



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE MEDICINA VETERINARIA Y
ZOOTECNIA



**DETERMINACIÓN DE METANO EN CUYES (*Cavia porcellus*)
BAJO UNA ALIMENTACIÓN EN BASE A CONCENTRADO EN
ALTURA**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. VICTOR EUSEBIO NAIRA ROQUE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

MÉDICO VETERINARIO Y ZOOTECNISTA

PUNO – PERÚ

2022



DEDICATORIA

Me permito dedicar la presente investigación a mis señores padres, quienes con su sabiduría y firmeza me han sabido guiar a lo largo de mi vida.

A mis hermanos Miguel, Jimena, Luis y José, por su invaluable apoyo brindado para alcanzar mis objetivos.

Víctor Eusebio Naira Roque



AGRADECIMIENTOS

Primeramente, quiero agradecer a Dios por otorgarme salud, bienestar y fuerza durante la ejecución del presente trabajo de investigación.

A la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, mi casa de estudios por abrirme las puertas y darme la oportunidad de realizar mi formación académica en tan prestigiosa institución.

A mi Gloriosa Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. A los docentes por haberme brindado los conocimientos teóricos-prácticos para mi formación profesional.

Mi especial reconocimiento y agradecimiento a mi directora de tesis la Dra. DIANNETT BENITO LOPEZ y a mi asesor el Dr. JOSÉ EDUARDO RAMÍREZ ARUQUIPA por el apoyo que realizaron en este proyecto y por su paciencia.

Mis agradecimientos a los miembros del jurado: Dra. Martha Nancy Tapia Infantes, Ph.D. José Luis Bautista Pampa, M.Sc. Rolando Daniel Rojas Espinoza, por su paciencia y sugerencias en la culminación del presente trabajo de investigación.

A mis compañeros, amigos y a todos los demás que olvide mencionar... ¡muchas gracias!

Victor Eusebio Naira Roque



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 11

ABSTRACT..... 12

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETIVO GENERAL 14

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 14

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES 15

2.1.1. Producción de metano en diferentes especies animales 15

2.1.2. Energía perdida como metano 18

2.1.3. Métodos de determinación de metano 20

2.2. MARCO TEÓRICO 21

2.2.1. Sistema digestivo del cuy 21

2.2.2. Alimentación y nutrición de los cuyes 22

2.2.3. Digestibilidad 26

2.2.4. Digestibilidad y su relación con la producción de metano 30

2.2.5. Metano 31



2.2.6. Metanogénesis	32
----------------------------	----

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LUGAR DE ESTUDIO	35
3.2 INSTALACIONES Y EQUIPOS.....	35
3.3 ANIMALES	36
3.4 DIETA EXPERIMENTAL	36
3.5. METODOLOGÍA	37
3.5.1. Etapa pre-experimental.....	37
3.6.1. Etapa experimental	37
3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	43

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 PRODUCCIÓN DE METANO.....	44
4.2. PERDIDA DE ENERGÍA EN FORMA DE METANO	47
4.3. DIGESTIBILIDAD APARENTE DEL ALIMENTO CONCENTRADO	49
V. CONCLUSIONES.....	53
VI. RECOMENDACIONES	54
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
ANEXOS.....	70

Área : Alimentación animal.

Tema : Metano en cuyes por efecto de la alimentación.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 07 de febrero de 2022.



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Requerimientos nutricionales del cuy.....	23
Tabla 2.	Dieta experimental.....	36
Tabla 3.	Producción de metano en cuyes alimentados con concentrado en relación a las variables de PV, Kg; $Wkg^{0.75}$; IMS, Kg/d; $CH_4/l/d$; $CH_4/L/Wkg^{0.75}$	44
Tabla 4.	Estimación de la energía perdida como metano.....	48
Tabla 5.	Digestibilidad aparente en cuyes alimentados a base de concentrado.....	50
Tabla 6.	Producción de metano en cuyes alimentados con concentrado, reportado en la cámara estática en relación a sus variables.....	72
Tabla 7.	Consumo de alimento en cuyes alimentados en base a concentrado.....	73
Tabla 8.	Digestibilidad en cuyes alimentados en base a concentrado.....	73
Tabla 9.	Peso y volumen corporal en cuyes alimentados a base de concentrado.....	74
Tabla 10.	Peso de cuyes alimentados en base a concentrado.....	74



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Pesado de insumos para la formulación de alimento balanceado.....	75
Figura 2.	Ingredientes para la elaboración de alimento concentrado.....	75
Figura 3.	Mezclado de la dieta experimental.	75
Figura 4.	Embolsado de la dieta experimental para su concervacion.	75
Figura 5.	Medidas de largo corporal y perímetro torácico de los cuyes.	75
Figura 6.	Control de peso de los cuyes.	75
Figura 7.	Introduccion de los cuyes a las jaulas metabólicas.....	75
Figura 8.	Peso de residuo.	75
Figura 9.	Pesos de heces.	75
Figura 10.	Medición de la orina.	75
Figura 11.	Apertura de la llave de la válvula del tanque de Nitrógeno UHT (99.999 N).	75
Figura 12.	Apertura de la perilla reguladora, fijándose que el manómetro ejerza una presión en cilindro de 5L.....	75
Figura 13.	Colocación de la manguera poliuretano para calibrar el equipo.	75
Figura 14.	Analizador portátil de gases Gasmeter DX 4030. Visualización de los datos de calibración del PDA.....	75
Figura 15.	Colocación del colector (sensor) por donde pasa la muestra de (CH ₄), conexión del ventilador y termómetro.....	75
Figura 16.	Sellado de la cámara de acumulación de gases.	75
Figura 17.	Notación de datos, visualizado en el PDA.	75



Figura 18.	Rotulo de las bolsas de papel craft para las muestras.....	75
Figura 19.	Pesado de muestras en la balanza analítica para el análisis químico.....	75
Figura 20.	Introduciendo las muestras a la estufa a 60 °C por 24 horas.	75
Figura 21.	Registro de materia seca en la bolsa de papel craft.	75
Figura 22.	Visualizaciones de los materiales secos, sacados de la estufa.....	75



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

AGV	: Ácido Graso Volátil
ATP	: Adenosín Trifosfato
CH ₄	: Metano
CO ₂	: Dióxido de carbono
DMS	: Digestibilidad de Materia Seca
EB	: Energía bruta
ED	: Energía digestible
EMS	: Excreción de Materia Seca
FE	: Factor de Emisión
FTIR	: Espectroscopia Infrarrojo Transformado de Fourier
H ₂	: Hidrógeno
Kg	: Kilogramos
Kcal	: Kilocalorías
IMS	: Ingestión de Materia Seca
IPCC	: Panel Intergubernamental de Cambio Climático
Mcal	: Megacalorías
MF	: Materia Fresca
MFO	: Materia Fresca Ofrecida
MS	: Materia Seca



MSD	: Materia Seca Digestible
MSO	: Materia Seca Ofrecida
NMF	: Nitrógeno Fecal Total
N ₂ O	: Óxido Nitroso
PDA	: Personal Digital Assistant
pH	: Potencial de Hidrogeno
PCH ₄	: Perdida de energía como metano
ppb	: Partes por Billón
ppmv	: Partes por Millón en Volumen
SF ₆	: Hexafluoruro de Azufre
T ^o	: Temperatura
TCO	: Tal como ofrecido
TE	: Factor de emisión
VCA	: Volumen Corporal del Animal
VC	: Volumen de la Cámara
VE	: Valores Energéticos
Wkg ^{0.75}	: Peso Metabólico
Y _m	: Fracción de la EB destinada a la producción de metano



RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivos determinar la producción de metano, estimar la pérdida de energía en forma de metano y medir la digestibilidad aparente en cuyes (*Cavia porcellus*) bajo una alimentación en base a concentrado, a una altitud de 3827 m, realizada en el bioterio de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia – UNA Puno; para lo cual se utilizó 12 cuyes machos de la raza Perú con un peso promedio de 825 ± 0.08 g. La medición de la producción de metano se realizó a través de espectroscopia infrarrojo transformado de Fourier (FTIR), la energía perdida en forma de metano se estimó con el valor calórico del metano y la digestibilidad aparente fue determinada *in vivo* en jaulas metabólicas. La producción de metano (CH₄) fue de 0.64 ± 0.07 L/d (0.75 ± 0.13 L/Wkg^{0.75}), la pérdida de energía estimada en forma de metano fue de 3.515 Kcal/d, la digestibilidad aparente del concentrado fue 84.70 ± 3.20 %. Se concluye que la alimentación de cuyes en base a concentrado con una digestibilidad aparente adecuada, produce metano con una pérdida mínima de energía como metano.

Palabras Clave: Energía, digestibilidad, concentrado, cuyes, metano.



ABSTRACT

The present investigation had as objectives to determine the production of methane, to estimate the loss of energy in the form of methane and to measure the apparent digestibility in guinea pigs (*Cavia porcellus*) under a diet based on concentrate, at an altitude of 3827 m, carried out in the vivarium of the Faculty of Veterinary Medicine and Zootechnics – UNA Puno; for which 12 male guinea pigs of the Peru breed with an average weight of 825 ± 0.08 g were used. Methane production was measured using Fourier Transformed Infrared Spectroscopy (FTIR), the energy lost as methane was estimated with the caloric value of methane, and the apparent digestibility was determined in vivo in metabolic cages. Methane (CH₄) production was 0.64 ± 0.07 L/d (0.75 ± 0.13 L/Wkg^{0.75}), estimated energy loss as methane was 3.515 Kcal/d, apparent digestibility of the concentrate was 84.70 ± 3.20 %. It is concluded that the feeding of whose concentrated with adequate apparent digestibility, produces methane with a minimum energy loss as methane.

Keywords: Energy, digestibility, concentrate, guinea ping, methane.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El cuy (*Cavia porcellus*) es una especie herbívora monogástrica, originaria de los Andes Peruano-Boliviano (Castelo, 2012), clasificada como un fermentador posgástrico, realizando dos tipos de digestión una enzimática a nivel de estómago e intestino delgado, y fermentación a nivel del ciego (Hiyagon, 2014). Su alimentación en su mayoría es en base a forraje y concentrado (Vergara, 2008), siendo el suministro de concentrado entre el 30-40% (Canales, 2013); debido al rápido crecimiento de esta especie, es necesario disponer de un piso forrajero y cada vez se hace más difícil contar con áreas agrícolas disponibles para cultivos de forraje, sobre todo en época seca, siendo la alimentación en base a concentrado una alternativa que permite alcanzar un peso corporal óptimo en un menor tiempo, teniendo como punto primordial la adición de vitamina C (Benito, 2008).

El metano es un producto final de la fermentación microbiana que sufren los alimentos en el rumen y retículo en rumiantes y en el ciego (intestino grueso) en animales monogástricos herbívoros, que en términos de energía constituye una pérdida y en términos ambientales contribuye al calentamiento y al cambio climático global (Shrestha et al., 2013); representando la pérdida energética para el rumiante entre el 2 y el 12% de la energía bruta (Johnson y Johnson, 1996). Existe evidencia de que la digestibilidad de la materia orgánica tiene una relación lineal con la pérdida de energía como metano (Moss et al., 2000), donde los alimentos con una mayor digestibilidad producen menor metano (Boadi et al., 2004); es así que en vacunos la utilización de alimento concentrado es una estrategia dietaria, que mejora la productividad animal y disminuye la contaminación ambiental (Quispe, 2015).



La producción de metano se ha estudiado mucho en rumiantes domésticos, para caracterizar la eficiencia alimenticia y la contribución de los sistemas agrícolas a la producción de gases de efecto invernadero (Franz et al., 2010). Existen pocos reportes de la producción de metano en cuyes, así como lo obtenido por Franz et al. (2011) quienes encontraron un valor de 0.22 L/día ($0.28 \text{ L/Wkg}^{0.75}$), Romero (2021) reportó una cantidad de 0.57 L/día ($0.93 \pm 0.20 \text{ L/Wkg}^{0.75}$) en una alimentación en base a forrajes, y Huaquisto (2021) observó un promedio de 0.79 L/día ($1.09 \pm 0.25 \text{ L/Wkg}^{0.75}$) en una alimentación mixta (forraje más concentrado). Por lo que se hace necesario tener una línea de base de metano producido en las distintas especies y diferentes escenarios de alimentación, lo que nos permitirá comparar y analizar estos datos reales de emisión de metano por animal (IPCC, 2006; Villar, 2019).

Por lo expuesto y ante la restringida información acerca de la producción de metano en cuyes alimentados en base a concentrado y criados en altura, se realizó la presente investigación, que contribuye con la generación de conocimientos nuevos.

1.1. OBJETIVO GENERAL

- Determinar la producción de metano en cuyes (*Cavia porcellus*) bajo una alimentación en base a concentrado en altura.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la producción de metano en cuyes (*Cavia porcellus*).
- Estimar la pérdida de energía en forma de metano en cuyes (*Cavia porcellus*).
- Determinar la digestibilidad aparente en cuyes (*Cavia porcellus*).



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. Producción de metano en diferentes especies animales

Huaquisto (2021), en su trabajo de investigación realizado en Universidad Nacional del Altiplano Puno; Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, el metano producido en el ciego de los cuyes machos de la raza Perú con un peso vivo promedio de 0.655 ± 0.05 kg bajo una alimentación mixta (alfalfa y concentrado), encontró la producción de metano en promedio 0.79 ± 0.18 L/d (1.09 ± 0.25 L/Wkg^{0.75}), con una digestibilidad aparente de materia seca de 73.46 ± 6.75 %; concluyendo que los cuyes alimentados con alfalfa fresca y concentrado, producen un nivel bajo de metano en contraste con los rumiantes.

Romero (2021), en su investigación evaluó la producción de metano producido en el ciego de los cuyes bajo una alimentación en base a forrajes, criados en la altura (3827 m) de la raza Perú, con un peso promedio de 512.56 ± 35.75 g, alimentados en base a alfalfa (*Medicago sativa*) y avena (*Avena sativa*); la medición de la producción de metano se realizó en una cámara de acumulación de gases, con el (equipo Gasmeter DX-4030), donde determinó que la producción de metano fue de 0.57 ± 0.07 L/d (0.94 ± 0.16 L/Wkg^{0.75}), la digestibilidad aparente de materia seca fue 61.05 ± 9.25 %; concluyendo que los cuyes alimentados en base a forrajes producen metano en menor proporción que los rumiantes.

Franz et al., (2011), reportaron una producción de metano para conejos (*Oryctolagus cuniculus*) de 0.20 ± 0.10 L/d (0.13 L/ Wkg^{0.75}) y para cuyes (*Cavia*



porcellus) 0.22 ± 0.08 L/d (0.28 L/ $Wkg^{0.75}$), el experimento se realizó en una cámara respiratoria de circuito abierto, con seis conejos (peso vivo 1.57 ± 0.31 kg) y seis cuyes (peso vivo 0.79 ± 0.07 kg), a los que suministraron heno de hierbas en forma *ad libitum*; para los conejos la ingesta diaria de materia seca (MS) fue de 50 ± 6 g/día y la digestibilidad de MS fue de $55 \pm 6\%$, en cuyes la ingesta diaria de materia seca (MS) es 59 ± 11 g/día y la digestibilidad de MS fue de $61 \pm 3\%$; la investigación concluye que la fisiología digestiva es como responsable de una mayor contribución en la fermentación microbiana, en especial la de cuyes, lo que explicaría la mayor producción de metano.

Balenguer et al., (2008), realizaron una investigación de cuanto de metano producen y eliminan los conejos blancos de Nueva Zelanda, (80 días y 2.27 ± 0.064 kg p.v.), su dieta fue asignado a cuatro formulas dos fuentes diferentes de fibra (heno de alfalfa o pulpa de remolacha azucarera) y almidón (trigo o maíz) restringida con 100 g/día/animal, su producción de metano fue entre (0.00052 a 0.0034 L/ $Wkg^{0.75}$), durante tres veces consecutivas en una cámara respiratoria herméticamente sellada.

Clauss et al., (2019). Suiza; en su estudio de la fisiología digestiva de las maras (*Dolichotis patagonum*), han reportado que la emisión de metano, en cinco animales cautivos (7.67 ± 0.98 kg) alimentados con una dieta de alfalfa peletizada, promediaron a 3.85 ± 0.47 L/d (0.50 L/ $Wkg^{0.75}$) y $14,5 \pm 5,2$ L/kg de materia seca ingerida; esto tiene una relación de CH_4/CO_2 de $0,042 \pm 0.004$; Estos resultados y los obtenidos de otros roedores histricomorfos, sugieren que la producción de metano puede ser más prominente en los roedores de lo que se pensaba anteriormente.

Franz et al., (2010), en su trabajo realizado en producción de metano en équidos, (*Equus ferus caballus*, 97 ± 6 kg), se les ofreció acceso *ad libitum* solo forraje, con un consumo de materia seca de 72 ± 16 g/kg de peso vivo/día/animal, una digestibilidad de



materia seca $41 \pm 3\%$ y una producción de metano 13.4 ± 4.6 L/día/animal, con un llenado intestinal de 1.9 ± 0.4 %/masa corporal, según los datos se observó que un aumento lineal de la producción de metano está influenciado con la masa corporal en équidos.

Ramirez (2018), en su trabajo de investigación en producción de metano en camelidos, con una alimentación heno de avena (*Avena sativa*) y alfalfa (*Medicago sativa*) procesados mecánicamente a 12 mm y 24 mm de diámetro para las alpacas y llamas, cada uno realizó su dieta en ambos grupos (grupo A es 12 mm y grupo B es 24 mm) con pesos vivos de 48.08 y 97.6 kg., edad de 2 años, la producción de metano para las alpacas del grupo A es 28.06 L/d ($1.42 \text{ L/ Wkg}^{0.75}$) y del grupo B es 33.89 L/d ($1.68 \text{ L/ Wkg}^{0.75}$); Para las llamas su producción de metano del grupo A es 59.75 L/d ($1.77 \text{ L/ Wkg}^{0.75}$) y para el grupo B es 64.95 L/d ($1.82 \text{ L/ Wkg}^{0.75}$); Se concluye que el efecto tamaño de partícula del forraje tiene efecto en el consumo de alimento, sin embargo la producción de metano estuvo influenciada por el factor especie y no por el factor dieta experimental, no habiendo diferencia estadística.

Vilca (2015), estudió el efecto del concentrado fibroso sobre las emisiones de metano en vacas lecheras, donde utilizó la técnica de espectroscopia infrarrojo transformado de Fourier (FTIR) para medir la producción de metano en 24 vacas lecheras, distribuidas en dos grupos de 12 vacas por grupo, las mediciones se realizaron en una cámara de respiración donde las vacas permanecieron durante 10 minutos encerrados, midiéndose los últimos tres minutos; a través del equipo de gasmet DX 4030, cuyos resultados indican que las vacas con suplementación con 6 kg de concentrado fibroso producen 725.12 ± 26.13 L/d ($8.59 \text{ L/ Wkg}^{0.75}$) y 791.7037 ± 85 L/d ($7.55 \text{ L/ Wkg}^{0.75}$) para vacas al pastoreo.



2.1.2. Energía perdida como metano

La producción de metano ha generado gran importancia en la producción animal debido a sus efectos negativos para el medio ambiente, así como la eficiencia energética de los alimentos fermentados, que desciende en proporciones variables dependiendo de las características de los animales, debido a que las emisiones de gases, específicamente de metano, involucra pérdidas de energía mayormente a través del eructo. Los gases de fermentación suponen un 8% de la energía bruta en rumiantes, 2.5% en caballos, 0.4-1% en cerdos, 0.5% en conejos y es despreciable en aves, perros y gatos (Chamdrmoni et al., 2000).

El tipo de concentrado y su la degradabilidad son también determinantes de la pérdida de metano por fermentación. La suplementación con fuentes de almidón menos degradable y la mejor calidad de las raciones reducen las pérdidas de energía por metano (Johnson & Johnson, 1995; Moss et al., 2000; Benchaar et al., 2001; Beauchemin & McGinn, 2005), uno de los principios de la medición de la concentración de metano es determinar la pérdida energética (Reynolds et al., 2014).

Las pérdidas de metano se expresan normalmente como fracción de EB, y a este término se le conoce como Y_m , como se indica en la guías de IPCC (IPCC, 2006) cual valor depende de la calidad y digestibilidad de las dietas, se asume que cuando aumenta la digestibilidad disminuye el Y_m , propone también unos valores de Y_m para el ganado bovino de 2 a 7.5 %, correspondientes a digestibilidad entre 45 y 84 %, dependiendo del tipo de alimento, donde los concentrados tienen 75-85 % de digestibilidad; para el ovino los rangos propuestos son menores, 3.5 y el 7.5 %, dependiendo a la edad del animal (3,5-4,5% para animales menores de un año; 5,5-7,5% para animales adultos) en relación con



el tipo de alimentación recibida (mayor nivel de concentrados en las dietas para animales jóvenes).

Johnson et al. (2000) también establecieron que las dietas de alto contenido en concentrado (superior al 80 %) administradas a niveles superiores al de mantenimiento, las pérdidas de metano se encuentran por debajo del 5 %. Esto puede deberse a la dieta ya que puede ser un factor para que creen un ambiente hostil para la flora microbiana metanogénica y las poblaciones de protozoos ruminales, tales como una tasa rápida de digestión y un descenso del pH ruminal que puede reflejarse en una mayor concentración de ácido propiónico. Es por ello que, presumiblemente, los factores de conversión de metano en estas situaciones sean inferiores a los rangos propuesto por IPCC (2006).

Villar (2019), en su estudio de determinar la relación entre el nivel de energía en el alimento sobre la producción de metano entérico en ovinos bajo un sistema intensivo tradicional de costa, usando la técnica del trazador hexafluoruro de azufre (SF₆). Estima la energía perdida en metano consumiendo la ración con alto nivel energético (50% carbohidratos no estructurales) es de 0.48 Mcal/g de alimento consumido contra 0.52 Mcal/g con bajo nivel energético (30% de carbohidratos no estructurales) estadísticamente no mostro diferencia.

Montenegro et al., (2020), determinaron que el consumo de alimento esta relacionado con la producción de metano y la pérdida de energía en forma de metano, ya que, aquellas vacas que tienen mayor consumo de alimento presentaron menor porcentaje de la energía transformada y perdida como metano, la cual vario conforme al estado fisiológico, siendo mas eficientes las vacas en producción con 6.2 y 6.7%, vacas en parto con 7.8% y vacas secas con 8.1%, posiblemente influenciado por la cantidad de



grano suministrado, es por ello que una de las estrategias de mitigación está dada por la dieta en cuanto a reducir la proporción de ácido acético (Knapp *et al.* 2014).

2.1.3. Métodos de determinación de metano

Es necesario tener un registro o una línea de base de metano producido, para esto se requiere de tecnología precisa de medición de las emisiones de metano entérico, se han medido usando técnicas de calorimetría de respiración tales como las cámaras de cuerpo entero, cajas de cabeza y cámaras y máscaras ventiladas (Johnson & Johnson, 1995).

Las emisiones de metano entérico se pueden medir por distintos métodos, la elección depende mucho de la precisión además que cada método podría presentar ventajas y desventajas (Johnson *et al.*, 2007), La cámara de respiración de circuito abierto (técnica de encierro) se utilizaron para mediciones de metano en rumiantes en sistemas estabulados donde se colecta y el analiza el aire excretado por el animal (boca, nariz y recto) (Marca, 2018).

El trazador hexafluoruro de azufre (SF_6) es otro método para medir las emisiones de metano entérico del ganado en su ambiente natural, se usó en vacunos (Johnson *et al.*, 1994), ovinos (Lassey *et al.*, 1997), vacunos de carne y leche (Boadi & Wittenberg, 2002), alpacas (Pinares *et al.*, 2003) y ciervos (Swainson *et al.*, 2011).

Para las mediciones de metano se han utilizado técnicas y/o equipos tales como:

- a) La cromatografía de gases
- b) Los analizadores de gases infrarrojos con detección fotoacústica
- c) Espectroscopia infrarrojo transformado de Fourier (FTIR)
- d) La espectroscopia de absorción láser con diodos sintonizables
- e) Los semiconductores sensores de chip (Bhatta *et al.*, 2007).



2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Sistema digestivo del cuy

El cuy está clasificado dentro del grupo de los monogástricos herbívoros por lo que presenta un estómago simple y realizan fermentación posgástrica (Rigoni et al., 1993). La ingestión es la transformación de los alimentos al ingresar por el hocico de los cuyes, y estos alimentos al ser transformados mediante este proceso son aprovechados los nutrientes (Rebollo, 2006).

En el estómago se secreta ácido clorhídrico y la enzima pepsina que actúa sobre el bolo alimenticio, produciéndose la proteólisis parcial de las proteínas a polipéptidos; en este órgano se disuelve el alimento transformándolo en una solución conocida como quimo. El ácido clorhídrico desvanece a las bacterias las mismas que son ingeridas con la ingesta de sus alimentos, su función además es de proteger el organismo, hay que indicar que en este órgano no se produce la absorción; en el intestino delgado tiene la característica de cumplir la función de digestión y absorción (Vivas, 2009).

En el intestino delgado se realiza la absorción (Rosales, 2012), el movimiento de la ingesta en el estómago e intestino delgado es rápido, no demora más de 2 horas en llegar al ciego, aquí el movimiento es más lento, pudiendo permanecer en el parcialmente por 48 horas; donde la celulosa es la encargada de retardar los movimientos del contenido intestinal permitiendo una mayor eficiencia en la absorción de nutrientes (Altamirano, 2008).

Posee un ciego desarrollado funcional donde se realiza la fermentación a través del microbiota, microorganismos responsables de la fermentación de alimentos fibrosos (Caycedo, 2000); el ciego además recibe el alimento no digerido, el agua no absorbida y las secreciones de la parte final del intestino delgado (Toapanta, 2011).



Refiriéndonos a la fisiología digestiva es importante indicar que es el paso de nutrientes orgánicos e inorgánicos del exterior al interior de este órgano para posteriormente ser conducidos a través del sistema circulatorio hacia cada célula del organismo, de tal manera que posibilita el aprovechamiento de todos los nutrientes que requiere el organismo del cuy (Reyes, 2011).

2.2.2. Alimentación y nutrición de los cuyes

Los cuyes se adecuan a la disponibilidad de alimento por ello alimentar no es el hecho simplemente de administrar al cuy una cantidad de alimento con el fin de llenar su capacidad digestiva, sino administrarlo en cantidades adecuadas y con nutrientes suficientes que puedan cubrir sus requerimientos; por esta razón la alimentación en los cuyes debe ser en base a una selección y combinación de insumos que tengan ciertos constituyentes que suplan las necesidades de los cuyes (Chauca, 1997).

2.2.2.1. Requerimientos nutricionales

Los cuyes son animales monogástricos herbívoros, que fácilmente pueden aprovechar los alimentos nobles, como granos y harinas, así como alimentos groseros (pastos y forrajes), este último debido a que su aparato digestivo cuenta con un órgano que hace las veces del rumen de los poligástricos o rumiantes, dicho órgano es el ciego (Sarria, 2011). Los requerimientos dependen de la edad, estado fisiológico, genotipo y medio ambiente donde se desarrolle la crianza (NRC, 1995).

Tabla 1. *Requerimientos nutricionales del cuy.*

Nutriente	Unidad de medida	Gestación	Lactancia	Crecimiento	Engorde
Proteínas	(%)	18	18 - 22	13	18
ED	Kcal/kg	2,800	3,000	2,610	3,080
Fibra	(%)	8-17	8-17	12	14
Calcio	(%)	1,4	1,4	0,6	1,0
Fósforo	(%)	0,8	0,8	0,3	0,7
Magnesio	(%)	0,1 – 0,3	0,1 – 1,3	0,1	0,3
Potasio	(%)	0,5 – 1,4	0,5 – 1,4	0,5	1,4
Vitamina, C/kg	(mg)	200	200	200	200
Grasa	(%)	3	3,5	2	6

NRC (1995).

2.2.2.2. Sistemas de alimentación

La alimentación en los cuyes debe ser en base a una selección de alimento disponible y mezcla de productos que tengan ciertos constituyentes que cubran los requerimientos de los cuyes. Existen tres sistemas de alimentación claramente definidos: en base a forraje; forraje más concentrado (alimentación mixta) y solo con concentrados (más vitamina C y agua) dependiendo de la disponibilidad de alimento (Chauca, 1997), dicen que los cuyes, además de utilizar gran cantidad de forraje, pueden ser exclusivamente alimentados con raciones balanceadas que incluyan niveles elevados de fibra y de vitamina C, de manera que ya no se dependa del forraje, tal como se trabajan en la mayoría de sistemas de alimentación en la costa (Castro y Chirinos, 1997).

2.2.2.2.1. Alimentación en base a forrajes

El cuy es una especie herbívora por excelencia, su alimentación es sobre todo a base de forraje verde, de las cuales, las leguminosas por ser succulento y de alta calidad nutritiva. Las gramíneas tienen menor valor nutricional por lo que es conveniente combinar especies de gramíneas y leguminosas (Palomino, 2002), así mismo menciona que la cantidad diaria de forraje que se suministra a los animales está entre 80 a 200 g/animal/día (Rivas, 1995).



Los pastos y forrajes constituyen uno de los principales insumos de una explotación familiar y comercial de cuyes. Un gazapo en lactación puede consumir hasta 100 g de forraje verde y a las cuatro semanas de edad doblan esta cantidad, los adultos consumen entre 350 a 500g, indicándose que los niveles de forraje superiores al 60 % representan el 30 % de su peso vivo variando según la línea genética, no obstante, se observa un crecimiento lento en comparación con la alimentación mixta es así que se obtuvo ganancia diarias que oscilan entre 3.6 a 4.8 g y conversiones alimenticias de 8.3 a 12.5 (Caycedo, 2000). Además que el cuy puede criarse solo en base a forrajes, tienen una gran capacidad de ingestión, tiene hábitos nocturnos, tiene un ciego muy desarrollado, y es coprófago y consume alrededor de 0,44 kg de forraje verde al día (Amazonas, 2006).

2.2.2.2. Alimentación mixta

El forraje suele asegurar la ingestión adecuada de vitamina C y el concentrado completa una buena alimentación. De esta forma cubrimos los requerimientos nutritivos. (Rico, 2003). En pruebas de crecimiento para cuyes manejados con restricción de forraje, se reportaron pesos entre 800 a 900g a las 8 semanas, con ganancias de peso de 11 g/día, con dietas de 18.75% de proteína y 3.32 Mcal ED/Kg; mientras que el consumo de alimento en materia seca fue de 55 g/día, concluyendo que la restricción de forraje en cantidad y/o frecuencia no afecta la respuesta productiva de los cuyes (Rivas, 1995).

Al evaluar diferentes niveles de residuo de cervecería (0, 15, 30 y 45 %) en dietas para cuyes en crecimiento, con nivel de energía de 2.9 Mcal ED/kg y 18 % de proteína, utilizando chala de maíz como forraje, se reportaron ganancias de peso diarias de 14.9 g a 16.9g, consumo de alimento en materia seca de 46.9 g a 51.3 g por día, conversiones alimenticias de 3.0 a 3.2 y rendimientos de carcasa que oscilan entre 70 a 72 % (Cerna, 1997).



2.2.2.2.3 Alimentación a base de concentrado

En condiciones de poca disponibilidad de forraje verde, la base de la alimentación puede ser de alimento balanceado únicamente, siempre que se provea de vitamina C más agua fresca y limpia (Chauca, 1997). Al utilizar un concentrado como único alimento, se requiere preparar una buena ración de tal forma que se satisfaga los requerimientos nutritivos y además de ser de gustosidad para los cuyes. Bajo estas condiciones los consumos por animal/día se incrementan, pudiendo estar entre 40 a 60 g/animal/día, dependiendo de la calidad de la ración (Palomino, 2002) .

La vitamina C sintética será necesariamente suplementarlo en la dieta diaria ya sea en el agua o alimento (Hidalgo et al., 1995). (Quijandria, 1988), indica que el requerimiento de vitamina C por día es de 10 mg / kg de peso vivo; (Moreno, 1989) sostiene que existe igual comportamiento con suplementos de 10 y 20 mg / día; (Hidalgo et al., 1995) afirman que el requerimiento de vitamina C es de 7 mg por animal por día y, la NRC (1995), recomienda 200 mg de vitamina C / kg de alimento.

Los resultados al evaluar tres niveles de fibra (10,12 y 14 %) con la adición de vitamina C sintética en el concentrado fueron comparados con los de un grupo testigo (concentrado 12% de fibra y forraje) para dietas de cuyes; reporto una conversión de 2.4 (vitamina C) y 3.11 (forraje) con ganancias diarias de 12.8 g (vitamina C) y 13.3 g (forraje), consumos diarios de 30.8 g (vitamina C) y 41 g (forraje), rendimientos de carcasa de 74.5 % (forraje) y 72.7% (vitamina C) (Villafranca, 2003).

Al evaluar diferentes niveles de lisina y aminoácidos azufrados en dietas para cuyes sin forraje durante ocho semanas, se reportaron ganancias diarias de 13.3 g, conversiones de 3.6 - 4.0, consumo de alimento en materia seca de 49.82 -53.67 g/día, rendimiento de carcasa entre 65.07 - 69.94 % y porcentajes de grasa de 2.75 a 5.08 %,



demostrando que la exclusión de forraje y la adición de vitamina C sintética en el alimento balanceado no afecta el normal desarrollo de los cuyes en la etapa de crecimiento (Remigio, 2006).

Al evaluar diferentes niveles de vitamina C en la etapa de crecimiento, donde se utilizaron 96 cuyes machos de líneas mejoradas, destetados a los 14 ± 4 días distribuidos en 6 tratamientos (control, 8 mg, 10 mg, 12 mg, 15 mg y 18 mg cuy/día) con una duración de 7 semanas, en donde no se observó diferencia estadística para los pesos y ganancias, pero si se observó un mayor consumo total de materia seca para el tratamiento control, existió una mayor eficiencia en la conversión alimenticia para los tratamientos con inclusión de vitamina C sintética en el alimento balanceado (Benito, 2008).

2.2.3. Digestibilidad

La digestibilidad es una medida biológica de la calidad de los alimentos y en ella intervienen un gran número de factores que se clasifican en: Composición del alimento: (Cañas, 1998) sostiene que la digestibilidad de un alimento está estrechamente relacionada con su composición química, como son los niveles de proteína, carbohidratos y extracto etéreo, tipo de carbohidratos estructurales y de minerales. Las pastas proteicas y las harinas de carne y pescado tienen también buena digestibilidad para todas las especies, los granos menos digestibles son la avena y cebada por su gran porción fibrosa (Shimada, 2003).

Los métodos modernos de análisis de alimentos persiguen diferenciar las fracciones correspondientes a la pared celular y al contenido celular. Este último, se digiere casi en su totalidad (digestibilidad real es igual al 100 %), aunque la digestibilidad aparente resulta 10-15 % más baja, debido a la excreción de productos metabólicos en el intestino. La digestibilidad de las paredes celulares es mucho más variable ya que depende



del grado de lignificación, que en términos químicos se expresa por el contenido en lignina de la fibra ácido detergente (Mc Donald et al., 2002).

2.2.3.1. Digestibilidad in vivo

Es la medición que se realiza con animales vivos, en la cual se cuantifica la desaparición del alimento y sus componentes en su paso por el tracto digestivo. Se determina cuantificando la cantidad de alimento consumido y la cantidad de heces excretadas por el animal después de un período de acostumbramiento al alimento en evaluación. La colección total de heces es el método de digestibilidad de mayor uso en animales, en los ensayos de digestibilidad se usan preferentemente machos, dado que con ellos es más fácil obtener la orina y las heces por separado (Roque, 2015).

El método de recuperación total cuenta con un registro de las sustancias consumidas y las cantidades que se excretan en las heces. Para tal propósito se diseñaron jaulas metabólicas en las que se consigue la separación y exacta recogida de las materias excretadas. El animal está de pie sobre una reja de hierro, a través de la cual pasan las materias excretadas. El comedero se localiza en la parte exterior, de modo que ninguna porción de comida puede ir a parar sobre el excremento (Maynard et al., 1955).

Antes de comenzar el período de colección, es necesario un período previo de acostumbramiento para los animales de 10 a 14 días, con el fin de no estresar a los animales, además de evitar que existan restos de raciones anteriores en el sistema digestivo. El periodo de colección de datos debe tener una duración de 7 a 10 días (Kirchgessner & Tyler, 1992).

2.2.3.1.1. Tipos de digestibilidad

Una vez conocido la composición química de los alimentos, es necesario conocer el porcentaje de los nutrientes totales que son aprovechados por el animal, a este proceso



se le conoce como digestibilidad, por lo que se puede definir como el porcentaje de nutriente dado que se digiere (desaparece) en su paso por el tubo gastrointestinal; existen dos tipos para determinar la digestibilidad: aparente y verdadera (Huarco et al., 2012).

A. Digestibilidad aparente

La digestibilidad aparente es la ración no digerida y para su determinación recomienda realizar investigaciones con diversos animales de la misma especie, edad y sexo que son fáciles de manejar y presentar ligeras diferencias en su habilidad digestiva. Además, se usan con frecuencia animales machos porque con ellos es más accesible obtener la orina y las heces por separado (McDonald, 1995).

Se debe mantener un consumo diario en un mismo horario de alimentación en la etapa de acostumbramiento para minimizar las variaciones diarias de la producción de heces. También se menciona que son varios los factores que pueden afectar la cuantía de la digestión anotándose los siguiente (Church, 1990).

- Cantidad de alimento consumido
- Alteraciones digestivas
- Deficiencia de nutrientes
- Frecuencia de alimento ofrecido
- Tratamiento a que son sometidos los animales
- Efectos asociados de los alimentos ofrecidos

Maynard et al (1981) manifiestan que una prueba de digestión cuantifica; los nutrientes consumidos y las cantidades que se excretan en las heces; es importante que las heces recolectadas representen en forma cuantitativa el residuo no digerido del alimento consumido previamente medido; además, manifiesta que existen grandes diferencias en las capacidades para digerir los alimentos voluminosos en las diferentes especies animales; en todos los ensayos de digestibilidad y en especial en los llevados a



cabo con monogástricos es aconsejable dar la comida todos los días a la misma hora y las cantidades ingeridas sean definitivamente las mismas.

B. Digestibilidad verdadera

Maynard et al. (1981), suponen que la proteína que no aparece en las heces es digerida, la misma que es determinada mediante la relación de nitrógeno presente en la dieta, este cálculo constituye el coeficiente de digestibilidad aparente de la proteína; en tanto si se deduce el nitrógeno fecal total se obtiene el dato real (NMF), el nitrógeno fecal total se obtiene del dato real de la digestibilidad verdadera, la misma que en forma más precisa refleja la cantidad de nitrógeno absorbido del alimento por el organismo animal; por lo general ha sido imposible separar el NMF de los residuos nitrogenados de los alimentos, entonces luego de un gran número de investigaciones realizadas se ha demostrado que el NMF es proporcional a la ingesta del alimento, esto es alrededor de 2 mg de nitrógeno por gramo de materia ingerida. Si se emplea esta cifra como constante es posible convertir la digestibilidad aparente en digestibilidad verdadera.

En general, los granos de cereales y otras fuentes de azúcares o almidones tienen alta digestibilidad en todas las especies de animales de granja. Posiblemente, los granos de menor digestibilidad ya sea la avena (*Avena sativa*) y cebada por su gran porción fibrosa. Las pastas proteicas y las harinas de carne y pescado tienen también buena digestibilidad para todas las especies. Los alimentos que más varían en digestibilidad son los forrajes, y el principal causante de dicha variabilidad es el estado de madurez, pues a medida que la planta madura disminuye su contenido de proteína y de azúcares y se eleva la fibra (principalmente celulosa y lignina), lo que lleva consigo una disminución gradual de la digestibilidad (Shimada, 2017).



El picado de los forrajes ayuda bastante en la digestibilidad, ya que el tamaño óptimo de las partículas de un alimento permite aumentar la digestibilidad del alimento. Pero un alimento suministrado a diferentes animales no siempre tiene la misma digestibilidad (Cañas, 1998).

Por otro lado, Campos, (2007), sostiene que la menor eficiencia enzimática por parte de animales jóvenes genera una digestión deficiente, debido a la poca actividad funcional realizada por su aparato digestivo. Por lo tanto, la digestibilidad de los nutrientes aumenta con la edad de los animales. A medida que la digestibilidad del forraje aumenta, el consumo voluntario de éste también aumenta, existiendo por tanto una relación directa entre ambos parámetros (Escudero, 2005).

2.2.4. Digestibilidad y su relación con la producción de metano

La digestibilidad del alimento en rumiantes como el bovino es un factor determinante de la cantidad de metano producido (Johnson y Johnson, 1995), a menor digestibilidad o la mayor retención ruminal incrementa la producción de metano por unidad digerida; y de manera inversa, la mayor tasa de pasaje ruminal disminuye la producción de metano (McAllister et al., 1996). Los factores que se asocian con un aumento en la tasa de pasaje son los alimentos en el rumen provoca una notable tasa de disminución en la cantidad de metano formado por unidad de alimento digerido, también están asociados con un aumento en la proporción de propionato de entre los productos de fermentación en el rumen. Hay una fuerte correlación negativa entre la importancia de la formación de propionato en el rumen y la cantidad de metano producido (Janssen y Kirs, 2008).



2.2.5. Metano

Es el segundo gas de efecto invernadero de mucha importancia en la atmósfera. Ya que se ha convertido en foco de atención del mundo debido a su capacidad para atrapar el calor con un poder de 25 veces más que el CO₂, realizando los efectos de la radiación térmica solar y las temperaturas atmosféricas sobre la superficie (Knapp et al., 2014). El metano afecta directamente al balance radiactivo del planeta. Además, consume oxidantes en la atmósfera lo que afecta el nivel de ozono troposférico y es también una fuente sustancial de H₂O en la estratosfera. Cerca del 70 % de las emisiones totales de metano (cerca de 370 millones de toneladas) se originan de las actividades humanas (antropogénicas). De estas, más del 30 % provienen del minado del carbón, la extracción de petróleo y escapes de gases y el 60 % proviene de la ganadería, los campos de arroz inundados, la quema de biomasa y la disposición de desechos en los rellenos sanitarios, (Farquhar & Goulden, 2001). Por otro lado, su tiempo de permanencia en la atmósfera es reducido, por tanto, se puede actuar a corto plazo disminuyendo su concentración (IPCC, 2006).

Los principales gases debido a su alto potencial de calentamiento global son el Metano (CH₄), Óxido Nitroso (N₂O) y Dióxido de Carbono (CO₂), a nivel mundial el 56.6% de las emisiones totales de CH₄, N₂O y CO₂ provienen del uso de combustible (origen fósil y otras fuentes) ocurriendo principalmente en países desarrollados (Gómez & Fernández, 2009).

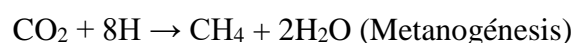
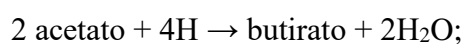
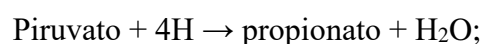
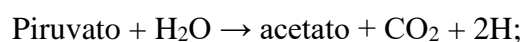
Las fuentes de metano se pueden agrupar en tres categorías: metano biogénico, producido por los microbios (metanógenos) a partir de la descomposición de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas (humedales, rumiantes y cultivo de arroz, depósitos de desechos, etc.); metano termogénico, formado en los procesos geológicos a temperaturas elevadas (combustibles fósiles); y metano pirogénico, producido por el



proceso de combustión incompleta de la biomasa durante los incendios forestales y de los biocombustibles y combustibles fósiles (Kirschke et al., 2013).

2.2.6. Metanogénesis

La Formación de metano se debe al proceso de fermentación anaeróbica de los alimentos, donde los principales productos finales de esta fermentación son los ácidos grasos volátiles (AGV), CO₂, hidrógeno (H₂), amonio y calor. Los principales AGVs son el acetato, propionato y butirato, los cuales en rumiantes son absorbidos por la pared ruminal y utilizados por el animal como fuente de energía y precursores para los procesos de síntesis (Tamminga et al., 2007). Parte de las moléculas de H₂ producidas son utilizadas para la biohidrogenación de lípidos presentes en el alimento y la producción de amonio (Bannink y Tamminga, 2005). El remanente de H₂ no tiene utilidad para el animal y es entonces utilizado por los microorganismos metanogénicos (Archaea spp) para generar metano por reducción de moléculas de CO₂, lo cual facilita la eliminación del H₂ del rumen en forma de gas metano (Van Kessel & Russell, 1995). Al respecto (Moss et al., 2000; Knapp et al., 2014), señalan que el acetato y el butirato promueven la producción de metano, mientras que la formación de propionato puede ser considerada como una forma competitiva en el uso del H₂ en el rumen, en donde las principales rutas de fermentación se resumen así:





Es un proceso característico de las denominadas arqueas metanogenas que se encuentra en el tracto digestivo de animales (ciego de caballos, cuyes y conejos, rumen de rumiantes, intestino grueso de humanos o cerdo) (Madigan et al., 2015). La cual pueden verse afectadas por numerosos factores como el pH, la concentración de AGVs en el tracto digestivo posterior de los herbívoros, el tipo de dieta, la forma de alimentación del animal, la especie animal o el estrés ambiental (Johnson et al., 2002).

Las arqueas metanogénicas hacen uso de un limitado rango de sustratos para su metabolismo energético. La utilización de sustratos puede ser dividida en tres grupos: (1) reducción del dióxido de carbono (CO_2) con hidrógeno (H_2) (ruta hidrogenotrópica), (2) dismutación de compuestos metilados (ruta metilotrópica) y (3) fermentación del acetato (ruta acetoclástica) de los cuales todos resultan en producción de metil coenzima M reductasa (metil-CoM) (Lessner, 2009; Thauer et al., 2008).

La emisión de metano es producto de la digestión influenciada por factores como la cantidad de alimento ingerido, digestibilidad del alimento y el tipo de alimentación son factores que influyen en las emisiones de metano (Bonilla & Lemus, 2012), cuando el consumo de alimento es mayor, la producción de metano se incrementa (Alvarado, 2018), las dietas altas en fibra (altas en celulosa) incrementan la producción de metano mientras que las dietas altas en proteína y con mayor digestibilidad disminuye la emisión de metano (Shibata & Terada, 2010).

2.2.6.1. Utilidad de la formación de metano para el animal

La formación de metano en los animales fermentadores es la principal vía de remoción del H_2 generado durante la producción de ATP por los microorganismos anaeróbicos (Martin et al., 2009), la producción de metano, en lugar de representar ineficiencia para el organismo animal, promueve una fermentación más eficaz y mayores



rendimientos en la síntesis de ATP al mantener baja la concentración de H_2 . Esto implica que mayores rendimientos de ATP determinan la formación de más células microbianas con lo que aumenta la proteína disponible para el animal (Yokoyama Y Johnson, 1993). Por ello cualquier intento de modificar la producción de metano ruminal debe tener en cuenta la forma alternativa de remoción del H_2 , de manera que no se vea perjudicada la eficiencia del sistema digestivo (Clark et al., 2011).



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LUGAR DE ESTUDIO

La investigación se realizó en el bioterio de cuyes de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, ubicado a una altitud de 3827 m, con una Latitud Sur de 15 grados (15°), 49 minutos (49'), 34 segundos (34'') y Longitud Oeste de 70 grados (70°), 00 minutos (00'), 43.5 segundos (43.5'') del Meridiano de Greenwich (SENAMHI, 2009); durante los meses de febrero y marzo del 2020.

3.2 INSTALACIONES Y EQUIPOS

Se utilizaron 12 jaulas metabólicas con dimensiones de 31 x 27 x 44 cm de altura construidas de metal las columnas; el techo, piso y las paredes recubiertas con mallas metálicas hexagonales; en cada jaula se acondicionó una malla colectora de heces.

Cámara de acumulación de gases. Se utilizó dos cámaras estáticas de flujo cerrado de gases, de material de vidrio doble los cuatro lados y con una placa de tabla prensada (CMN) 0.22-0.23 mm de grosor, con una dimensión de 0.30 m de altura x 0.35 m de largo x 0.25 m de ancho, la cual cerro herméticamente la cámara (Anexo2, figura 16), a nivel de la tapa se acoplo un termómetro digital (controlar la temperatura del medio interno de la cámara), se hizo un espacio reducido para que se introduzca un colector (sensor) por donde pasó la muestra de metano con la finalidad de analizar los gases en el equipo Gasmeter DX-4030, en la base cuenta también con un ventilador mecánico para homogenizar el aire interior de la cámara.



La determinación de materia seca de muestras de alimento, alimento rechazado y heces, se realizó en el laboratorio de Nutrición y alimentación animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.

3.3 ANIMALES

En el experimento se utilizaron 12 cuyes machos, de 3 meses de edad, de la raza Perú (INIA, 2004), con un peso promedio de $825 \pm 0.08g$.

3.4 DIETA EXPERIMENTAL

La dieta experimental fue formulada según los requerimientos nutricionales para cuyes de la NRC (1995), que se observa en la Tabla 2.

Tabla 2. *Dieta experimental.*

Ingredientes	%
Sub producto de trigo	25.55
Maíz amarillo	23.18
Torta de soya	19.9
Heno de avena	10
Heno de alfalfa	19.6
Aceite	0.9
Carbonato de calcio	0.25
Sal	0.42
Premix	0.1
Vitamina C	0.1
Total	100
<u>Contenido nutricional</u>	
Materia seca %	89.06
EB (Kcal/Kg)	4599.47
ED (Mcal/kg)	2.90
Proteína total %	18.00
Fibra cruda %	11.00
Extracto etéreo %	4.50
P total %	0.80
Calcio %	0.80
Vit. C (mg/100g)	35.00



3.5. METODOLOGÍA

Se realizó en dos etapas: la primera fue de acostumbramiento (pre-experimental) con una duración de 7 días y la otra etapa de experimentación en 8 días.

3.5.1. Etapa pre-experimental

3.5.1.1 Selección de la unidad experimental

La procedencia de los animales fue del galpón de cuyes Illpa - Paucarcolla, y fueron de la raza Perú, con un buen estado de salud.

3.5.1.2 Etapa de acostumbramiento

Los animales fueron colocados en las jaulas metabólicas, donde se les suministro alimento en base a concentrado en dos horarios: por la mañana (7:00 a.m.) y por la tarde (4: 00 p.m.) en una proporción de 80 g/d y agua (*ad libitum*). Además, se registró en forma diaria el alimento rechazado, las heces y la orina.

3.6.1. Etapa experimental

3.6.2.1. Determinación de metano producido en cuyes

Para determinar la producción de metano en cuyes, se utilizó el método directo de corto plazo en una cámara estática de flujo cerrada, con la técnica de espectroscopia infrarrojo transformado de Fourier, con un analizador portátil de gases Gasmeter DX-4030, (Anexo 2, figura 14), los animales permanecieron por 10 minutos en la cámara de acumulación de gases; las mediciones se realizaron en una hora fija que fue las 11 a.m. El equipo previamente se calibró con nitrógeno UHT (99.999 N) y se preparó todas las conexiones de la cámara y equipo.



La producción de metano producido en el ciego de los cuyes, se midió y registró desde el minuto 0, a los 5 minutos, y los 10 minutos, y a los datos resultantes se les saco el promedio, esta medición a través del tiempo fue para construir una curva de crecimiento de la producción de metano y observar la saturación de la cámara; las concentraciones de metano fueron controlados desde el exterior de la cámara a través del sistema inalámbrico (Bluetooth) desde un Personal digital assistant (PDA), los valores expresados por el equipo fueron en ppmv (partes por millón en volumen), por lo que se realizó la conversión de datos de acuerdo con el siguiente procedimiento:

a) Conversión de ppmv a miligramos por metro cúbico de metano producido

La concentración de metano expresada en partes por millón en volumen fue convertida en concentración absoluta de metano expresada en miligramos por metro cúbico (CH_4 , mg/m^3) de aire presente en el interior de la cámara de acumulación de gases, considerando la cantidad de ppmv, constante de gases, la temperatura registrada en la altitud y teniendo en cuenta el peso molecular del metano 16.04246 g/mol (EPA, 2015), dicha conversión se realizó mediante la siguiente fórmula (Beychok, 2005).

$$\text{CH}_4, \text{mg}/\text{m}^3 = \frac{\text{ppmv} \times 12.187 \times M}{(273.15 + ^\circ\text{T})}$$

Donde:

CH_4 , mg/m^3 = Concentración absoluta de gases (miligramos por metro cúbico).

ppmv = Partes por millón en volumen.

12.187 = Valor de la constante universal de los gases.

M = El peso molecular de metano 16.04246 g/mol.

T° = Temperatura registrada en el ambiente ($^\circ\text{K}=273.15 + T^\circ$).

b) Determinación del volumen corporal de los animales y volumen de la cámara

Se determinó el volumen corporal (V_a) a partir de sus medidas corporales, con adecuación al volumen del cilindro adaptada para los cuyes utilizando la siguiente ecuación (Paputungan et al., 2015).



$$V_a = \pi r^2 \times h$$

Donde:

V_a = volumen corporal del animal

$\pi = 3.1416$

r = radio (perímetro torácico = $PT / 2\pi$)

h = altura (largo corporal)

La determinación de la circunferencia (El radio) del animal se tomó de la fórmula de la circunferencia del animal ($C = 2\pi r$, $r = PT/2\pi$), en este caso corresponde al perímetro torácico del animal (cm) medida tomada en el contorno del tórax inmediatamente por detrás de los codos, largo del cuerpo (cm) tomado desde la cresta occipital hasta la última vertebra caudal; a efectos de calcular el volumen corporal de los animales en centímetros cúbicos (cm^3), luego convertido en metros cúbicos (m^3).

El volumen de la cámara de acumulación de gases, fue medido o estimado mediante la siguiente fórmula:

$$V_c = A \times L \times h$$

Donde:

V_c = Volumen de la cámara (m^3)

A = Ancho de la cámara (m)

L = Largo de la cámara (m)

h = Altura de la cámara (m)

c) Determinación de la producción de metano (mg)

Para determinar la producción de metano (mg) se siguió la siguiente ecuación:

$$mg, CH_4 / VFC = mg/m^3, CH_4 \times (V_c - V_a)$$

Donde:

$mg, CH_4 / VFC$ = Miligramos de metano producido en cuyes por volumen final de la cámara

$mg/m^3, CH_4$ = Miligramos de metano producido en cuyes por metro cúbico

V_c = Volumen de la cámara de acumulación de gases

V_a = Volumen corporal del animal.



d) Determinación de la producción de metano en gramos por día (g/d)

Para determinar la producción total de metano en gramos/día (g/d) se empleó la siguiente fórmula:

$$g/d, CH_4 = ((mg, CH_4 /VFC) \times 6 \times 24) / 1000$$

Donde:

g/d, CH₄ = Producción de metano en cuyes gramos por día (g/d)

mg, CH₄ /VFC = Miligramos de metano producido en cuyes por volumen final de la cámara.

e) Determinación de la producción de metano por consumo de materia seca de material fibroso:

Para lo cual se utilizó la siguiente fórmula:

$$CH_4, g/CMS, g = (CH_4 g/d) / (CMS, g/d)$$

Donde:

CH₄, g/CMS, g = Producción de metano en el ciego de los cuyes gramos/consumo de materia seca

CH₄, g/d = Producción de metano en cuyes gramos/día

CMS, g/d = consumo de materia seca gramos/d

f) Determinación de la producción de metano en moles por día (mol/d)

Para calcular la emisión total de metano en moles por día (mol/d), se consideró el peso molecular del CH₄ = 16.04246 g/mol (EPA, 2015), empleándose la siguiente ecuación.

$$mol/d, CH_4 = (g/d, CH_4) / 16.04246$$

Donde:

mol/d, CH₄ = Producción de metano en cuyes moles por día

g/d, CH₄ = Producción de metano en cuyes gramos por día

M. = Peso Molecular de Metano 16.04246 g/mol

g) Determinación de la producción de metano por kilo caloría Kcal/d



Para determinar el kilo caloría por día de metano producido en animales, se empleó la siguiente ecuación:

$$\text{Kcal/d} = \text{mol/d} \times 212.8$$

Donde:

Kcal/d = Kilo caloría/día de metano producido en cuyes

mol/d = moles/día de metano producido en cuyes

Kcal/mol = valor calórico del metano

h) Determinación de la producción de metano en litros por día L/d

De manera que el volumen total de la producción de metano en litros por día (L/d) se estimó de acuerdo a la siguiente fórmula.

$$\text{Volumen de CH}_4 \text{ L/día} = \frac{n \times R \times T}{P_h}$$

Donde:

n = Producción de metano en cuyes moles por día (mol/d, CH₄).

R = constante universal de los gases (62.4mmHg×L/mol).

T = (°K=273.15 + T°) (Temperatura absoluta más la temperatura interior de la cámara)

P_h = 472.74 mm Hg (Milímetros de mercurio)

$$P_h = P \left(\frac{288 - 6.5h}{288} \right)^{5.2558}$$

P = Presión atmosférica en la altitud Puno es de 760 mmHg

h = Estamos a 3827 m de altitud (3.827 km)

i) Determinación de la producción de metano por peso metabólico L/W^{0.75} :

Para determinar la producción de metano por peso metabólico L/W^{0.75} se empleó la siguiente fórmula:

$$L/W^{0.75} = (L/d, \text{CH}_4) / (W\text{kg}^{0.75})$$

Donde:

L/W^{0.75} = Peso Metabólico de Metano expresado en litros/día

Wkg^{0.75} = Peso Metabólico

L/d, CH₄ = Producción de metano en cuyes litros/día



3.6.2.2. Estimación de la pérdida de energía en forma de metano

Para estimar la pérdida de energía en forma de metano, se tomó en cuenta que el valor calórico de un 1 mol de metano es igual a 212.8 kcal, para lo cual se empleó la siguiente ecuación:

$$\text{Kcal/d} = \text{mol/d} \times 212.8$$

Donde:

Kcal/d = Kilo caloría/día de metano producido en los cuyes

mol/d = moles/día de metano producido en los cuyes

Kcal/mol = valor calórico del metano

3.6.2.3. Determinación de la digestibilidad aparente

Se realizaron las mediciones cuantitativas de alimento ofrecido y rechazado, así como de heces excretadas. Las heces se colectaron cada 24 horas en un horario fijo (7:00 am) antes del suministro del alimento concentrado, luego fueron debidamente pesadas, colocados en bolsas identificadas rotuladas con nombre y fechas de colección, El contenido de materia seca de las muestras de heces, alimento rechazado y del alimento ofrecido se determinó en estufa de convección, a 60°C, por un periodo de 72 horas en el laboratorio.

La digestibilidad aparente se determinó mediante la fórmula siguiente:

$$\text{DMS, \%} = \frac{\text{MSC} - \text{MSE}}{\text{MSC}} \times 100$$

Dónde

MSC = materia seca consumida

MSE = materia seca excretada.

3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos fueron procesados mediante el análisis descriptivo, se determinó las medidas de tendencia central y dispersión (promedio y desviación estándar, respectivamente), para los diferentes parámetros y variables de estudio (Sancho & Bota, 1999).

a) Promedio:

- La fórmula para la determinación del promedio o media es:

$$\text{Media}(X) = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{N}$$

Donde:

Media(X) = Promedio de las variables (Parámetro)

X1 = Variables

Variable dependiente:

- Producción de metano

Variable independiente:

- Pérdida de energía como metano
- Digestibilidad en cuyes

N = Número total de animales

b) Desviación estándar

- La desviación estándar, fue calculada mediante la siguiente fórmula:

$$SD = \sqrt{\frac{(X_1 - X)^2 + (X_2 - X)^2 + \dots + (X_n - X)^2}{N}}$$

Donde:

SD = Desviación Estándar

Media (X) = Promedio de variables

X1 = Variables

N = Número total de animales

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 PRODUCCIÓN DE METANO

La Tabla 3 muestra la producción de metano en cuyes alimentados a base de concentrado y criados en altura, expresado en litros de metano por día, cuyo valor fue de 0.64 y de 0.745 litros de metano por peso metabólico, además se muestra variables como el peso expresado en kg y en peso metabólico, así como la ingestión de materia se en kg/d.

Tabla 3. Producción de metano en cuyes alimentados con concentrado en relación a las variables de PV, Kg; $W_{Kg}^{0.75}$; IMS, Kg/d; $CH_4/l/d$; $CH_4/L/Wkg^{0.75}$

VARIABLES DE MEDICIÓN	DATOS
PV, Kg	0.825
$W_{Kg}^{0.75}$	0.865
IMS, Kg/d	0.063
$CH_4/L/d$	0.644
$CH_4/L/W_{Kg}^{0.75}$	0.745

PV: Peso vivo; $W_{Kg}^{0.75}$: Peso metabólico; CH_4 : Metano; CMS: Consumo de materia seca; L/d: litros por día, $L/W_{Kg}^{0.75}$: Litros por peso metabólico.

Contrastando con los resultados de Huaquisto, (2021) quien reportó una producción de metano de 0.78 L/d (1.09 L/ $W_{Kg}^{0.75}$), en cuyes de un mes de edad (0.655 kg peso vivo), con alimentación mixta (forraje y concentrado), estos resultados son superiores a los nuestros 0.64 ± 0.07 L/d (0.75 L/ $W_{Kg}^{0.75}$), esto posiblemente se deba a que en el presente trabajo la alimentación fue a base de concentrado, lo cual pudo mostrar



su efecto mitigador de metano dado por la dieta de buena digestibilidad (Johnson & Johnson, 1995), es decir que pudiera ser como lo que ocurre en rumiantes, donde los alimentos con alto contenido de fibra producirán una relación acético: propiónico alta, asociada a una mayor producción de H₂, asimismo permanecen por mayor tiempo en el rumen (menor tasa de pasaje) y brindan escasa cantidad de energía para el animal, por lo que contribuyen con mayor proporción de metano por unidad de alimento consumido, mientras que dietas con alto contenido de concentrados producirán mayor cantidad de propiónico que fijador de moléculas de H₂ (Tamminga et al., 2007).

Romero (2021), reportó una producción de metano de 0.57 L/d (0.93 L/Wkg^{0.75}) en cuyes de sexo macho de un mes de edad (0.513 kg peso vivo), alimentados solo con forraje, así mismo con lo reportado por Franz et al., (2011) de 0.22 L/d (0.27 L/Wkg^{0.75}) de metano en cuyes de un año de edad (0.79 kg peso vivo) y con una alimentación en base a hierbas en forma *ad libitum*; estos resultados son inferiores a nuestro resultado 0.64 L/d (0.75 L/Wkg^{0.75}), esto podría deberse a la metodología empleada que juega un papel importante para la determinación de metano, pudiera estar también influenciado por el tipo de alimento, debido a que un forraje tierno tiene una alta digestibilidad por lo tanto menor producción de metano por los animales (Carmona et al., 2005).

Los valores de 0.64 ± 0.07 L/d (0.75 L/Wkg^{0.75}) reportados en la presente investigación muestran ser diferentes en contraste con otros roedores fermentadores posgástricos, como el conejo, en el que Franz et al., (2011), reportaron 0.13 L/Wkg^{0.75} de producción de metano y Balenguer et al., (2008) reportaron la producción de 0.0034 721 L/ Wkg^{0.75}, estas diferencias están íntimamente relacionadas con los tipos de animales y las características de la dieta suministrada (Ramírez et al., 2015; IPCC, 2006; Jonker et al., 2017), esto debido a que las diferencias son grandes, lo que contribuiría en la fermentación microbiana, por lo tanto en cuyes no refleja tanto la ingesta total de materia



seca sino más bien la digestión de la fibra (Franz *et al.*, 2010), ya que la fisiología digestiva del cuy posee una mayor fermentación microbiana, lo que podría explicar la mayor producción de metano por peso metabólico. Otra especie como las maras (*Dolichotis patagonum*) las cuales producen metano en una cantidad de $0.50 \text{ L/ Wkg}^{0.75}$, Clauss *et al.*, (2019), muestra una marcada diferencia a pesar de ser roedor de la familia *Caviidae*, esto podría deber al volumen y tamaño corporal, ya que tendría relación al consumo de alimento g/d; otro factor vendría ser la digestibilidad, por lo que las maras digirieron la materia orgánica de $48 \pm 8 \%$, en donde existe un aumento de emisión de metano frente a la menor digestibilidad de los alimentos (Clauss *et al.*, 2020).

En contraste con equinos Franz *et al.*, (2010) reportaron una producción de metano $3.9 \text{ L/Wkg}^{0.75}$, la diferencia radica en su fisiología digestiva, tamaño corporal, digestibilidad y consumo de alimento, además que el tiempo de retención de ingesta es corta en los equinos (Vermorel *et al.*, 1997). Estas emisiones de metano muestran ser menores a la producción en rumiantes, como los vacunos, (Boadi *et al.*, 2002) reportó una producción de metano de 238 L/d., esto podría deberse a la retención de ingesta en rumiantes, por lo cual el grupo de microbiota de las *Archaeas* tienen más tiempo para producir metano (Vendi *et al.*, 2016), los sistemas de producción requiere el incremento de la producción la cual debe ser cubierto por el incremento de la eficiencia productiva y no a través del incremento del número de animales (Leng, 1993).

En camélidos sudamericano, como la alpaca y la llama, según reportado por Ramirez, (2018), la emisión de metano fue de $1.42 \text{ L/ Wkg}^{0.75}$ y $1.68 \text{ L/ Wkg}^{0.75}$ en alpacas y en llamas $1.77 \text{ L/ Wkg}^{0.75}$ y $1.82 \text{ L/ Wkg}^{0.75}$ mostrando mayor producción de metano los animales alimentados con tamaño de partícula (24 mm), mientras los animales alimentados con tamaño de partícula (12 mm) mostraron menor producción de metano, esto pueda deberse a que los alimentos de alta calidad y digestibilidad reducen las



emisiones de metano, porque en la fermentación de los alimentos desviara las moléculas de H_2 para la síntesis del ácido propiónico ya que estas moléculas intervienen directamente en la producción de metano (Van Soest, 1994); Ramírez (2018), menciona también que los animales pueden reducir la producción de metano al suministrarles forrajero picado y aún más los alimentos peletizados, estas practicas de alimentación pueden aplicarse también en cuyes ya que su digestibilidad de alimento es mejor, por lo tanto puede disminuir la producción de metano entérico, corroborado por Fernández et al., (2007).

Vilca (2015) en su estudio del efecto del concentrado fibroso sobre las emisiones de metano en vacas lecheras obtuvo 8.59 y 7.55 L/Wkg^{0.75}, los resultados obtenidos en el presente proyecto son inferiores a los mencionados anteriormente, esta diferencia podría atribuirse a la diferencia entre especie, variedades de microorganismos propios de cada especie como también en cuanto a la alimentación o dieta, ya que los cuyes producen metano entérico en menor proporción que los rumiantes (Romero, 2021). Tambien se observa que el aumento de la suplementacion de concentrado disminuye la emision de metano (Muños, 2015).

4.2. PERDIDA DE ENERGÍA EN FORMA DE METANO

La Tabla 4 muestra la pérdida de energía expresada en forma de metano en Kcal/d y en porcentaje, además de datos como la emisión de metano, energía bruta de la dieta, consumo de alimento y la energía bruta consumida. La energía perdida como metano (Kcal/d) se obtiene multiplicando el CH_4 mol/d * 212.8. La energía bruta consumida es la multiplicación de la energía bruta de la dieta (Tabla 2) por el consumo de alimento. La pérdida expresada en porcentaje de EB se obtiene por regla de tres simple con el valor de la energía perdida como metano Kcal/d y la energía bruta consumida.

Tabla 4. *Estimación de la energía perdida como metano.*

VARIABLES DE MEDICIÓN	DATOS
Energía perdida como metano (Kcal/d)	3.515
Emisión de metano (mol/d)	0.0165
Energía bruta de la dieta (Kcal/100 g)	459.947
Consumo de alimento (g/d)	63.500
Energía bruta consumida (Kcal/d)	292.066
Perdida expresada en porcentaje de EB (%)	1.203

Uno de los principios de la medición de la concentración de metano es estimar o determinar la pérdida energética (Reynolds et al., 2014), por lo que en la presente investigación se tiene que la pérdida de energía en forma de metano fue de 3.515 Kcal/d y en porcentaje representa el 1.203, con lo que se puede asumir, que al igual de otras especies además de sus efectos negativos en el medio ambiente, provoca una ineficiencia energética de los alimentos fermentados (IPCC, 2006); al contraste con lo emitido por otras especies cuya fermentación de gases se encuentra en un 8% de la energía bruta en rumiantes, 2.5% en caballos, 0.4-1% en cerdos, 0.5% en conejos y es despreciable en aves, perros y gatos (Chandramoni et al., 2000), se asemeja al de los caballos. Pudiéndose deber al tipo de concentrado y su la degradabilidad son también determinantes de la pérdida de metano por fermentación, pues existe una relación entre fuentes de almidón más degradable y la mejor calidad que reducen las pérdidas de energía por metano (Johnson y Johnson, 1995).

Existe una correlación también con la digestibilidad, así como lo hallado para el ganado bovino de 2 el 7.5 %, con una digestibilidad entre 45 y 84%, dependiendo del tipo de alimento, donde los concentrados tienen 75-85 % de digestibilidad; para el ovino los rangos propuestos son menores, 3.5 y el 7.5 %, dependiendo a la edad del animal (3,5-4,5% para animales menores de un año; 5,5-7,5% para animales adultos) en relación con



el tipo de alimentación recibida (mayor nivel de concentrados en las dietas para animales jóvenes) Johnson et al., (2000) también establecieron que las dietas de alto contenido en concentrado (superior al 80%) administradas a los animales, las pérdidas de energía en forma de metano se encuentran por debajo del 5%. Esto puede deberse a la dieta ya que puede ser un factor para que creen un ambiente hostil para la flora microbiana metanogénica y las poblaciones de protozoos ruminales, tales como una tasa rápida de digestión y un descenso del pH ruminal que puede reflejarse en una mayor concentración de ácido propiónico. Es por ello que, presumiblemente, los factores de conversión de metano en estas situaciones sean inferiores a los rangos propuesto por IPCC (2006).

Los porcentajes mayores de pérdida de energía como metano se reportaron en otras especies como en el ovino, Villar (2019) reporta la pérdida de energía en forma de metano de 8.1 y 9.1% alimentados con dos raciones de diferentes niveles energéticos. Asimismo, los resultados encontrados en este estudio están muy por debajo a lo reportado por Montenegro (2020), cuya pérdida de energía en forma de metano en vacunos fue 8.1, 7.8, 6.2 y 6.7% en diferentes estados fisiológicos, cabe resaltar que la composición del alimento consumido es el primer factor en la producción de metano, por tener relación con la tasa de pasaje, la cual se incrementa con la calidad nutritiva y ello reduce la producción de metano en el sistema digestivo de cada especie por unidad de alimento consumido (Knapp et al., 2014). Debido a eso, uno de los principios de la medición de la concentración de metano es determinar la pérdida energética (Reynolds et al., 2014).

4.3. DIGESTIBILIDAD APARENTE DEL ALIMENTO CONCENTRADO

La Tabla 5 muestra la digestibilidad aparente en cuyes alimentados a base de concentrado, además de la excreción y consumo de materia seca. El valor encontrado para la digestibilidad aparente fue de 84.70 ± 3.20 %.

Tabla 5. *Digestibilidad aparente en cuyes alimentados a base de concentrado.*

VARIABLES DE MEDICIÓN	DATOS
EMS, g/d	9.66 ± 1.76
CMS, g/d	63.46 ± 1.60
DMS, %	84.70 ± 3.20

EMS: Excreción de la materia seca; CMS: consumo de materia seca; DMS: digestibilidad de materia seca.

Los valores de digestibilidad del presente trabajo, son diferentes a los encontrados por diversos autores, como el de Guevara, (2008) quien en su estudio con tres dietas; 100 % de alfalfa, 50 % de alfalfa con 50 % de caña de azúcar y 50 % de alfalfa con 50 % de concentrado se reportó 76, 83 y 63 % de digestibilidad respectivamente; así mismo, Salcedo, (2017) al evaluar un alimento balanceado tipo concentrado (peletizado) para cuyes, con harina de alfalfa y sangre; investigándose 4 tratamientos, obtuvo una mayor digestibilidad en el tratamiento 3 con 78.9% , T2 con 74.4%, T4 con 76.6% y finalmente T1 con 76.6%. La digestibilidad aparente obtenida es 84.70 %, es superior a lo obtenido por Huaquisto, (2021) quien reportó una digestibilidad de 73.46 % con alimentación mixta (concentrado y forraje) en cuyes de dos meses, esta diferencia puede deberse a la edad de los animales ya que la capacidad de digestibilidad es menor en los animales jóvenes, corroborado por Campos, (2007), quien menciona que el animal joven tiene poca actividad funcional por su aparato digestivo, por lo que la digestibilidad de los animales aumenta con la edad; otro factor que pudiera estar influenciando es los insumos utilizados en la elaboración del concentrado (Vergara, 2008).

En otro estudio Choque, (2014) en su trabajo de investigación en cuyes de 21 ± 3 días de edad se midieron la digestibilidad de 78.00% alimentados a base de T1



(concentrado comercial “Cuyina” más alfalfa), 81.37% de digestibilidad con T2 (concentrado con 15% Gallinaza y 20% Orujo de aceituna más alfalfa), 79.04 % de digestibilidad con T3 (10% Gallinaza y 25% Orujo de aceituna más alfalfa), 82.88 % de digestibilidad con T4 (5% Gallinaza y 30% Orujo de aceituna más alfalfa), 83.64 % de digestibilidad con T5 (alfalfa), estos resultados de digestibilidad son menores al presente trabajo, Nuñez (2017) también reporto digestibilidad de 61.03%, en cuyes de 15 a 17 días de nacidos; donde estuviera influenciando la digestibilidad de la fibra. La que depende del grado de maduración de la planta, es decir del contenido de la pared celular y el grado de lignificación del forraje (Shimada, 2017), también afecta la edad de los animales con respecto a la digestibilidad (Campos, 2007).

La DMS reportada de 84.70%, fue ligeramente mayor a lo obtenido por Gómez et al., (1998) quienes reportaron la DMS del insumo energetico (sorgo grano) 84.50% y el insumo proteico mezclado (35% de harina de pescado más 65% de sorgo) 82.37%. Así mismo, en contraste con los resultados obtenido por Vergara (2008), con una DMS de 70 a 80 % del alimento integral (solo concentrado), existen diferencias y puede deberse a su composición química del alimento, como son los niveles de proteína, carbohidratos y extracto etéreo, tipo de carbohidratos estructurales y de minerales. Los alimentos altos en proteína tienen buena digestibilidad para todas las especies, los granos como la avena y cebada son menos digestibles por su gran porción fibrosa (Shimada, 2003). Además, dependerá de la forma física de presentación si es en harina (molido), picado o peletizado de los alimentos la cual influye bastante en la digestibilidad, ya que el tamaño óptimo de las partículas de un alimento permite aumentar la digestibilidad del alimento, así como también los insumos que se utilicen. Pero un alimento suministrado a diferentes animales no siempre tiene la misma digestibilidad (Cañas, 1998).



En la digestibilidad de alimentos por los cuyes, no refleja tanto la ingesta total de materia seca, sino la digestión de fibra, ya que posee una mayor fermentación microbiana, lo que podría dar lugar a la mayor producción de metano por peso metabólico, en cuanto más corta sea la retención de la ingesta en el ciego de los cuyes habrá menor producción de metano cecal corroborado por Franz et al. (2010), quienes mencionan que la digestibilidad está relacionada con la producción de metano entérico, además que la producción de un rumiante es 3.6 veces más que un equino de masa corporal comparable; esto pudiera estar influenciado por la digestibilidad de los alimentos; esto también está corroborado por las principales estrategias de mitigación de metano está la manipulación de la dieta, manipulación del microbiota ruminal y el uso de selección animal por genética o eficiencia productiva (Pinares et al., 2003) puesto que la primera estrategia para disminuir la producción de metano está el procesamiento de los alimentos para mejorar la digestibilidad (Ramirez, 2018); el aumento de la proporción de concentrado en relación al forraje conduce a un descenso considerable de la concentración de H y de microorganismos metanogénicos (Van Soest, 1994); incluso una diferente proporción de endospermo harinoso o córneo produce modificaciones en la producción de metano (Beauchemin y McGinn; 2005); por lo que los alimentos groseros y fibrosos producen mayor metano entérico (Pinares et al., 2003).



V. CONCLUSIONES

- La producción de metano en cuyes alimentados en base a concentrado fue de 0.64 ± 0.07 L/d (0.75 ± 0.13 L/Wkg^{0.75}).
- La estimación de la pérdida de energía como metano fue de 3.515 Kcal/d que representa el 1.203 % de la energía bruta de la dieta de cuyes alimentados en base a concentrado.
- La digestibilidad aparente fue de 84.70 %, la que está relacionada con una menor producción de metano.



VI. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios de producción de metano en las diferentes edades y razas de cuyes.
- Evaluar estrategias de mitigación alimenticia de la producción de metano a nivel del ciego en cuyes en base a disponibilidad de alimento, costo de producción y ganancia de peso.
- Realizar estudios sobre la producción de metano por los microorganismos cecales.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altamirano, K. (2008). *Evaluación de cuatro relaciones de energía digestible/proteína, en crecimiento y engorde de cuyes*. Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al grado Ingeniero Agronomo. Riobamba, Ecuador: Universidad Politecnica de Chimborazo.
- Alvarado, B. (2018). *Emisión de metano entérico de vacas en lactación con pastos cultivados en zona altoandina – estación lluviosa y seca” - Lima*. Tesis Msc. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. 90 p.
- Amazonas, P. A. (2006). *Direction de Information Agraria Amazonas*. Chachapoyas.
- Asato, J. (2007). *Producción y comercialización de cuy en el 1334 Perú: disponible en URL: <http://www.monografias.com/trabajos39/producción-cuy-Perú/producción-cuyperú2.shtml> [consultado 04 de enero del 2018]*.
- Balenguer, A., Fondevilla, M., Balcells, J., Abecia, L., Lachica, M., & Carro, M. (2008). *In vivo and in vitro study of the cecal fermentation pattern and methanogenesis in rabbits*. Proc. Conejo Mundial Congr. págs. 535 - 539.
- Bannink, A., & Tamminga, S. (2005). *Rumen function. Pages 263-288 in Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism*. J. Dijkstra, J. M. Forbes, and J. France eds. CABI Publishing, Wallingford.
- Beauchemin, K., & McGinn, S. (2005). *Methane emissions from feedlot cattle fed barley or corn diets*. *J. Anim. Sci.*, 83: 653-661.
- Benchaar, C., Pomar, C., & Chiquette, J. (2001). *Evaluation of dietary strategies to reduce methane production in ruminants: A modelling approach*. *Can. J. Anim. Sci.*, 81: 563-574.
- Benito, D. (2008). *Evaluación de diferentes niveles de vitamina B12 en dietas de*. Tesis Magistral UNALM. Lima – Perú.



- Beychok, M. (2005). *Fundamentals of spack gas dispersión*. 4th ed. Milton R. Beychok, California, UEA.
- Bhatta, R., Enishi, O., & Kurihara, M. (2007). *Measurement of Methane Production from Ruminants*. Asian-Aust. J. Anim. Sci. Vol. 20, núm. 8: 1305-1318, Tsukuba, Japón.
- Boadi, D., & Wittenberg, K. (2002). *Methane production from dairy cattle and beef heifers feed forages differing in nutrient density using the sulphur hexafluoride (SF6) technique*. Can J Anim Sci; 82:201-206.
- Boadi, D., Benchaar, C., Chiquette, J., & Massé, D. (2004). *Mitigation strategies to reduce enteric methane emissions from dairy cows: Update review*. Can J Anim Sci 2004;84(3):1918–1825.
- Boadi, D., Wittenberg, K., & McCaughey, W. (2002). *Effects of grain supplementation on methane production of grazing steers using the sulphur tracer gas technique*. Canadian J. Anim. Sci., 82(2):151-157. The Canadian veterinary journal. La revue veterinaire canadienne , Canada.
- Bonilla, C., & Lemus, F. (2012). *Emisión de metano entérico por rumiantes y su contribución al calentamiento global y al cambio climático*. Revisión. Revista Mexicana Ciencias Pecuarias. 3(2):215-246.
- Broucek, J. (2014). *Methods of methane measuring in ruminants*. J. Anim. Sci.,47:81-90., Eslovaquia, Europa.
- Calderón, E. (2008). *Evaluación de comportamiento productivo de cuyes (Cavia porcellus) en la etapas de crecimiento y engorde, alimentados con bloques nutricionales: disponible en URL: <http://www.users/CORE/Downloads/385-1371-1-PB.pdf> [consultado el 5 DE FEBRERO DEL 2018]*.



- Campos, L. (2007). *Evaluación nutricional del frijol mucuna (Stizolobium deeringianum) y su uso en la alimentación de cuyes en crecimiento y engorde*. (Tesis, Magister Scientiae). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Canales, F. (2013). *Efecto de la alimentación con alfalfa y concentrado en diferentes niveles de proteína sobre los parametros productivos en cuyes ~cavia porcellus; en crecimiento*. Universidad Nacional de Huancavelica. Huancavelica - Perú.
- Cañas, R. (1998). *Alimentación y Nutrición Animal*. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.
- Carmona, Juan , C., Zoot, E., Diana M Bolivar, & Luis A Giraldo. (2005). *El gas Metano En La Producción Ganadera y Alternativas Para Medir Sus Emisiones y Aminorar Su Impacto a Nivel Ambiental y Productivo*. 18: 49–63.
- Castelo, J. (2012). *Formulación, elaboración y control de calidad de paté de hígado de cuy envasado al vacío para la Corporación de Productores Cuyícolas Señor Cuy*. (Tesis Bioquímico Farmacéutico). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba Ecuador.
- Castro, J., & Chirinos, D. (1997). *Nutrición y Alimentación de cuyes*. Huancayo.
- Caycedo, A. (2000). *Experiencias investigativas en la 1376 producción de cuyes*. Universidad de Nariño. Pasto- Colombia. 323 p.
- Caycedo, V. (2000). *Experiencias investigativas en la Producción de Cuyes*. Contribución al desarrollo técnico de la explotación. Universidad de Nariño. Colombia.
- Cerna, M. (1997). *Evaluación de cuatro niveles de residuo de cervecería seco en el crecimiento – engorde de cuyes*. Tesis para optar el Título de Ingeniero Zootecnista. UNALM. Lima- Perú.



- Chamdrimoni, S., Jadhao CM, Tiwari, C., & Khan MY. (2000). *Energy metabolism with Particular reference to methane production in Muzaffarnagari sheep fed rations in roughage to concentrate ratio*. *Animal Feed Science and Technology*; 83: 287-300.
- Chang, R. R., Alvarez, Ponce, S., & Zugazagoitia, R. (2012). *Química*. 7ma edición. McGraw-Hill interamericana editores, S.A. de C.V. México.
- Chauca, L. (1997). *Producción de cuyes (Cavia porcellus)*. *Estudio FAO Producción y sanidad animal 138. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación* . Roma-Italia 77 p.
- Choque L, S. (2014). *Evaluación de dietas a base de gallinaza y orujo de aceituna (olea europaea) en la ganancia de peso vivo de cuyes (cavia porcellus) en la etapa de crecimiento y engorde en el distrito de pachía*. (Tesis Facultad de Ciencias Agropecuarias). Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann – Tacna – Perú.
- Church, D. (1990). *Fundamento de Nutricion e Alimentacion de Animales* . (3ª ed. ed.). Mexico: Edit. UTEHA. 512p.
- Clark, H., Kelliher, F., & Pinares-Patiño, C. (2011). *Reducing CH4 Emissions from Grazing Ruminants in New Zealand: Challenges and Opportunities*. *Asian-Australasian Journal Animal Science*. 24: 295-302.
- Clauss, M., Hagen, K., Frei, S., Ortmann, S., Lawrenz, A., Głogowski, R., & Fritz, J. (2019). *Digestive anatomy, physiology, resting metabolism and methane production of captive maras (Dolichotis patagonum)*. (Article) *Clinic for Zoo Animals, Exotic Pets and Wildlif*. Vetsuisse Faculty, University of Zurich, Switzerland, Suiza.



- EPA. (2015). *Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks. 1990-2013*. 430-R-15-004. April 15, 2015 U.S. Environmental Protection Agency 1200 Pennsylvania Ave., N.W. Washington, DC 20460 U.S.A.
- Escudero, D. (2005). Evaluación del rendimiento y valor nutritivo del pasto “Mucuna” (*Stizolobium deeringianum*) a lo largo de su periodo vegetativo. (*Tesis Ingeniero Zootecnista*). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Farquhar, G., & Goulden, M. (2001). *The Carbon Cycle and Atmospheric Carbon Climate Change*. UNFCCC, 56 p.
- Fernández, M., Garcia, M., & Gomez, C. (2007). *Emisión de metano y sistemas de producción animal en el Perú: implicancias nutricionales*. (Tesis). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Franz, R., Soliva, C., Kreuzer, M., Humme, M., & Clauss, M. (2011). *Methane outlet from rabbits (*Oryctolagus cuniculus*) and guinea pigs (*Cavia porcellus*) fed a hay-only diet (Vol. 158)*. Suiza: Elsevier. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2010.10.019>.
- Franz, R., Soliva, C., Kreuzer, M., Steuer, P., Hummel, J., & Clauss, M. (2010). *Methane production in relation to body mass of ruminants and equines*. Facultad Vetsuisse. Universidad de Zurich, Suiza.
- Ghosh, A., Patra, K., Ishijima, K., Umezawa, T., Ito, A., Etheridge, M., . . . Nakazawa, T. (2015). *Variations in global methane sources and sinks during 1910-2010*. *Atmos. Chem. Phys.*, 15:2595-2612.
- Gómez Rosales, S., Ángeles, M., Romano Muñoz, J., & Ruíz Corral, J. (2020). *Estimación de la producción de metano entérico en ranchos de producción familiar de leche bovina en el sur del estado de Querétaro, México*. *Revista*



mexicana de ciencias pecuarias, 11, 18-33.

<https://doi.org/10.22319/rmcp.v11s2.4685>.

- Gómez, B. C., & Fernández, C. M. (2009). Análisis comparativo de las emisiones de metano y efecto del cambio climático sobre la ganadería en el Perú. (*Tesis: Los impactos del cambio climático sobre el agua y el manejo de los recursos naturales*). Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú.
- Gomez, C., Vargas, J., & Fernandez, M. (2005). *Peru: Milk production fact sheet*. In *Hemme, Denken et al.: [FCN Dairy Report. International Farm Comparison Network, Global Farm GbR. Braunschweig, p 142 - 143.*
- Gómez, M., Vergara, V., & Hidalgo, V. (1998). *Determinacion de la digestibilidad energia digestible del sorgo de grano y la harina de pescado PRIME para el cuy*. Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima - Perú.
- Guevara, P., Claeys, T., & Janssens, J. (2008). *Apparent digestibility in meat-type guinea pigs as determined by total collection or by internal marker*. *. Veterinarni Medicina, 53(4):203-206. WWW. Vri.cz/docs/vetmed/53-4-203. pdf.*
- Hackstein, J., & Van Alen, T. (1996). *Fecal methanogenes and vertebrate evolution*. *Evolution 50, 559–572.*
- Hidalgo, V., Montes, T., Cabrera, P., & Moreno, A. (1995). *Crianza de cuyes. Programa de investigación en carnes UNALM. Lima-Perú. 90 pp.*
- Hindrichsen, I., Wettstein, H., Machmuller, A., & Kreuzer, M. (2006). *Methane emission, nutrient degradation and nitrogen turnover in dairy cows and their slurry at different milk production scenarios with and without concentrate supplementation*. *Agriculture Ecosystems & Environment, 113: 150-161.*



- Hiyagon, A. (2014). *Estudio Morfométrico del Estómago del Cobayo (Cavia Porcellus) Lactante*. (Tesis para Título de Médico Veterinario). Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú. p. 7-24.
- Huaquisto, U. (2021). *Determinacion de metano enterico en cuyes (Cavia porcellus) bajo una alimentacion mixta (alfalfa y concentrado) en altura*. Tesis Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia Universidad Nacional del altiplano Puno- Perú.
- Huarco, D. (2012). Determinacion de la digestibilidad aparente de la semilla despigmentada de achiote (*Bixa orellana*). En el cuy (*Cavia porcellus L.*). (Tesis de Ingenieria Zootecnista). UNSAAC, Cusco, Perú.
- Huarco, D. (2012). *Determinacion de la digestibilidad aparente de la semilla despigmentada de achiote (Bixa orellana). En el cuy (Cavia porcellus L.)*. (Tesis de Ingenieria Zootecnista). UNSAAC, Cusco, Perú.
- Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA. (2004). *Folleto de presentación de la raza de cuy Perú*. Lima-Perú.
- IPCC, I. P. (2006). *Guidelines for national greenhouse gas inventories*. Japón. Obtenido de IGES. [Internet]. Available in: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/>
- Janssen, P., & Kirs, M. (2008). *Structure of the archaeal community of the rumen*. Applied and environmental microbiology. 74:3619-3625.
- Johnson , K., Huyler, M., Westberg, H., Lamb, B., & Zimmerman, P. (1994). *Measurement of methane emissions from ruminant livestock using a SF6 tracer technique*. Environmental Science and Technology 28, 359-362.
- Johnson, K. A., Westberg, H. H., Michal, J. J., & Cossalman, J. J. (2007). *"Measuring methane emission of ruminants by in vitro and in vivo techniques."*. Pp. 33-67 in measuring methane production from ruminants, edited by Harinder P.S.; Vercoe Makkar, Philip E. (Eds.). Vienna, Austria: Springer.



- Johnson, K., & Johnson, D. (1995). *Methane Emissions*. *J. Anim. Sci.* 73: 2483-2492.
- Johnson, K., & Johnson, D. (1996). *Methane emissions from cattle (Vol. 73)*. (M. d. Science, Ed.) Oxford. Obtenido de <https://doi.org/10.2527/1995.7382483x>.
- Johnson, K., Westberg, H., Lamb, B., & Kincaid, R. (2002). *The use of sulphur hexafluoride for measuring methane emissions from farm animals*. In *Proc. 1 st international conference on greenhouse gases annd animal agriculture Obihiro, Hokkaido, Japon, pp. 72-81*.
- Jonker, A., Molano, G., Koolaard, J., & MuetzeL, S. (2017). *Emisiones de metano de vacas lecheras lactantes y no lactantes y ganado en crecimiento alimentado con pastos frescas*. *Ciencias de la producción animal*, 2017, 57, 643–648.
- Kirchgesner, M., & Tyler. (1992). *Tierernährung*. DLG-Verlag Frankfurt, Alemania. 533p.
- Kirschke, S., Bousquet, P., Ciais, P., & Zeng, G. (2013). *Three decades of global methane sources and sinks*. 7° Framework Program of the European Commission. UK National NERC Center.
- Knapp, J., Laur, G., Vadas, P., Weiss, W., & Tricarico, J. (2014). *Invited review: Enteric methane in dairy cattle production: Quantifying the opportunities and impact of reducing emissions*. EE. UU. Obtenido de <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7234>.
- Lana, R., Russell, J., & Van Amburgh, M. (1998). *The role of pH in regulating ruminal methane and ammonia production*. *Journal of Animal Science*. 76(8): 2190-2196.
- Lassey, K. R., Ulyatt, M. J., Martin, R. J., Walker, C. F., & Shelton, I. D. (1997). *Methane emissions measured directly from grazing livestock in New Zealand*. *Atmospheric Environment* 31(18):2905-2914.
- Lassey, K., pinares-Patiño, C., Martin , R., Molano, G., & MCMillan, A. (2011). *Enteric methane emission rates determined by the SF6 tracer technique: Temporal*



- patterns and averaging periods*. . *Animal Feed Science Technology*. 166–167, 183–191.
- Leng, R. (1993). *Quantitative ruminant nutrition - A green science*. *Australian Journal of Agricultural Research* 44: 363-80.
- Lessner, D. (2009). *Methanogenesis Biochemistry*. En. (eds.)eLS. *John Wiley & Sons, Ltd. Chichester*. p. pp.
- Madigan, M., Martinko, J., Bender, K., Buckley, D., & Stahl, D. (2015). *Brock: Microbiología de los microorganismos* . 14 ed. pearson, España, Madrid.
- Marca, U. (2018). *Producción de metano en camelidos sudamericanos domesticos y su efecto en la salud publica*. (Tesis Doctoral). Facultad de medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional del Altiplano. Puno-Perú.
- Martin, C., Morgavi, D., & Doreau, M. (2009). *Methane mitigation in ruminants: from microbe to farm scale*. The animal consortium 2009. *Animal*, 4: 1-15.
- Maynard, L. (1955). *Nutrición animal*. *Unión Tipográfica Hispano Americana, Ciudad de México, México*. 484 p.
- Maynard, L., Loosli, J., Hintz, H., & Warner, R. (1981). *Nutrición Animal*. Libros McGraw-Hill de México, Mexico, 640 pp.
- Mc Donald, P., Edwards, R., Greenhalgh, J., & Morgan, C. (2002). *Nutrición Animal*. 6ª edición. Zaragoza- España. Editorial Acribia, S. A.
- McAllister, T., Okine, E., Mathison, G., & Cheng, K. (1996). *Dietary, environmental and microbiological aspects of methane production in ruminants*. *Can J Anm Sci* 76:231–243.
- McDonald, J. (1995). *Animal Nutrición*. 5ª ed. EEUU. New York. Se. 85p.
- Milla, M. (2004). *Evaluación de tres niveles de proteína y su efecto sobre el crecimiento productivo de cuyes de engorde bajo un sistema de crianza con exclusión de*



- forraje verde. Tesis para optar el Título de Ingeniero Zootecnista. UNALM. Lima-Perú.*
- Montenegro, J., Barrantes, E., & IvanKovich, S. (2020). *Cuantificación de metano entérico según estado fisiológico en vacas lecheras de alta producción en Costa Rica*. *Agronomía Costarricense*, vol. 44, núm. 1, pp. 79-92.
- Moreno, R. (1989). *El cuy. 2ª ed. Lima. UNA La Molina. 128 pp.*
- Moss, A., Jouany, J., & Newbold, J. (2000). *Methane production by ruminants: its contribution*. *Ann. Zootech.*, 49: 231-253.
- Moss, A., Jouany, J., & Newbold, J. (2000). *Methane production by ruminants: its contribution to global warming*. INRA EDP Sciences. *Ann Zootech*, 2000; 49: 231-253.
- Muños, C., Hube, S., Morales, J., Yan, T., & Ungerfeld, E. (2015). *Effects of concentrate supplementation on enteric methane emissions and milk production of grazing dairy cows*. *Livestock Sci.* 175:37-46.
- Murphy, M., Baldwin, R., & Koong, L. (1982). *Estimation of stoichiometric parameters for rumen fermentation of roughage and concentrate diets*. *Journal of Animal Science*, 55: 411-421.
- NRC, N. (1995). *Requerimientos nutritivos del cuy*. 4ta ed. Washington D.C.: National Academy Press. NRC. 192 pp.
- Núñez C, B. (2017). *Comportamiento productivo y cuantificación de la biomasa residual disponible en un sistema cavícola*. (Tesis Facultad de Ciencias Agropecuarias). Universidad Técnica de Ambato.
- Palomino, R. (2002). *Crianza y Comercialización de cuyes, colección granja y negocio*. Edición Ripalme.



- Paputungan, U., Hakin, L., Ciptadi, G., & Lapian, H. (2015). *Application of body volumen formula for predicting live weight in Ongole crossbred cows*. *Internat. J. Livest. Prod.*, 6:35-40.
- Pinares, P. C., Ulyatt, M. J., Waghorn, G. C., R., L. K., & Barry, T. N. (2003). *Methane emission by alpaca and sheep fed on lucerne hay or grazed on pastures of perennial yegrass/white clover or birdsfoot trefoil*. *J. Agric. Sci.*, 140:215-226.
- Quijandria, B. (1988). *Producción de cuyes*. 2ª Ed. FAO. Roma. 135 pp.
- Quispe, A. (2015). *Efecto del concentrado fibroso sobre el rendimiento productivo y las emisiones de metano entérico (CH₄) en alpacas (vicugna pacos) en el centor experimental quimsachata INIA – puno – 2015*. (Tesis de la Facultad de Ciencias Agropecuarias). Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann – Tacna, Perú.
- Ramírez Restrepo, A., Clark, H., & Muetzel, S. (2015). *Methane emissions from young and mature dairy cattle*. *Animal Production Science*. 15: 102-112.
- Ramirez, J. (2018). *Efecto del tamaño de partícula del forraje 1579 en el consumo, ganancia de peso y producción de metano en llamas y alpacas*. (Tesis de Maestría en Ciencias Animal). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Rebollo, S. (2006). *El proyecto de mejoramiento genético y manejo del cuy en bolivia*. disponible en URL: http://www.dicyt.umss.edu.bo/archivos/Rico_Numbela.pdf [consultado 12 de diciembre del 2017].
- Remigio, R. (2006). *Evaluación de tres niveles de lisina y aminoácidos azufrados en dietas de crecimiento para cuyes de línea Perú*. Tesis Magistral. UNALM. Lima-Perú.
- Reyes, F. (2011). *Crianza técnica de cuyes I seminario de crianza de cuyes cámara de la agricultura de la primera zona*: disponible en URL:



<https://www.agricultura.gob.ec/crianza-de-cuyes-ayuda-a-reconversionde-actividades>. [Consultado 10 de marzo del 2018].

- Reynolds, C., & et al. (2014). *Effects of 3-nitrooxypropanol on methane emission, digestion, and energy and nitrogen balance of lactating dairy cows*. J Dairy Sci 97(6):3777–3789.
- Rico, E. (2003). *Manual Sobre el Manejo de Cuyes. Bolivia – Cochabamba*. Benson Institute Proyecto Mejocuy; 25-26-44-45-46.
<http://www.portalagrario.com.pe/Cuyes/manejodecuyes.pdf>.
- Rigoni, M., Castrovilli, C., & Cicogna, M. (1993). *The digestive utilization of nutrients and energy in the guinea pig and rabbit*. 10 th National Congress Scientific Association of Animals Production, Bologna – Italia.
- Rivas, I. (1995). *Prueba de crecimiento en cuyes (cavia porcellus) con restricción en el suministro de forraje. Tesis para optar el Título de Ingeniero Zootecnista*. UNALM. Lima- Peru.
- Romero, J. (2021). *determinación de metano en cuyes (cavia porcellus) bajo una alimentación con forrajes (alfalfa y avena) en altura*. Tesis Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia Universidad Nacional del altiplano Puno- Perú.
- Roque, B. (2015). *Nutrición y alimentación animal consumo y digestibilidad*. (Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. 5-6pp.
- Rosales, C. (2012). *Análisis productivo y económico de la crianza y engorde de cuyes en piso y en jaulas*:. disponible en URL:
<http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/5507/1/Rosales%20Suquillo%20Carmen.pdf> [consultado 12de noviembre del 2017].



- Sancho, J., & Bota, E. (1999). *Introducción al análisis sensorial de los alimentos*. Universidad de Barcelona, España.
- Sarria, J. (2011). *El cuy Crianza tecnificada. Manual técnico en cuyicultura N°1. Oficina Académica de Extensión y Proyección Social. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. Perú. 64p.*
- SENAMHI. (2009). *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, Boletín Regional. Publicado del mes junio; Dirección regional . Puno-Peru.*
- Shibata, M., & Terada, F. (2010). *Factors affecting methane production and mitigation in ruminants*. Journal of Animal Science 81:2-10.
- Shimada, A. (2003). *Nutrición Animal*. México, D.F.- México. Editorial Trillas.
- Shimada, M. (2017). *Nutricion Animal*. D.F. México: Trillas.
- Shrestha, S., Bindari, Y., Shrestha, N., & Gaire, T. (2013). Methane gas emission in relation to livestock: *a Review. J. Anim. Prod. Adv.*, 3:187-191.
- Swainson, N., I. M., B., S. O., H., & H., C. (2011). *Post-experiment correction for release rate in permeation tubes improves the accuracy of the sulphur hexafluoride (SF₆) tracer technique in deer*. Anim. Feed Sci. Tech. 166-167:192-197.
- Tamminga, S., Bannink, A., Dijkstra, J., & Zom, R. (2007). *Feeding strategies to reduce methane loss in cattle*. 34 ed. Animal Science Group, Report 34, Animal Science Group, Wageningen University.
- Thauer, R., Kaster, A., Seedorf, H., Buckel, W., & Hedderich, R. (2008). *Methanogenicarchaea: ecologically relevant differences in energy conservation*. at Rev Micro 6: 579-591, Marburgo Alemania.
- Toapanta, R. (2011). *Caracterización de la producción de cuyes para la comercialización asociativa en la asociación*. Trabajo de grado presentado como requisito parcial



- para optar al grado Ingeniero Agropecuario Guaranda, Ecuador: Universidad Estatal de Bolivar.
- Van Kessel, J., & Russell, J. (1995). *The effect of pH in vitro methane production from ruminal bacteria*. Chicago, Illinois, E.U. November 14-16; Vol. 23.
- Van Soest, P. (1994). *Nutritional ecology of the ruminant, 2nd.Ed.* Cornell University Press, Ithaca, USA.
- Vendi, C., Frei, S., Dittmann, M., Furrer, S., Ortmann, S., Lawrenz, A., & Clauss, M. (2016). *Methane production by two non-ruminant herbivores that ferment the gut previous: Collared peccary (Pecari tajacu) and pygmy hippo (Hexaprotodon liberiensis)*. (Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology molecular and integrative Volume 191, January 2016, Pages 107-114). ZH 142/2011 and Landesamt für Natur Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV), Suiza.
- Vergara, V. (2008). *Avances en nutrición y alimentación de cuyes programa de investigación y proyección social de alimentos. (Programa de Investigación y Proyección Social en Alimentos)*. Facultad De Zootecnia-Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. Obtenido de vjvergara@lamolina.edu.pe.
- Vermorel, M., Vernet, J., & Martin-Rosset, W. (1997). *Digestive and energetic use of two diets per ponies and horse*. *Livestock Production Sci.*, 51: 13-19.
- Vilca O., G. (2015). *Efecto del concentrado fibroso sobre las emisiones de metano entérico (CH₄) en vacas lecheras*. (Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia). Universidad Nacional del Altiplano Puno-Perú.
- Villafranca, A. (2003). *Evaluación de tres niveles de fibra en el alimento balanceado para cuyes en crecimiento y engorde. Tesis de Ingeniero Zootecnista*. Lima: Univ. Nacional Agraria La Molina.



- Villar, M. (2019). *Emision de metano enterico en ovinos alimentados con raciones de diferente nivel de energia*. (Tesis, magister scientiae): Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Vivas, J. (2009). *Manual de crianza de cobayos (Cavia porcellus)*. disponible en URL: <http://cenida.una.edu.ni/relectronicos/RENLO1V856.pdf> [consultado 01 de diciembre del 2017].
- West, J. (2004). *The physiologic basis of high-altitude diseases*. Ann. Intern. Med., 141: 789-800.
- Yokoyama, M., & Johnson, K. (1993). *Microbiología del rumen e intestino*. En: Church DC. *El rumiante: fisiología digestiva y nutrición*. Editorial Acribia S.A. Zaragoza, España, 137-156.



ANEXOS



ANEXO A.

MATERIAL Y EQUIPOS

Materiales utilizados en el lugar del experimento

- Plástico blanco
- Bolsas polietileno (5 x 10 cm)
- Amonio cuaternario al 20 % (2.5 mL/L de agua)
- Creso (1 mL/L de agua)
- Jeringa de 5 mL
- Llave de 3 vías
- Gomas de las tapas de frascos pequeños
- Probeta graduada de 50 mL

Equipos utilizados en el lugar del experimento

- Jaulas metabólicas con sus respectivos comederos y bebederos
- Analizador de gases (Gasmeter DX-4030)
- Tanque de nitrógeno UHT (99.999 N)
- Cámara estática de flujo cerrado
- Termómetro ambiental
- Calculadora
- Cronómetro
- Cámara fotográfica digital (24 mpx)
- Estabilizador

Instrumentos utilizados en el lugar del experimento

- Termómetro ambiental
- Cinta métrica
- Balanza digital con capacidad de 5/0.01 kg

Materiales y equipos de laboratorio

- Estufa
- Balanza digital con capacidad de 200/0.0001 g
- Campana de desecación
- Espátula para pesado de las muestras
- Pinza de crisoles
- Bolsas de papel kraft

ANEXO B.

Producción de metano en cuyes alimentados a base de concentrado en relación a las variables.

Tabla 6. Producción de metano en cuyes alimentados con concentrado, reportado en la cámara estática en relación a sus variables.

VARIABLE	Cuyes alimentados con concentrado												Total
	Cuy 1	Cuy 2	Cuy 3	Cuy 4	Cuy 5	Cuy 6	Cuy 7	Cuy 8	Cuy 9	Cuy 10	Cuy 11	Cuy 12	
PV, Kg	0.888	0.915	0.713	0.706	0.880	0.840	0.807	0.918	0.914	0.822	0.759	0.739	0.825
W_{kg}^{0.75}	0.914	0.935	0.776	0.770	0.909	0.877	0.851	0.938	0.935	0.863	0.813	0.797	0.865
IMS, Kg/d	0.060	0.063	0.065	0.064	0.064	0.066	0.061	0.063	0.063	0.064	0.063	0.064	0.063
CH₄, ppm/10min	98.4	94.9	117.2	107.6	105.6	111.7	120.4	96.5	88.3	125.3	107.9	126.4	108.3
mg/m³/Cám.	1.671	1.613	1.988	1.838	1.799	1.894	2.035	1.639	1.496	2.121	1.833	2.154	1.840
CH₄, g/d	0.241	0.232	0.286	0.265	0.259	0.273	0.293	0.236	0.215	0.305	0.264	0.310	0.265
CH₄, g/W_{kg}^{0.75}	0.263	0.248	0.369	0.344	0.285	0.311	0.344	0.252	0.230	0.354	0.325	0.389	0.310
CH₄, g/Kg MSI	4.01	3.68	4.39	4.10	4.02	4.15	4.77	3.75	3.40	4.77	4.20	4.84	4.175
CH₄, mol/d	0.015	0.014	0.018	0.017	0.016	0.017	0.018	0.015	0.013	0.019	0.016	0.019	0.017
CH₄, CO₂ eq	6.016	5.808	7.156	6.618	6.477	6.820	7.325	5.899	5.384	7.636	6.600	7.754	6.624
CH₄, Kcal/d	3.192	3.081	3.797	3.512	3.437	3.619	3.887	3.130	2.857	4.052	3.502	4.114	3.515
CH₄, L/d	0.582	0.562	0.694	0.642	0.629	0.663	0.713	0.574	0.525	0.744	0.643	0.756	0.644

PV: Peso vivo, W kg^{0.75}: Peso metabólico; CMS: Consumo de materia seca; PPM: Partes por millón; CO_{2eq}: Dióxido de carbono; GPV, kg: Ganancia de peso vivo.

Tabla 7. Consumo de alimento en cuyes alimentados en base a concentrado.

N°	Consumo de Alimento en base seca		
	IMS	IMS	IMS
	g/d	%	W ^{0.75}
Cuy 1	60.0	8.5	77.7
Cuy 2	63.1	8.5	79.2
Cuy 3	65.2	11.5	99.6
Cuy 4	64.5	11.0	96.6
Cuy 5	64.4	9.5	86.0
Cuy 6	65.8	9.4	86.1
Cuy 7	61.4	9.6	85.7
Cuy 8	62.9	8.9	81.8
Cuy 9	63.4	9.4	85.5
Cuy 10	64.0	10.3	91.9
Cuy 11	62.8	10.5	92.4
Cuy 12	64.1	10.0	89.3
Suma	761.49	117.03	1051.64
Promedio	63.46	9.75	87.64
Desv. Est.	1.61	0.94	6.65
CV, %	2.53	9.68	7.59

IMS: Ingestión de materia seca.

Tabla 8. Digestibilidad en cuyes alimentados en base a concentrado.

N°	Determinación de la digestibilidad				
	HF	Heces excretada (concentrado)			Digestión
		g/d	MS	EMS	MSD
		%	g/d	g/d	%
1	32.0	93.0	13.4	60	77.7
2	24.5	93.0	10.2	63.1	83.8
3	18.4	93.0	7.7	65.2	88.2
4	20.6	93.0	8.6	64.5	86.7
5	22.1	93.0	9.2	64.4	85.7
6	17.1	93.0	7.1	65.8	89.1
7	27.9	93.0	11.6	61.4	81.1
8	25.6	93.0	10.7	62.9	83.0
9	24.9	93.0	10.4	63.4	83.6
10	20.9	93.0	8.7	64.0	86.4
11	23.8	93.0	9.9	62.8	84.2
12	20.1	93.0	8.4	64.1	86.9
Suma	277.9	1116.3	115.97	761.53	1016.4
Promedio	23.2	93.0	9.66	63.46	84.70
Desv. Est.	4.18	0	1.76	1.60	3.20
CV, %	18.07	0	18.17	2.51	3.77

HCF: Heces frescas; EMS: Excreción de materia seca; MS: Materia seca; MSD: Materia seca digestible; DMS: Digestión de materia seca

Tabla 9. *Peso y volumen corporal en cuyes alimentados a base de concentrado.*

N°	Peso	LC	PT	Radio	Volumen corporal	
	Kg	cm	Cm	Cm	cm ³	m ³
Cuy 1	0.91	21.50	20.50	3.26	719.01	0.0007
Cuy 2	0.93	20.25	20.75	3.30	693.82	0.0007
Cuy 3	0.72	19.50	17.50	2.79	693.82	0.0007
Cuy 4	0.72	19.25	18.50	2.94	475.22	0.0005
Cuy 5	0.91	20.50	19.50	3.10	524.28	0.0005
Cuy 6	0.85	21.75	20.00	3.18	620.31	0.0006
Cuy 7	0.84	21.50	18.00	2.86	692.32	0.0007
Cuy 8	0.92	21.00	19.00	3.02	554.33	0.0006
Cuy 9	0.94	21.00	19.25	3.06	603.27	0.0006
Cuy 10	0.83	20.25	18.00	2.86	619.25	0.0006
Cuy 11	0.77	20.00	16.50	2.63	522.11	0.0005
Cuy 12	0.74	20.25	18.75	2.98	433.30	0.0004
Promedio	0.84	20.56	18.85	3.00	595.92	0.0006
Desv. Est.	0.09	0.80	1.25	0.20	94.45	0.0001
C.V., %	10.14	3.88	6.63	6.63	15.85	15.8497

LC: Largo de cuerpo; PT: Perímetro torácico; cm³; Centímetro cubico; m³: Metro cubico.

Tabla 10. *Peso de cuyes alimentados en base a concentrado.*

N°	PESO				
	Inicial	Final	P \bar{x} , G	GPV	
	g	G	G	G	g/día
Cuy 1	844	931	709.3	87.00	5.80
Cuy 2	872	957	740.3	85.00	5.67
Cuy 3	661	764	568.0	103.00	6.87
Cuy 4	670	741	584.3	71.00	4.73
Cuy 5	816	944	681.5	128.00	8.53
Cuy 6	799	880	700.0	81.00	5.40
Cuy 7	759	854	642.5	95.00	6.33
Cuy 8	846	990	705.3	144.00	9.60
Cuy 9	830	998	672.5	168.00	11.20
Cuy 10	768	875	618.5	107.00	7.13
Cuy 11	707	810	599.0	103.00	6.87
Cuy 12	722	756	643.5	34.00	2.27
Suma	9294.00	10500.00	7864.50	1206.00	80.40
Promedio	774.50	875.00	655.38	100.50	6.70
Desv. Est.	71.51	91.50	54.85	34.88	2.33
CV, %	9.23	10.46	8.37	34.71	34.71

PI: Peso inicial; PF: Peso final; P \bar{x} , G: Peso promedio general; GPV: Ganancia de peso vivo.

ANEXO C.

Fotografías de todo el plan piloto del experimento



Figura 1. Pesado de insumos para la formulación de alimento balanceado.



Figura 2. Ingredientes para la elaboración de alimento concentrado.



Figura 3. Mezclado de la dieta experimental.



Figura 1. Embolsado de la dieta experimental para su conservación.



Figura 5. Medidas de largo corporal y perímetro torácico de los cuyes.

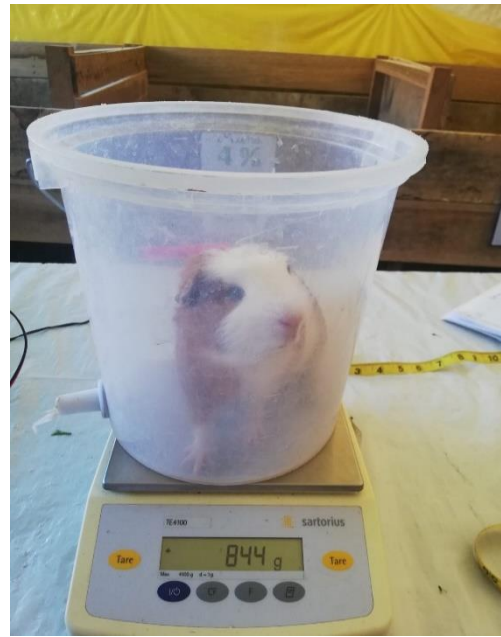


Figura 6. Control de peso de los cuyes.



Figura 7. Introducción de los cuyes a las jaulas metabólicas.



Figura 8. Peso de residuo.



Figura 9. Peso de heces.



Figura 10. Medición de la orina.



Figura 11. Apertura de la llave de la válvula del tanque de Nitrógeno UHT (99.999 N).



Figura 12. Apertura de la perilla reguladora, fijándose que el manómetro ejerza una presión en cilindro de 5L.

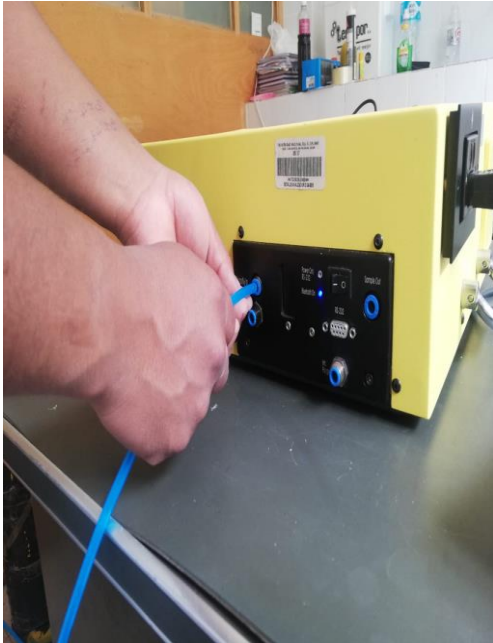


Figura 13. Colocación de la manguera poliuretano para calibrar el equipo.



Figura 14. Analizador portátil de gases Gaset DX 4030. Visualización de los datos de calibración del PDA.



Figura 15. Colocación del colector (sensor) por donde pasa la muestra de (CH₄), conexión del ventilador y termómetro.



Figura 16. Sellado de la cámara de acumulación de gases.



Figura 17. Notación de datos, visualizado en el PDA.



Figura 18. Rotulo de las bolsas de papel craft para las muestras.



Figura 2. Pesado de muestras en la balanza analítica para el análisis químico.



Figura 20. Introduciendo las muestras a la estufa a 60 °C por 24 horas.



Figura 21. Registro de materia seca en la bolsa de papel craft.



Figura 22. Visualizaciones de las muestras, sacados de la estufa.