

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE ZOOTECNIA



**“DETERMINACIÓN DE LA DIGESTIBILIDAD Y ENERGÍA
DIGESTIBLE DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE CEBADA
(*Hordeum vulgare*) EN CUYES (*Cavia porcellus*)”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:
INGENIERO ZOOTECNISTA**

ELEANE HELEN CARHUALLANQUI LÓPEZ

LIMA - PERÚ

2021

**La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación
(Art. 24 - Reglamento de Propiedad Intelectual)**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA
FACULTAD DE ZOOTECNIA**

**“DETERMINACIÓN DE LA DIGESTIBILIDAD Y ENERGÍA
DIGESTIBLE DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE CEBADA
(*Hordeum vulgare*) EN CUYES (*Cavia porcellus*)”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ZOOTECNISTA
ELEANE HELEN CARHUALLANQUI LOPEZ**

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Dr. Mariano Echevarría Rojas
PRESIDENTE

Mg. Sc. Alejandrina Sotelo Méndez
PATROCINADOR

Mg. Sc. José Antonio Sarria Bardales
MIEMBRO

Ing. Mg. Sc. Víctor Hidalgo Lozano
MIEMBRO



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE ZOOTECNIA

ACTA DE SUSTENTACIÓN

FZ/015.21

Tesis presentada por la Bachiller en Ciencias Zootecnia **CARHUALLANQUI LÓPEZ ELEANE HELEN**, titulada **“DETERMINACIÓN DE LA DIGESTIBILIDAD Y ENERGÍA DIGESTIBLE DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE CEBADA (*Hordeum vulgare*) EN CUYES (*Cavia porcellus*)”**, oídas las respuestas y observaciones formuladas, la declaramos **APROBADA** con el calificativo de **MUY BUENO**, en consecuencia queda en condición de ser calificativo **APTO** por el Consejo de Facultad y recibir el título de **INGENIERO ZOOTECNISTA**, de conformidad con lo estipulado por el Art. 89° del Estatuto de la Universidad y el Art. 150° del Reglamento General de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

La Molina, 10 de agosto de 2021

Ph.D. Mariano Echevarria Rojas
Presidente

Mg.Sc. Víctor Hidalgo Lozano
Miembro

Mg.Sc. José Sarria Bardales
Miembro

Mg.Sc. Alejandrina Sotelo Méndez
Asesora

mlgr

DEDICATORIA

*A Guillermo y Epifanía, mis padres por todo el amor y apoyo incondicional.
A mis tíos Pablo y Sara por ser grandes guías en este camino universitario.*

AGRADECIMIENTO

- Agradezco infinitamente a mi institución, por brindarme los mejores amigos, maestros y experiencias, asimismo, por mostrarme una perspectiva del mundo que no conocía.
- A mi familia por ser apoyo incondicional en este hermoso camino.
- Agradezco especialmente a la Ing. Mg. Sc. Alejandrina Sotelo Méndez, supervisora de mi proyecto de investigación por su orientación profesional y valioso apoyo en este proyecto.
- A mis amigos que me apoyaron y animaron a seguir y culminar este trabajo: Alexandra, Ana y Elvis.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Forraje verde hidropónico.....	3
2.1.1. Ventajas	4
2.2. Forraje verde hidropónico en la alimentación animal.....	6
2.2.1. Valor nutritivo del forraje hidropónico de cebada.....	8
2.3. Fisiología digestiva del cuy.	11
2.3.1. Boca	11
2.3.2. Estómago	11
2.3.3. Intestino delgado.....	12
2.3.4. Intestino grueso.....	13
2.4. Requerimientos nutricionales.....	15
2.5. Digestibilidad.....	17
2.5.1. Coeficiente de digestibilidad.....	17
2.5.2. Factores que influyen en la digestibilidad	17
2.6. Energía	19
III. MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1. Lugar y fecha de estudio	21
3.2. Forraje en estudio.....	21
3.3. Fase de producción de forraje verde hidropónico.....	22
3.4. Instalaciones y equipos	23
3.5. Animales experimentales	23
3.6. Dietas experimentales	23
3.7. Fase de experimentación con animales.....	24
3.7.1. Periodo de adaptación	24
3.7.2. Prueba de digestibilidad.....	24
3.7.3. Cálculo de los coeficientes de digestibilidad	26

3.7.4. Estimación de la energía digestible	26
3.8. Análisis estadístico	27
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
4.1. Digestibilidad del forraje verde hidropónico	28
4.2. Energía digestible del forraje verde hidropónico seco de cebada.....	35
V. CONCLUSIONES	37
VI. RECOMENDACIONES	38
VII. BIBLIOGRAFIA.....	39
VIII. ANEXOS	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Comparación del valor nutritivo del FVH de cebada con alfalfa y maíz chala.....	4
Tabla 2: Análisis químico proximal del forraje verde hidropónico de cebada.....	10
Tabla3: Requerimientos nutricionales para cuyes mejorados criados en regímenes intensivos.	16
Tabla 4: Análisis químico proximal de las dietas experimentales.....	25
Tabla 5: Análisis químico proximal del forraje verde hidropónico de cebada.....	25
Tabla 6: Coeficientes de digestibilidad aparente del forraje verde hidropónico de cebada base seca	28
Tabla 7: Energía digestible del forraje verde hidropónico seco de cebada	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Aparato digestivo del cuy (<i>Cavia porcellus</i>)	14
Figura 2: Coeficiente de digestibilidad para la materia seca	30
Figura 3: Coeficiente de digestibilidad de la grasa.....	31
Figura 4: Coeficiente de digestibilidad de la proteína cruda	32
Figura 5: Coeficiente de digestibilidad de la fibra cruda.....	33
Figura 6: Coeficiente de digestibilidad de la ceniza.....	33
Figura 7: Coeficiente de digestibilidad de ELN	34
Figura 8: Coeficiente de digestibilidad para la materia seca	34

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Ecuación para la estimación de la energía bruta.....	43
Anexo 2: Cantidad de la dieta basal (DB) ingerida por cada animal (base seca).....	44
Anexo 3: Cantidad de la dieta experimental (de) ingerida por cada animal (base seca).....	45
Anexo 4: Peso de las heces de los animales alimentados con la dieta basal (DB) en gramos (base seca).....	46
Anexo 5: Peso de las heces de los animales alimentados con la dieta experimental (DE) en gramos (base seca).....	47
Anexo 6: Composición químico proximal y energética de las heces-dieta basal (base seca)...	48
.....	
Anexo 7: Composición químico proximal y energética de las heces-dieta experimental (base seca).....	49
Anexo 8: Cálculo de los coeficientes de digestibilidad aparente de la dieta basal (en base seca).....	50
Anexo 9: Coeficiente de digestibilidad de la dieta basal (base seca).....	51
Anexo 10: Cálculo de los coeficientes de digestibilidad aparente de la dieta experimental (en base seca).....	52
Anexo 11: Coeficiente de digestibilidad de la dieta experimental (base seca).....	53
Anexo 12: Coeficientes de digestibilidad de forraje verde hidropónico de cebada (base seca).....	54
.....	
Anexo 13: Energía digestible de la dieta basal (base seca).....	55
Anexo 14: Energía digestible de la dieta experimental (base seca).....	55
Anexo 15: Energía digestible del forraje verde hidropónico de cebada (base seca).....	56

RESUMEN

El experimento fue llevado a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Evaluación Biológica de Alimentos y los análisis químicos en el Laboratorio de Análisis nutricional y biológica de alimentos, ambos de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), con el objetivo de determinar los coeficientes de digestibilidad y la energía digestible del forraje verde hidropónico seco de cebada (*Hordeum vulgare*). Para ello se usó el método indirecto, considerando como dieta basal el sub producto de trigo. El experimento contó con dos fases, la primera de adaptación y una de colección de heces, con una duración de 17 y 5 días respectivamente. Se utilizaron diez cuyes machos de dos meses de edad con un peso promedio de 750g procedentes de la Unidad de Animales Menores UNALM que fueron colocados de manera aleatoria en jaulas metabólicas. Cinco animales fueron alimentados con la dieta basal y los otros cinco fueron alimentados con la dieta experimental (60% dieta basal y 40% forraje verde hidropónico) Los valores de digestibilidad aparente obtenidos fueron los siguientes: materia seca 77.60%, para la materia orgánica 76.75%, proteína 62.32%, extracto etéreo 82.03%, fibra cruda 76.12%, ceniza 58.01%, extracto libre de nitrógeno 82.69% y finalmente para la ceniza de 58.01%. La energía digestible (ED) fue de: 3.50 Kcal/g.

Palabras clave: coeficiente de digestibilidad, energía digestible, basal, experimental, cebada, cuyes.

ABSTRACT

The experiment was carried out in the facilities of the Laboratory of Biological Evaluation of Food and the chemical analysis in the Laboratory of Nutritional and Biological Analysis of Food, both at the Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), with the objective of determining the digestibility coefficients and digestible energy of dry hydroponic green forage of barley (*Hordeum vulgare*). For this purpose, the indirect method was used, considering wheat as the basal diet. The experiment consisted of two phases, the first one of adaptation and one of feces collection, with a duration of 17 and 5 days, respectively. Ten male guinea pigs of two months of age with an average weight of 750g from the Small Animal Unit UNALM were randomly placed in metabolic cages. Five animals were fed the basal diet and the other five were fed the experimental diet (60% basal diet and 40% hydroponic green forage). The apparent digestibility values obtained were the following: dry matter 77.60%, for organic matter 76.75%, protein 62.32%, ethereal extract 82.03%, crude fiber 76.12%, ash 58.01%, nitrogen free extract 82.69% and finally for ash 58.01%. The digestible energy (DE) was: 3.50 Kcal/g.

Key words: digestibility coefficient, digestible energy, basal, experimental, barley, guinea pigs.

I. INTRODUCCIÓN

El cuy es una especie nativa importante en la sociedad andina, ya que durante generaciones ha servido como fuente importante de proteínas para las familias de escasos recursos económicos, contribuyendo así a la seguridad alimentaria y generando paralelamente ingresos mediante su crianza familiar, semicomercial y comercial; siendo un factor limitante la disponibilidad de insumos.

El forraje verde hidropónico no solo es una alternativa de producción de forraje para el alimento animal como el ganado de leche y de carne, caballos, conejos, cuyes sino que, al aprovechar el espacio vertical, libera terrenos para otro tipo de cultivo o uso. Actualmente en la costa peruana se viene desarrollando la producción de forraje verde hidropónico debido a la falta de piso forrajero al igual que en algunas partes de la sierra ya que las lluvias son estacionales y la disponibilidad de forraje se restringe en ausencia de lluvias buscando así nuevas alternativas de forraje para la alimentación animal.

En la producción animal la alimentación constituye uno de los factores de mayor importancia en la crianza comercial de animales domésticos ya que constituye alrededor del 70% de los costos de producción, por ello en la búsqueda de nuevos insumos se encuentran una variedad de alternativas de bajo costo de producción, una de ellas es el forraje verde hidropónico que ha demostrado tener buen valor nutritivo suplementado con concentrado lo que ha ocasionado mayor interés en los criadores de cuyes, debido a ello es necesario realizar mayores estudios ya que existen pocos datos del valor nutritivo, digestibilidad y energía que el FVH de cebada proporciona al cuy. Así, este insumo podría incorporarse con mejores criterios en dietas de cuyes y pasar a ser de mayor uso en la alimentación mejorando así su producción y productividad.

El estudio tiene por objetivo determinar los coeficientes de digestibilidad y estimar la energía digestible del forraje verde hidropónico de cebada a través de ensayos de digestibilidad *in vivo*.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Forraje verde hidropónico

El forraje verde hidropónico (FVH) es obtenido del proceso de germinación de granos de cereales (trigo, avena, cebada, maíz) y después de doce días en el caso de la cebada es cosechado y suministrado a los animales como alimento (Pautrat, 2008). Teniendo como principio el crecimiento de las plántulas a partir de las reservas en las semillas, por lo que su masa forrajera es completa y consta de: hojas, tallos, semillas y raíces que se logra gracias al germinado de la semilla (Tarrillo, 1999). En la práctica, este forraje consiste en la germinación de granos (semillas de cereales o de leguminosas) y su posterior crecimiento bajo condiciones ambientales controladas (luz, temperatura y humedad) en ausencia del suelo. Usualmente se utilizan semillas de avena, cebada, maíz, trigo y sorgo (FAO, 2001).

La producción de forraje verde hidropónico es una tecnología usada para producir biomasa vegetal desde la germinación y durante el crecimiento temprano de granos de cereales, tales como trigo, cebada y maíz, que pueden desarrollarse en un tiempo no mayor de 12 a 15 días y servir como forraje. El forraje verde hidropónico es de alta digestibilidad, alto valor nutricional, palatable y apto para la alimentación de animales, además se diferencia de otros alimentos porque el animal consume hojas, parte de las semillas y las raíces (FAO, 2001).

El forraje verde hidropónico se elabora a partir de la producción de granos sin tierra, este forraje tiene una alta tasa de germinación. Se cultiva durante un periodo corto al mismo tiempo es un alimento o forraje verde vivo en pleno crecimiento, de alta palatabilidad, digestibilidad, y calidad nutricional, que puede ser empleado como pienso y especialmente como complemento nutricional en sustitución del alimento concentrado en todas las especies animales (Campo & Villar, 2012).

2.1.1. Ventajas

Las ventajas del forraje verde hidropónico (FVH) que se presentan a continuación:

- a. Posee un alto valor nutritivo

El FVH es un forraje de alta calidad superior a otros forrajes, como se aprecia en la Tabla 1. Es suministrada al cuy en forma total (hojas, tallos, semillas y raíces) constituyendo una completa fórmula de carbohidratos, azúcares, proteínas, minerales y vitaminas. Además, su aspecto, sabor, color y textura le confieren gran palatabilidad, a la vez que aumenta la asimilación de otros alimentos (Tarrillo, 1999).

Tabla 1: Comparación del valor nutricional en base seca del FVH de cebada con alfalfa y maíz chala

	FVH	Alfalfa	Maíz chala
Proteína%	19.40	18.40	8.80
NDT (%)	75.00	60.00	70.00
Grasa (%)	3.15	2.14	1.90
Digestibilidad (%)	90.00	65.00	60.00

FUENTE: Tarrillo (1999).

- b. El forraje obtenido es limpio

El FVH producido bajo condiciones controladas de luminosidad, temperatura, riego, entre otras variantes, representa un forraje limpio e inocuo sin contaminación de fuentes externas, sin la existencia de hongos e insectos, finalmente no existen malezas. Ello nos garantizará la ingesta de un alimento conocido por su costo alimenticio y su calidad sanitaria.

c. Ahorro en el uso de agua

La FAO (2001) menciona que en un sistema convencional de producción de forrajes en suelo las pérdidas de agua se dan por evapotranspiración y escurrimiento superficial. Asimismo, se estima que para producir un kilogramo de materia seca se necesitan entre 270 a 635 litros de agua. En el caso del forraje verde hidropónico, para la producción de un kilogramo de forraje se necesita de dos a tres litros de agua con un porcentaje de materia seca que oscila entre 12% a 18%, dependiendo de la especie forrajera. Esto se traduce en un consumo total de 15 a 20 litros de agua/kilogramo de materia seca obtenido en 14 días.

d. Eficiencia en el tiempo de producción

La FAO (2001) indica que la producción de FVH es apta para alimentación animal cuando su ciclo esta entre diez a doce días. En ciertos casos, por estrategia de manejo interno de los establecimientos, la cosecha se realiza a los catorce o quince días, a pesar de 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.

e. Bajo costo de producción

Las inversiones necesarias para producir FVH dependerán del tamaño de la producción, asimismo del costo respecto a los insumos, infraestructura y mano de obras disponible para el manejo. Estudios revelan que, considerando los riesgos de sequías, otros fenómenos climáticos adversos, las pérdidas de animales y los costos unitarios del insumo básico (semilla) el FVH es una alternativa económicamente viable que merece ser considerada por los pequeños y medianos productores. Al no requerir de maquinaria agrícola para su siembra y cosecha, el descenso de la inversión resulta evidente bajo. Investigaciones recientes sostienen que la rentabilidad de la producción del FVH es lo suficientemente aceptable como para mejorar las condiciones de calidad de vida del productor con su familia, favoreciendo de este modo su desarrollo e inserción social, a la vez de ir logrando una paulatina reconversión económica –

productiva del predio como ejemplo: la producción de conejos alimentados con FVH integrada a horticultura intensiva FAO (2001).

f. Eficiencia en el uso de 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 (FAO, 2001).

g. Calidad del forraje para los animales

El FVH es un suculento forraje verde de aproximadamente 20 a 30 cm de altura (dependiendo del período de crecimiento) y de plena aptitud comestible para nuestros animales. Su alto valor nutritivo lo obtiene debido a la germinación de los granos. En general el grano contiene una energía digestible algo superior (3.300 kcal/kg) que el FVH (3.200 kcal/kg). Sin embargo, los valores reportados de energía digestible en FVH son ampliamente variables. En el caso particular de la cebada el FVH se aproxima a los valores encontrados para el concentrado especialmente por su alto valor energético y apropiado nivel de digestibilidad (FAO, 2001).

2.2. Forraje verde hidropónico en la alimentación animal

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

El uso de forraje verde hidropónico ha dado excelentes resultados tanto en animales monogástricos como poligástricos, debido al aporte de vitaminas, enzimas, coenzimas y

aminoácidos libres (Rodríguez, 2002). Además, presenta un alto valor nutritivo, alto valor proteico y una alta digestibilidad que permite una rápida circulación por el tracto digestivo de los animales por ser un forraje tierno y palatable (FAO, 2001), asimismo el FVH de cebada es un forraje de alta calidad nutricional que satisface el requerimiento de agua del cuy, además que con una alimentación mixta de FVH y concentrado se obtiene mejores resultados a nivel de producción y reproducción en comparación que con el solo uso de germinado en la alimentación animal (Tarrillo, 1999).

Estudios demuestran que la alimentación con cebada germinada representa una alternativa de la alimentación complementaria obteniendo una buena conversión alimenticia, mayor ganancia de peso y un costo unitario accesible en la crianza de cuyes (Carrasco, 1994). Asimismo, se han encontrado resultados favorables en el ganado lechero cuando se les suministro FVH. Respuestas alentadoras también se encontró en el engorde de terneros; corderos; conejos (producción de pelo y carne); caballos y cuyes (FAO, 2001). Las respuestas favorables de parte de los animales de debe en parte que el FVH es un alimento (forraje vivo en pleno crecimiento) verde, de alta palatabilidad para cualquier animal y excelente valor nutritivo (Less, 1983).

En un estudio realizado por Ccente & Juño (2007) aplicando diferentes forrajes verdes hidropónicos en dietas para cuyes en la etapa de engorde; formuló dietas constituidas por: T1 (Forraje verde hidropónico de avena + 30g de alimento balanceado), T2 (Forraje verde hidropónico de cebada + 30g de alimento balanceado), T3 (Forraje verde hidropónico de trigo +30 g de alimento balanceado) y T0 (Rye grass italiano +30g de alimento balanceado), encontraron que la ganancia de peso tuvo diferencias estadísticas significativa ($P < 0.05$) a favor del T1 (359.75), con relación al resto de tratamientos, siendo los valores de 357.00g (T3), 348.25g (T2) y 295.00g (T0), respectivamente. La conversión alimenticia fue de 3.264 (T2), 3.267 (T3), (T1)5.552 y 6.360 (T0), correspondiendo la mejor conversión alimenticia al T2. Asimismo, el menor costo de alimentación correspondió al tratamiento T2 (S/.9.25) frente a los demás tratamientos cuyos valores fueron de S/.10.28 (T0), S/.12.18 (T3) y S/.15.71 (T1), respectivamente.

Por otra parte, Loa (2019) utilizó cuyes en la etapa de engorde y suministró dietas conformadas por: T1 (forraje verde hidropónico de cebada + concentrado), T2 (forraje verde hidropónico de maíz + concentrado) y T3 (alfalfa + concentrado), encontrando mayor ganancia de peso vivo ($P < 0,05$) en el tratamiento T3 (715,6 g) en relación a T1 (633,93 g) y T2 (569 g). Mientras que el consumo de alimento fue expresado en materia seca fue superior ($P < 0,05$) a favor del T3 (4143,13 g) respecto a T2 (3372,4 g) y T1 (3342,57 g). Con relación a la conversión alimenticia, T1 (5,28) mostró mejores valores ($P < 0,05$) frente a T3 (5,90) y T2 (5,97), respectivamente. Finalmente, el mejor índice de rentabilidad lo obtuvo T1 (169,13 %) en el que participa el FVH a diferencia de T2 (87,65 %) y T3 (68,46 %).

Asimismo, García (2014) evaluó a 40 cuyes en etapa de recría los cuales dividió en cuatro grupos de 10 sometidos al ensayo por un período de 37 días, un grupo control T0 (alfalfa); y tres grupos experimentales T1 (Forraje Verde Hidropónico de cebada 75% + alfalfa 25%); T2 (Forraje Verde Hidropónico de cebada 50% + alfalfa 50%); T3 (Forraje Verde Hidropónico de cebada 25% + alfalfa 75%). La finalidad fue conocer el efecto del forraje verde hidropónico en la ganancia de peso en cuyes de recría y determinar el mejor tratamiento en efectos de ganancia de peso. El resultado para el incremento de peso nos muestra que el T3 (25% de FVH + 75% alfalfa) obtuvo mayor ganancia (505 g) respecto a los demás tratamientos.

2.2.1. Valor nutritivo del forraje hidropónico de cebada

El valor nutritivo de un alimento está determinado por su consumo voluntario, composición química y digestibilidad (Crampton & Harris, 1979). El uso de la composición química como indicador de la calidad de un forraje es común y es importante que tales patrones de calidad reflejen los factores reales que determinen la composición química y calidad del forraje (Van Soest et al., 1978).

En la Tabla 2 se presenta el análisis químico proximal del forraje verde hidropónico de varios autores, mencionados a continuación: Gómez (2007) realizó estudios de FVH realizando corte a los 13 días, mientras que Amaguaña (2012) realizó estudios de FVH de cebada cosechados a los 15 días, obtenidos en condiciones de fertilización orgánica y mineral en la alimentación de

cuyes. Quispe et al., (2016) trabajó con la variedad UNA80 de FVH de cebada y el corte se realizó a los 18 días, en tanto que Saavedra (2018), trabajó con FVH de cebada de la variedad INA 411 San Cristóbal, variedad Grigñon y la variedad Moronera INIA, cuyos cortes del FVH fueron efectuados a los 14 días.

Tabla 2: Análisis químico proximal en base fresca del forraje verde hidropónico de cebada

Análisis	Gómez, (2007)	Amaguaña (2012)		Quispe et al., (2016)	Saavedra (2018)		
		Fertilización orgánica	Fertilización mineral		INIA 411	Grignón	Moronera INIA
MS (%)	14,43	15,49	12,68	16.22	14,71	14,77	18,82
Proteína (PC) (%)	13,44	17,51	19,23	14.78	15.67	11,18	8,78
Grasa EE (%)	3,01	4,64	5,12	3.55	1.95	2,24	1,9
Fibra (FC) (%)	14,42	13,28	14,01	16.95	-	-	-
FDA(%)	-	15,59	17,15	-	21,59	17,33	17,69
FDN (%)	-	30,64	33,77	-	41,48	34,76	36,45
NDT (%)	-	74,44	70,5	-	66,16	69,36	69,08
Ceniza(C) (%)	3,38	-	-	4.42	3.69	3,48	3,14
ELN (%)	65,75	-	-	60.30	-	-	-

2.3. Fisiología digestiva del cuy.

El cuy es considerado un monogástrico que posee una digestión enzimática y por su anatomía es clasificado como fermentador postgástrico cecal (Chauca, 2018), así tiene dos tipos de digestión: la enzimática, a nivel del estómago e intestino delgado, y la microbial a nivel del ciego. Su mayor o menor actividad depende de la composición de la ración alimenticia. Este factor contribuye a dar versatilidad a los sistemas de alimentación. (Church, 2009), está clasificado según su anatomía gastrointestinal como fermentador postgástrico debido a los microorganismos que posee a nivel del ciego. El movimiento de la ingesta a través del estómago e intestino delgado es rápido, no demora más de dos horas en llegar la mayor parte de la ingesta al ciego (Reid, 1948, citado por Gómez y Vergara, 1993).

A continuación, se mencionan los principales órganos involucrados en el proceso de digestión:

2.3.1. Boca

Los cuyes mediante los dientes incisivos cortan el forraje y el alimento en general y con los molares los tritura. En el proceso de masticación intervienen las mandíbulas, los labios, la lengua y los carrillos que ayudan a la acción de los dientes y contribuyen a formar con la saliva el bolo alimenticio (Calero, 1978).

2.3.2. Estómago

Es un órgano poco voluminoso donde se baten los alimentos que llegan en forma de bolo alimenticio gracias a los movimientos peristálticos y antiperistálticos (Calero, 1978). Es aquí donde lleva a cabo una digestión enzimática que permite la degradación de algunos carbohidratos y proteínas, pero sin llegar a la formación de glucosa ni aminoácidos (Solorzano & Sarria, 2014). Por otra parte, existe un determinado tiempo para la acción de los jugos gástricos transformando así el bolo alimenticio en quimo. Así, cuando el medio es lo suficientemente ácido se abre el píloro pasando así al duodeno.

2.3.3. Intestino delgado

El intestino delgado tiene aproximadamente 125 cm de longitud y se caracteriza por ser la parte más larga del sistema digestivo. Tiene tres secciones (Duodeno, yeyuno e íleon) que son difíciles de distinguir macroscópicamente entre uno y otro, debido a que no poseen rasgos que permitan identificarlos. De las 3 secciones el duodeno es el más corto midiendo de 10 a 12 cm, el yeyuno es el más largo llegando a medir hasta 95 cm y por último el íleon que mide aproximadamente 12 cm (Ramón, 2017).

En este órgano ocurre la mayor parte de la absorción nutritiva, en especial en el duodeno (Solorzano & Sarria, 2014). En esta porción del intestino el quimo sufre la acción del jugo pancreático, la bilis y el jugo intestinal, transformándose así en quilo. Además, las sustancias que han sufrido una digestión completa son absorbidas por las vellosidades intestinales (Calero, 1978). Asimismo, el movimiento de la ingesta a través del intestino delgado es rápido, no demora más de dos horas en llegar la mayor parte de la ingesta al ciego (Chauca, 1997).

Es uno de los principales órganos del cuy, puede llegar a tener hasta un 15% del peso total del animal (Chauca, 1997). Se ubica entre el final del intestino delgado y comienzos del intestino grueso (Solorzano & Sarria, 2014). Además, se encuentra completamente dilatado y la fracción de alimentos que son ricos en celulosa, sufren una fermentación y son desdoblados en elementos simples que son aprovechados por el animal debido a su pH alcalino de 7.8 a 8 (Calero, 1978; Ramón, 2017). El tránsito de la ingesta de alimento en el ciego es más lento que en el intestino pudiendo estar hasta 48 horas (Chauca, 1997).

La flora bacteriana existente en el ciego permite un buen aprovechamiento de la fibra, ya que por acción de la celulasa que desdobla la celulosa en celobiosa y beta glucosa para luego ser absorbidas por el animal (Calero, 1978). La producción de ácidos grasos volátiles de cadena corta (acético, propiónico y butírico), la síntesis de proteína microbial y vitaminas del complejo B, son producidos por los microorganismos existentes en este órgano y pueden contribuir a cubrir los requerimientos nutricionales del animal, mediante su reutilización a través de la cecotrofia (Chauca, 2018).

La microflora del ciego puede tener variaciones de acuerdo con la edad del animal, ya que las primeras semanas de vida puede tener presencia de la leche, la cual produce una microflora bacteriana irregular. Normalmente se compone en mayor proporción por los estreptococos hasta la segunda semana de vida, luego progresivamente asciende el predominio de las enterobacterias que alcanzan su máximo a los 21- 25 días. Sin embargo, los lactobacilos y estafilococos no forman parte de la microflora normal del ciego, pero un cambio en la dieta de conduciría a la proliferación de protozoos, modificaciones y frecuentes alteraciones patológicas (Ramón, 2017).

2.3.4. Intestino grueso

Las fracciones alimenticias que no son absorbidas por el animal pasan al intestino grueso. Parte de la celobiosa y beta glucosa son asimiladas juntamente con el agua y las sales minerales (Calero, 1978). Además de la absorción de los ácidos grasos de cadena corta y de compuestos de la síntesis bacteriana (Moreno, 1989; Salinas, 2002). El resto de las sustancias que no son aprovechadas por el animal transitan al recto en forma de heces y posteriormente eliminadas por el animal. En la Figura 1 se puede observar las partes del sistema digestivo del cuy.

Por consiguiente, se puede alimentar los cuyes con especies forrajeras como la alfalfa, la avena, el sorgo o el arroz, además de malezas y residuos de cocina como cáscaras de tubérculos, guisante, zanahoria y otros productos. De ahí procede la facilidad de ajustarse a diversos sistemas de crianza y a distintas condiciones climáticas que van a partir de la costa hasta alturas de 4500 msnm y en regiones tanto frías como cálidas.

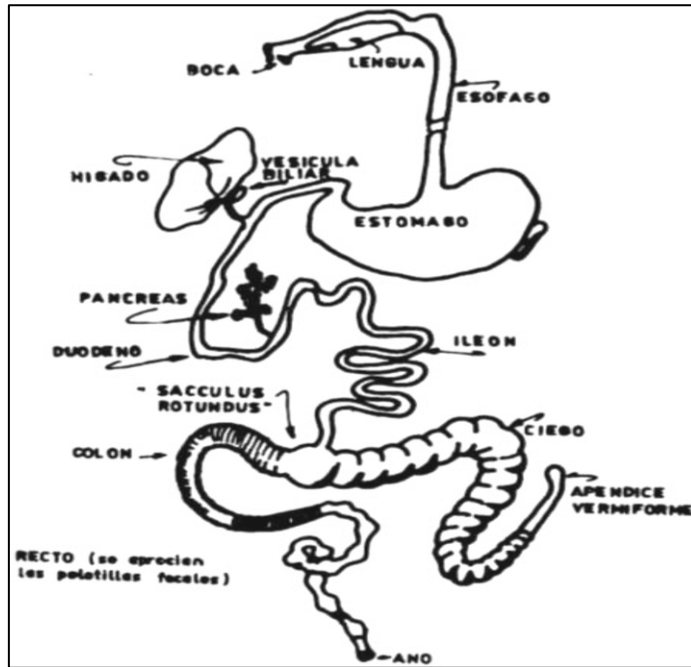


Figura 1: Aparato digestivo del cuy (*Cavia porcellus*)
 FUENTE: Vílchez (2018)

El proceso digestivo inicia en la boca del cuy, en donde las enzimas actúan en la transformación de carbohidratos en azúcares más simples. Luego el alimento llega al estómago en forma de bolo alimenticio, donde estos se batan por acción de los movimientos peristálticos y antiperistálticos (Calero, 1978). Es aquí donde se lleva a cabo una digestión enzimática, pero sin llegar a la formación de glucosa ni aminoácidos (Solorzano & Sarria, 2014). Además, los jugos gástricos actúan en el bolo alimenticio pasando así a convertirse en quimo (Calero, 1978). El movimiento de la ingesta a través del estómago e intestino delgado es rápido, no demora más de dos horas en llegar la mayor parte de esta al ciego. Sin embargo, el pasaje por el ciego es más lento pudiendo permanecer en el parcialmente por 48 horas (Valenzuela, 2015). Es en el intestino delgado donde ocurre la mayor parte de la absorción nutritiva (Solorzano & Sarria, 2014). Además, el quimo sufre la acción del jugo pancreático, la bilis y el jugo intestinal transformándose así en quilo. Asimismo, las sustancias que han sufrido una digestión completa son absorbidas por las vellosidades intestinales (Calero, 1978).

Los alimentos ricos en celulosa pasan al ciego, donde sufren una fermentación y su posterior desdoblamiento en unidades más simples y que permite al animal aprovecharlos (Calero, 1978; Ramón, 2017). Además, los microorganismos presentes en el ciego contribuyen a cubrir los requerimientos nutricionales del animal, mediante la cecotrofia (Chauca, 2018). También, se conoce que la celulosa en la dieta retarda los movimientos del contenido intestinal permitiendo una mayor eficiencia en la absorción de nutrientes, siendo en el ciego e intestino grueso donde se realiza la absorción de ácidos grasos de cadenas cortas (Valenzuela, 2015). Además, las fracciones de alimento que no fueron absorbidas por el animal pasan al intestino grueso, donde parte de la celobiosa y beta glucosa son asimiladas junto con el agua (Calero, 1978). Por último, las sustancias que no fueron digeridas por el animal pasan al recto y posteriormente son eliminadas.

2.4. Requerimientos nutricionales

El cuy necesita nutrientes para cada fase de desarrollo productivo tales como: proteína, carbohidratos, grasas, vitaminas y minerales. Para la fase de crecimiento y engorde de cuyes tipo carne han logrado notables incrementos de peso con raciones que contienen de 14% a 17% de proteína los cuales se puede cubrir con forrajes de buena calidad, obteniendo así pesos mayores a 800g en animales de aproximadamente tres meses de edad Caycedo (2000).

Por consiguiente, si mejoramos el nivel nutricional de los cuyes, la crianza se puede intensificar de modo que podemos aprovechar de forma conveniente su precocidad y prolificidad como su habilidad reproductiva. Los cuyes de carne requieren de una alimentación completa y equilibrada. Los requerimientos nutricionales del cuy en las diferentes etapas de desarrollo se muestran a continuación en la tabla 3.

Tabla 3: Requerimientos nutricionales para cuyes mejorados criados en regímenes intensivos

Nutrientes	NCR (1995) ¹	Vergara (2008) ²			
		Inicio	Crecimiento	Acabado	Gest/Lact
Energía digestible Mcal/kg	3,00	3,00	2,28	2,70	2,90
Proteína total %	18,00	20,00	18,00	17,00	19,00
Fibra cruda%	15,00	6,00	8,00	10,00	12,00
Aminoácidos %					
Lisina	0,84	0,92	0,83	0,78	0,87
Metionina	0,36	0,40	0,36	0,34	0,38
Metionina + Lisina	0,60	0,82	0,74	0,70	0,78
Arginina	1,20	1,20	1,17	1,10	1,24
Treonina	0,60	0,66	0,59	0,56	0,63
Triptófano	0,18	0,20	1,18	1,17	0,19
Minerales%					
Calcio	0,80	0,80	0,80	0,80	1,00
Fósforo	0,40	0,40	0,40	0,40	0,80
Sodio	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Vitaminas					
Ácido ascórbico mg/100g	20,00	30,00	20,00	15,00	15,00

¹: National Research Council-NRC (1978; 1995)

²: Inicio (1-28 días), crecimiento (29 - 63 días), acabado (64-84 días) (Vergara, 2008)

2.5. Digestibilidad

2.5.1. Coeficiente de digestibilidad

La digestibilidad de un alimento 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 del tracto digestivo. La digestibilidad se expresa corrientemente mediante el coeficiente de digestibilidad (Bondi, 1989).

$$\text{CD (\%)} = \frac{\text{Nutriente ingerido} - \text{Nutriente Heces}}{\text{Nutriente ingerido}} \times 100$$

La obtención de la digestibilidad supone la determinación de la cantidad de un alimento o nutriente en particular, que no se degrada y se absorbe durante su paso por el aparato digestivo.

2.5.2. Factores que influyen en la digestibilidad

- a. Efecto de la composición de los alimentos sobre la digestibilidad.

La digestibilidad de los alimentos está estrechamente relacionada con la composición química y los alimentos que varían poco en su composición de una partida a otra presentan pocas variaciones en su digestibilidad. Los forrajes frescos y conservados mucho menos constantes en su composición y su digestibilidad son más variable la fibra bruta tiende a rebajar la digestibilidad al proteger los componentes de los alimentos del ataque de enzimas digestivas o microbianas, en mayor grado en los animales monogástricos que en rumiantes. Asimismo, la fase de madurez de los forrajes influye sobre la digestibilidad, a medida que las plantas maduran aumenta el contenido en pared celular, disminuye el contenido celular soluble y la planta se hace menos digestible. Bondi, (1989).

b. Efecto de la composición de la ración

La digestibilidad de un alimento está afectada, no sólo por su composición, sino también por la composición de los demás alimentos ingeridos con él. Los efectos asociativos pueden atribuirse al hecho de que la unión de dos alimentos constituye una ración más o menos equilibrada que una ración compuesta por un único alimento (Bondi, 1989).

c. Nivel de alimentación

Los planos de alimentación altos dan lugar a una reducción de la digestibilidad. El aumento de la cantidad consumida de una ración por los animales determina un ritmo de paso más rápido por el tracto digestivo, lo que proporciona menos tiempo para la digestión y absorción (Bondi, 1989).

d. Preparación de los alimentos

Los alimentos groseros se someten a diversos tratamientos para reducir su tamaño: el más leve, el picado afecta poco la digestibilidad, aunque puede reducirse indirectamente al impedir a los animales la selección de las partes más digestible. La compresión de los alimentos groseros tampoco tiene mucho efecto sobre la digestibilidad. El tratamiento más intenso, la molienda fina, tiene marcado efecto sobre el modo como se digieren los alimentos groseros y, por tanto, sobre la digestibilidad. En ocasiones los alimentos se someten a tratamientos térmicos para mejorar su digestibilidad. Un método tradicional de tratamiento térmico es la cocción de patatas destinadas a los cerdos. Los tratamientos térmicos para mejorar la digestibilidad son más eficaces al aplicarlos con la finalidad específica de inactivar los inhibidores de enzimas existentes en algunos alimentos (McDonald et al., 1969).

e. Suplementación de los alimentos con enzimas

El aparato digestivo de los animales no rumiantes no cuenta con algunas enzimas para degradar algunos alimentos, debido a la falta de los sistemas enzimáticos apropiados. Es posible añadir a

las preparaciones enzimáticas (generalmente de origen fúngico), con la finalidad de mejorar la utilización de los nutrientes (McDonald et al., 1969).

f. Factores dependientes de los animales

La digestibilidad es una propiedad que guarda más relación con los alimentos que con los animales que lo consumen. Sin embargo, esto no quiere decir que el mismo alimento administrado a distintos animales sea siempre digerido al mismo nivel.

El factor animal más importante es a la especie a la que pertenece. Los alimentos de bajo contenido de fibra son bien digeridos por los animales rumiantes y no rumiantes, pero los alimentos fibrosos son mejor digeridos por los rumiantes (McDonald *et al.*, 1969)

2.6. Energía

Todas las funciones vitales y productivas del animal requieren energía (Bassi, 2004). La energía bruta o calor de combustión de un alimento es la cantidad de calor que se libera cuando se quema en un calorímetro, y representa la máxima cantidad posible de energía que se puede obtener de un alimento. La energía se mide en kilojulios o en kilocalorías, una kcal equivale a 4,184 kJ. La energía bruta no tiene significado nutritivo, pero es un parámetro necesario para calcular el valor energético (energía aprovechable) de los alimentos (Flores y Rodríguez, 2005).

La energía digestible es la energía del alimento que es digerida en el tracto digestivo animal. Resulta de la energía bruta menos la energía que se pierde en las heces. Los monogástricos tienden a ingerir una cantidad fija de energía, por lo que la cantidad ingerida de alimento depende de la concentración energética de la ración (Flores y Rodríguez, 2005).

Para determinar la ED directamente, o *in vivo*, se utiliza la técnica de recolección total. Esta consiste, por un lado, en determinar la diferencia entre las concentraciones de EB de una muestra representativa de excreta y de alimento, es decir, el calor de combustión generado por éstas y,

además, en la medición cuantitativa de la cantidad que se excretó con respecto a la que cantidad que ingirió el animal.

Se utiliza la ecuación siguiente:

$$ED = (EBi - EBe) / Qa$$

Donde: EBi se refiere a Energía Bruta ingerida, EBe a Energía Bruta excretada y Qa a la cantidad de alimento ingerido por el animal. (Francesch, 2001).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar y fecha de estudio

El trabajo experimental se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Evaluación Biológica de Alimentos y los análisis químicos se realizaron en el Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos (LENA), ambos correspondientes al Departamento de Nutrición, Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria La Molina, entre los meses de octubre y noviembre de 2017. Lima Metropolitana, Perú. Institución que geográficamente se encuentra a 12° 05' 06'' latitud sur y 76° 57' 00'' longitud oeste a una altitud de 238 m.s.n.m.

3.2. Forraje en estudio

En el presente trabajo se utilizará forraje verde hidropónico seco que fue producido en el laboratorio del programa de investigación de animales menores posteriormente fue secado en una estufa y finalmente molido. El procesamiento realizado al forraje verde hidropónico fue el siguiente: Inicialmente fue picado y puesto a secar en sombra durante dos días, luego fue llevado a estufa a una temperatura de 60-70°C durante cuatro horas, aproximadamente. Se utilizó para la molienda un molino "Wiley" de tijeras con una malla de 2 mm para obtener el forraje seco de tamaño adecuado.

Se evaluó el forraje verde hidropónico seco de cebada en forma combinada con la dieta basal en una proporción de 40% y 60% respectivamente.

3.3. Fase de producción de forraje verde hidropónico

La semilla de cebada es centenario de uso comercial, obtenida del mercado de productores de Santa Anita de un mismo lote.

Las etapas de la producción del FVH se detallan continuación

- Etapa 1: Selección, lavado y desinfección de semillas: Las semillas fueron colocadas en un depósito con agua, donde flotaron las semillas inservibles que posteriormente fueron eliminadas. Después las semillas fueron desinfectadas con lejía a razón de 10 cc de lejía por litro de agua y por último enjuagadas cinco veces. Este proceso buscó eliminar las esporas de hongos y debilitar la cubierta de las semillas.
- Etapa 2: Remojo: Las semillas fueron puestas en remojo por 24 horas, esto tiene como objetivo activar las semillas y romper el estado de latencia en que se encuentran.
- Etapa 3: Oreo: terminado el proceso de remojo, las semillas fueron colocadas en un balde con agujeros para un buen drenaje por 48 horas siempre se agregó agua para mantener las semillas húmedas.
- Etapa 4: Siembra: Se colocó 0.8 kg de semillas en las bandejas de un tamaño de 40 cm por 60 cm.
- Etapa 5: Germinación: Para lograr una adecuada germinación, las bandejas fueron colocadas en un área forrada con un plástico negro para mantener oscuridad y una temperatura ideal que simule a la del suelo, se mantuvo a una temperatura no mayor a 28 °C y con la ayuda de nebulizadores de riego se suministró el agua tres veces al día (8am, 1pm y 5pm) evitando que se movieran las semillas, este proceso tendrá una duración 4 días.
- Etapa 6. Producción: Una vez pasado el tiempo de germinación, se retiró las bandejas del área forrada de plástico negro y se trasladó a otro modulo donde le dé la luz solar indirectamente, en este momento se iniciaron los riegos por aspersión tres veces al día (8am, 1pm y 5pm), este proceso duró 4 días.
- Etapa 7: Cosecha de forraje: Se realizó la cosecha 12 días después de la siembra

- Etapa 8 Oreo: Se dejarán en oreo hasta el día 13 a las donde posteriormente se llevado para el proceso de secado en estufa y posteriormente molido.

3.4. Instalaciones y equipos

Los animales experimentales fueron alojados individualmente en diez jaulas metabólicas de acero inoxidable con área de 0.1055 m² cada una: 37 cm de largo por 28.5 cm de ancho y 30 cm de altura, cada una de las cuales contaba con un piso de malla de acero, comederos metálicos incorporados y bebederos de vidrio tipo chupón de 250 ml de capacidad ubicados en la parte externa de las jaulas y se conectarán con el interior a través de un tubo de vidrio. Cada jaula contará además con una bandeja en forma de embudo para la colección de heces y orina por separado.

3.5. Animales experimentales

Se utilizaron diez cuyes machos del genotipo Cieneguilla UNALM, que fueron adquiridos del Programa de Investigación y Proyección Social en Animales Menores de la Facultad de, con ocho semanas de edad y un peso promedio de 750 gramos. Los animales fueron distribuidos al azar de forma individual en cada jaula metabólica.

3.6. Dietas experimentales

Se formaron dos grupos de cinco animales cada uno, ambos grupos tenían dietas diferentes D1 y D2 como a continuación se explica:

- Dieta 1: 100% Dieta basal (D_B)*
- Dieta 2: 40% Forraje verde hidropónico seco + 60% Dieta basal = Dieta experimental (D_E).

*Dieta basal: Sub producto de trigo (afrecho).

Se adicionó vitamina C protegida (Rovimix de la marca Roche) a una concentración de 0.60 g/litro de agua.

En la tabla 4 y 5 se muestra el análisis químico proximal de las dietas experimentales y la del forraje verde hidropónico de cebada, respectivamente.

3.7. Fase de experimentación con animales

3.7.1. Periodo de adaptación

Esta etapa tuvo una duración de 14 días, durante los cuatro primeros días se cambió gradualmente el alimento hasta llegar a la proporción de 40% de FVH de cebada y 60% de subproducto de trigo mientras al otro grupo se le suministró la dieta basal conformada por 100% de su producto de trigo, en los posteriores 10 días del periodo de adaptación se calculó el consumo voluntario del alimento mediante la diferencia entre el alimento ofrecido menos el alimento residual por día.

3.7.2. Prueba de digestibilidad

La segunda etapa llamada periodo experimental tuvo una duración de 5 días y se procedió a la colección de heces y orina para lo cual se utilizaron bandejas debidamente acondicionadas en cada jaula metabólica la cual separaba las heces de la orina.

Las heces de cada animal fueron pesadas diariamente, etiquetadas y refrigeradas individualmente en bolsas de polietileno hasta el final del período experimental. Para determinar la humedad inicial de las heces, se obtuvo una muestra de cinco gramos que fue secada en estufa a 105 °C por cinco horas (Anexo 4). Las heces restantes de cada animal fueron mezcladas y secadas para el análisis químico proximal.

Tabla 4: Análisis químico proximal en base seca de las dietas experimentales

Componente	Tal como ofrecido (dieta basal)	Base seca (dieta basal)	Tal como ofrecido (dieta experimental)	Base seca (dieta experimental)
Humedad,%	10.88	0.00	9.6	0.00
Materia seca,%	89.12	100.00	90.4	100.00
Proteína cruda, %	13.84	15.53	14.26	15.77
Extracto etéreo, %	3.22	3.61	4.18	4.62
Fibra cruda,%	8.68	9.74	13.2	14.60
Ceniza,%	5.68	6.37	4.52	5.00
ELN,%	57.02	63.98	54.3	60.07
Materia orgánica, %	83.44	93.63	85.88	95.00

Tabla 5: Análisis químico proximal del forraje verde hidropónico de cebada.

Componente	Tal como ofrecido	Base seca
Humedad, %	9.26	0.00
Materia seca, %	90.74	100.00
Proteína cruda, %	12.41	13.68
Extracto etéreo, %	3.81	4.20
Fibra cruda, %	14.05	15.48
Ceniza, %	4.21	4.64
ELN, %	50.68	55.85
Materia orgánica, %	83.44	91.96

3.7.3. Cálculo de los coeficientes de digestibilidad

En base a los resultados que se obtendrán del análisis proximal del alimento y de las heces, se determinará el porcentaje de digestibilidad de los nutrientes aplicando el método directo para el subproducto de trigo y el forraje verde hidropónico de cebada. Para determinar la digestibilidad del forraje verde hidropónico se utilizó el método indirecto de digestibilidad ambos descritos por Crampton & Harris (1979).

Con los datos que se obtuvo se calculó la digestibilidad de la materia orgánica, los nutrientes digestibles y nutrientes digestibles totales (NDT) en base seca.

a. Método directo:

$$\text{CD (\%)} = \frac{\text{Nutriente ingerido} - \text{Nutriente Heces}}{\text{Nutriente ingerido}} \times 100$$

CD = Coeficiente de digestibilidad aparente.

b. Método indirecto:

$$D = \frac{100 (T - B) + B}{S}$$

Donde:

D = Digestibilidad del alimento suplemento

T = Total de digestibilidad B + D

B = Digestibilidad del alimento basal

S = % del alimento en estudio (forraje verde hidropónico) en la ración

Los cálculos de digestibilidad se realizarán en base al 100% de materia seca.

3.7.4. Estimación de la energía digestible

La energía digestible fue estimada para lo cual previamente se determinó la energía bruta de la dieta y de las heces, mediante el uso de la fracción del análisis químico proximal multiplicando

cada uno de ellos por sus respectivos valores calóricos medios (proteína 5.70 cal/g; Extracto Etéreo 9.30 cal/g; E.L.N. y fibra: 4.10 cal/g) según la AEC (1978). En base al contenido energético del alimento y las heces (base seca) se aplicó posteriormente la fórmula para energía digestible descrita por (Crampton & Harris, 1979).

$$\mathbf{ED = \frac{EB - EH \times Qh}{Ia}}$$

Donde:

ED = Energía digestible del alimento (kcal/kg)

EB = Energía bruta del alimento (kcal/kg)

Qh = Cantidad de heces producidas por día (kg)

EH = Energía bruta de las heces (kcal/kg)

Ia = Cantidad de alimento ingerido por día (kg)

Para calcular la energía digestible del FVH de cebada, se aplicó la fórmula descrita por Crampton & Harris (1979).

3.8. Análisis estadístico

Se utilizó estadística descriptiva empleando valores tales como:

- Promedio (X)
- Desviación Estándar (D.E)
- Coeficiente de Variabilidad (C.V. %)

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Digestibilidad del forraje verde hidropónico

Los coeficientes de digestibilidad de la materia seca (MS), materia orgánica (MO), proteína cruda (PC), fibra cruda (FC), extracto etéreo (EE), extracto libre de nitrógeno (ELN) y ceniza (CZ) del forraje verde hidropónico de cebada y sus respectivos coeficientes de variabilidad, se muestran en la tabla 6 y anexo 12.

Tabla 6: Coeficientes de digestibilidad aparente del forraje verde hidropónico de cebada en base seca

Componente	Coefficiente de digestibilidad	Desviación estándar	Coefficiente de variabilidad
Materia seca, %	77.60	1.39	1.79
Proteína cruda, %	62.32	5.11	8.19
Extracto etéreo, %	82.03	4.51	5.49
Fibra cruda Materia, %	76.12	4.53	5.96
Ceniza, %	58.01	1.94	3.34
ELN, %	82.69	4.34	5.25
Materia orgánica, %	76.75	3.99	5.20

La digestibilidad de la materia seca (MS) del forraje verde hidropónico de cebada fue de 77.60% siendo ligeramente inferior a los valores obtenidos por Amaguaña (2012) quién realizó estudios en cuyes de 3 meses de edad y una cosecha a los 15 días, obteniendo un 81.41% con fertilización orgánica y 78.02% de digestibilidad con fertilización mineral de FVH de cebada, respectivamente. Asimismo, Mehrez (2018) suministró FVH de cebada a conejos de 5 semanas de edad, cuya dieta estuvo constituida por 40% de forraje verde hidropónico de cebada de cebada y 60% alimento balanceado, determinando así un 55.28% de digestibilidad de la materia seca, valor inferior a lo determinado en el presente estudio, pudiendo deberse en parte a la especie. De igual forma Panduro (2008) utilizó el FVH de maíz amarillo cosechado a los 15 días, en cuyes machos de raza criolla y del Tipo 1 de cuatro meses de edad con un promedio de 390g, determinando un 94.14% de digestibilidad, valores superiores a lo hallado en el presente estudio, como se aprecia en la figura 2. Aliaga (2009) menciona que la digestibilidad de la materia seca y materia orgánica se encuentra relacionada al contenido de fibra de la dieta, a un mayor contenido de fibra la digestibilidad tiende a disminuir, debido que la fibra aumenta la velocidad de tránsito del contenido intestinal ocasionando disminución de la absorción de nutrientes.

Por otro lado, en un estudio realizado por Herrera et al. (2007) suministrando forraje hidropónico de maíz a vacunos, sostiene que el alto contenido de humedad del insumo en cuestión puede haber acelerado el tránsito de la ingesta a través del tracto digestivo y de esta manera disminuir la absorción de nutrientes. Según Maynard y Loosli (1981) la digestibilidad puede verse reducida por falta de tiempo para llevarse a cabo la acción digestiva completa en sustancias que son de lenta digestión, o por absorción incompleta; este último evento ocurre por el rápido tránsito de los alimentos en el tracto digestivo. Desde el punto de vista fisiológico digestivo Caycedo (2000) indica que los cuyes adultos poseen estómago simple, por lo que el alimento tiene un pasaje rápido a través del intestino delgado, órgano en donde se da la absorción de diversos nutrientes.

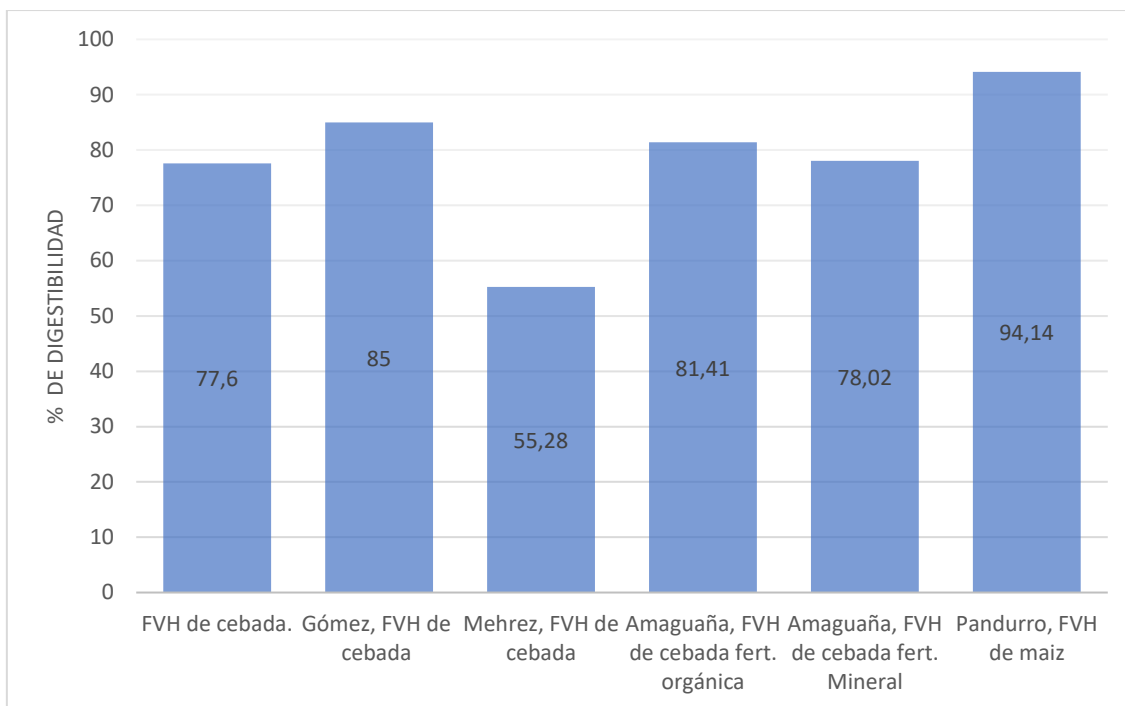


Figura 2: Coeficiente de digestibilidad para la materia seca

La digestibilidad para el extracto etéreo (EE) fue de 82.03% para el forraje hidropónico de cebada, valor superior a los hallado por Quispe et al. (2016) cuyo valor fue de 62.38 % de digestibilidad para el presente nutriente, este menor valor probable se deba que al autor realizó el estudio en cuyes machos de un mes de edad y a la edad de corte del forraje verde hidropónico de cebada que fue a los 18 días. Mientras que lo determinado por (Panduro, 2008) con forraje hidropónico de maíz fue de 96.12 %, siendo un valor superior al presente estudio para el parámetro en cuestión, diferencia que se pueda deber al forraje y edad de corte. Amaguaña (2012) obtuvo 86,6% y 84,6% para FVH de cebada cosechados al día 15 con fertilización orgánica y fertilización mineral, respectivamente. Estos valores ligeramente superiores a los que se obtuvo en el presente trabajo debido a la suplementación por fertilización, como se indica en la figura 3.

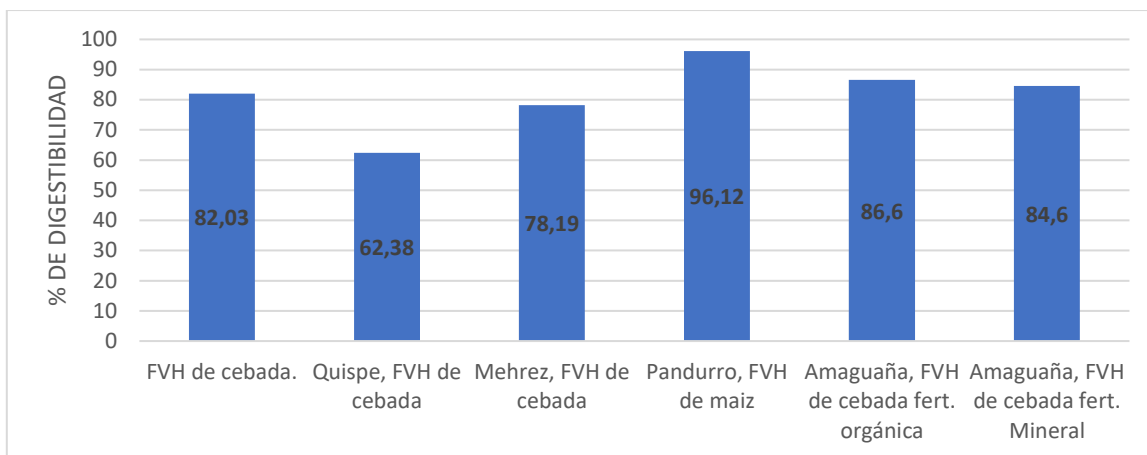


Figura 3: Coeficiente de digestibilidad del EE

Por otro lado, la digestibilidad para la proteína cruda del forraje verde hidropónico fue de 62.32%, siendo menor al comparar con los valores determinados por Mehrez (2018) quien realizó un estudio en conejos y encontró un coeficiente de digestibilidad para la proteína cruda de 78.62 % significativamente superior ($P < 0.05$) al emplear un 20 % de sustitución de forraje hidropónico de cebada, con respecto a la dieta control y sustitución de 40%, cuyos valores fueron de 76,06 y 75,16%, respectivamente. Igualmente es menor a lo hallado por Panduro (2008) quien determinó un 94.14% de digestibilidad de la proteína en cuyes. Asimismo, Quispe et al. (2016) reportaron un valor de 77.50% de digestibilidad de proteína cruda para el forraje verde hidropónico de cebada suministrada a los cuyes, valor superior al presente estudio. Lo cual se debe probablemente a la edad de la cosecha, realizada en el día dieciocho, mientras que en el presente estudio se cosecho en el día doce. Amaguaña (2012) obtuvo 81,45% y 78,54 % para FVH de cebada con fertilización orgánica y fertilización mineral, respectivamente. Como se aprecia en la figura 4. Como es sabido la concentración de los nutrientes en las plantas varían de acuerdo con la edad y ello influye en la digestibilidad. Asimismo, los autores Salas et al. (2010) como Herrera-Torres et al. (2010), indican que la edad de cosecha del forraje verde hidropónico debe ser el día once, teniendo como criterio de cosecha del FVH el onceavo día, el mayor contenido de proteína cruda y por ende la digestibilidad, además indican que después de esta edad se inicia un descenso apreciable en el valor de algunos nutrientes, por uso de la plántula para su crecimiento.

Por otro lado, Salas et al. (2010), mencionan que la disminución de la fracción de proteína cruda y la digestibilidad, es debido al incremento del contenido de materia seca estructural por el aumento de edad del forraje; sin embargo, a pesar que la cosecha se realizó dentro del periodo adecuado en la presente investigación se tiene menor digestibilidad, referente al resto de los valores hallados por los investigadores, quienes en su mayoría realizaron la cosecha del FVH en un periodo de tiempo mayor que el efectuado en el presente estudio, entre otros aspectos. Asimismo, Chung et al. (1989) y Dikshit y Ghadle (2003), mencionan que los brotes de granos frescos tienen una alta solubilidad de proteínas y aminoácidos en respuesta a las transformaciones enzimáticas ocurridas en el proceso de crecimiento temprano de la planta el cual es beneficioso para el organismo que lo consume. Para (Shimada, 2015), la digestibilidad de los forrajes se debe a la variabilidad del estado de madurez; a medida que la planta madura disminuye su contenido de proteína y de azúcares y se eleva el de fibra (principalmente celulosa y lignina), lo que lleva consigo una disminución gradual de la digestibilidad.

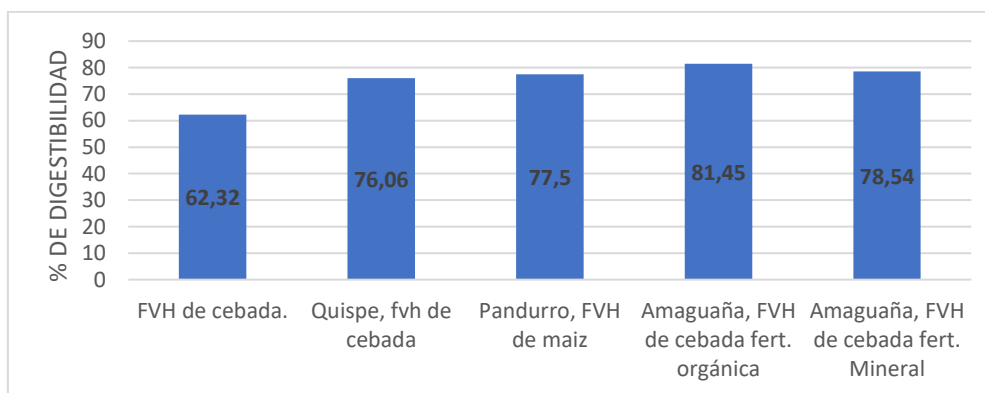


Figura 4: Coeficiente de digestibilidad de la proteína cruda

Con respecto a la fibra cruda del forraje verde hidropónico, la digestibilidad fue de 82.03%, muy similar a lo reportado por Quispe et al., (2016) con 82.97% a pesar que la edad de corte fue mayor a la del presente experimento; sin embargo, resulta inferior al valor determinado por Panduro (2008), quien determinó un valor de 94.28 % para el FVH de maíz evaluado en cuyes, diferencia que podría deberse por no tratarse de un FVH de cebada. Mientras tanto Amaguaña, (2012) obtuvo valores ligeramente superiores a lo reportado así: 86,6% y 84,6% para FVH de cebada con fertilización orgánica y fertilización mineral, respectivamente. Esta ligera diferencia puede deberse a la adición de fertilizantes, como se aprecia en la figura 5.

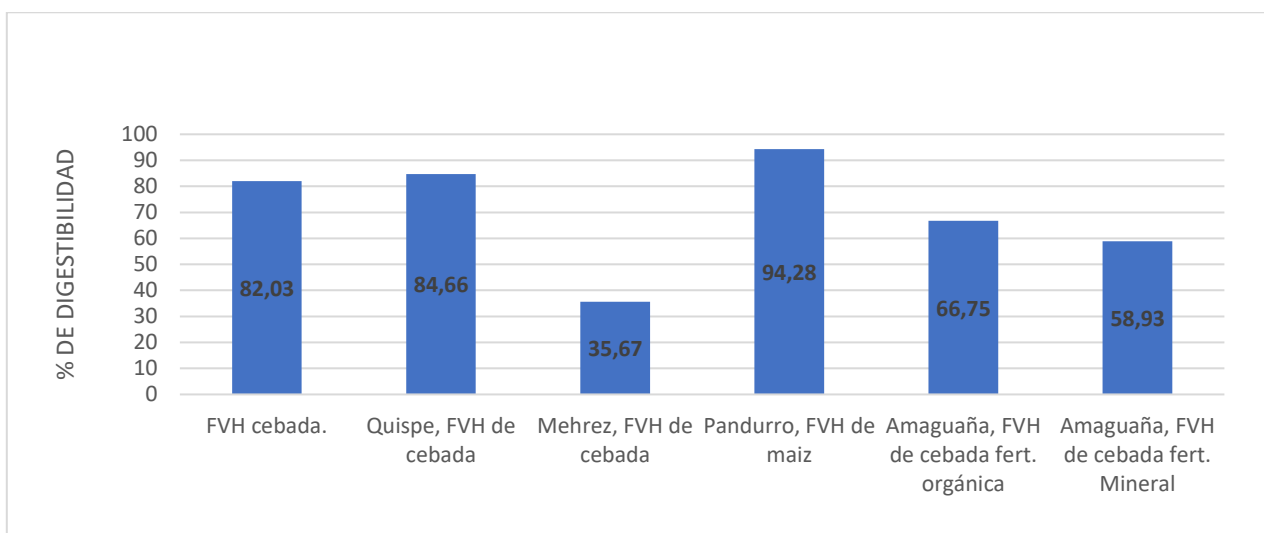


Figura 5: Coeficiente de digestibilidad de la fibra cruda

Con relación a la digestibilidad de la ceniza se determinó un valor de 76.12% mientras Adebiji et al. (2018) en un estudio con cerdos destetados alimentados con una dieta 50% de concentrado y 50% de forraje hidropónico de maíz cosechado a los siete días obtiene 43.52% de digestibilidad para la ceniza, como se observa en la figura 6.

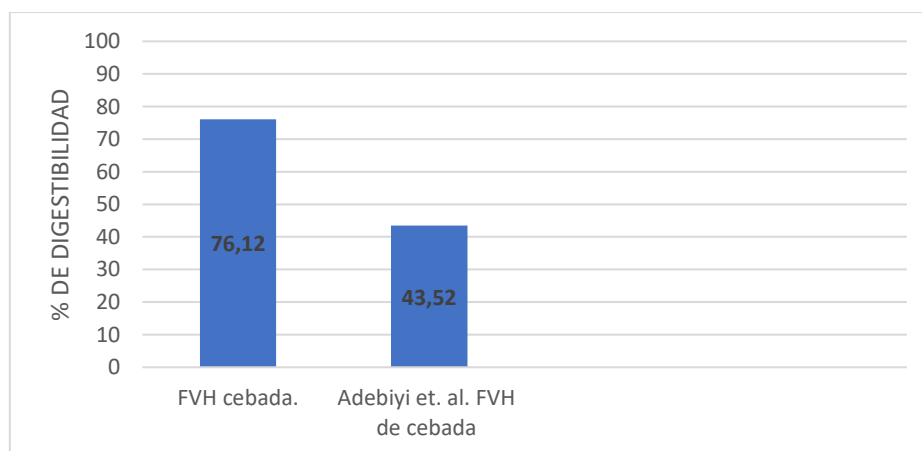


Figura 6: Coeficiente de digestibilidad de la ceniza

La digestibilidad para el Extracto libre de nitrógeno es de 58.01%, similar a lo determinado por Mehrez, (2018) en conejos cuyo valor fue de un 60.11%, al emplear FVH de cebada. Pero fue menor al valor determinado por Quispe et al. (2016), siendo de 78.29% de digestibilidad para el

ELN. Asimismo, como se sabe este nutriente varía en función al contenido del resto de nutrientes. Amaguaña (2012) obtuvo valores de 85,66% y 85,12% para FVH de cebada con fertilización orgánica y fertilización mineral, respectivamente. Como se aprecia en la figura 7.

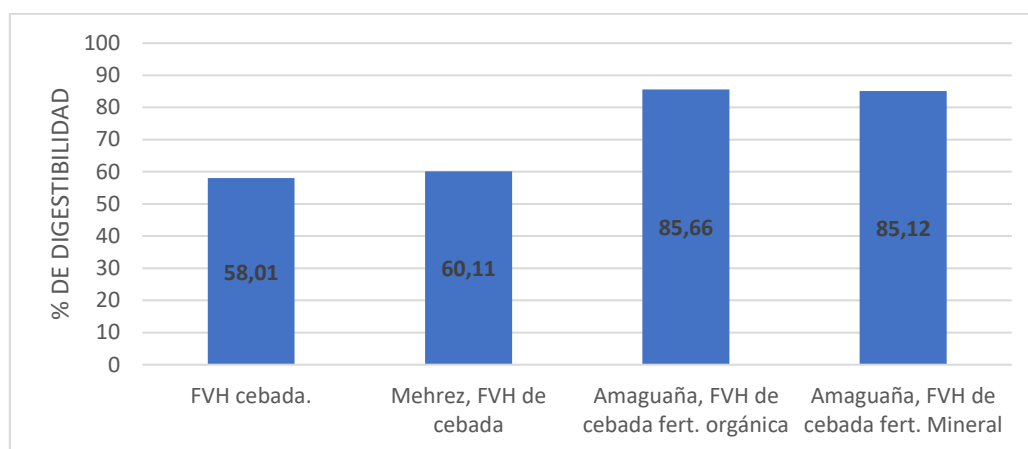


Figura 7: Coeficiente de digestibilidad de ELN

Con relación a la digestibilidad de la materia orgánica, se encontró un valor de 76.75%; siendo menor al valor determinado por Panduro (2008) cuyo valor es de 95.15% para el FVH de maíz empleado en cuyes. Pero es superior al valor hallado por Mehrez (2018) que obtiene un valor de 59,93% para el FVH de cebada aplicado en conejos, como se indica en la figura 8.

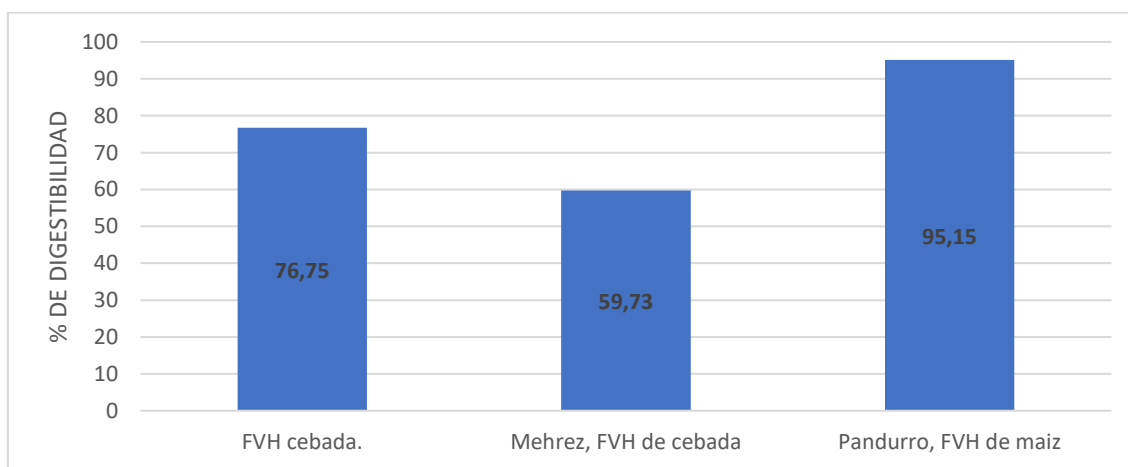


Figura 8: Coeficiente de digestibilidad para la materia seca

Por otro lado, Pandey y Pathak (1991) citados por (Sharma et al., 2019) mencionan que la digestibilidad de los nutrientes de los forrajes hidropónicos es comparable con las leguminosas altamente digeribles como el berseem y otros tréboles. Según Chung y otros (1989) citad por (Helal, 2015), la proteína y los aminoácidos altamente solubles se da en respuesta al crecimiento temprano de las plantas y las transformaciones enzimáticas de los granos germinados son responsables de la mejora de la digestibilidad en los animales. Shipard (2005) citado por (Sharma et al., 2019) señala que los brotes son ricos en enzimas, característica que le da mayor valor alimenticio, ya que a mayor edad del forraje disminuye la actividad de sus enzimas; por ello, existe una disminución significativa de la digestibilidad de los componentes del FVH - completo.

De manera general, diferentes autores indican que la digestibilidad de los componentes nutricionales encontrados en el forraje verde hidropónico puede verse afectados, por efecto de factores relacionados con la composición de la dieta brindada, porcentaje de inclusión, variedad a evaluar, estado fenológico del forraje, animal utilizado (monogástrico vs. rumiantes), plan de nutrición y otras variables ambientales.

4.2. Energía digestible del forraje verde hidropónico seco de cebada.

El valor estimado de la energía digestible en base seca del forraje verde hidropónico de cebada es de 3.50 Kcal/g, como se aprecia en el Tabla 7. Este valor es menor al comparación con lo determinado por (Panduro, 2008) quien consigna un valor de 4.65 kcal/g de energía digestible para el forraje verde hidropónico de maíz empleado en cuyes. Esta diferencia se debe en parte a que el autor utilizó para obtener FVH a otro cereal como es el maíz, cereal que se caracteriza por su aporte energético, así como también pudo influir la zona (selva) donde llevó a cabo el estudio.

Tabla 7: Energía digestible del forraje verde hidropónico seco de cebada

Animal N°	Energía digestible de la dieta experimental (Kcal/g)	Energía digestible de la dieta basal (Kcal/g)	Porcentaje de Sustitución (forraje verde hidropónico)	Energía Digestible (Kcal/g)
1	3.27	3.11	40.00	3.510
2	3.30	3.11	40.00	3.585
3	3.30	3.05	40.00	3.675
4	3.16	3.14	40.00	3.190
5	3.23	3.02	40.00	3.545
Promedio				3.50
Desviación Estándar				0.18
C.V.%				5.16

V. CONCLUSIONES

De acuerdo a las condiciones en que se desarrolló la investigación y en función a los resultados obtenidos, se concluye que:

1. Los coeficientes de digestibilidad aparente del forraje verde hidropónico de cebada fueron: de la materia seca fue de 77.6%, de la proteína cruda fue de 62.32%, del extracto etéreo fue de 82.03%, para fibra cruda fue de 82.03%, de la ceniza fue de 76.12%, y para el Extracto libre de nitrógeno fue de 58.01%.
2. El valor de la energía digestible del forraje verde hidropónico fue de 3.50 (Kcal/g)

VI. RECOMENDACIONES

En base a los resultados obtenidos en la presente investigación, sugerimos lo siguiente:

1. Se recomienda que los coeficientes de digestibilidad de los nutrientes y el valor de energía digestible del forraje verde hidropónico de cebada determinados puedan ser utilizados en la formulación de dietas.
2. Se sugiere realizar ensayos de digestibilidad de forraje verde hidropónico de cebada en otras especies.
3. Se recomienda realizar la prueba de alimentación con el FVH en cuyes.
4. Se invita a continuar con los estudios de digestibilidad de otras especies forrajeras con el objetivo de ampliar la disponibilidad de los recursos alimenticios para esta especie.

VII. BIBLIOGRAFIA

- Adebiyi, O. A., Adeola, A. T., Osinowo, O. A., Brown, D., & Ng'Ambi, J. W. (2018). Effects of feeding hydroponics maize fodder on performance and nutrient digestibility of weaned pigs. *Applied Ecology and Environmental Research*, 16(3), 2415–2422. https://doi.org/10.15666/aeer/1603_24152422
- Aliaga, R. (2009). *Producción de Cuyes*. 1.ed. Huancayo, Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú. p.145-178.
- Amaguaña B, F. (2012). Evaluación de los forrajes hidropónicos de cebada (*hordeum vulgare*) y trigo (*triticum vulgare*) en condiciones de fertilización orgánica y mineral en la alimentación de cuyes (*cavia porcellus*).
- Bondi, A. (1989). *Nutrición animal A*. Bondi.pdf. <https://doi.org/10.1186/s12889-015-2454-2>
- Calero, B. (1978). *El cuy. Introducción a la caviicultura*. Edic. Agron. Editorial Garcilaso SA lima-Perú.
- Campo, F., & Villar, J. (2012). Forraje verde hidropónico alternativa orgánica para la alimentación animal. *Agricultura Orgánica*, 32–34.
- Carrasco, I. (1994). *Utilización de la cebada hordeum vulgare germinada en la alimentación de cuyes machos en crecimiento y engorde*.(Tesis para optar el grado de ingeniero zootecnista). Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Caycedo, A. (2000). *Experiencias investigativas en la producción de cuyes : contribución al desarrollo técnico de la explotación*. Universidad de Nariño, Vicerrectoría de Investigaciones Posgrados y Relaciones Internacionales, Facultad de Ciencias Pecuaria.

- Ccente, J., & Juño, R. (2007). Efecto del forraje verde hidropónico de avena, cebada y trigo en el crecimiento y engorde de cuyes (*Cavia porcellus*) (Tesis para optar el grado de Ingeniero Zootecnista) [Universidad Nacional de Huancavelica.]. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/1>
- Chauca, L. (2018). Manual Técnico de crianza de cuyes. MINAGRI- INIA. Lima- Perú
- Crampton, E. W., & Harris, L. E. (1979). Nutrición animal aplicada. (2da edición).
- García Sánchez, G. C. (2014). Efecto de la sustitución de cultivo hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare*) en diversas proporciones en raciones de alfalfa en la ganancia de peso en cuyes (*Cavia porcellus*) de recría. (Tesis de grado para optar el grado de médico veterinario) [Universidad Nacional Hermilio Valdizán.]. <http://repositorio.unheval.edu.pe/handle/UNHEVAL/677>
- Gómez, M. (2007). Evaluación del forraje verde hidropónico de maíz y cebada, con diferentes dosis de siembra para las etapas de crecimiento y engorde de cuyes. (Tesis para optar el grado de ingeniero zootecnista) [Escuela superior politécnica de Chimborazo.]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1813/1/17T0725.pdf>
- Helal, H. (2015). Effect of Feeding Sprouted Barley Grains on Rice Straw and Olive Cake on Performance of Goats in Sinai. *Egyptian Journal of Nutrition and Feeds*, 18(3), 359–371. <https://doi.org/10.21608/ejnf.2015.105367>
- Herrera, A. M., Depablos, L. A., López, R., Benezra, M. A., & Ríos de Álvarez, L. (2007). Degradabilidad y digestibilidad de la materia seca del forraje hidropónico de maíz (*Zea mays*). Respuesta animal en términos de consumo y ganancia de peso. *Revista Científica de La Facultad de Ciencias Veterinarias de La Universidad Del Zulia*, 17(4), 372–379.
- Loa, G. (2019). Forraje verde hidropónico de cebada (*hordeum vulgare*) y maíz (*Zea mays*) en la dieta de cuyes machos (*cavia porcellus*) en recría. (Tesis para optar el título profesional de médico veterinario y zootecnista) [Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac , Fac.Medicina Veterinaria y Zootecnia.]. <http://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/763>
- Maynard, J.; Loosli, J.; Hintz, H. y Warner, R. (1981). *Nutrición Animal*. 7ma Edición. New Cork, N. Y.

- McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F. D., & Morgan, C. A. (1969). *Nutrición Animal*.pdf.
- Mehrez, A., et al. (2018). Effect of Partial Substitution of a Commercial Feed Crude Protein by Hydroponic Barley Fodder in Diets of Apri rabbits on : 1- Digestibility , Feeding Value , some Blood Constituents and Caecum Microflora Count. 9(12), 453–458. https://jappmu.journals.ekb.eg/article_41160.html
- Organización de las Naciones para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2001). Forraje verde hidropónico. In *Fao* (Vol. 066).
- Panduro, J. (2008). Contenido nutricional, coeficientes de digestibilidad y energía digestible del forraje verde hidropónico de maíz (lea mayz l.) en cobayos (*Cavia porcellus* L.) (Tesis para optar el grado de Ingeniero Zootecnista) [Universidad Nacional Agraria de la Selva.]. <http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/888/ZT-415.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pautrat, W. (2008). Producción de forraje verde hidropónico de cebada para la alimentación en cuyes. INIA.
- Quispe, A., Paquiyauri, Z., Ramos, Y. V., Contreras, J. L., & Véliz, M. A. (2016). Influencia de Niveles de Azufre en la Producción, Composición Química Bromatológica y Digestibilidad del Forraje Verde Hidropónico de Cebada (*Hordeum vulgare* L.). *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Perú*, 27(1), 31–38. <https://doi.org/10.15381/rivep.v27i1.11457>
- Ramón, A. (2017). Determinación de características morfo-fisiológicas del tracto digestivo del cuy (*Cavia porcellus*). (Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Loja). Recuperado de: <http://dspace.unl.edu.ec:9001/jspui/bitstream/123456789/18826/1/Alex%20Mauricio%20Ram%C3%B3n%20Jaramillo.pdf>
- Saavedra Sierra, D. M. (2018). Forraje verde hidropónico de tres variedades de cebada (*hordeum vulgare*) en la dieta de cuyes (*cavia porcellus*) en recría.
- Sharma, A., Joshi, M., & Sharma, S. K. (2019). Effect of feeding hydroponics maize fodder on milk yield and milk constituents in gir cows. *Veterinary Practitioner*, 20(2), 276–

278.https://www.researchgate.net/profile/PrafullaNaik/publication/264720286_Effect_of_feeding_hydroponics_maize_fodder_on_digestibility_of_nutrients_and_milk_production_in_lactating_cows/links/53eca8150cf250c8947cd783/Effect-of-feeding-hydroponics-maize-fodd

Shimada, A. (2015). *Nutrición Animal*. 3° edición. Distrito Federal, México: Editorial Trillas.

Solorzano, J., Sarria, J. (2014). *Crianza, producción y comercialización de cuyes*. Lima: Macro EIRL

Tarrillo, O. H. (1999). *Utilización del forraje verde hidropónico de cebada (Hordeum Vulgare), Alfalfa (Medicago Sativa) en pellets y en heno, como forrajes en la alimentación de terneros Holstein en lactación (Tesis para obtener el grado de Ingeniero Zootecnista)*. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima.

Vílchez, C. (2018). *Fisiología digestiva, nutrición y metabolismo de nutrientes*. Presentado en Universidad Agraria La Molina. Lima-Perú.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Ecuación para la estimación de la energía bruta

$$EB = 5.7 \times (\%PC) + 9.3 \times (\%EE) + 4.1 \times (\%FC + \%ELN)$$

Dónde:

EB = Energía Bruta (Kcal/100 g)

PC = Proteína Cruda (%)

EE = Extracto Etéreo (%)

FC = Fibra Cruda (%)

ELN = Extracto Libre de Nitrógeno (%)

Anexo 2: Cantidad de la dieta basal (DB) ingerida por cada animal (base seca).

ANIMAL N.º	Día	Total, de alimento ofrecido(g)	Alimento no consumido (g)	Total alimento ingerido(g)	Total de alimento ingerido por periodo(g)	Promedio
1	1	70	26.4	43.6	195.4	39.08
	2	70	32.5	37.5		
	3	70	32	38		
	4	70	29.2	40.8		
	5	70	34.5	35.5		
2	1	70	36.3	33.7	171.9	34.38
	2	70	37.6	32.4		
	3	70	33.3	36.7		
	4	70	35.4	34.6		
	5	70	35.5	34.5		
3	1	70	35	35	172.9	34.58
	2	70	34	36		
	3	70	33.2	36.8		
	4	70	36.1	33.9		
	5	70	38.8	31.2		
4	1	70	37.7	32.3	167.4	33.48
	2	70	35.2	34.8		
	3	70	32	38		
	4	70	38.4	31.6		
	5	70	39.3	30.7		
5	1	70	36	34	173.7	34.74
	2	70	32.1	37.9		
	3	70	37	33		
	4	70	36.4	33.6		
	5	70	34.8	35.2		
Promedio						35.25
Desviación estándar						2.99
Coefficiente de Variabilidad						8.49

Anexo 3: Cantidad de la dieta experimental (de) ingerida por cada animal (base seca).

ANIMAL N.º	Día	Total de alimento ofrecido(g)	Alimento no consumido (g)	Total alimento ingerido(g)	Total de alimento ingerido por periodo(g)	Promedio
1	1	70	34.8	35.2	191.6	38.32
	2	70	32.2	37.8		
	3	70	31.6	38.4		
	4	70	29.4	40.6		
	5	70	30.4	39.6		
2	1	70	31.8	38.2	185.6	37.12
	2	70	30.8	39.2		
	3	70	34.6	35.4		
	4	70	32.4	37.6		
	5	70	34.8	35.2		
3	1	70	30.4	39.6	191.8	38.36
	2	70	31.4	38.6		
	3	70	35.6	34.4		
	4	70	29.6	40.4		
	5	70	31.2	38.8		
4	1	70	32.1	37.9	187.8	37.56
	2	70	32.2	37.8		
	3	70	35.4	34.6		
	4	70	31.6	38.4		
	5	70	30.9	39.1		
5	1	70	34.5	35.5	187.1	37.42
	2	70	32.9	37.1		
	3	70	31.5	38.5		
	4	70	32.4	37.6		
	5	70	31.6	38.4		
Promedio						37.76
Desviación estándar						0.56
C. de Variabilidad						1.47

Anexo 4: Peso de las heces de los animales alimentados con la dieta basal (DB) en gramos (base seca).

Animal N°	Día 1 (g)	Día 2 (g)	Día 3 (g)	Día 4 (g)	Día 5 (g)	Total/animal/ periodo (g)	Promedio animal Periodo(g)	Heces en MS %	Exc. En MS
1	24.10	23.2	26.2	24	24.8	122.30	24.46	37.42	9.15
2	20.2	23.9	22.8	25.4	24.8	117.10	23.42	35.80	8.38
3	19.5	22.2	24.1	21.3	22.6	109.70	21.94	39.22	8.60
4	17.2	18.2	20.4	20.4	18.9	95.10	19.02	40.20	7.65
5	19.2	26.3	18.4	19.6	23.1	106.60	21.32	41.30	8.81

Anexo 5: Peso de las heces de los animales alimentados con la dieta experimental (DE) en gramos (base seca).

Animal N°	Día 1 (g)	Día 2 (g)	Día 3 (g)	Día 4 (g)	Día 5 (g)	Total/animal/ periodo(g)	Promedio animal Periodo(g)	HECES MS %	Heces g, MS
1	21.20	23.8	22.2	20.2	26.8	114.20	22.84	38.46	8.78
2	24.4	25.8	22.2	20.1	22.2	114.70	22.94	36.42	8.35
3	21.3	20.5	26.8	21.82	22.3	112.72	22.54	38.49	8.68
4	24.2	22.8	24.6	23.7	26.7	122.00	24.40	39.25	9.58
5	20.9	24.8	24.1	21.3	22.1	113.20	22.64	39.52	8.95

Anexo 6: Composición químico proximal y energética de las heces-dieta basal (base seca).

	N°	MS	Humedad	Proteína	Grasa	Fibra	Ceniza	ELN	MO	EB (Kcal/100 g)	EB (Kcal/g)
Base Parc Seca%	1	88.5	11.50	18.50	3.95	12.4	7.98	45.67	92.02	380.272	3.80
	2	90.44	9.56	17.40	4.25	11.89	7.92	48.98	92.08	388.272	3.88
	3	89.46	10.54	17.22	3.45	11.84	7.81	49.14	92.19	380.257	3.80
	4	90.45	9.55	19.62	3.98	13.65	8.89	44.31	91.11	386.484	3.86
	5	90.68	9.32	18.42	4.10	11.82	8.21	48.13	91.79	388.919	3.89
		MS	Humedad	Proteína	Grasa	Fibra	ceniza	ELN	MO		
Base seca/SPT%	1	100	0.0	20.90	4.46	14.01	9.02	51.60	90.98	429.686	4.30
	2	100	0.0	19.24	4.70	13.15	8.76	54.16	91.24	429.314	4.29
	3	100	0.0	19.25	3.86	13.23	8.73	54.93	91.27	425.058	4.25
	4	100	0.0	21.69	4.40	15.09	9.83	48.99	90.17	427.290	4.27
	5	100	0.0	20.31	4.52	13.03	9.05	53.08	90.95	428.892	4.29

Anexo 7: Composición químico proximal y energética de las heces-dieta experimental (base seca)

	N°	MS	Humedad	Proteína	Grasa	Fibra	Ceniza	ELN	MO	EB (Kcal/100 g)	EB (Kcal/g)
Base Parc Seca SPT+FVH	1	91.10	8.90	21.2	4.82	16.84	7.21	41.03	83.89		
	2	90.80	9.20	20.8	4.20	16.23	7.12	42.45	83.68		
	3	91.08	8.92	19.23	4.38	16.24	7.10	44.13	83.98		
	4	89.80	10.2	18.95	3.98	16.98	6.50	43.39	83.30		
	5	90.60	9.4	20.18	4.40	15.86	6.89	43.27	83.71		
		MS	Humedad	Proteína	Grasa	Fibra	Ceniza	ELN	MO		
Base seca	1	100	0	23.27	5.29	18.49	7.91	45.04	92.09	442.30	4.42
SPT + FVH	2	100	0	22.91	4.63	17.87	7.84	46.75	92.16	438.56	4.39
	3	100	0	21.11	4.81	17.83	7.80	48.45	92.20	436.83	4.37
	4	100	0	21.10	4.43	18.91	7.24	48.32	92.76	437.13	4.37
	5	100	0	22.27	4.86	17.51	7.60	47.76	92.40	439.71	4.40

Anexo 8: Cálculo de los coeficientes de digestibilidad aparente de la dieta basal (en base seca).

Total de nutrientes Ingeridos (g)									
Animal N°	Consumo. MS(g)	Proteína (g)	Grasa (g)	Fibra (g)	Ceniza (g)	ELN (g)	MO (g)	Formula Energía Bruta (Kcal/g)	EB
1	34.83	5.41	1.26	3.39	2.22	22.28	32.61	147.6792	1.48
2	31.74	4.93	1.15	3.09	2.02	20.31	29.72	134.5776	1.35
3	30.82	4.79	1.11	3.00	1.96	19.72	28.86	130.68	1.31
4	29.84	4.63	1.08	2.91	1.90	19.09	27.94	126.5216	1.27
5	30.96	4.81	1.12	3.02	1.97	19.81	28.99	131.2704	1.31
Total de nutrientes Excretados (g)									
Animal N°	Cantidad excretada (g)	Proteína (g)	Grasa (g)	Fibra (g)	Ceniza (g)	ELN (g)	MO (g)	Formula Energía Bruta (Kcal/g)	EB
1	9.15	1.91	0.42	1.28	0.83	4.72	8.32	39.3	0.39
2	8.38	1.61	0.39	1.10	0.73	4.59	7.65	36.0	0.36
3	8.60	1.66	0.33	1.14	0.75	4.53	7.85	36.6	0.37
4	7.65	1.66	0.34	1.15	0.75	3.75	6.90	32.7	0.33
5	8.81	1.79	0.4	1.15	0.80	4.58	8.01	37.8	0.38

Anexo 9: Coeficiente de digestibilidad de la dieta basal (base seca).

Animal N°	Cons. MS	Proteína	Grasa	Fibra	Ceniza	ELN	MO
1	73.73	64.69	66.60	62.27	62.59	78.82	74.49
2	73.60	67.34	65.96	64.42	63.89	77.40	74.26
3	72.10	65.32	70.34	62.02	61.80	77.03	72.80
4	70.48	64.18	68.44	60.43	60.54	80.36	75.30
5	71.54	62.77	64.21	61.86	59.44	76.88	72.37
Promedio	72.29	64.86	67.11	62.20	61.65	78.10	73.84

Anexo 10: Cálculo de los coeficientes de digestibilidad aparente de la dieta experimental (en base seca).

Total de nutrientes Ingeridos (g)

Animal N°	Cons. MS	Proteína	Grasa	Fibra	Ceniza	ELN	MO	Formula Energía Bruta (Kcal/g)	EB
1	34.64	5.46	1.60	5.06	1.73	20.81	32.91	152.07	1.52
2	33.56	5.29	1.55	4.90	1.68	20.16	31.88	147.33	1.47
3	34.68	5.47	1.60	5.06	1.73	20.83	32.95	152.25	1.52
4	34.14	5.39	1.58	4.99	1.71	20.51	32.43	149.87	1.50
5	33.83	5.34	1.56	4.94	1.69	20.32	32.14	148.51	1.49

Total de nutrientes Excretados (g)

Animal N°	Cant. Exc. BS	Proteína	Grasa	Fibra	ceniza	ELN	MO	Energía Bruta (Kcal/cant exc.)	EB (Kcal/g Heces)
1	8.78	2.04	0.46	1.62	0.69	3.95	8.09	8.1	0.08
2	8.35	1.91	0.39	1.49	0.65	3.81	7.60	15.2	0.15
3	8.68	1.83	0.42	1.55	0.68	4.21	8.00	24.0	0.24
4	9.58	2.02	0.42	1.81	0.69	4.45	8.70	34.8	0.35
5	8.95	1.99	0.43	1.57	0.68	4.18	8.17	40.9	0.41

Anexo 11: Coeficiente de digestibilidad de la dieta experimental (base seca).

Animal N°	Cant. Exc. BS	Proteína	Grasa	Fibra	Ceniza	ELN	MO
1	74.65	62.61	71	67.91	59.88	80.99	75.43
2	75.12	63.87	75.11	69.54	60.98	81.09	76.15
3	74.97	66.5	73.97	69.44	60.98	79.81	75.71
4	73.78	62.46	73.1	63.66	59.38	78.32	73.16
5	73.54	62.64	72.21	68.28	59.76	79.45	74.58
Promedio	74.41	63.62	73.08	67.77	60.20	79.93	75.01
Desv. Est	0.71	1.71	1.58	2.40	0.74	1.15	1.18
C.V %	0.96	2.69	2.16	3.55	1.23	1.44	1.57

Anexo 12: Coeficientes de digestibilidad de forraje verde hidropónico de cebada (base seca).

Tratamiento	Animal N°	MS	Proteína	Grasa	Fibra	Ceniza	ELN	MO	
Coefficiente de digestibilidad del forraje verde hidropónico de cebada	1	76.04	59.49	77.60	76.38	55.81	84.26	76.85	
	2	77.40	58.66	88.83	77.23	56.61	86.63	78.99	
	3	100(T-B)/40+B	79.28	71.09	79.41	80.56	59.75	83.99	80.07
	4		78.75	59.88	80.10	68.51	57.63	75.26	69.95
	5		76.54	62.45	84.22	77.92	60.25	83.31	77.89
Promedio		77.60	62.32	82.03	76.12	58.01	82.69	76.75	
Desviación Estándar		1.39	5.11	4.51	4.53	1.94	4.34	3.99	
C.V.%		1.79	8.19	5.49	5.95	3.34	5.25	5.19	

Anexo 13: Energía digestible de la dieta basal (base seca).

Tratamiento	Animal N°	EB Alimento (Kcal/g)	EB Heces (Kcal/g)	Cantidad de Heces (g)	Ingestión del Alimento (g)	Energía Digestible (Kcal/g)
DIETA BASAL 100% SPT	1	4.24	4.30	9.15	34.83	3.11
	2	4.24	4.29	8.38	31.74	3.11
	3	4.24	4.25	8.60	30.82	3.05
	4	4.24	4.27	7.65	29.84	3.14
	5	4.24	4.29	8.81	30.96	3.02

Anexo 14: Energía digestible de la dieta experimental (base seca).

Tratamiento	Animal N°	EB Alimento (Kcal/g)	EB Heces (Kcal/g)	Cantidad de Heces (g)	Ingestión del Alimento (g)	Energía Digestible (Kcal/g)
DIETA EXPERIMENTAL FVH(40%) + SPT(60%)	1	4.39	4.42	8.78	34.64	3.27
	2	4.39	4.39	8.35	33.56	3.30
	3	4.39	4.37	8.68	34.68	3.30
	4	4.39	4.37	9.58	34.14	3.16
	5	4.39	4.40	8.95	33.83	3.23

Anexo 15: Energía digestible del forraje verde hidropónico de cebada (base seca).

Animal N°	Energía digestible de la dieta experimental (Kcal/g)	Energía digestible de la dieta experimental (Kcal/g)	% de Sustitución (forraje verde hidropónico)	Energía Digestible (Kcal/g)
1	3.27	3.11	40.00	3.510
2	3.30	3.11	40.00	3.585
3	3.30	3.05	40.00	3.675
4	3.16	3.14	40.00	3.190
5	3.23	3.02	40.00	3.545
Promedio				3.50
Desviación Estándar				0.18
C.V.%				5.16