curva, ecuación de regresión para la digestibilidad aparente de la proteína cruda (%) en función de los niveles de azufre (ppm/m ²) para el forraje verde hidropónico de cebada	46
Figura 4. Curva, ecuación de regresión para la digestibilidad aparente de la fibra cruda (%) en función de los niveles de azufre (ppm/m ²) para el forraje verde hidropónico de cebada	46
Figura 5. Curva, ecuación de regresión para digestibilidad aparente del extracto etéreo (%) en función de los niveles de azufre (ppm/m ²) para el forraje verde hidropónico de la cebada.....	47
Figura 6. Curva, ecuación de regresión para digestibilidad aparente del extracto libre de nitrógeno (%) en función de los niveles de azufre (ppm/m ²) para el forraje verde hidropónico de cebada	47

INTRODUCCIÓN

En la actualidad toda producción pecuaria está sujeta a la producción forrajera, por lo que se propone la producción de forraje verde hidropónico como una alternativa por estar disponible en todas las épocas del año limpias y libres de malezas.

El forraje verde hidropónico (FVH) es una metodología de producción de alimento para el ganado que resulta propicia para evadir las principales dificultades encontradas en zonas de escasas de agua para la producción convencional de forraje. Las épocas de estiaje largo son las razones principales para esta consideración, la escasez permanente de lluvia, alta evaporación, suelos y aguas de riego de baja calidad. No obstante estas limitaciones, la creciente demanda de productos agropecuarios ha ocasionado que tanto la agricultura como la ganadería hayan sido introducidas en ecosistemas frágiles, los cuales son muy susceptibles a la degradación y en donde es improbable sostener altos rendimientos de manera sostenible para intentar satisfacer las necesidades (Cassman, 1999 y Young, 1999).

El forraje verde hidropónico ofrece promisorias cualidades y ventajas para el criador de cuyes, quién tiene la opción de producir su propio forraje bajo procedimientos no necesariamente sofisticados ni costosos, sin necesidad de áreas de cultivo y en el sitio de consumo, además de proporcionarlo a los animales en forma fresca.

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

El azufre es el cuarto nutriente que requiere la planta después del Nitrógeno, Fosforo y Potasio. El Azufre es esencial en el metabolismo del Nitrógeno y es parte de la proteína formada, por la planta. En suelos con bajo contenido de materia orgánica, áreas con precipitación pluvial alta, suelos expuestos y/o arenosos, el contenido natural de azufre es bajo (Stoller Enterprises, INC).

Una de las formas de determinar el valor nutritivo de un alimento es por medio de su análisis químico y su digestibilidad, en vista que el forraje verde hidropónico es un alimento de reciente utilización, es preciso ser evaluado bajo el siguiente objetivo de estudio: Evaluar la influencia de los niveles de azufre en la producción, composición química bromatológica y digestibilidad del forraje verde hidropónico de cebada

LOS AUTORES.

RESUMEN

El presente estudio fue conducido con el objetivo de evaluar la influencia de los niveles de azufre en la producción, composición química bromatológica y digestibilidad del forraje verde hidropónico de la cebada. El forraje fue producido en el fitotoldo del centro experimental de cuyes de la Escuela Académica Profesional de Zootecnia de la Universidad Nacional de Huancavelica, con el uso de solución nutritiva comercial - La Molina y la adición de azufre en los niveles de 0 ppm, 20 ppm, 30 ppm y 40 ppm, cosechada a los 18 días. La determinación de la producción de biomasa (kg/m^2) y altura de tallo (cm), se realizó en el mismo centro experimental; la composición química bromatológica fue analizada en el LBNA - UNMSM; en cuanto a la determinación de la digestibilidad se utilizó la siguiente fórmula ($\% \text{CD} = (\text{NI} - \text{NH}) \times 100 / \text{NI}$). Se utilizó el diseño experimental completamente al azar, con 5 repeticiones, con el que se verificó la interacción significativa ($P < 0.001$) de los niveles de azufre en la producción de biomasa y altura de tallo del forraje verde hidropónico de cebada con promedios de $34.9 \pm 0.5 \text{ kg}/\text{m}^2$ y $14.61 \pm 1.38 \text{ cm}$ respectivamente a demás se observa una respuesta lineal de acuerdo a la ecuación $Y = 5.33 + 0.67^{***}X$; $Y = 10.10 + 1.80^{***}X$ para ambas variables en su orden; mientras que en la composición química bromatológica los porcentajes de proteína cruda y extracto libre de nitrógeno, el nivel 0 ppm de S presentó mayores contenidos, con promedios de 12.95 % y 55.19 % respectivamente, en lo referente a la fibra cruda y fibra detergente neutro el nivel que resalto con mayor respuesta fue el 30 ppm de S, con promedios de 23.61 % y 65.95 % en el mismo orden, respecto al contenido de extracto etéreo y ceniza el nivel que presentó mayor respuesta es el 40 ppm de S con un promedio de 3.88 %, 4.61% respectivamente. Los valores de la digestibilidad aparente de la proteína cruda, extracto libre de nitrógeno y NDT no presentaron influencia significativas ($P > 0.001$ y $P > 0.01$), a diferencia de la digestibilidad aparente de la fibra cruda y extracto etéreo presentaron diferencias significativas ($P < 0.001$ y $P < 0.01$) respectivamente, con promedios de digestibilidad aparente de 75.25% proteína cruda, 70.85 % extracto etéreo, 84.66 % fibra cruda, 75.06 % extracto libre de nitrógeno y 75.33 % de NDT. En las condiciones del presente trabajo, se puede recomendar la utilización del azufre como fuente para el mejoramiento de la producción de biomasa y altura de tallo, se debe realizar otras pruebas de digestibilidad en otras especies como ovinos y cabras para mayor precisión en cuanto a la digestibilidad de este forraje.

Palabras clave: forraje, hidroponía, digestibilidad, composición bromatológica, azufre.

ABSTRACT

This study was conducted with the aim of evaluating the influence of the sulfur levels in production, chemical composition and digestibility of forage bromatological hydroponic green barley. The forage was produced in the experimental center fitotoldo guinea Professional Academic School of Animal Husbandry of the National University of Huancavelica, with the use of commercial nutrient solution - La Molina and the addition of sulfur in the levels of 0 ppm, 20 ppm, 30 ppm and 40 ppm, harvested at 18 days. Determining the production of biomass (kg/m^2) and stem height (cm) was held in the center experimental bromatological chemical composition was analyzed in the LBNA - UNMSM, regarding the determination of the digestibility was used the following formula ($\% \text{CD} = (\text{NI} - \text{NH}) \times 100 / \text{NI}$). We used a completely randomized design with 5 replications, with which we verified the significant interaction ($P < 0.001$) in the levels of sulfur in the production of biomass and stalk height hydroponic green barley forage with averages of $34.9 \pm 0.5 \text{ kg}/\text{m}^2$ and $14.61 \pm 1.38 \text{ cm}$ respectively to other linear response is observed according to the equation $Y = 5.33 + 0.67^{***} X$, $Y = 10.10 + 1.80^{***} X$ for both variables in order, while in the chemical composition percentages bromatological crude protein and nitrogen-free extract, the level 0 ppm of S exhibited higher contents, with averages of 12.95% and 55.19%, respectively, in terms of the raw fiber and fiber neutral detergent to shoulder level with greater response was 30 ppm S, with averages of 23.61% and 65.95% in the same order, for the content of ether extract and ash showed higher level response is 40 ppm of S with an average of 3.88%, 4.61% respectively. The values of the apparent digestibility of crude protein, nitrogen free extract and NDT showed no significant influence ($P > 0.001$ and $P > 0.01$), unlike the apparent digestibility of crude fiber and ether extract showed significant differences ($P < 0.001$ and $P < 0.01$), respectively, with average apparent digestibility of crude protein 75.25%, 70.85% crude fat, crude fiber 84.66%, 75.06% nitrogen free extract and 75.33% TDN. Under the conditions of this study, we can recommend the use of sulfur as a source for improving biomass production and stem height, other tests should be performed digestibility in other species such as sheep and goats for accuracy in terms of digestibility of the forage.

Keywords: forage, hydroponics, digestibility, chemical composition, sulfur.

CAPITULO I: PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la sierra peruana los problemas de alimentación de los animales están causados por elevados costos de los productos proteicos, la constante alza de precios de los alimentos concentrados limitan la accesibilidad de estos, además las prolongadas épocas de sequías que ocasionan la escases de pastos conllevan a una deficiente alimentación de los animales. Otros aspectos como la interdependencia entre el suelo como medio de soporte radical del cultivo de los pastos y condiciones climatológicas adversas tales como nieve, falta de lluvia, heladas, etc. Son factores que conjugados determinan la complejidad de los sistemas de producción animal y requieren de tiempos prolongados para obtener resultados en producción.

Considerando como antecedente que el forraje verde hidropónico (FVH) presenta bajos porcentajes de nutrientes y alto porcentaje de humedad, y teniendo la posibilidad de producir mayores volúmenes de biomasa, se plantea adicionar el azufre como fuente nitrogenada el cual podría garantizar la mejora en la calidad nutricional.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es el efecto del azufre en la producción, composición química bromatológica y la digestibilidad del forraje verde hidropónico de cebada?

1.3 OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar la influencia de los niveles de azufre en la producción, composición química bromatológica y digestibilidad del forraje verde hidropónico de la cebada.

Objetivo específico

- Determinar la producción de biomasa fresca y altura de tallo del forraje verde hidropónico de cebada con diferentes niveles de azufre.
- Determinar la composición química bromatológica del forraje verde hidropónico de cebada con diferentes niveles de azufre.
- Determinar la digestibilidad aparente de la proteína cruda, fibra cruda, extracto etéreo, extracto libre de nitrógeno y los nutrientes digestibles totales del forraje verde hidropónico de cebada con el uso de niveles de azufre.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Como una alternativa importante, la tecnología de producción de forraje verde hidropónico obtenida a partir de la germinación y crecimiento temprano de plántulas de semillas viables, se justifica que las plantas absorben nutrientes como el azufre bajo la forma de sulfato (SO_4); en la investigación realizada se usó el azufre como un estimulante para la formación y el crecimiento vigoroso de la

planta, que ayuda a mantener el color verde oscuro y mejora el aprovechamiento del nitrógeno; ya que el azufre es un ingrediente que estimula el proceso de la fotosíntesis en la formación de azúcares, almidón, aminoácidos y proteína (Aguilera y Salazar, 1996).

Izquierdo. J (1986), La adición de los elementos nutritivos es un procedimiento de control y balance. Los elementos considerados esenciales para el crecimiento de la mayoría de las plantas son: Carbono, Hidrógeno, Oxígeno, Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Azufre, Magnesio (macronutrientes) y Hierro, Manganeso, Boro, Zinc, Cobre, Molibdeno, Cobalto y Cloro (micronutrientes).

Cada elemento es vital en la nutrición de la planta, la falta de uno solo limitará su desarrollo, porque la acción de cada uno es específica y ningún elemento puede ser reemplazado por otro. Todos estos elementos le sirven para la construcción de la masa de tejido vegetal. Es necesario aclarar que no existe una única fórmula para nutrir los cultivos.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1 ANTECEDENTES

Calles y Capelo (2007) en la Estación experimental Tunshi en el Canton Chambo Provincia de Chimborazo, evaluaron la producción y calidad de Forraje Verde Hidropónico de cebada utilizando tres niveles de azufre (0, 20, 30 y 40 ppm) más un testigo, y su respuesta en vacas Holstein mestizas que se encontraban en el primer tercio de lactancia con pesos aproximadamente iguales y lo mas estandarizadas posibles, se obtuvieron que la semilla y posteriormente la planta que mejor respuesta obtuvo a la fertilización a base de azufre fue la tratada con 40 ppm de azufre, seguidamente la de 30, 20 ppm de azufre y finalmente el testigo, mejorando la producción de biomasa total, altura del tallo mejoró el contenido de ceniza, fibra, extracto etéreo y proteína.

Carrasco (2005) en una prueba realizada en la producción de forraje verde hidropónico de cebada a los 10 días de germinada, obtuvo en promedio una altura de 22 cm y 1.6 Kg./m². Y el análisis proximal de la cebada a los 10 días fue para proteína 13.30, grasa 2.63, fibra 20.59 y cenizas 4.35%.

Herrera *et al.* (2007) al determinar la digestibilidad aparente del forraje hidropónico de maíz en 6 ovinos estabulados en jaulas metabólicas, obtuvieron para la materia

seca 55,9% en promedio de todos los animales que estaban consumiendo poca cantidad de MS por día en relación a su peso vivo.

Rojas *et al.* (2002) condujeron dos ensayos, el primero denominado forraje y el segundo para evaluar al cultivo hidropónico de centeno. En el ensayo forraje se evaluaron 3 densidades de siembra (94, 188 y 282 g de semillas por bandeja) y 3 edades de cosecha post germinado (10, 15 y 20 días) y sus efectos sobre los tenores de materia seca, cenizas, proteína, fibra soluble en Detergente Neutro (FDN), alturas de planta y de cama; para las densidades y edades en el orden mencionado se obtuvo 15.71, 14.97, 15.24, 17.46, 16.33 y 12.13% de materia seca "tal como recolectado", 90.5, 90.09, 90.07 y 90.4% de materia seca total; 3.3, 4.4, 5.3, 5.2, 4.1 y 3.7 kg de materia seca por m²; 5.8, 5.1, 5.2, 3.9, 5.1, y 7.0% de cenizas (B.S.); 18.7, 18.8, 18.4, 16.5, 19.1 y 20.3% de proteína (B.S.); 51.4, 47.6, 45.1, 44.1, 45.0 y 54.9% de FDN (B.S.); 19.6, 19.8, 19.7, 18.5, 19.4, y 21.1cm, de altura de planta; 2.1, 2.8, 3.2, 2.6, 2.6 y 2.7 cm de altura de cama.

2.2 BASES TEORICAS DEL AZUFRE

2.2.1 Generalidades del azufre

Los agentes sulfitantes han sido ampliamente utilizados a lo largo de la historia debido a sus múltiples funciones. Pueden encontrarse en productos farmacéuticos, bebidas y alimentos, empleándose en estos últimos como aditivos alimentarios de acción conservadora y antioxidante. Su mecanismo de acción es la inhibición del deterioro provocado por bacterias, hongos y levaduras, así como las reacciones de oxidación

enzimático y no enzimático que tienen lugar durante el procesamiento de los alimentos o el almacenamiento de los mismos (Avila, 2009).

Ciclo del Azufre

En la atmósfera, el dióxido de azufre interactúa con el oxígeno para producir trióxido de azufre (SO_3), el cual reacciona con vapor de agua para producir minúsculas gotas de ácido sulfúrico (H_2SO_4), también reacciona con otras sustancias químicas de la atmósfera para originar partículas pequeñas de sulfatos; estas gotitas de ácido sulfúrico y partículas de sulfato caen a la tierra como componentes de lluvia ácida, que daña los árboles y la vida en general (Centro de Información y Comunicación Ambiental de Norte América, A.C.)

El azufre y los seres vivos

En los organismos la cantidad de azufre varía desde 0.02 a 5% en algunas bacterias que oxidan azufre, pero en general constituye el 0.25% de peso seco, semejante al fósforo. El azufre está casi siempre presente en las cantidades adecuadas para cubrir los requerimientos para la síntesis de proteínas, la cual es limitada por lo regular por la disponibilidad de nitrógeno. La fracción que usan los organismos no tiene una influencia significativa sobre el ciclo de azufre, ellos crean condiciones que directa o indirectamente influyen el ciclo (Centro de Información y Comunicación Ambiental de Norte América, A.C.)

Las bacterias desempeñan un papel crucial en la circulación del azufre; cuando está presente en el aire, la descomposición de los compuestos del

azufre (incluyendo la descomposición de las proteínas) produce sulfato (SO_4^-). Bajo condiciones anaeróbicas el ácido sulfúrico y el sulfuro de dimetilo (CH_3SCH_3) son los productos principales, cuando estos últimos gases llegan a la atmósfera son oxidados y se convierten en bióxido de azufre (Centro de Información y Comunicación Ambiental de Norte América, A.C.)

El azufre como nutriente

El azufre forma parte de tres aminoácidos importantes para el metabolismo de las plantas, cisteína, metionina y tiamina reconocida como Vitamina B1, así como de la coenzima A, también interviene en el metabolismo de los lípidos y de los hidratos de carbono (Aguilera y Salazar, 1996.)

El azufre es el cuarto nutriente que consume la planta después del nitrógeno, fósforo y potasio. El azufre es esencial en el metabolismo del nitrógeno y es parte de la proteína formada, por la planta. En suelos con bajo contenido de materia orgánica, áreas con precipitación pluvial alta, suelos expuestos y/o arenosos, el contenido natural de azufre es bajo. El azufre que se convierte en los ácidos sulfhídrico, sulfuroso y sulfúrico, finalmente es absorbido por la planta que lo utiliza como nutriente y aumenta la actividad fotosintética de la planta (Aguilera y Salazar, 1996).

El azufre no solo acelera la solubilidad del cobre, sino que su presencia se considera esencial para la asimilación eficiente del nitrógeno, potasio y especialmente fósforo por la planta. Así se sabe que por cada 10 kilos de

nitrógeno que requieran las plantas, éstas necesitan aproximadamente un kilo de azufre sin embargo esto puede variar por cultivo (Stoller Enterprises, INC.)

Aunque en algunos casos con la aplicación de un fungicida específico se logra el control del hongo, con el azufre, la cosecha es superior en los lotes tratados con este último, pues la acción nutriente mas la buena acción fungicida de el azufre, son superiores a la sola acción de un producto específico (Stoller Enterprises, INC.)

El azufre y la fotosíntesis

Al acidificarse el azufre y ser absorbido por la planta, el azufre acidifica el interior de la hoja (a pesar de su acción acidificante en la superficie y el interior de la hoja, el azufre que cae al suelo no lo acidificara) lo cual ayuda a la liberación de manganeso, hierro, magnesio y otros nutrientes presentes en la hoja en forma no disponible para la planta. El manganeso, hierro y magnesio se transforman en Clorofila y la planta tendrá un color verde más intenso, activando el proceso fotosintético y produciendo más carbohidratos y azúcares (Stoller Enterprises, INC.)

2.2.2 GENERALIDADES DEL FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO

Producción de forraje hidropónico

La hidroponía es el cultivo de plantas con sus raíces sumergidas en una solución acuosa que contienen principios nutritivos, minerales esenciales como sales en lugar de tierra (Vargas, 2008).

El forraje verde hidropónico es el resultado del proceso de germinación de granos de cereales, como la cebada, trigo, avena y maíz, los cuales se desarrollan en un período de 15 a 20 días, captando energía del sol y asimilando los minerales contenidos en una solución nutritiva. El proceso de producción del forraje verde hidropónico está comprendido dentro de un concepto nuevo de producción, ya que no se requiere grandes extensiones de tierras, periodos largos de producción ni formas de conservación y almacenamiento (Tarrillo, 2002).

El forraje verde hidropónico es un forraje de alta calidad superior a otros forrajes (PT. 19.4%, NDT. 75%, Grasa. 3.15% y una Digestibilidad 90%), el cual se suministra al ganado en forma completa (hojas, tallos, semillas y raíces) constituyendo una completa formula de carbohidratos, azúcares, proteínas, minerales y vitaminas. Su aspecto, sabor, color y textura le confieren gran palatabilidad a la vez que aumenta la asimilación de otros alimentos (Tarrillo, 2002).

El forraje verde hidropónico es un sistema de producción de biomasa vegetal de alta sanidad y calidad nutricional producido muy rápidamente (12 a 16 días) captando energía del sol, dependiendo las especies a la que queramos alimentar en cualquier época del año y en cualquier

localidad geográfica, siempre y cuando se establezcan las condiciones mínimas necesarias para ello (Chumbes y Espinoza, 2005).

Ventajas del Forraje verde hidropónico

- *Ahorro de agua:* en el sistema de producción de forraje verde hidropónico las pérdidas de agua por evapotranspiración, escurrimiento superficial e infiltración son mínimas al comparar con las condiciones de producción convencional en especies forrajeras, cuyas eficiencias varían entre 270 a 635 litros de agua por kg de materia seca (Rodríguez, 2000). Alternativamente, la producción de 1 kilo de Forraje verde hidropónico requiere de 2 a 3 litros de agua con un porcentaje de materia seca que oscila, (dependiendo de la especie forrajera) entre un 12% a 18%. Esto se traduce en un consumo total de 15 a 20 litros de agua por kilogramo de materia seca obtenida en 14 días (Sánchez, 1997).
- *Eficiencia en el uso del espacio:* el sistema de producción de FVH puede ser instalado en forma modular en la dimensión vertical lo que optimiza el uso del espacio útil (Zúñiga, 2000)
- *Eficiencia en el tiempo de producción:* la producción de forraje hidropónico tiene un ciclo de 10 a 12 días. En ciertos casos, por estrategia de manejo interno de los establecimientos, la cosecha se realiza a los 14 o 15 días, a pesar que el óptimo definido por varios estudios científicos, no puede extenderse más allá del día 12.

aproximadamente a partir de ese día se inicia un marcado descenso en el valor nutricional del forraje hidropónico (Hidalgo, 1985).

2.2.3 GENERALIDADES DE LA DIGESTIBILIDAD

La digestibilidad mide la desaparición de los nutrientes en su paso a través del tracto debido a la absorción, la determinación de la digestibilidad se realiza mediante el consumo de la materia seca o materia orgánica que se calcula por diferencia; es decir alimento ofrecido menos alimento rechazado, con fines prácticos, la digestibilidad se determina en experimentos en digestión, determinando los nutrientes de los alimentos y heces (Maynard et al, 1989; Miller, 1989).

La digestibilidad aparente es considerada como la diferencia entre el alimento ingerido y el excretado mientras que la digestibilidad verdadera es la diferencia entre el alimento ingerido y el excretado excluyendo los desechos metabólicos (Van Soest, 1982).

Este parámetro permite determinar la cantidad de proteína aprovechable en pastos. Se utiliza una metodología basada en la digestión de la proteína por la acción de enzimas proteolíticas. Un alto porcentaje de digestibilidad evidencia un producto con un alto contenido de proteína aprovechable, reflejo de un proceso de secado controlado y a baja temperatura (CNR Pacific Line, 2006).

Una prueba de digestibilidad implica cuantificar los nutrientes consumidos y las cantidades que se eliminan en las heces. Es importante que las heces recolectadas representen en forma cuantitativa el residuo no digerido del alimento consumido previamente medido (Maynard et al, 1989).

Aspectos a considerar en el análisis químico bromatológico

- **Materia seca (MS)** expresa el contenido de materia seca de un alimento y se obtiene secando la muestra en una estufa con circulación forzada de aire a 60°C hasta peso constante, para eliminar el contenido de agua. Su valor es importante, pues los resultados de todas las demás determinaciones se expresan en base seca (Bondi, 1988)
- **Proteína cruda (PC)** se obtiene a partir del contenido de nitrógeno total de un alimento, determinado por el método de Kjendahl, multiplicado por el factor 6,25 (debido a que las proteínas contienen un 16% de Nitrógeno en promedio). El valor de proteína cruda no incluye a la proteína verdadera y a otros compuestos nitrogenados no proteicos (Bondi, 1988)

- **Fibra cruda (FC)** esta subestimado ya que una parte la celulosa, hemicelulosa y lignina se extraen en las digestiones acida y alcalina (Bondi, 1988)
- **Extracto etéreo (EE)** es la fracción que identifica a las grasas. Se determina haciendo una extracción de la muestra con éter de petróleo durante un tiempo determinado. No solo se solubilizan los lípidos sino también todos aquellos compuestos solubles en el solvente. El extractor utilizado Soxhlet (Bondi, 1988)
- **Extracto libre de nitrógeno (ELN)** indica el contenido de azucares y almidones, en general carbohidratos solubles, ya sean de origen vegetal o animal; incluye también todos los materiales orgánico no fibrosos, insolubles en éter y solubles todos los materiales orgánicos no fibrosos, insolubles en éter y solubles en agua del alimento. El cálculo se realiza por diferencia en base seca (Bondi, 1988), según la siguiente fórmula:

$$\text{ELN} = 100 - (\% \text{ Pt} + \% \text{ EE} + \% \text{ FC} + \% \text{ ceniza})$$

Donde:

- ELN, Extracto Libre de Nitrógeno
- %Pt, Porcentaje de proteína
- % EE, Porcentaje de extracto etéreo
- %FC, Porcentaje de fibra cruda

2.3 HIPÓTESIS

HIPÓTESIS NULA

H₀ = La producción, composición química bromatológica y la digestibilidad del forraje verde hidropónico de cebada son iguales con los niveles de azufre.

HIPÓTESIS ALTERNA

H_a = La producción, composición química bromatológica y la digestibilidad del forraje verde hidropónico de cebada son diferentes con los niveles de azufre.

2.4 DEFINICION DE TERMINOS

- **Digestibilidad**, indica la cantidad de un alimento completo o un nutriente en particular del alimento, que no se excreta en las heces y que, por consiguiente se considera que es utilizable por el animal tras la absorción en el tracto digestivo, el cual se expresa mediante el coeficiente de digestibilidad. Es la cantidad de un alimento o nutriente en particular, que no se degrada y se absorbe durante su paso por el aparato digestivo (Maynard et al, 1989).

$$\% \text{ CD} = \frac{\text{NI} - \text{NH} \times 100}{\text{NI}}$$

Donde:

% CD, Porcentaje de coeficiente de Digestibilidad

NI, Nutriente ingerido

NH, Nutriente en heces

- **Nutrientes digestibles totales (NDT)**, es un método matemático para el cálculo aproximado de la energía que libera un ingrediente dado. Es el valor nutritivo de los alimentos, se utiliza los coeficientes de digestibilidad para calcular su contenido de nutrientes digestibles totales (Maynard et al, 1989).

$$\% \text{NDT} = (\% \text{Pt} \times \text{CD}) + (\% \text{FC} \times \text{CD}) + (\% \text{ELN} \times \text{CD}) + 2.25 (\% \text{EE} \times \text{CD})$$

Donde:

%NDT, Porcentaje de nutrientes totales

%Pt, porcentaje de proteína

CD, Coeficiente de digestibilidad

%FB, Porcentaje de fibra cruda

%ELN, Porcentaje de extracto libre de nitrógeno,

%EE, Porcentaje de extracto etéreo.

2.5 VARIABLES EN ESTUDIO

VARIABLES DEPENDIENTES:

- Producción de biomasa (kg/m²)
- Altura de tallo (cm)
- Composición química bromatológica (%)

- Digestibilidad aparente de la Proteína cruda (%)
- Digestibilidad aparente del Extracto etéreo (%)
- Digestibilidad aparente del Fibra cruda (%)
- Digestibilidad aparente de Extracto libre de nitrógeno (%)
- Nutrientes digestibles totales (NDT) (%)

VARIABLE INDEPENDIENTE: Los diferentes niveles de azufre (0.00 ppm/m², 20.0 ppm/m²; 30.0 ppm/m²; 40.0 ppm/m²)

CAPITULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 ÁMBITO DE ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en la unidad experimental de producción de forrajes hidropónicos (fitotoldo) de la E.A.P de Zootecnia de la Universidad Nacional de Huancavelica, con temperatura media de 18.8 y $- 2$ °C en el día y noche respectivamente (Cayllahua y Condori, 2010). La fase experimental se realizó en el periodo comprendido entre 10 enero a 15 de febrero, con una duración de cinco semanas.

3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Aplicada

3.3 NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Tecnológico

3.4 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Análisis Síntesis

3.5 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Experimental

3.6 POBLACIÓN EXPERIMENTAL

Se utilizaron 20 cuyes machos de la línea Perú de un (01) mes de edad con un peso promedio de 250.0 g; fueron evaluados cuatro tratamientos (niveles de azufre) con 5 repeticiones que consistieron en:

T1: 0.0 ppm/m² de S.

T2: 20.0 ppm/m² de S.

T3: 30.0 ppm/m² de S

T4: 40.0 ppm/m² de S

3.7 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para determinar la producción de biomasa/m², se procede al pesado total del forraje hidropónico de cebada multiplicado por el área de la bandeja (0.150 m²).

Para determinar la altura de tallo se tomo 5 muestras por tratamiento de forraje verde hidropónico de cebada utilizando un anillo censor de 10 cm², los cuales fueron evaluadas con regla milimetrada.

Para determinar la composición química bromatológica las muestras de forraje hidropónico se recogieron a los 18 días de sembrado, para luego ser secados en el equipo de mufla a 105° por 24 horas, una vez secas fueron molidas para ser sometidas al análisis proximal.

Para la determinación de la digestibilidad se suministro el forraje verde hidropónico de cebada producido con los diferentes niveles de azufre, al 100% del peso vivo de los cuyes; el cual se fraccionó en dos raciones el 50% en las mañanas y 50% sobre tarde; en consecuencia el alimento sobrante y las heces fueron recolectados y pesados diariamente.

3.8 PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

De la producción del forraje verde hidropónico de cebada

- La cebada empleada fue la variedad UNA-80, para iniciar la germinación se pesó 1.0 Kg. de semilla, remojándose en una solución de agua con lejía (10 cc

de lejía/litro de agua), por un tiempo de 8 horas. Posterior a esto se retira el agua con lejía, y volver a remojar en agua limpia por 16 horas; seguido a esto se elimina toda el agua y se dejó reposar en un balde para que la semilla pueda orearse por un día,

- Una vez obtenida la semilla limpia se pasa a la etapa de germinación que consiste en colocar la semilla dentro de las bandejas (1 kg. Peso mojado) bien extendida de 0.5 a 1.0 cm de espesor y se procede a cubrir con papel periódico húmedo y plásticos negro, para no dejar pasar la luz del día, realizando el riego con agua limpia por encima del papel periódico.
- A partir del cuarto día se inicio el riego con solución nutritiva comercial - La Molina que consta de 2 soluciones; solución A (5 ml/litro de agua) y solución B (2 ml/ litro de agua) realizado por intermedio de aspersores con frecuencias de 2 riegos por día, esta dosis es considerada el mismo para todos los tratamientos.
- Al octavo día se comienza la aspersión del azufre elemental disuelto en agua con solución nutritiva en los niveles que se probará, es decir 0, 20, 30 y 40 ppm de azufre.
- Al cabo del día décimo segundo se suspende la ferti - irrigación pero se continúa con el riego del azufre hasta el día décimo cuarto, a partir de este día solo se riega con agua pura con la finalidad de lavar el forraje de todo residuo que pueda quedar en la planta; la cosecha de forraje hidropónico se realizo al cabo del décimo octavo día.

De la prueba de digestibilidad aparente

- Fase Pre experimental; este periodo duro 7 días; Los animales en estudio fueron tratados para erradicar parásitos internos y externos utilizando un producto comercial apropiado a través de la inyección sub cutánea, con una dosis de 0.2 ml/kg de peso vivo. Así mismo las jaulas metabólicas fueron desinfectadas con kreso y cal viva para evitar la presencia de agentes patógenos.

La adaptación del forraje hidropónico de cebada a los cuyes se realizó con el complemento de sub producto de trigo de manera fraccionada.

- Fase experimental; Se realizó inmediatamente después del periodo de adaptación, durante 15 días.

En esta fase se suministro forraje verde hidropónico de cebada producido, al 100% del peso vivo de los cuyes; el alimento sobrante y heces fueron recolectados y pesado diariamente.

Del análisis químico bromatológico

El análisis de la composición química bromatológica del forraje verde hidropónico de cebada y las heces de cuyes, se realizó en el Laboratorio de Bioquímica, Nutrición y Alimentación Animal de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos; cuya secuencia se muestra a continuación:

- $\text{Materia seca} = 100 \times \frac{\text{residuo de la desecación}}{\text{peso de la muestra}}$.
- $\text{Proteína cruda} = \% \text{ de Nitrógeno} \times 6.25$.
- $\text{Fibra cruda} = 100 \times \frac{\text{peso perdido en las digestiones acida y alcalina del material desengrasado}}{\text{peso de la muestra}}$

- Extracto etéreo= 100* peso perdido por extracción con disolvente orgánico/peso de la muestra.
- Extracto libre de nitrógeno= 100-(% de materia mineral + % de extracto etéreo + % de proteína cruda + % de fibra cruda).

3.9 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Cálculo de digestibilidad

Para determinar la digestibilidad aparente del forraje hidropónico se utilizó la técnica descrita por (Maynard et al, 1989)

Los coeficientes de digestibilidad del forraje hidropónico de cebada se determinaron por el método directo, utilizando la siguiente fórmula:

$$CD = \frac{CAC - CAE}{CAC} \times 100$$

Donde:

- CD, Coeficiente de digestibilidad
- CAC, Cantidad de alimento consumido
- CAE, Cantidad de heces

Coefficiente de digestibilidad del nutriente en interés

$$CDI = \frac{\{PS AC \times \% Ni A\} - \{PS H \times \% Ni H\}}{PS AC \times Ni A} \times 100$$

Donde:

CDI, Coeficiente de digestibilidad del nutriente en interés

PS AC, Peso seco del alimento consumido

PS H, Peso seco de heces

Ni A, Nutriente en interés en el alimento

Ni H, Nutriente en interés en heces

Para la evaluación de la influencia de los niveles de azufre en la producción de biomasa, altura de tallo del forraje verde hidropónico de cebada y los coeficientes de digestibilidad de la proteína cruda, fibra cruda, extracto etéreo, extracto libre de nitrógeno y nutrientes digestibles totales, se empleó el diseño completamente al azar, con cinco repeticiones, cuyo modelo estadístico es como sigue:

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

Donde:

- Y_{ij} = Es el rendimiento de producción de biomasa, altura de tallo del forraje hidropónico de cebada y los coeficientes de digestibilidad de la proteína cruda, fibra cruda, extracto etéreo, extracto libre de nitrógeno y nutrientes digestibles totales, en la i -ésima dosis, j -ésima unidad experimental,
- μ = Es el efecto de la media general,
- α_i = Es el efecto del i -ésimo nivel de azufre donde i varía de 0 ppm a 40 ppm,
- ϵ_{ij} = Es el efecto del error experimental asociado a cada observación, donde se asume que sigue una distribución normal $(0, \sigma^2)$.

Para la evaluación de la composición química bromatológica se realizó el análisis proximal en el laboratorio de bioquímica nutrición y alimentación animal.

Se pone en claro que este análisis se realizó con una sola repetición para cada tratamiento obteniendo promedios generales los cuales se muestra en el cuadro 4.

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos sobre la influencia de los niveles de azufre en la producción de biomasa (PB), altura de tallo (AT), digestibilidad aparente de la proteína cruda (DAPC), digestibilidad aparente de la fibra cruda (DAFC), digestibilidad aparente del extracto etéreo (DAEE), digestibilidad aparente del extracto libre de nitrógeno (DAELN) y nutrientes digestibles totales (NDT), del forraje verde hidropónico de cebada; se consignan a través de los diversos cuadros y figuras del presente capítulo.

4.1 Efecto de los niveles de azufre en la producción del forraje verde hidropónico de cebada

En el Cuadro 1, se aprecia que los niveles de azufre en el forraje verde hidropónico de cebada influenció significativamente ($p < 0.001$) sobre la producción de biomasa (PB) y altura de tallo (AT), indicando que al menos un tratamiento es diferente. La contribución de los tratamientos en relación a la variación total fue muy alta para la PB y AT (71.84% y 68.18%) respectivamente.

Cuadro 1. Resumen de análisis de varianza para la producción de biomasa (PB) y altura del tallo (AT), del forraje verde hidropónico de la cebada, en función a los niveles de azufre.

Fuentes de variación	GL	PB (kg/m ²)			AT (cm)		
		CM ^a	F ^b	R(%) ^c	CM ^a	F ^b	R(%) ^c
Tratamiento (S)	3	3.80	13.61 ***	71.84	28.40	13.52***	68.18
Error	16	0.27			2.10		
Media		34.9			14.61		

^a: Cuadrados Medios; ^b: Pruebas de F; ^c: Relaciones entre las sumas de cuadrados de los efectos y las sumas de cuadrados totales;

***: P<0.001

Cuadro 2. Ecuaciones de regresión ajustadas para la producción de biomasa (PB) y altura de tallo (AT), del forraje verde hidropónico de la cebada en función de los niveles de azufre.

Variable	Regresión	R ²
PB (kg/m ²)	Y = 5.33 + 0.67***X	0.70
AT (cm)	Y = 10.10 + 1.80***X	0.68

***: P<0.001; significativo por la prueba de t.

Según el Cuadro 2 y Figura 1, se observa una respuesta lineal positiva para la producción de biomasa de acuerdo a la ecuación $Y = 5.33 + 0.67***X$, existiendo un aumento de 0.67 kg/m² de biomasa del forraje hidropónico de cebada por cada unidad de azufre, con un R²=0.70. La variación de producción de biomasa fue comprendida entre 29.9 ± 0.46 y 40.4 ± 0.72 kg/m², para el cultivo hidropónico de cebada libre de azufre y para la bandeja que contenía 0 y 40 ppm/m² de azufre respectivamente (Cuadro 3).

En relación al promedio general de la producción de biomasa en el presente estudio resulta ser mayor ($34.9 \pm 0.5 \text{ kg/m}^2$) a los obtenidos por Calles y Capelo (2007), quienes reportaron valores entre 16.8 y 19.4 kg/m^2 y promedio general de 18.09 kg/m^2 , al haber utilizado los mismos niveles de azufre en el cultivo hidropónico de cebada. Carrasco (2005), reportó 1.6 kg de biomasa de forraje verde hidropónico de cebada a los 10 días de siembra sin la adición de algún elemento químico.

En relación a la altura de tallo el Cuadro 2 y Figura 2, presentó un comportamiento lineal positivo de acuerdo a la ecuación $Y = 10.10 + 1.80^{***}X$, existiendo un aumento de 1.80 cm de altura de tallo del forraje hidropónico de la cebada por cada unidad de azufre, con un $R^2=0.68$. La variación de la altura de tallo fue comprendida entre 12.0 ± 1.22 y 17.0 ± 2.0 cm para el forraje verde hidropónico de la cebada (Cuadro 3).

En cuanto al promedio general de la altura de tallo en el presente estudio resulta ser similar (14.61 ± 1.38 cm) a los obtenidos por Calles y Capelo (2007), quienes reportaron valores entre 14.23 cm y 18.94 cm y un promedio general de 16.98 cm, con niveles similares de azufre que lo utilizado en el presente estudio. En esta misma línea de investigación Carrasco (2005) encontró 22.0 cm en promedio de altura de planta, a los 10 días de sembrado el forraje hidropónico de la cebada. Rojas *et al.* (2002) evaluaron la altura de tallo para el forraje hidropónico del centeno según la densidad de siembra de 94,188 y 282 gr de semilla por bandeja reportando un promedio general de 19.7 cm y según edad de cosecha de 10, 15 y 20 días un promedio general de 19.6 cm de altura de tallo.

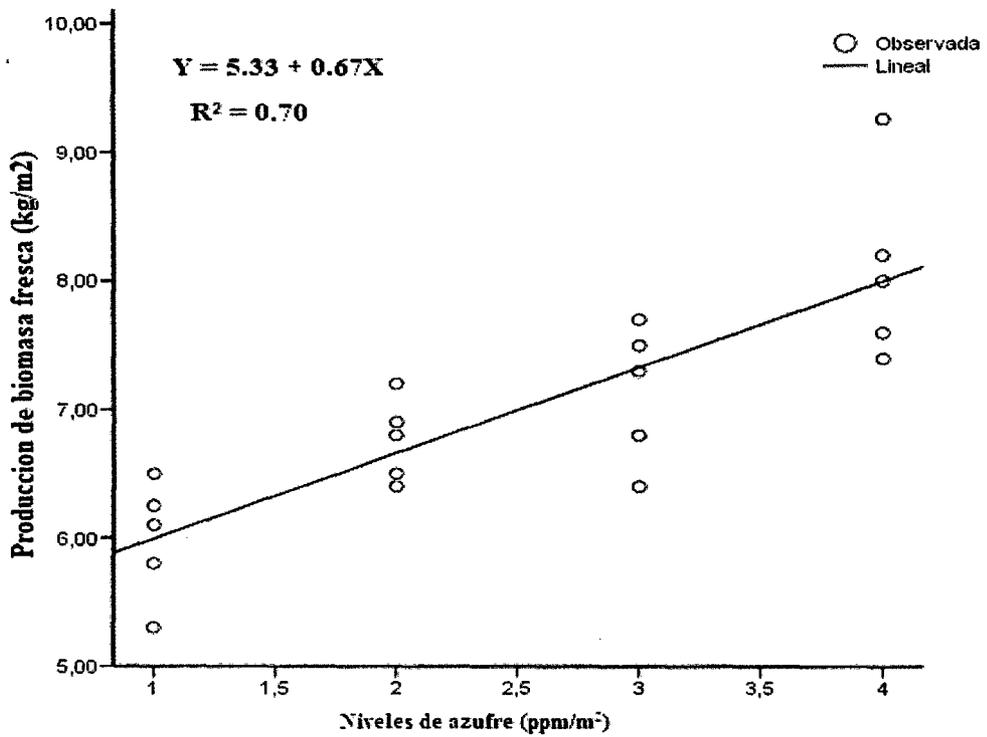


Figura 1. Curva, ecuación de regresión para la producción de biomasa (kg/m²) en función de los niveles de azufre (ppm/m²) para el forraje verde hidropónico de cebada.

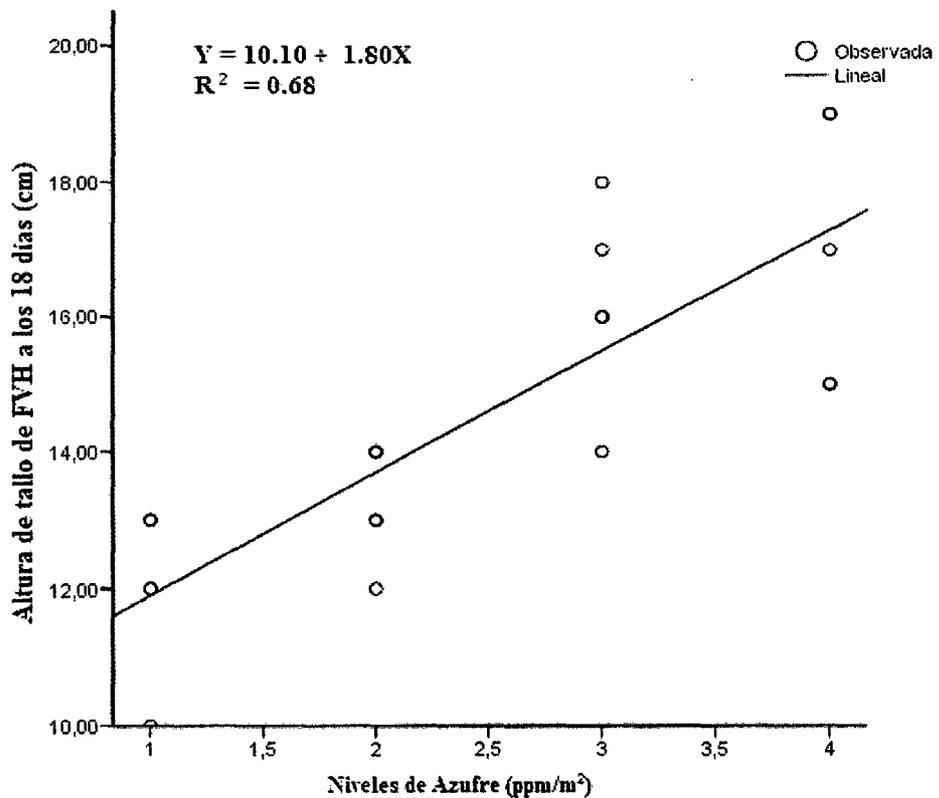


Figura 2. Curva, ecuación de regresión para la altura de tallo (cm) en función de los niveles de azufre (ppm/m²) para el forraje verde hidropónico de cebada.

Cuadro 3. Valores medios (\bar{X}) y desviaciones estándar (s) de los efectos de los niveles de azufre sobre la producción de biomasa (PB) y altura de tallo (AT) del forraje verde hidropónico de la cebada.

Niveles de azufre (ppm/m ²)	Variables	
	PB (kg/m ²)	AT (cm)
	($\bar{X} \pm s$)	($\bar{X} \pm s$)
0	29.9 ± 0.46	12.0 ± 1.22
20	33.8 ± 0.32	13.2 ± 0.83
30	35.7 ± 0.53	16.2 ± 1.48
40	40.4 ± 0.72	17.0 ± 2.00
\bar{X} /prod.	34.9 ± 0.5	14.61 ± 1.38

4.2 Efecto de los niveles de azufre en la composición químico del forraje verde hidropónico de cebada.

Según el cuadro 4, se observa para la proteína cruda la variación entre 11.78 y 14.78 %, para los niveles de azufre adicionados al cultivo hidropónico de la cebada de 0 y 20 ppm/m² respectivamente, con promedio general (12.95 %) que resulta ser menor a los obtenidos por Calles y Capelo (2007), quienes reportan valores entre 15.62 y 17.83 %, con un promedio de 16.26 %, que utilizaron niveles de 0 a 40 ppm de azufre para la producción de forraje verde hidropónico de la cebada. Carrasco (2005) reportó en promedio 13.30 % de proteína cruda en el forraje verde hidropónico de la cebada cosechada a los 10 días de cultivada sin utilizar ningún aditivo. En esta misma línea de investigación Rojas *et al.* (2002), al evaluar el cultivo hidropónico del centeno según la densidad de siembra 94, 188 y

282 gr de semilla por bandeja reporto un promedio general de 18.63 % y edad de cosecha 10, 15 y 20 días un promedio general de 18.63 %.

Para la fibra cruda se registraron valores extremos de 16.95 a 27.40 % en los niveles de azufre de 0 y 30 ppm/m², respectivamente, y un promedio general de 23.61%, siendo similar a los obtenidos por Calles y Capelo (2007) quienes reportan valores entre 23.25 y 24.52 % para los niveles de azufre 30 y 40 ppm con promedio general de 24.09 %. Carrasco (2005) reporta un promedio 20.59% de fibra en forraje hidropónico de cebada cosechada a 10 días sin utilizar aditivo.

En relación al extracto etéreo la variación es de 3.55 a 4.20 % para los niveles de 0 y 40 ppm/m² de azufre en el forraje verde hidropónico de la cebada, con promedio general de 3.88 % que resulta ser similar a los obtenidos por Calles y Capelo (2007), quienes reportan valores de 3.35 y 4.04 % con promedio de 3.64% en los niveles de 20 y 40 ppm de azufre. Carrasco (2005) reporta un promedio inferior (2.63 %) a los 10 días de sembrado el forraje hidropónico de cebada.

La variación presentada para el extracto libre de nitrógeno fue de 52.86 a 60.30 % en los niveles de 30 y 0 ppm/m² de azufre, respectivamente, con un promedio general de 55.19 % en el forraje verde hidropónico de la cebada; al no reportarse datos de esta variable en estudio en otras investigaciones no es posible hacer comparaciones.

El contenido de ceniza en el presente estudio fue con valores extremos de 4.42 a 5.54 % en los niveles de 0 y 30 ppm/m² de azufre, con un promedio general de 4.61 %, que resulta ser inferior a los reportados por Rojas *et al.* (2002), quienes evaluaron el cultivo hidropónico del centeno según la densidad de siembra 94, 188 y 282 gr de semilla por bandeja y la edad de cosecha a los 10, 15 y 20 días, obteniendo promedios de 5.4 y 5.3 % de ceniza respectivamente.

Se registraron valores extremos para la fibra detergente neutro de 63.38 a 68.66 % en los niveles de azufre utilizados de 0 y 30 ppm/m², respectivamente, con un promedio general de 65.95 % resultando ser mayor a los obtenidos por Rojas *et al.* (2002), quienes estudiaron al cultivo hidropónico del centeno según densidad de siembra (94, 188 y 282 gr de semilla por bandeja) reportando una variación de 45.1 a 51.4 % con promedio de 48.03% y según edad de cosecha (10, 15 y 20 días) una variación de 44.1 a 54.9 % con promedio general de 48.00 %

Cuadro 4. Análisis químico bromatológico del forraje verde hidropónico de la cebada.

Niveles de Azufre (ppm/m ²)	MS	PC (%)	FC (%)	EE (%)	ELN (%)	C %	FDN%
0	16.22	14.78	16.95	3.55	60.30	4.42	63.38
20	16.37	11.78	25.69	3.61	54.48	4.44	67.32
30	15.99	12.04	27.40	4.16	52.86	4.54	68.66
40	15.92	13.22	24.42	4.20	53.12	5.04	64.43
\bar{X}	16.12	12.95	23.61	3.88	55.19	4.61	65.95

** : MS =materia seca; PC= proteína cruda; FC = fibra cruda; EE =extracto etéreo; ELN = extracto libre de nitrógeno; C = ceniza; FDN =fibra detergente neutro.

4.3 Efecto de los niveles de azufre en la digestibilidad del forraje verde hidropónico de la cebada.

Según el Cuadro 5, se observa que existe influencias altamente significativas ($P < 0.001$) para la digestibilidad de la fibra cruda; e influencias significativas ($P < 0.01$) para la digestibilidad del extracto etéreo, por el efecto de los niveles de azufre; mientras que la digestibilidad aparente de la proteína cruda, digestibilidad aparente del extracto libre de nitrógeno y nutrientes digestibles totales no muestran influencias significativas ($P > 0.001$, $P > 0.05$, $P > 0.01$).

Cuadro 5. Resumen del análisis de varianza de la digestibilidad aparente de: proteína cruda (DAPC), fibra cruda (DAFC), extracto etéreo (DAEE), extracto libre de nitrógeno (DAELN), y nutrientes digestibles totales (% NDT) del forraje verde hidropónico de la cebada, en función a los niveles de azufre.

Fuentes de variación	GL	DAPC (%)			DAFC (%)			DAEE (%)			DAELN (%)			NDT (%)		
		CM ^a	F ^b	R(%) ^c	CM ^a	F ^b	R(%) ^c	CM ^a	F ^b	R(%) ^c	CM ^a	F ^b	R(%) ^c	CM ^a	F ^b	R(%) ^c
Tratamiento (S)	3	31.02	1.77 ^{ns}	24.96	183.64	9.67 ^{***}	64.45	20.75	4.11 [*]	43.49	34.88	2.31 ^{ns}	30.26	6.29	0.43 ^{ns}	7.42
Error	16	17.48			18.99			5.05			15.07			14.69		
CV (%)		5.55			6.15			2.64			5.17			5.08		
Media		75.25			70.84			84.66			75.06			75.40		

^a: Cuadrados Medios; ^b: Pruebas de F; ^c: Relaciones entre las sumas de cuadrados de los efectos y las sumas de cuadrados totales;

^{***}: P<0.001;

^{*}: P<0.05;

^{ns}: No significativo.

Cuadro 6. Valores medios (\bar{x}) y desviaciones estándar (s) de los efectos de los niveles de azufre sobre la digestibilidad aparente de: proteína cruda (PC), fibra cruda (FC), extracto etéreo (EE), extracto libre de nitrógeno (ELN) y nutrientes digestibles totales (NDT) del forraje verde hidropónico de la cebada.

Niveles de azufre (ppm/m ²)	Digestibilidad Aparente (%)				NDT ⁵
	PC ¹	FC ²	EE ³	ELN ⁴	
	($\bar{x} \pm s$)	($\bar{x} \pm s$)	($\bar{x} \pm s$)	($\bar{x} \pm s$)	
0	77.50 ± 4.46	82.97 ± 1.94	62.38 ± 4.29	78.29 ± 2.48	75.86 ± 2.93
20	73.08 ± 3.38	83.16 ± 2.11	70.79 ± 3.66	74.48 ± 3.20	74.13 ± 3.25
30	73.11 ± 3.49	85.22 ± 1.92	76.15 ± 3.09	71.91 ± 3.64	74.65 ± 3.37
40	77.31 ± 5.14	87.31 ± 2.88	74.08 ± 5.88	75.57 ± 5.54	76.71 ± 5.33
\bar{x} / nivel	75.25 ± 4.11	84.66 ± 2.21	70.85 ± 4.21	75.06 ± 3.71	75.33 ± 3.72

Los números indican medias ajustadas por LS Means.

*: ¹= digestibilidad aparente de la proteína cruda; ²= digestibilidad aparente de la fibra cruda; ³= digestibilidad aparente del extracto etéreo; ⁴= digestibilidad aparente del extracto libre de nitrógeno; ⁵= nutrientes digestibles totales.

Según al cuadro 6, la variación de la digestibilidad aparente de la proteína cruda del forraje verde hidropónico de la cebada fue de 73.08 a 77.50 % en los niveles de 20 y 0 ppm/m² de azufre con una media de 75.25 %; en relación a la digestibilidad aparente de la fibra cruda los valores extremos registrados fueron de 82.97 a 87.31 % en los niveles de 0 y 40 ppm/m² de azufre y con un promedio de 84.66 % de digestibilidad; en cuanto a la digestibilidad aparente del extracto etéreo del forraje verde hidropónico de la cebada los valores extremos varían de 62.38 a 76.15 % en los niveles de 0 y 30 ppm/m² con una media general de 70.85 % de digestibilidad; mientras que la digestibilidad aparente del extracto libre de nitrógeno del forraje verde hidropónico de la cebada registro una variación de 71.91 a 78.29 % en los niveles de 30 y 0 ppm/m² con una media general de 75.06 % de digestibilidad.

Se observa que los nutrientes digestibles totales del forraje hidropónico de la cebada varían de 74.13 a 76.71 % en los niveles de 20 y 40 ppm/m² con un promedio general de 75.33% (Cuadro 6).

Actualmente no se encontraron trabajos en la que se hayan determinado digestibilidad del forraje hidropónico de cebada sin embargo; Herrera *et al.*, (2007), realizaron el trabajo de determinar la digestibilidad aparente del forraje hidropónico de maíz en 6 ovinos estabulados en jaulas metabólicas, llegando a determinar una digestibilidad aparente promedio de la materia seca del Forraje hidropónico de maíz, de 55,9% en promedio de todos los animales, el cual resulta ser menores a las digestibilidades del presente estudio.

Cuadro 7. Ecuaciones de regresión ajustadas para la digestibilidad aparente: proteína cruda (DAPT), fibra cruda (DAFC), extracto etéreo (DAEE), extracto libre de nitrógeno (DAELN), del forraje verde hidropónico de la cebada en función al nivel de azufre.

Variable	Regresión	R ²
Digestibilidad.....	
DAPT (%)	$Y = 86.16 - 10.83 \cdot X + 2.15 \cdot X^2$	0.24
DAFC (%)	$Y = 47.65 + 17.13 \cdot X - 2.62 \cdot X^2$	0.63
DAEE (%)	$Y = 80.89 + 1.51 \cdot X$	0.39
DAELN (%)	$Y = 87.08 - 10.41 \cdot X + 1.87 \cdot X^2$	0.28
NDT (%)	$Y = 81.68$	----

**P<0.01; * P<0.05 significativo por la prueba de t.

Según el (Cuadro 7 y Figura 3) se observa una respuesta cuadrática para la digestibilidad aparente de la proteína cruda (DAPC) de acuerdo a la ecuación $Y = 86.16 - 10.83*X + 2.15*X^2$, con un $R^2 = 0.24$

En relación a la digestibilidad aparente de la fibra cruda (DAFC) presentó un comportamiento cuadrático según el (Cuadro 7 y Figura 4), de acuerdo a la ecuación $Y = 47.65 + 17.13**X - 2.62**X^2$, con un $R^2 = 0.63$.

En relación a la digestibilidad aparente del extracto etéreo (DAEE) según el (Cuadro 7 y Figura 5) se observa una respuesta lineal positiva para esta variable. De acuerdo a la ecuación $Y = 80.89 + 1.51**X$, existió un aumento de 1.51 % de digestibilidad aparente de extracto etéreo del forraje hidropónico de cebada por cada unidad de azufre, con $R^2=0.39$

En cuanto a la digestibilidad aparente del extracto libre de nitrógeno (DAELN) el (Cuadro 7 y Figura 6) muestra un comportamiento cuadrático de acuerdo a la ecuación $Y = 87.08 - 10.41*X + 1.87*X^2$ con $R^2 = 0.28$.

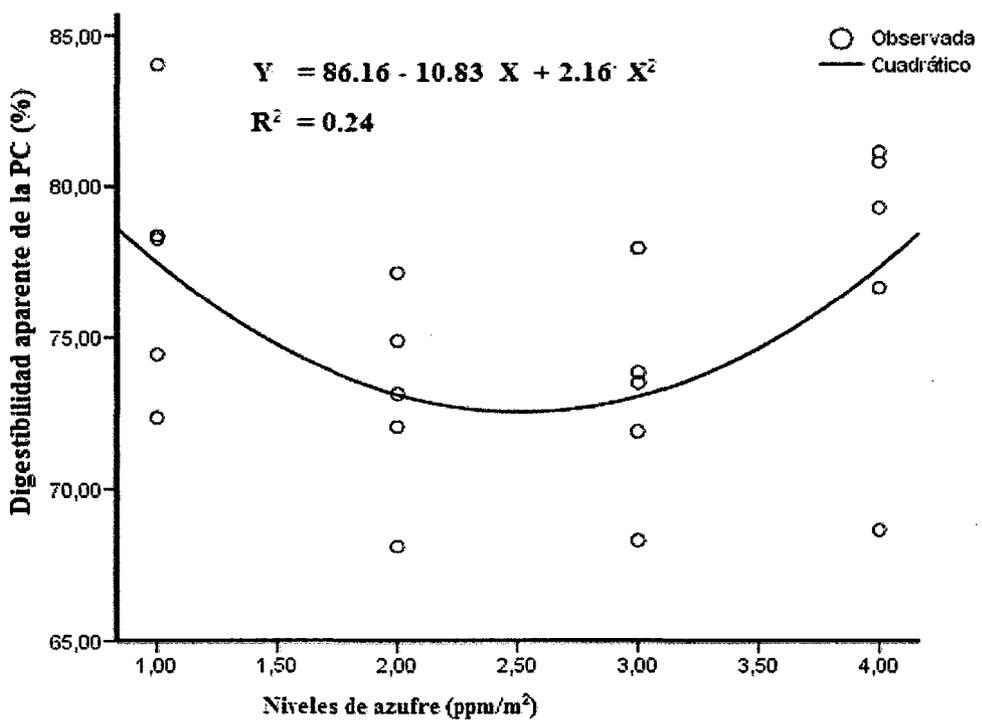


Figura 3. Curva, ecuación de regresión para digestibilidad aparente de la proteína cruda (%) en función de los niveles de azufre (ppm/m²) para el forraje verde hidropónico de cebada.

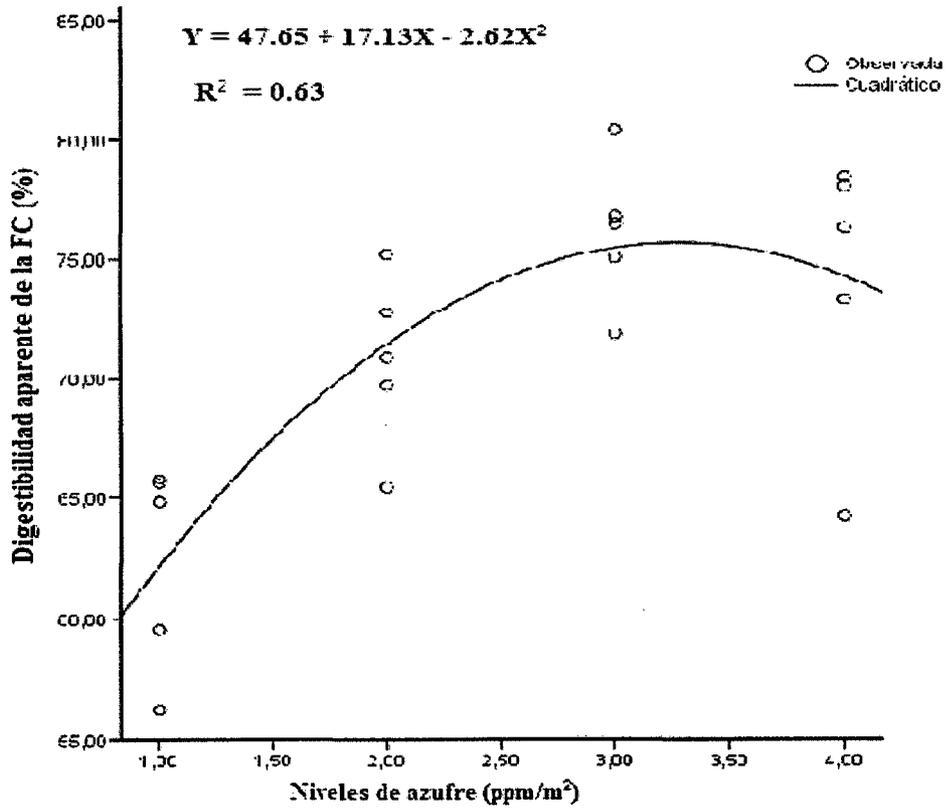


Figura 4. Curva, ecuación de regresión para la digestibilidad aparente de la fibra cruda (%) en función de los niveles de azufre (ppm/m²) para el forraje verde hidropónico de cebada.

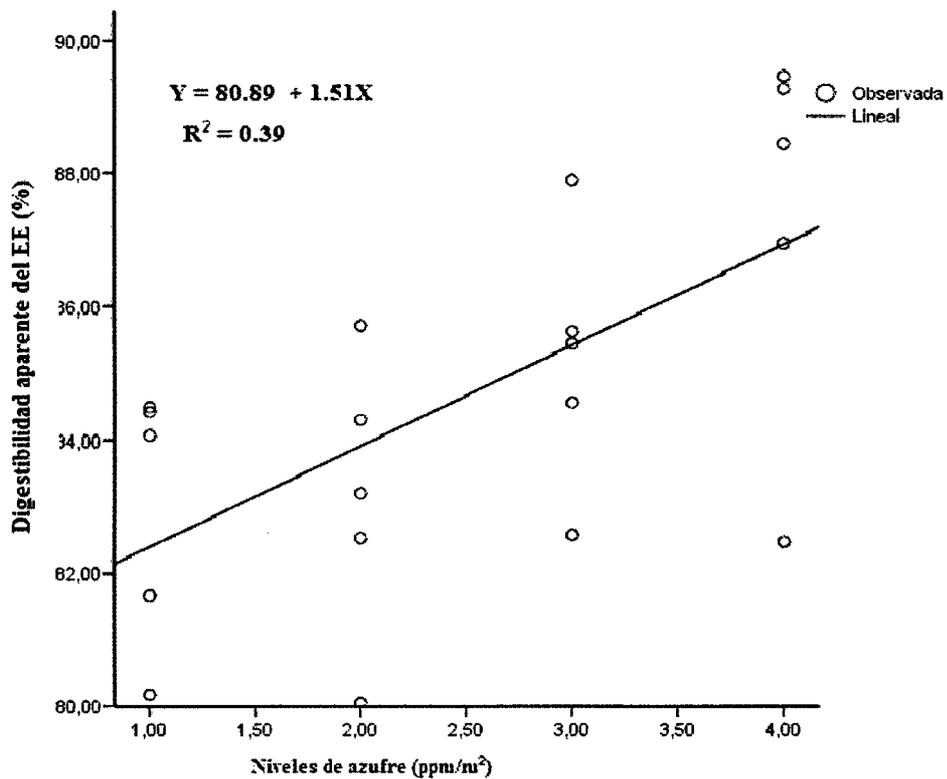


Figura 5. Curva, ecuación de regresión para la digestibilidad aparente del extracto etéreo (%) en función de los niveles de azufre (ppm/m²) para el forraje verde hidropónico de la cebada.

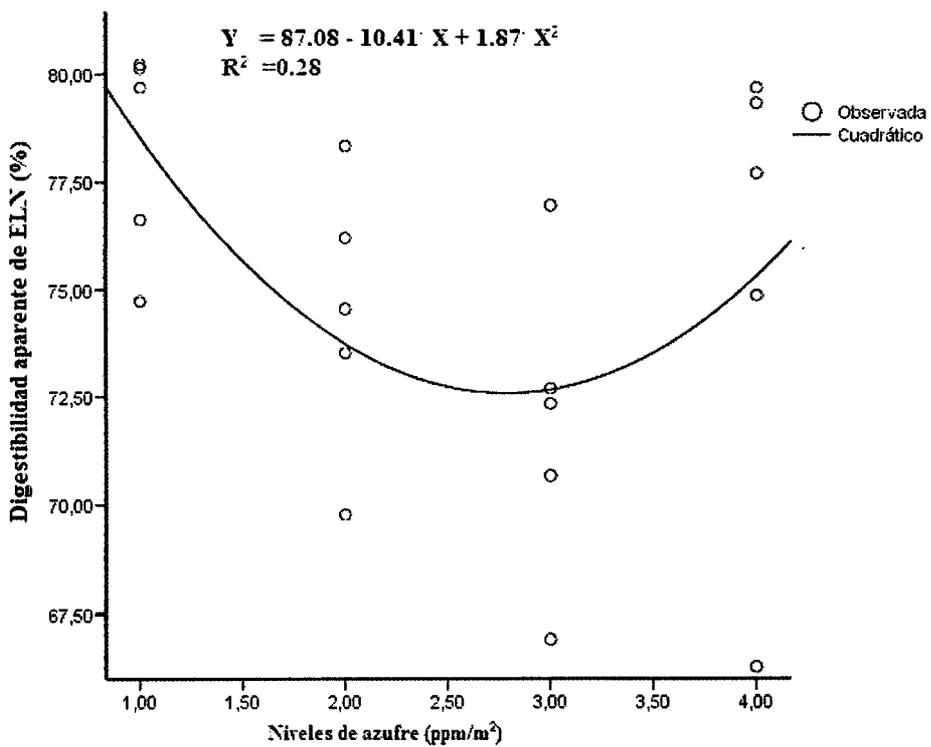


Figura 6. Curva, ecuación de regresión para la digestibilidad aparente del extracto libre de nitrógeno (%) en función de los niveles de azufre (ppm/m²) para el forraje verde hidropónico de cebada.

CONCLUSIÓN

1. Del análisis del modelo estadístico utilizado en el presente estudio mostró que los niveles de azufre tienen influencias en la producción de biomasa y altura de tallo del forraje verde hidropónico de la cebada, ya que mejoran pronunciadamente la producción de biomasa y la altura de tallo, con promedios de 40.45 kg/m² y 17.0 cm respectivamente a los 18 días de cosecha.
2. Es posible la utilización de azufre en los diferentes niveles para la producción de biomasa y altura de tallo del forraje verde hidropónico de la cebada.
3. En cuanto al porcentaje de proteína cruda y extracto libre de nitrógeno el tratamiento que presento mayor porcentaje es el 0 ppm de S, con promedios de 12.95 % y 55.19 % respectivamente.
4. En lo referente a la fibra cruda y fibra detergente neutro el tratamiento que resalto con mayor respuesta fue el 30 ppm de S, con promedios de 23.61 % y 65.95 % en el mismo orden.
5. Respecto al contenido de extracto etéreo y ceniza el tratamiento que presentó mayor respuesta es el de 40 ppm de S, con un promedio de 3.88 %, 4.61% respectivamente
6. En la digestibilidad aparente: la proteína cruda, extracto libre de nitrógeno y los nutrientes digestibles totales del forraje verde hidropónico de cebada no presentaron influencias significativas entre los resultados de los tratamientos; mientras que la digestibilidad aparente de la fibra cruda y extracto etéreo presentaron influencias significativas ($P < 0.001$ y $P < 0.01$), respectivamente.

RECOMENDACIONES

1. Realizar trabajos de investigación para la producción de forraje verde hidropónico de cebada utilizando como nutriente al azufre en otros niveles.
2. Realizar otras pruebas de digestibilidad en otras especies como ovinos y cabras teniendo como base el presente trabajo.
3. Determinar el valor de la energía metabolizable, a partir de pruebas de digestibilidad

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Aguilera Montañez, J.L.; Salazar García, S. Efecto del nitrógeno, fósforo y potasio en el rendimiento y tamaño del fruto de aguacate. Folleto Técnico No. 12. Campo Experimental Uruapan: INIFAP; 1996.
- Ávila, I., Los sulfitos como conservantes y su control en los alimentos. Página de Salud Pública del Ayuntamiento de Madrid. 2009. Disponible en: <http://www.madridsalud.es/temas/aditivos.php>
- Bondi, AA., Nutrición Animal. 4^{ta} edición. Editorial Acribia Zaragoza – España; 1988
- Calderón, F. Cultivos hidropónicos. Vol 1. Ediciones Culturales Ver LTDA. Bogota. Colombia; 1992.
- Calles, D.; Capelo, W. Evaluación de la producción y calidad del forraje verde hidropónico (FVH) de cebada, con la utilización de diferentes niveles de azufre y su respuesta en ganado lechero. Tesis de Grado. Rev. Ecociencia 1. Riobamba – Ecuador; 2007
- Carrasco Juárez, I. Uso de la Cebada Germinada en la alimentación de Cuyes en Crecimiento-Engorde. Tesis de Ing. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima; 2005
- Cassman, K., Ecological intensification of cereal production systems: yield potential, soil quality, and precision agriculture. The National Academy of Sciences. Copyright 1999.
- Centro de información y comunicación ambiental de norte américa (CICEANA). Ciclo del azufre. México. www.ciceana.org.mx

Coljap, Cultivos hidropónicos. Fascículo N° 9. Ediciones culturales industria agroquímica S.A., Bogotá, Colombia. 1989.

CNR Pacific Line, 2006, disponible en: <http://www.pacificline.ru/terminos.html>

Chumbes Ramos F.; Espinoza Mucha, G. A. Forraje verde hidropónico para cuyes de exportación. Junín – Perú. 2005

Fossati, C., Como practicar el hidrocultivo. Edit. EDAF. S.A. Madrid – España. 1986

Herrera Angulo A. M., Depablos Alviárez L. A., López Maduro R. Degradabilidad y digestibilidad de la materia seca del forraje Hidropónico de Maíz (*Zea Mays*). Respuesta animal en términos de consumo y ganancia de peso. (tesis doctoral). Venezuela: Revista Científica (Maracaibo) Universidad Central de Venezuela, Facultades de Agronomía y Ciencias Veterinarias; 2007.

Hidalgo Miranda, L. R., Producción de forraje en condiciones de Hidroponía. Evaluaciones Preliminares en Avena y Triticale. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de Concepción, Sede Chillán. Chile; 1985

Maynard, L.; Loosli, J.; Warner, W. Nutrición Animal. 4ta edición. Mexico. 1989.

Miller, W.J., Nutrición y Alimentación del Ganado vacuno lechero, España – Zaragoza. 1989.

Pichilingue y Silva, Utilización de la cebada (*Hordeum vulgare*), germinada en la alimentación de cuyes hembras durante el empadre, gestación y lactación. Tesis de grado. Universidad Agraria la Molina. Lima – Perú; 1994.

Resh, H.M., Cultivos hidropónicos. Ediciones Mundi-Prensa. Segunda edición. Madrid-España; 1987

- Rodríguez, A. Manual Práctico de Hidroponía. Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral. Lima, Perú; 2000
- Rojas, M., Del Carpio, P.A., Y Guerrero, J., Cultivo hidropónico de centeno forrajero: densidad, edad de utilización y respuesta en cuyes criollos en crecimiento, Facultad de Zootecnia, Universidad Nacional "Pedro Ruiz Gallo", Lambayeque – Perú; 2002
- Sánchez, A. Una experiencia de forraje verde hidropónico en el Uruguay. En: Boletín informativo de la red hidroponía N° 7. UNALM. Lima, Perú; 1997
- Sholto, D.J. Hidroponía, cómo cultivar sin tierra. Buenos Aires – Argentina; 1990.
- Stoller Enterprises, INC. Texas. Disponible en: www.stollerusa.com
- Tarrillo, H. Producción de Forraje Verde Hidropónico en Arequipa, Perú. En Boletín Informativo de Red Hidroponía, UNALM. Lima, Perú; 2002
- Van Soest PJ, Nutrient Ecology of the Ruminant. Ruminant metabolism, nutritional strategies, the cellulolytic fermentation and the chemistry of forages and plant fibers. Corvallis, Oregon, USA. O & B Books, Inc; 1982
- Vargas C.F. Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. Agronomía mesoamericana; 2008
- Young, A. Is there really spare land? A critique of estimates of available cultivable land in developing countries. *Env. Dev. Sustain*; 1999
- Zúñiga, H. Agrocultura. México; 2000.

ANEXOS

CUADRO 1A: Base de datos del suministro de forraje verde hidropónico de la cebada y recolección de heces de los cuyes.

Tratamientos	Repetición	Cantidad alimento ofrecido (gr.)	Cantidad de alimento rechazado	Cantidad de heces	Alimento consumido	Alimento consumido (B.S.)	Cantidad de heces en B.S
T1	R1	396	105.13	71.14	290.87	272.78	67.05
	R2	345	95.93	62.57	249.07	233.58	58.97
	R3	330	91.43	74.57	238.57	223.73	70.28
	R4	363	101.33	64.29	261.67	245.40	60.59
	R5	358	99.97	74.57	258.03	241.98	70.28
T2	R1	371	103.73	65.14	267.27	250.25	60.91
	R2	318	87.83	78.29	230.17	215.51	73.20
	R3	330	91.43	63.86	238.57	223.37	59.71
	R4	344	95.63	74.00	248.37	232.55	69.19
	R5	307	84.53	63.71	222.47	208.30	59.57
T3	R1	298	81.83	74.29	216.17	203.22	70.47
	R2	326	90.23	66.86	235.77	221.65	63.43
	R3	370	103.43	76.57	266.57	250.60	72.64
	R4	346	96.23	59.71	249.77	234.81	56.65
	R5	335	92.93	73.71	242.07	227.57	69.93
T4	R1	422	119.03	64.29	302.97	285.04	61.32
	R2	288	78.83	73.71	209.17	196.79	70.32
	R3	405	113.93	62.86	291.07	273.84	59.96
	R4	384	107.63	72.57	276.37	260.01	69.23
	R5	375	104.85	62.86	269.90	253.92	59.96

*: a = T1, 00 ppm S; b = T2, 20 ppm S; c = T3, 30 ppm S; d = T4, 40 ppm S

: b= B.S. (base seca = alimento ofrecido%materia seca/100)

Cuadro 2A: Análisis químico bromatológico del forraje verde hidropónico de la cebada y heces de cuyes alimentados con forraje verde hidropónico de cebada

Análisis	Análisis proximal del forraje verde hidropónico de cebada				Análisis proximal y FDN de heces de cuy				
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	
Humedad (%)	6.22	6.37	5.99	5.92	5.75	6.5	5.13	4.61	
Base seca (%)	93.78	93.63	94.01	94.08	94.25	93.5	94.87	95.39	
Proteína cruda	BH	13.68	11.03	11.38	12.43	12.25	10.34	10.21	11.06
	BS	14.78	11.78	12.04	13.22	13.00	11.06	11.00	11.59
Extracto etéreo	BH	3.32	3.38	3.91	3.96	2.10	1.98	1.98	1.97
	BS	3.55	3.61	4.16	4.20	2.24	2.12	2.09	2.06
Fibra cruda	BH	15.90	24.05	25.40	23.02	22.26	24.46	21.07	23.32
	BS	16.95	25.69	27.40	24.42	23.62	26.17	22.21	24.46
Cenizas	BH	4.14	4.16	4.27	4.74	11.86	11.4	11.27	11.19
	BS	4.42	4.44	4.54	5.04	12.58	12.18	11.88	11.74
ELN	BH	56.56	51.01	42.75	49.93	45.78	45.32	47.88	47.83
	BS	60.30	54.48	52.86	53.12	48.50	48.48	50.46	50.15
FDN (B.S)	63.38	67.32	68.66	64.43	78.40	79.93	82.31	80.46	

*: ^a = T1, 00 ppm S; ^b = T2, 20 ppm S; ^c = T3, 30 ppm S; ^d = T4, 40 ppm S

Cuadro 3A: Base de datos de las variables en estudio

Tratamientos	Repetición	Tamaño de planta (cm)	Producción de biomasa (kg.)	CD de la Pt	CD del EE	CD de FC	CD de ELN	NDT (%)
T1	R1	13	5.3	78.38	84.49	65.75	80.23	77.86
	R2	12	6.5	84.03	84.07	64.82	79.69	78.18
	R3	10	6.1	72.37	80.18	56.22	74.73	71.69
	R4	13	5.8	78.28	84.42	65.59	80.14	77.76
	R5	12	6.25	74.45	81.67	59.53	76.64	73.83
T2	R1	12	6.5	77.15	85.71	75.21	78.34	78.05
	R2	13	7.2	68.11	80.05	65.40	69.78	69.34
	R3	14	6.4	74.90	84.30	72.77	76.21	75.89
	R4	14	6.8	72.07	82.53	69.69	73.52	73.15
	R5	13	6.9	73.15	83.20	70.87	74.55	74.20
T3	R1	14	7.5	68.32	82.58	71.89	66.90	70.33
	R2	16	6.8	73.86	85.62	76.80	72.68	75.63
	R3	17	6.4	73.52	85.44	76.50	72.33	75.31
	R4	18	7.3	77.96	87.88	80.44	76.97	79.56
	R5	16.25	7.7	71.92	84.56	75.09	70.67	73.78
T4	R1	15	8.2	81.14	89.44	78.45	79.69	80.67
	R2	15	8	68.67	82.47	64.21	66.27	67.75
	R3	17	7.6	80.80	89.26	78.07	79.33	80.32
	R4	19	9.25	76.66	86.94	73.33	74.86	76.03
	R5	19	7.4	79.30	88.41	76.35	77.71	78.76

*: a = T1, 00 ppm S; b = T2, 20 ppm S; c = T3, 30 ppm S; d = T4, 40 ppm S

** : CD: coeficiente de digestibilidad aparente, Pt: Proteína, EE: Extracto etéreo, FC: Fibra cruda, ELN: Extracto libre de nitrógeno, NDT: Nutrientes digestibles totales.

Cuadro 4A. Análisis de Varianza para la producción de biomasa (PB) del forraje verde hidropónico de la cebada.

Fuentes de variación	GL	SC	CM	F	P-valor
Niveles de azufre	3	11.42	3.80	13.61	< 0.0001
Error	16	4.47	0.27		
Total	19	15.90			

$R^2: 0.7014$

Cuadro 5A. Análisis de Varianza para la altura de tallo del forraje verde hidropónico de la cebada.

Fuentes de variación	GL	SC	CM	F	P-valor
Niveles de azufre	3	85.20	28.40	13.52	< 0.0001
Error	16	33.60	2.10		
Total	19	118.80			

$R^2: 0.68$

Cuadro 6A. Análisis de Varianza de la digestibilidad aparente de la proteína cruda del forraje hidropónico de la cebada

Fuentes de variación	GL	SC	CM	F	P-valor
Niveles de azufre	3	93.05	31.01	1.77	> 0.1926
Error	16	279.74	17.48		
Total	19	372.79			

$R^2: 0.2495$

Cuadro 7A. Análisis de Varianza de la digestibilidad aparente de la fibra cruda del forraje verde hidropónico de la cebada

Fuentes de variación	GL	SC	CM	F	P-valor
Niveles de azufre	3	550.91	183.63	9.67	< 0.0007
Error	16	303.77	18.98		
Total	19	854.69			

$R^2: 0.6389$

Cuadro 8A. Análisis de Varianza para la digestibilidad aparente del extracto etéreo del forraje verde hidropónico de la cebada.

Fuentes de variación	GL	SC	CM	F	P-valor
Niveles de azufre	3	62.23	20.74	4.11	< 0.0244
Error	16	80.83	5.05		
Total	19	143.06			

$R^2: 0.3975$

Cuadro 9A. Análisis de Varianza para la digestibilidad aparente del extracto libre de nitrógeno del forraje hidropónico de la cebada

Fuentes de variación	GL	SC	CM	F	P-valor
Niveles de azufre	3	104.64	34.88	2.31	> 0.1147
Error	16	241.14	15.07		
Total	19	345.78			

$R^2: 0.2495$

Cuadro 10A. Análisis de varianza de los nutrientes digestibles totales del forraje hidropónico de la cebada.

F.V	GL	SC	CM	F	Sig.
Tratamiento (S)	3	18.86	6.28	0.43	0.7357
Error	16	235.08	14.69		
Total	19	253.95			

Cuadro 11A. Análisis de varianza de regresión de producción de biomasa del forraje verde hidropónico de cebada.

F.V	GL	SC	CM	F	Sig.
Regresión	1	11.15	11.15	42.28	0.0001
ERROR	18	4.74	0.26		
Total	19	15.90			

$R^2: 0.7014$

Cuadro 12A. Análisis de varianza de regresión de altura de planta del forraje verde hidropónico de cebada.

F.V	GL	SC	CM	F	Sig.
Regresión	1	81.000000	81.00000	38.57	0.0001
ERROR	18	37.800000	2.100		
Total	19	118.800000			

$R^2: 0.681818$

Cuadro 13A. Análisis de varianza de regresión de la digestibilidad aparente de la proteína.

F.V	GL	SC	CM	F	Sig.
Regresión	2	93.07	46.51	2.83	0.0871
ERROR	17	279.76	16.45		
Total	19	372.79			

$R^2: 0.2495$

Cuadro 14A. Análisis de varianza de regresión de la digestibilidad aparente de la fibra cruda.

F.V	GL	SC	CM	F	Sig.
Regresión	2	546.14	273.07	15.05	0.0002
ERROR	17	308.54	18.14		
Total	19	854.69			

 $R^2:0.6389$

Cuadro 15A. Análisis de varianza de regresión de la digestibilidad aparente del extracto etéreo.

F.V	GL	SC	CM	F	Sig.
Regresión	1	56.88	56.88	11.88	0.0029
ERROR	18	86.18	4.78		
Total	19	143.06			

 $R^2:0.3975$

Cuadro 16A. Análisis de varianza de regresión de la digestibilidad aparente de extracto libre de nitrógeno.

F.V	GL	SC	CM	F	Sig.
Regresión	2	98.40	49.20	3.38	0.0581
ERROR	17	247.38	14.55		
Total	19	345.78			

 $R^2:0.2495$

Cuadro 17A. Coeficientes de regresión lineal de producción de biomasa del forraje verde hidropónico de la cebada.

Modelo	Coef. no estandarizados		P - valor
	B	s	
Concentración	0.67	0.10	6.50
(Constante)	5.33	0.28	18.93

Cuadro 18A. Coeficientes de regresión lineal de altura de planta del forraje verde hidropónico de la cebada.

Modelo	Coef. no estandarizados		P - valor
	B	s	
Concentración	1.80	0.28	6.21
(Constante)	10.10	0.79	12.72

Cuadro 19A. Coeficientes de regresión cuadrática de la digestibilidad aparente de la proteína cruda del forraje verde hidropónico de la cebada

Modelo	Coef. no estandarizados		P - valor
	B	s	
Concentración	-10.83	4.60	-2.35
C ²	2.156	0.90	2.38
(Constante)	86.163	5.05	17.00

Cuadro 20A. Coeficientes de regresión cuadrática de la digestibilidad aparente de la fibra cruda del forraje verde hidropónico de la cebada

Modelo	Coef. no estandarizados		P - valor
	B	s	
Concentración	17.13	4.83	3.54
C ²	-2.62	0.95	-2.75
(Constante)	47.65	5.30	8.98

Cuadro 21A. Coeficientes de regresión lineal de la digestibilidad aparente del extracto etéreo del forraje verde hidropónico de la cebada.

Modelo	Coef. no estandarizados		P - valor
	B	s	
Concentración	1.51	0.43	3.45
(Constante)	80.89	1.19	66.49

Cuadro 22A. Coeficientes de regresión cuadrática de la digestibilidad aparente del extracto libre de nitrógeno del forraje verde hidropónico de la cebada

Modelo	Coef. no estandarizados		P - valor
	B	s	
Concentración	-10.41	4.33	-2.40
C ²	1.87	0.85	2.19
(Constante)	87.08	4.74	18.33

PRODUCCION DE FORRAJE VERDE HIDROPONICO DE CEBADA

FOTO N°01: Semilla cebada variedad 1:80

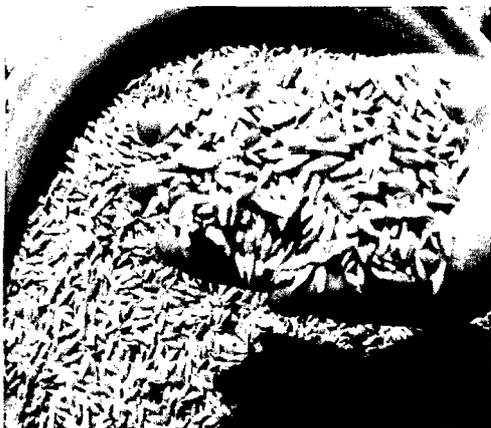


FOTO N°02: Siembra de cebada

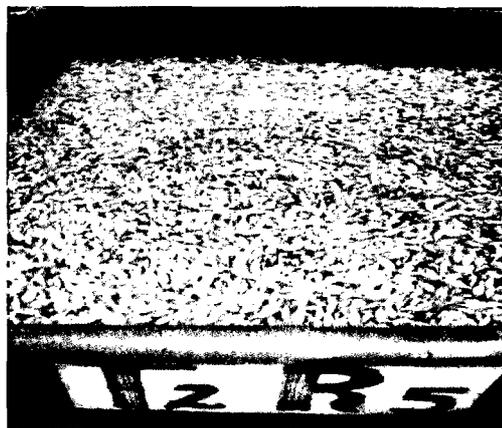


FOTO N°03: Riego de la cebada



FOTO N°04: Aparición de las hojas

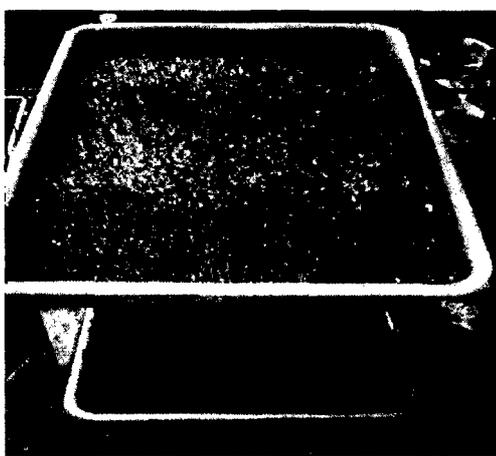


FOTO N°05: Riego al 8vo día



FOTO N°06: Pesado del azufre



FOTO N°07: Azufre disuelto en sol. nutri.



FOTO N°08: observación de la biomasa



PRUEBA DE LA DIGESTIBILIDAD

FOTO N° 09: Instalación de las jaulas metabólicas y los cuyes

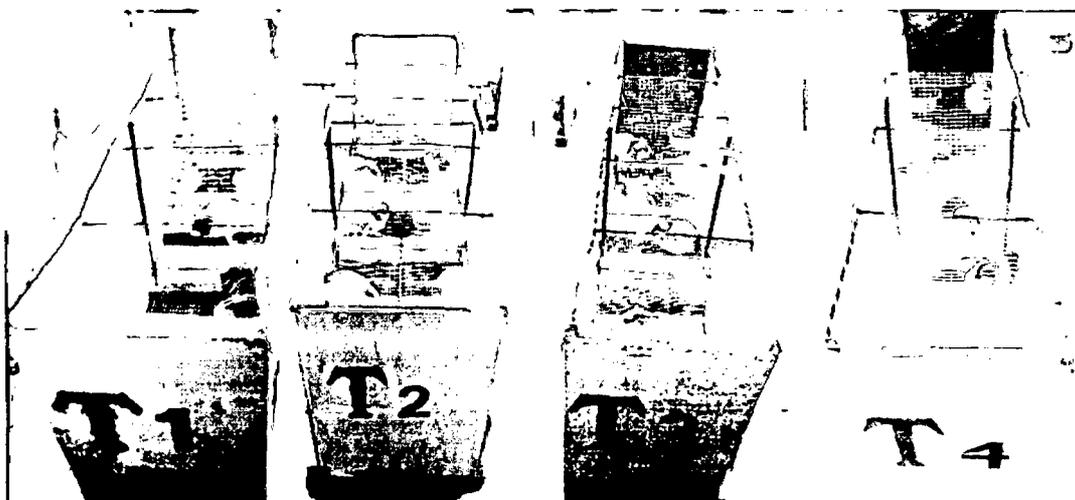


FOTO N° 10: Corte de los forrajes



FOTO N°11: Pesado de forraje



FOTO N°12: Secado y oreo del forraje



FOTO N°13: Alimentación de los cuyes

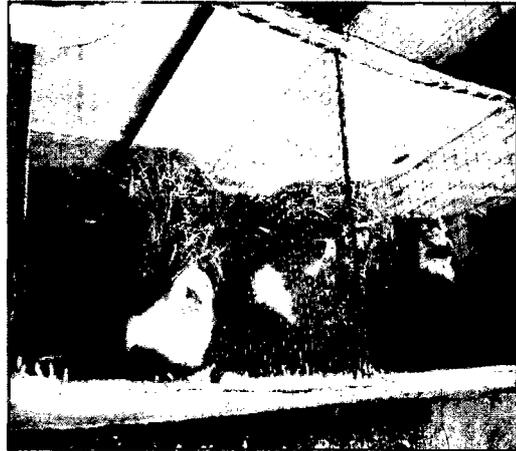


FOTO N°14: Extracción de muestras



FOTO N°15: comparación de muestras



FOTO N°16: Recojo de heces de cuy



FOTO N° 17: pesado de heces



FOTO N° 18: Muestras en laboratorio

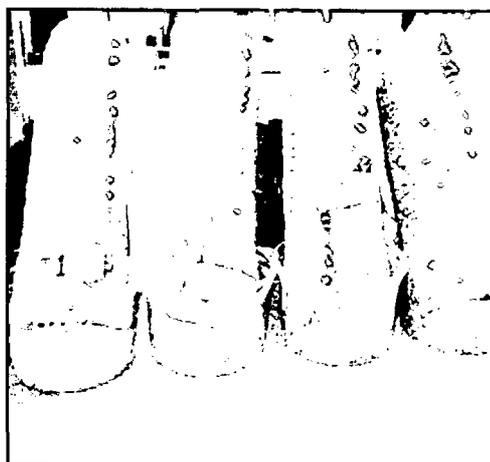


FOTO N° 19: pulverización de las muestras

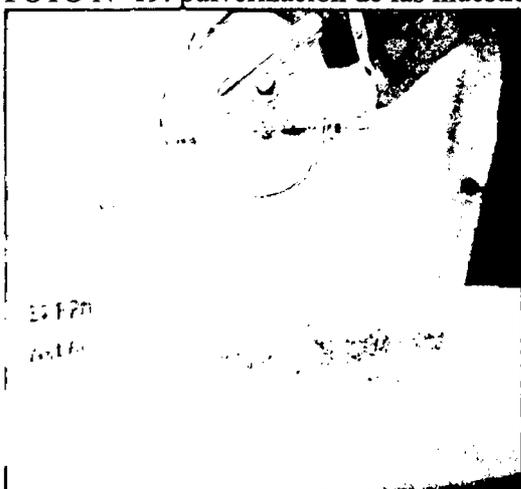


FOTO N° 20: Homogenizando muestra



FOTO N° 21: Rotulación de muestras



FOTO N° 22: Análisis de materia seca

