



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



**DETERMINACIÓN DE METANO ENTERICO EN CUYES (*Cavia*
porcellus) BAJO UNA ALIMENTACIÓN MIXTA (ALFALFA Y
CONCENTRADO) EN ALTURA**

TESIS

PRESENTADA POR:

UBALDINO HUAQUISTO VILCA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

MÉDICO VETERINARIO Y ZOOTECNISTA

PUNO – PERÚ

2021



DEDICATORIA

A dios, por brindarme vitalidad y sabiduría para lograr mis objetivos. A mi madre Juana Vilca Ccori que con su sacrificio y motivación fue el pilar fundamental en todo lo que soy ya que siempre estuvo a mi lado y siempre me brindo su apoyo y cariño incondicional.

A mis hermanas Lidia, Yésica y luz Deysi por las Vivencias y experiencias compartidas, confianza, motivación, consejo, y por haberme apoyado en el transcurso de mi formación universitaria

a mi abuelito Pedro y a mi hermanita Dina que desde el cielo me guio, que siempre y para siempre los llevare en mi corazón.

Ubalдино Huaquisto Vilca



AGRADECIMIENTOS

Primeramente, quiero agradecer a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, por mostrarme el sendero en momentos difíciles e iluminarme mis pensamientos, brindándome salud, sabiduría y así poder encaminarme para dar este paso.

A mi alma mater, la Universidad Nacional del Altiplano por darme la oportunidad de realizarme y formarme profesionalmente.

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 López y a mi asesor el Dr. José Eduardo Ramírez Aruquipa por su paciencia, disponibilidad y generosidad y su apoyo incondicional en la elaboración y culminación del presente trabajo de investigación.

Mis agradecimientos a los miembros del jurado: Dra. Martha Nancy Tapia Infantes, Dr. Sc. Eliseo Pelagio Fernández Ruelas, MVZ. Marino Francisco Ávila Felipe, por su paciencia y sugerencias en la culminación del presente trabajo de investigación

A mis compañeros, amigos/as Néstor, jefe, Max, Iturri, Mayhua, Raul, Cc, Ericka, Liseht, Mary quienes me compartieron su amistad, aventuras y momentos inolvidables gracias por todo.

¡A todos quienes confiaron en mi ... **MIL GRACIAS!!!**

Ubalдино Huaquisto Vilca



INDÍCE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE DE TABLA

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 11

ABSTRACT..... 12

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 OBJETIVO GENERAL 14

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 14

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Generalidades 15

2.1.1 Fisiología y anatomía digestiva del cuy 15

2.2 Metano 16

2.2.1 Metano entérico 16

2.2.2 Las archaeas..... 17

2.2.3 Factores que influyen en la emisión de metano entérico..... 18

2.2.4 Determinación de metano 19



2.2.4.1 Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)	20
2.3 Antecedentes	21
2.3.1 Antecedentes de uso del equipo Gasmeter DX – 4030	21
2.3.2 Metano en herbívoros	21
2.4 Nutrición y alimentación del cuy	23
2.4.1 Nutrición.....	23
2.4.2 Requerimientos nutricionales en cuy.....	23
2.4.3 Alimentación	24
2.4.4 Sistemas de alimentación.	24
2.4.5. Alfalfa (<i>Medicago Sativa L.</i>).....	25
2.5 Digestibilidad	26
2.5.1 Tipos de digestibilidad	27
2.5.2 Factores que influyen en la digestibilidad	27
2.5.3 Métodos para medir la digestibilidad	28
2.5.4 Digestibilidad en cuyes.....	29

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar de estudio.....	31
3.2 Material de estudios	31
3.2.1 Material biológico.	31
3.2.2 Instalaciones	31
3.2.3 Cámara estática de flujo cerrado	32



3.2.4 Elaboración del concentrado	32
3.2.5 Materiales de trabajo	33
3.2.6 Equipos	34
3.2.7 Materiales de laboratorio	34
3.3 Metodología	35
3.3.1 Duración y protocolos de bioseguridad.....	35
3.3.2 Etapa preexperimental	35
3.3.3 Etapa experimental	36
3.3.4 Determinación de la digestibilidad aparente	40
3.3.5 Análisis estadístico	41
CAPÍTULO IV	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1 Producción de metano	42
4.2 Digestibilidad aparente de materia seca	45
V. CONCLUSIONES	49
VI. RECOMENDACIONES	50
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
ANEXOS	57

Área: Alimentación animal

Tema: Metano entérico en cuyes por una alimentación mixta

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 30 de Julio 2021



ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1.	Requerimiento nutricional del cuy.....	24
Tabla 2.	Composición química de la alfalfa (promedios del análisis de laboratorio Facultad de Química – UNSAAC)	26
Tabla 3.	Dieta experimental	33
Tabla 4.	Producción de metano entérico en cuyes bajo una alimentación mixta (alfalfa y concentrado) en altura	42
Tabla 5.	Digestibilidad aparente de materia seca de alimento mixto en cuyes alimentados en base (concentrado y alfalfa) en altura	46
Tabla 6.	Producción de metano en cuyes reportado en la cámara estática	58
Tabla 7.	Consumo de alimento en cuyes en base a concentrado y alfalfa en altura ..	59
Tabla 8.	Digestibilidad aparente en cuyes alimentados en base concentrado y alfalfa en altura.....	60
Tabla 9.	Pesos de cuyes alimentados con alfalfa y concentrado en altura.....	61
Tabla 10.	Volumen corporal de cuyes alimentados con alfalfa y concentrado en altura	62



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diseño de la jaula metabólica para los cuyes.....	32
Figura 2. Medición corporal del cuy para Va.....	37
Figura 3. Pesado de los subproductos	63
Figura 4. Adquisición de heno de avena y alfalfa	63
Figura 5. Adición de aceite vegetal	63
Figura 6. Ingredientes para la elaboración del concentrado	63
Figura 7. Mesclado de suplementos minerales.....	63
Figura 8. Adición de suplementos minerales	63
Figura 9. Embolsado de la dieta experimental.....	63
Figura 10. Mesclado de la dieta experimental	63
Figura 11. Medición del perímetro torácico en cuyes	63
Figura 12. Medición del largo corporal en cuyes	63
Figura 13. Pesos de las heces	63
Figura 14. Recojo de las heces	63
Figura 15. Pesado de los residuos	63
Figura 16. Medición de la orina	63
Figura 17. Pesado de muestras para el análisis químico	63
Figura 18. Rotulado de las muestras	63
Figura 19. Visualización de los materiales secos sacados de la estufa	63
Figura 20. Secado de muestras para determinar la MS.	63
Figura 21. Pesado de la alfalfa	63
Figura 22. Oreo y picado de la alfalfa fresco	63
Figura 23. Suministro de agua a los cuyes	63
Figura 24. Pesado del alimento concentrado.....	63



Figura 25. Control del peso de los cuyes.....	63
Figura 26. Suministro de alimento a los cuyes.....	63
Figura 27. Abrir la perilla reguladora, fijándose que el manómetro ejerza una presión en cilindro de 5L	63
Figura 28. Apertura de la llave de la válvula del tanque de Nitrógeno UHT (99.999 N)	63
Figura 29. Visualización de calibración	63
Figura 30. Colocación de la manguera poliuretano para calibrar.....	63
Figura 31. Visualización del equipo Gasmeter DX-403 y colocación de la manguera poliuretano al equipo.....	63
Figura 32. Visualización de los datos de calibración PDA	63
Figura 33. Colocación de la conexión del ventilador mecánico y termómetro digital en la tapa 34.	63
Figura 34. Colocación del colector (sensor) por donde pasa la muestra de (CH ₄)	63
Figura 35. Notación de datos, visualizado en el PDA.....	63
Figura 36. Visualización de la cámara estática.	63



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

AGV	: Ácido grasos volátiles
CH ₄	: Metano
CO ₂	: Dióxido de carbono
DMS	: Digestibilidad de materia seca
EMS	: Excreción de materia seca
FTIR	: Espectroscopia Infrarroja Transformada en Fourier
GEI	: Gases de efecto invernadero
H ₂	: Dihidrógeno
H	: Hidrogeno
IMS	: Ingestión de materia seca
MF	: Materia fresca
MFO	: Materia fresca ofrecida
MS	: Materia seca
MSD	: Materia seca digestible
MSO	: Materia seca ofrecida
N ₂ O	: Óxido nitroso
PDA	: Personal digital assistant
ppmv	: Partes por millón en volumen
T ^o	: Temperatura
TCO	: Tal como ofrecido
VCA	: Volumen corporal del animal
VC	: Volumen de la cámara
VE	: Valores energéticos
Wkg ^{0.75}	: Peso metabólico



RESUMEN

La investigación se realizó con el objetivo de determinar la producción de metano entérico y la digestibilidad aparente en cuyes (*Cavia porcellus*) bajo una alimentación mixta (alfalfa y concentrado), en el bioterio de cuyes de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia-UNA-Puno, a una altitud de 3827 m; se utilizaron 12 cuyes machos de la línea Perú con un peso vivo promedio de 0.655 ± 0.05 kg; la producción de metano se midió con la técnica de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) en una cámara de acumulación de gases; y la digestibilidad aparente se determinó con el método convencional *in vivo* en jaulas metabólicas. Se encontró que los cuyes producen metano entérico en promedio 0.79 ± 0.18 CH₄ Litros/día (1.09 ± 0.25 L/Wkg^{0.75}) con una digestibilidad aparente de materia seca de 73.46 ± 6.75 %; por lo que se concluye que los cuyes alimentados con alfalfa fresca y concentrado, producen un nivel bajo de metano en contraste con los rumiantes, y una digestibilidad apropiada.

Palabras claves: metano, cuyes, digestibilidad, tipo de alimentación



ABSTRACT

The research was carried out with the objective of determining enteric methane production and apparent digestibility in guinea pigs (*Cavia porcellus*) under mixed feeding (alfalfa and concentrate), in the guinea pig biotherium of the Faculty of Veterinary Medicine and Zootechnics-UNA-Puno, at an altitude of 3827 m; 12 male guinea pigs of the Peru line were used with an average live weight of 0.655 ± 0.05 kg; methane production was measured by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) in a gas accumulation chamber; and apparent digestibility was determined by the conventional in vivo method in metabolic cages. It was found that guinea pigs produce enteric methane in average 0.79 ± 0.18 CH₄ Liters/day (1.09 ± 0.25 L/Wkg^{0.75}) with an apparent dry matter digestibility of 73.46 ± 6.75 %; so it is concluded that guinea pigs fed with fresh alfalfa and concentrate, produce a low level of methane in contrast with ruminants, and an appropriate digestibility.

Keywords: methane, guinea pigs, digestibility, type of feed



CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

A nivel nacional la población de cuyes es de 17 millones 380 mil 175 unidades, cantidad que va creciendo potencialmente, involucrando a 827 234 productores, constituyendo una alternativa de negocio; además que su carne es una fuente proteica para la seguridad alimentaria; el consumo nacional de carne de cuy asciende a 400 gramos por persona al año (ENA, 2017).

Existe una creciente preocupación, en torno al incremento de las emisiones de gases con efecto invernadero, como resultado de la actividad humana y de la ganadería, emitiendo y produciendo cantidades considerables de gases como: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), que contribuyen de manera importante al cambio climático; siendo la ganadería responsable de cerca del 23 % de las emisiones de metano globales (Khalil, 2000).

La producción de metano en los animales ocurre durante el proceso de digestión, por microorganismos que fermentan el alimento consumido; eliminándose principalmente por exhalación o eructo; y depende de varios factores como: tipo de animal (rumiante o monogástrico), estado fisiológico, nivel de alimentación y tipo de dieta (forraje, dieta mixta o concentrada) (IPCC, 2006).

Se ha investigado ampliamente la producción de metano, en grandes herbívoros y principalmente rumiantes, para caracterizar la eficiencia alimenticia y la contribución de los sistemas agrícolas a la producción de gases de efecto invernadero (Franz et al., 2010); en pequeños herbívoros y omnívoros, existe poca información, encontrándose algunos reportes en conejos (*Oryctolagus cuniculos*), ratas (*Rattus rattus*) y en cuyes (*Cavia porcellus*); además que la metanogénesis en estas especies, solo se ha estudiado mediante ensayos *in vitro* (Franz et al., 2011).



Se asume que la cantidad de metano en pequeños herbívoros por unidad animal es insignificante; pero si se analiza en razón a la población la perspectiva sería otra; existen datos científicos limitados y escasos, teniendo como referencia la producción de metano 0.20 Litros/día en cuyes alimentados con heno *ad libitum* (Franz et al., 2011), y con alfalfa fresca y heno de avena de 0.57 Litros/día (Romero, 2021). La adición de concentrado es una estrategia para reducir las emisiones de metano, dado por la mejor digestibilidad que posee este alimento (Kamra et al., 2010); dentro de la crianza de cuyes, la alimentación en base a forrajes y concentrado, es una práctica común, utilizada por los productores de mediana escala para mejorar los parámetros de producción (Vergara, 2008); sin embargo, la cantidad de metano entérico producido bajo este sistema de alimentación es desconocida.

Por lo descrito anteriormente, se determinó la producción de metano entérico y la digestibilidad aparente, bajo una alimentación mixta (alfalfa y concentrado) en cuyes criados en altura (3827 m); para esta medición se utilizó cámaras de acumulación de gases y el equipo de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (equipo Gasmeter DX-4030), y la digestibilidad fue medida por el método convencional *in vivo* y para ello se utilizó jaulas metabólicas.

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Determinar el nivel de producción de metano entérico en cuyes (*Cavia porcellus*) bajo una alimentación mixta (alfalfa y concentrado) en altura.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la cantidad de metano entérico en cuyes con una alimentación mixta.
- Determinar la digestibilidad aparente en cuyes con una alimentación mixta.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Generalidades

2.1.1 Fisiología y anatomía digestiva del cuy

El cuy es una especie herbívora monogástrica, en el que se produce dos tipos de digestión, una con enzimas a nivel del estómago y el intestino delgado, y otra con microorganismos a nivel del ciego, por lo que está clasificado como un fermentador posgástrico (Hiyagon, 2014).

La secreción de ácido clorhídrico se lleva a cabo en el estómago, y su función es disolver los alimentos y destruir las bacterias que son ingeridas en el alimento; la mayor parte de la digestión y absorción ocurre en el intestino delgado, mientras que los alimentos no digeridos, el agua no absorbida y las secreciones de la última parte del intestino delgado pasan al intestino grueso (Aliaga et al., 2009).

El intestino grueso del cuy es un órgano desarrollado, que incluye el ciego, cuya función es descomponer una gran cantidad de alimentos ricos en celulosa (Aliaga et al., 2009). Las especies de bacterias encontradas a este nivel son las *Bifidobacterium longum*, *Fibrobacter succinogenes*, y *Faecalibacterium prausnitzii*, que participan en diversos procesos metabólicos, como la digestión y absorción de nutrientes y síntesis de moléculas beneficiosas (López, 2019).

La cecotrófia es la ingestión de los llamados cecotrofos (heces blandas), que permite aprovechar la fibra y reutilizar el nitrógeno que no ha sido absorbido por el organismo, esta actividad es nocturna al igual que en los conejos (Hiyagon, 2014).



2.2 Metano

El metano es un gas hidrocarburo de la familia de los alcanos, con la fórmula química CH_4 , que se forma por la descomposición de la materia orgánica; es incoloro, inodoro, insoluble en agua y de menos denso que el aire; este gas existe en la naturaleza, porque es producido por la descomposición de materia orgánica, siendo el componente principal del gas natural, por lo que es una valiosa fuente de energía; el metano atmosférico se considera un gas de efecto invernadero -GEI relativamente poderoso y, por lo tanto, uno de los factores impulsores del Calentamiento Global; aunque su vida media en la atmósfera es relativamente corta (12.4 ± 3 años), su efecto es de 28 a 32 veces mayor que el del dióxido de carbono (Myhre, et al. 2013).

Las fuentes de metano se pueden dividir en tres categorías: metano biológico, que es producto de la descomposición de la materia orgánica por los microorganismos presentes en los humedales, rumiantes, cultivo de arroz y depósitos de desechos, etc.; el metano caliente se produce por procesos geológicos en altas temperaturas (combustibles fósiles) y pirólisis de metano, producida por la combustión incompleta de biomasa durante incendios forestales y por biocombustibles y combustibles fósiles (Kirschke, et al. 2013).

2.2.1 Metano entérico

El metano intestinal es el gas digestivo más abundante producido en el intestino de los herbívoros y constituye la mayor fuente de metano antropogénico (Knapp et al., 2014). *Phylum Euryarcheota*, que vive en el tracto digestivo de los herbívoros, es producto del trabajo bioquímico de un grupo de microorganismos en el dominio de las arqueas llamados metanógenos (Hook et al., 2010).

El metano se produce en los herbívoros como subproducto de la fermentación entérica, proceso digestivo en el que los microorganismos descomponen los



carbohidratos estructurales en moléculas simples; la cantidad liberada depende del tipo de tracto digestivo, la edad y el peso del animal y la calidad y cantidad de los alimentos consumidos (IPCC, 2006).

Las emisiones de metano se ven afectadas por la interacción de factores como el consumo de alimentos, la composición química de los alimentos, las características de fermentación, la cinética del transporte de alimentos en el tracto digestivo, la composición y actividad del microbioma ruminal, etc., además de las especies animales y los factores atmosféricos, cambian el comportamiento de los animales; existen varias estrategias para reducir las emisiones de metano entestinal, que incluye la manipulación de la dieta, manipulación del microbioma ruminal y el uso de selección animal (Pinares et al., 2003). Además, el tipo de concentrado contenido en la dieta (diferentes proporciones de endospermo en polvo o córneo) cambiará la producción de metano (Beauchemin & McGinn; 2005).

2.2.2 Las archaeas

Cada uno de los tres dominios (Bacterias, Eucariotas y Arqueas) tiene sus propias características y otros puntos en común; las arqueas tienen una morfología celular similar a la de las bacterias; aunque no tienen núcleo, tienen una organización de células procariota como las bacterias, pero sus características moleculares son más similares a las células eucarióticas. Se pueden distinguir cuatro arqueas bien diferenciadas: halo-arqueas, arqueas metanogénicas, arqueas híper-termófilas y arqueas acidófilas extremas, (Nunoura et al., 2011).

La metanogénesis es la producción biológica de metano, es un proceso característico de las llamadas arqueas metanogénicas (bacterias anaerobias estrictas), que pertenecen principalmente al grupo *Euryarchaeota*; se describen un gran número de arqueas metanogénicas, que existen en el tracto digestivo de los animales (ciego en



caballo, cuyes y conejos, rumen de rumiantes, intestino grueso de humanos o cerdo) (Madigan et al., 2015).

Las archaeas metanógenas no usan oxígeno para respirar (el oxígeno inhibe su crecimiento), y el carbono usa como último aceptor de electrones; el carbono puede derivarse de pequeñas cantidades de compuestos orgánicos, todos con bajo peso molecular; fisiológicamente, hay tres rutas de metanogénesis: (a) reducción de dióxido de carbono (CO₂) con hidrógeno (H) (ruta hidrogenotrópica), (b) compuestos metilados como el metanol y aminas metiladas (ruta metilotrópica), y (c) escisión del acetato (vía acetoclástica) (Thauer et al., 2008).

2.2.3 Factores que influyen en la emisión de metano entérico

2.2.3.1 Factor alimento

La producción de metano depende principalmente de la cantidad de alimento ingerido, cuando aumenta el nivel de alimentación, la producción de metano se incrementa, así, al aumentar la disponibilidad de biomasa del forraje, se incrementa el nivel de consumo y en consecuencia aumentan las emisiones totales de metano por animal (Alvarado, 2018).

2.2.3.2 Factor ambiente

Viene dado por altitud, latitud, temperatura y fotoperiodo; así como el alto contenido de lignocelulosa no digerible y la falta de otros nutrientes, principalmente glúcidos solubles y proteínas (Van Soest, 1982).

2.2.3.3 Factor producción

Algunos autores señalan que los sistemas de producción y la raza animal juegan un papel importante en las emisiones intestinales de metano (Pedreira et al., 2009).



2.2.3.4 Factor animal y fisiológico

Existen factores inherentes a los animales como la edad y el estado fisiológico, que afectan las emisiones de metano, pero sus resultados de investigación continúan mostrando que el consumo de materia seca y la composición química de las dietas son más influyentes (Ramírez et al. 2015).

La producción de metano entérico está relacionada principalmente con la cantidad del alimento ingerido (Jonker et al. 2017); al aumentar el nivel de consumo aumenta las emisiones de metano por animal, sin embargo, disminuyen por unidad de materia seca consumida, esto debido a que una mayor ingesta acelera la tasa de paso del alimento, porque disminuye el tiempo de fermentación ruminal afectando la degradabilidad de la dieta y reduciendo el tiempo de exposición del material fibroso a los microorganismos metanogénicas (Pinares et al. 2003).

2.2.3.5 Factor genético

La selección genética de animales que consumen menos alimento o producen menos metano por unidad de alimento es otra estrategia de manejo que puede reducir las emisiones de metano (Ramírez et al. 2015).

2.2.4 Determinación de metano

Las emisiones de metano del ganado se han medido utilizando técnicas de calorimetría respiratoria, como cámaras de cuerpo entero, cámaras de ventilación; las emisiones intestinales de metano se pueden medir por diferentes métodos, la elección del método depende de la precisión y las ventajas y desventajas de cada método (Johnson et al., 2002).

Actualmente, se utilizan varios métodos en todo el mundo para cuantificar las emisiones intestinales de metano. Aunque varían en aplicación, costo, exactitud y



precisión, en general todos los métodos directos se basan en mediciones de concentraciones de metano en el medio ambiente (Bhatta, Enishi, & Kurihara, 2007).

Para medir metano se han utilizado técnicas y/o equipos, como:

La cromatografía de gases

Los analizadores de gases infrarrojos con detección fotoacústica

La espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

La espectroscopia de absorción láser con diodos sintonizables

Los semiconductores sensores de chip (Bhatta, Enishi, & Kurihara, 2007).

2.2.4.1 Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

La espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), es una técnica simple, limpia y no invasiva que se puede utilizar para las mediciones de metano, como alternativa a la sofisticada cámara de respiración de aire controlado; esta técnica utiliza principios físicos para analizar el contenido de contaminantes del aire con relativa facilidad y rapidez; fue evaluada en varias investigaciones y se ha demostrado ser una herramienta útil para medir las emisiones de metano entérico y otros gases de los rumiantes (Lassen et al., 2012).

El principio básico de la espectroscopia FTIR es detectar y medir contaminantes del aire, es que cada gas tiene su propia "huella digital" o espectro de absorción; el equipo monitorea todo el espectro infrarrojo y el sensor FTIR lectura las diferentes huellas digitales de los gases presentes en la muestra de aire que se analiza (Bhatta, Enishi, & Kurihara, 2007).



2.3 Antecedentes

2.3.1 Antecedentes de uso del equipo Gasmeter DX – 4030

Las emisiones intestinales de metano se determinan mediante la medición *in situ* de la concentración de metano en el aire exhalado por animales de experimentación, utilizando un analizador de gas metano (Gasmeter DX-4030), diseñado para la medición *in situ* de diferentes compuestos gaseosos (orgánicos e inorgánicos). Los resultados del análisis de hasta 25 compuestos pre-calibrados, se muestran en la pantalla del PDA (asistente digital personal); la comunicación entre el módulo analizador y el PDA es inalámbrica (mediante el protocolo Bluetooth) (GasmeterMR, 2012).

2.3.2 Metano en herbívoros

Romero (2021), reportó en cuyes de la línea Perú una producción de metano entérico de 0.57 Litros/día ($0.93 \text{ L/Wkg}^{0.75}$), utilizando espectroscopía infrarroja transformada de Fourier (Gasmeter), la digestibilidad aparente de la materia seca fue de 61.05 % por el método convencional *in vivo*, en cuyes alimentados con solo forrajes (alfalfa fresca y heno de avena) en Puno (3827 m de altitud), el consumo de materia seca fue de 38.78 g/d y el peso corporal promedio fue de 0.513 kg.

Franz et al. (2011), determinaron que la producción de metano en conejos (*Oryctolagus cuniculus*) fue de 0.20 Litros/día ($0.13 \text{ L/Wkg}^{0.75}$), y la producción de metano en cobayas (*Cavia porcellus*) fue de 0.22 Litros/día ($0.28 \text{ L/Wkg}^{0.75}$), el experimento se llevó a cabo en una cámara respiratoria, con seis conejos (peso vivo 1.57 kg) y seis cobayas (peso vivo 0.79 kg), a los que proporcionaron heno de hierbas en forma *ad libitum*; la ingesta diaria de materia seca (MS) de los conejos es de 50 g/día y la digestibilidad de MS fue de 55 %, la ingesta diaria de materia seca (MS) de los cuyes es de 59 g/día y la digestibilidad de MS fue de 61 %; el estudio concluyó que en la



fisiología digestiva del cuy posee una mayor fermentación microbiana, lo que podría explicar la mayor producción de metano por peso metabólico.

Belenguer et al. (2008), reportaron la producción de metano entérico de conejos blancos de Nueva Zelanda, (80 días y 2.27 kg de peso corporal.) alimentados con diferentes tipos de fibra (heno de alfalfa con maíz o trigo; pulpa de remolacha azucarera con maíz o trigo), donde la producción de metano fue entre 0.00052 a 0.0034 L/ Wkg^{0.75}, confirmando el estudio, que la metanogénesis podría ser uno de los principales sumideros de H² en el medio cecal del conejo, a diferencia de otros compartimentos de fermentación, el método que utilizaron es en una cámara respiratoria herméticamente sellada.

Clauss et al. (2019), en un estudio sobre la fisiología digestiva de las maras (*Dolichotis patagonum*) alimentadas con alfalfa peletizada, animales con un peso corporal promedio de 7.67 kg, informaron que las emisiones de metano fueron de 3.85 Litros/día (0.50 L/ Wkg^{0.75}); la ingestión de materia seca fue de 61 g/kg de peso vivo, digestibilidad entre 34 y 48%; además concluyeron que sus resultados y de otros roedores histricomorfos, con respecto a la producción de metano puede ser mayor de lo que se pensaba.

Ramírez (2018), en un estudio realizado en la Universidad Nacional del Altiplano Puno; sobre la producción de metano en camélidos sudamericanos, alimentados con heno de avena y alfalfa procesados mecánicamente con un diámetro de 12 mm y 24 mm, reportó una producción de metano entérico para alpacas fue de 28.06 y 33.89 Litros/día (1.42 y 1.68 L/ Wkg^{0.75}) y en llamas de 59.74 y 64.95 Litros/día (1.77 y 1.82 L/ Wkg^{0.75}) respectivamente; se concluye que la producción de metano entérico se ve afectada por factores de especie y no por el factor dieta experimental.



Vilca (2015), estudió el efecto del concentrado fibroso sobre las emisiones de CH₄ entérico en vacas lecheras, la medición se realizó a través de la técnica de espectroscopia infrarroja transformada de Fourier (FTIR), en un cámara de respiración de 33.81 m³ donde los animales permanecieron durante 10 minutos encerrados, cuyos resultados fueron de 725.12±26.13 y 791.7037±.85 Litros/día (8.59 y 7.55 L/ Wkg^{0.75}), para vacas suplementados con 6 kg de concentrado fibroso y animales al pastoreo.

Franz et al. (2010), en su trabajo realizado sobre la producción de metano en équidos, (*Equus ferus caballus*), a quienes se les ofreció acceso *ad libitum* de forraje, y reportaron un consumo de materia seca de 72 g/kg de peso vivo/día/animal, digestibilidad de materia seca 41 % y producción de metano 13.4 L/día, el volumen de llenado intestinal es de 1.9 % masa corporal; su estudio concluye que un rumiante produce 3,6 veces más metano que un équido de masa corporal comparable.

2.4 Nutrición y alimentación del cuy

2.4.1 Nutrición

La nutrición se define como el aporte de nutrientes necesarios para el mantenimiento, crecimiento, reproducción y producción, que depende de la edad, estado fisiológico y genotipo (Sarria, 2011).

2.4.2 Requerimientos nutricionales en cuy

Los nutrientes requeridos por los cuyes incluyen: agua, proteínas (aminoácidos), fibra, energía, ácidos grasos esenciales, minerales y vitaminas, las necesidades de esta especie dependen de la edad, estado fisiológico, genotipo y medio ambiente donde se desarrolle la crianza (Morales, 2009).

Tabla 1 . Requerimiento nutricional del cuy.

NUTRIENTE	
<i>Energía Digestible (Kcal/Kg)</i>	2.9
<i>Fibra cruda (%)</i>	12
<i>Proteína (%)</i>	19
Calcio (%)	1.0
Fosforo (%)	0.8
Sodio (%)	0.5
Vitamina C (mg/100)	20.0

Fuente: Vergara (2008).

2.4.3 Alimentación

Chalan (2010) comenta en su investigación que el aporte alimenticio debe tener cinco características básicas tales como:

- Alimento con suficiente proteína de alta calidad para mantener y formar tejido muscular.
- El alimento debe tener suficiente energía.
- Debe cubrir los requerimientos minerales para mantener la estructura corporal y los procesos fisiológicos.
- Debe contener vitaminas esenciales.
- Siempre debe tener agua.

2.4.4 Sistemas de alimentación.

La FAO (1997) mencionó que el sistema de alimentación de los cuyes se ajusta de acuerdo al suministro de alimentos; la combinación de alimentos brindados en condiciones restringidas, ya sea de pienso concentrado como del forraje, hace que el cuy sea una especie versátil en su dieta por que puede comportarse como herbívoros o verse obligados a alimentarse de productos más equilibradas.



2.4.4.1 Alimentación con forraje

Chalan (2010) y Sarria (2011) mencionaron que el sistema en base a forraje como única fuente de nutrición se verá afectado cuando éste sea escaso; la ventaja de este sistema es que la inversión en alimento es baja, pero la desventaja es que el alimento exclusivo a base de forraje no puede satisfacer los requerimientos nutricionales del cuy, siendo esta alimentación usada mayormente en la Sierra de nuestro país.

2.4.4.2 Alimentación a base de forraje más concentrado (mixta)

En este sistema mixto, los animales además del forraje se les suministra un concentrado para así poder obtener un óptimo rendimiento, el forraje ayudaría en su composición al tener fibra y vitamina C, esta última siendo muy importante para la vida del cuy; mientras que el concentrado, al ser preparado con estándares nutritivas necesarias para el cuy ayudaría a cubrir los requerimientos como, proteína, energía, minerales y vitaminas; su ventaja es el poder seleccionar la fórmula adecuada necesaria para el cuy, mientras que la desventaja conlleva a un mayor capital en inversión (Sarria, 2011).

2.4.4.3 Alimentación a base de concentrado.

Se denomina sistema integral cuando se administra dieta a base de concentrado con fibra y vitamina C más agua, para poder cubrir todos los requerimientos necesarios para el cuy; con relación a la vitamina C se debe de administrar con exactitud y en forma directa, ya sea disuelta en agua o incluida en el alimento balanceado (Sarria, 2011).

2.4.5. Alfalfa (*Medicago Sativa L.*)

Según Calsamiglia (2004), la alfalfa es un forraje con un importante valor energético, proteico y un elevado contenido en cenizas, especialmente alto contenido en calcio; por otro lado, también cabe destacar el alto contenido de lignina; esto está

relacionado con su contenido de fitoestrógenos y al riesgo de provocar meteorismo, lo que hace que la alfalfa sea un alimento utilizado con precaución.

La vida media de la alfalfa es de 5 a 7 años, dependiendo de la variedad, el clima, el suelo y otros factores, sus raíces tienen un poder de penetración más fuerte que cualquier otra hierba cultivada llegando a profundidades de 1.5 a 2.0 metros; tiene tallos herbáceos, erectos y muy ramificados con una altura de 90cm a 60 cm, sus hojas son trifoliadas, las flores son pequeñas y están ubicadas en densos racimos axilares, sus semillas son muy pequeñas, ovaladas o en forma de riñón, con diferentes formas (Cruz, 2008).

Tabla 2. *Composición química de la alfalfa (promedios del análisis de laboratorio Facultad de Química – UNSAAC)*

COMPOSICIÓN QUÍMICA	ALFALFA	
	BASE FRESCA	BASE SECA
Materia seca (MS, %)	17.86	100.00
Proteína cruda (PC, %)	3.42	19.15
Extracto etéreo (EE, %)	1.34	7.5
Fibra cruda (FC, %)	4.27	23.91
Cenizas-minerales%	0.99	5.54

Fuente Huarco (2012)

2.5 Digestibilidad

La digestibilidad mide la desaparición de los nutrientes cuando pasan por el tracto digestivo debido a la absorción, la digestibilidad de los alimentos de uso común en los cuyes es muy importante para una comprensión más precisa del valor nutricional de los alimentos y de una mejor estructuración de las diferentes raciones comúnmente empleadas (Lammers et al., 2009).



2.5.1 Tipos de digestibilidad

2.5.1.1 Digestibilidad Aparente

La digestibilidad aparente es una medida de la desaparición del alimento al pasar por el tracto digestivo; se calcula tomando en cuenta la cantidad total de excrementos (Cañas, 1998).

2.5.1.2 Digestibilidad Verdadera

Es el valor de compuestos de origen metabólico o endógeno; su concepto es puramente teórico, para determinar esta digestibilidad, se debe distinguir que los nutrientes o elementos en las heces no son la fuente directa de alimento, sino la fuente metabólica (Lammers et al., 2009).

2.5.2 Factores que influyen en la digestibilidad

2.5.2.1 Composición de la ración

Campos (2007) señaló que un fenómeno común observado en los datos de digestibilidad es que las mezclas de alimentos no siempre brindan predicción basadas en los valores de digestibilidad de los ingredientes individuales en la mezcla; esta reacción se denomina efectos asociativos o no aditivos.

2.5.2.2 Preparación del alimento

El picado de los forrajes como ocurre con la paja de cereales es una medida que tiende a evitar la selección; donde el tamaño óptimo de las partículas de una dieta permite aumentar la digestibilidad del alimento (Cañas, 1998).

2.5.2.3 Factor animal

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.

2.5.2.4 Nivel de alimentación

Cañas (1998) señalo que un aumento en el consumo de alimentos dará como resultado una tasa de paso de alimentos más rápido, y por lo tanto, la exposición a las enzimas digestivas en un periodo de tiempo más corto; conduciendo esto a una disminución en la tasa de degradación de los alimentos, lo que a su vez conduce a una disminución de la digestibilidad; por esta razón, las pruebas de digestibilidad deben realizarse en dos niveles de consumo, el primero está en el nivel más alto (*Ad libitum*) y el segundo está en el nivel más bajo (nivel de mantenimiento), para que se pueda medir el aprovechamiento real.

2.5.3 Métodos para medir la digestibilidad

2.5.3.1 Digestibilidad in vivo

Se realiza con animales vivos para cuantificar la desaparición de los alimentos y sus componentes a al pasar por el tracto digestivo; se determina midiendo la cantidad de alimento consumido y la cantidad de heces excretadas luego de que el animal se acostumbra al alimento que se está evaluando; por lo tanto, debe existir una jaula metabólica con comedero, para la separación y recolección precisa de los excrementos (Roque, 2015).

2.5.3.2 Digestibilidad in vitro

Esta es una medición realizada en un frasco de vidrio para simular el proceso de digestión; el método más utilizado es un método de digestión en dos etapas, que consiste en incubar los alimentos en líquido ruminal y saliva artificial durante 48 horas, y luego



incubación en ácido clorhídrico y pepsina durante otras 48 horas; el material que desaparece durante este proceso corresponde a la digestibilidad *in vitro* (Roque, 2015).

2.5.3.3 Digestibilidad *in situ*

La técnica *in situ*, o también llamada bolsa de nylon, permite estudiar la cinética de la pérdida de alimento en el rumen de los animales con fistula; el alimento se coloca en una bolsa de nylon cerrada y luego en el rumen del animal, se retiran las diferentes bolsas con el tiempo para medir la cantidad de material que ha desaparecido; se supone que la parte del alimento que no se recupera en la bolsa se ha degradado, por lo que se construye una curva de desaparición; este método representa un avance muy importante en el campo de la nutrición de rumiantes porque permite el estudio de la cinética de degradación (Roque, 2015).

2.5.4 Digestibilidad en cuyes

El comportamiento productivo y cuantificación de la biomasa residual disponible en cuyes alimentados a base de Rye grass (*Lolium Multiflorum*) más concentrado y alfalfa (*Medicago Sativa*) más concentrado, fue medido en cuyes machos y hembras, de 15 a 17 días de nacidos aproximadamente, reportándose una digestibilidad de la materia seca alimentados con Rye grass más concentrado alcanzó un 62.55 % mientras que para los animales alimentados con alfalfa más concentrado un 61.03% (Núñez, 2017).

Choque (2014), Con el propósito de evaluar dietas a base de gallinaza y orujo de aceituna (*Olea europaea*) en cuyes (*Cavia porcellus*) durante las etapas de crecimiento y engorde, donde previamente se determinó un plan de alimentación de 50:50 forraje y concentrado respectivamente; cuyo tratamientos fueron T1 (concentrado comercial “Cuyina” más alfalfa), T2 (concentrado con 15% Gallinaza y 20% orujo de aceituna más alfalfa), T3 (10% Gallinaza y 25% Orujo de aceituna más alfalfa), T4 (5% Gallinaza y



30% Orujo de aceituna más alfalfa), T5 (Alfalfa); se reportó digestibilidades aparentes para el T1 de 78 %, T2 de 81.37 %, T3 de 79.04 %, T4 de 82.88 % y T5 de 83.64 %.

Sihuacollo (2013), al determinar la influencia de ración balanceada en pellets sobre la performance en cuyes (*Cavia porcellus*), reportó digestibilidades de la materia seca de 70.51% para la adición de concentrado en pellets que fue superior al 67.10% del tratamiento testigo.

Salcedo (2017) al evaluar un alimento balanceado (peletizado) para cuyes, utilizando harina de alfalfa y sangre como insumos proteicos, sobre el consumo, ganancia de peso, conversión alimenticia y digestibilidad, con 4 tratamientos: alimento balanceado que contiene 36% de harina de alfalfa (T1), mezcla de alimento balanceado que contiene 18% de harina de alfalfa y 4% de harina de sangre (T2), alimento balanceado que contiene 8% de harina de sangre (T3), y una muestra testigo (T4), utilizando 32 animales experimentales para las pruebas de consumo y 16 animales para la prueba de digestibilidad; reportó que el T3 obtuvo la mayor digestibilidad con 78.9%, seguido de T2 con 74.4%, T4 con 76.6% y finalmente T1 con 76.6%.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar de estudio

El estudio se realizó en el bioterio de cuyes de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional del Altiplano- Puno, a una altitud de 3827 m, distrito y provincia de Puno; A una latitud Sur de 16° 35' 36'' y longitud Oeste 68° 34' 02'' (SENAMHI, 2017).

3.2 Material de estudios

3.2.1 Material biológico.

En el experimento se utilizó 12 cuyes machos, de 2 meses de edad, de la línea Perú, con un peso promedio de 0.655 ± 0.05 kg.

3.2. 2. Instalaciones

Durante el trabajo de investigación se utilizó el bioterio de cuyes con un área de 4 x 4 x 2.2 m, el que poseía un ambiente termoneutral. Se utilizó 12 jaulas metabólicas con un tamaño de 31 x 27 x 44 cm, con columnas metálicas; techo, piso y paredes cubiertos por malla metálica hexagonal; estas jaulas estuvieron acondicionadas con comederos, bebederos, además poseían una malla colectora de heces y desperdicios de alimento, y un embudo colector de orina, como se muestra en la figura 1:

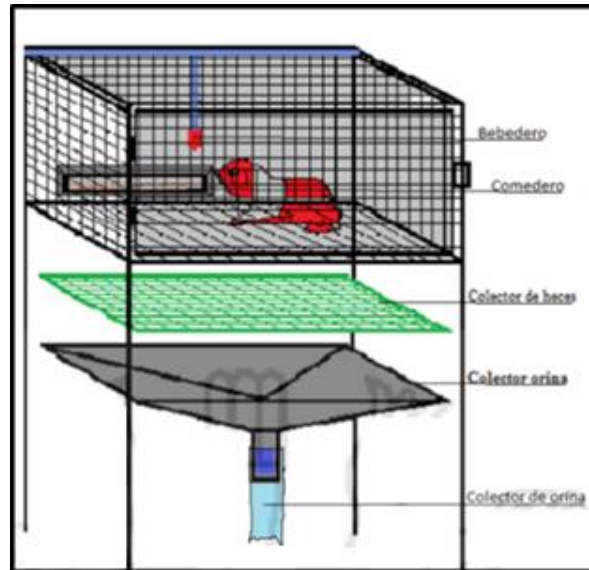


Figura 1. Diseño de la jaula metabólica para los cuyes.

3.2. 3. Cámara estática de flujo cerrado

Se utilizaron dos cámaras estáticas de flujo cerrado de gases, la base y los cuatro lados contruidos de material de vidrio de 0.6 mm, con una dimensión de 0.30 m de altura x 0.35 m de largo x 0.25 m de ancho, y con una tapa de placa prensada (CMD) de 0.22-0.23 mm de grosor, lo que permitió cerrar herméticamente la cámara (Anexo2, figura 35), a nivel de la tapa se acondicionó espacios para un termómetro digital (para controlar la temperatura de la cámara), en la base contó con un ventilador mecánico para homogenizar el aire interno de la cámara, así como para un colector (sensor) por donde es enviado el aire contaminado de la cámara a intervalos frecuentes, hacia un analizador de gases (equipo Gasmeter DX-4030) para medir la concentración de metano.

3.2.4 Elaboración del concentrado

Para la preparación de concentrado se utilizaron insumos como el maíz amarillo, subproducto de trigo, heno de alfalfa, heno de avena, torta de soya, aceite vegetal, pre



mezcla vitaminas y minerales, carbonato de calcio y sal común, que se muestra en la

Tabla 3:

Tabla 3. Dieta experimental

Ingredientes	%
Maíz amarillo	28.10
Subproducto de trigo	25.60
Heno de alfalfa	12.47
Heno de avena	8.10
Torta de soya	23.10
Aceite vegetal	1.30
Premezcla Vit y Min.	0.75
Carbonato de Ca	0.21
Sal común	0.37
Total	100.00
Valor nutricional	
ED (Mcal/kg)	2.9
Proteína (%)	18.0
Fibra cruda (%)	14.8

3.2.5 Materiales de trabajo

- Bolsas de polietileno (5 x 10 cm)
- Balde de 18 L de material plástico.
- Amonio cuaternario al 20 % (2.5 mL/L de agua)
- Cresol (1 mL/L de agua)
- Jeringas de 5 mL
- Llave de 3 vías con extensión
- Tapas de goma de frascos pequeños
- Probeta graduada de 50 mL
- Aplicador de silicona
- Silicona para vidrio
- Sacos de tipo rafia



- Gasolina de 90 octanos
- Papel kraft
- Termómetro de ambiente
- Cinta métrica para medir el perímetro torácico y largo del cuerpo

3.2.6 Equipos

- 12 Jaulas metabólicas previstos de comederos y bebederos
- 1 Analizador de gases (Gasmeter DX-4030)
- 1 Tanque de nitrógeno UHT (99.999 N)
- 2 Cámaras estática de flujo cerrado
- 1 Cronómetro
- 1 Cámara fotográfica digital (Marca Sony modelo 24 mpx)
- 1 Estabilizador
- 1 Calefactor
- 1 Estufa (Marca Ferton)
- Balanza digital con capacidad de 5/0.01 kg
- Balanza digital con capacidad de 4100 g (Marca sartorius)
- 1 Balanza digital con capacidad de 5/0.01 kg (Marca AQU USA)

3.2.7 Materiales de laboratorio

- Pinza de crisoles
- Campana de desecación
- Mandil blanco
- Balanza analítica de alta precisión de 210 g (Marca BOECO Germany)



3.3 Metodología

3.3.1 Duración y protocolos de bioseguridad.

El estudio fue realizado en el mes de febrero del año 2020, con una duración de 15 días. (7 días de acostumbramiento y 8 días de experimentación). Para el protocolo de bioseguridad se utilizó un pediluvio con cal viva en la entrada, con restricción de ingreso de personas ajenas; las jaulas se limpian todos los días; la desinfección se realizó en forma semanal utilizando amonio cuaternario al 20 % (2.5 mL/L de agua), y creso (1 mL/L).

3.3.2 Etapa preexperimental

3.3.2.1 Manejo preexperimental de los animales

En esta etapa se realizó la selección de cuyes machos aparentemente sanos, de 2 meses de edad; los cuales fueron pesados, registrándose además medidas como el perímetro torácico y largo del cuerpo, datos necesarios para determinar el volumen corporal de los animales y posteriormente determinar la producción de metano; luego se distribuyeron en jaulas metabólicas individuales, esta etapa preexperimental tuvo una duración de 7 días.

El alimento se suministró en forma fraccionada en dos: una por la mañana (7:00 a.m.) y otra por la tarde (4:00 p.m.); en una proporción de 80 g/d de concentrado y de 65 g/d de alfalfa (*Medicago sativa*) fresca en un estado fenológico tierno (en botón de floración), la cual fue comprada diariamente verificando que posea el estado fenología anteriormente mencionado; además se ofreció agua *ad-libitum* durante todo el periodo del experimento. También se les acostumbro al recojo diario de heces y de orina.

En esta etapa preexperimental, se adaptó a los cuyes y se midió el tiempo de permanencia en la cámara estática de flujo cerrado, determinándose un tiempo máximo de 10 minutos, porque luego de este tiempo el animal mostró signos de inquietud y nerviosismo, además después de 10 minutos no existió variación en las lecturas de la medición de la producción de metano en el Gasmeter DX-4030.

3.3.3 Etapa experimental

3.3.3.1 Determinación de la producción de metano entérico.

La producción de metano en cuyes se determinó por el método de medición directo de corto plazo, medido en una cámara estática de flujo cerrado, utilizando técnica de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier, con un analizador portátil de gases Gasmeter DX-4030, (Anexo 2, figura 32) las mediciones se realizaron a las 11 a.m. durante 8 días; en los cuales los animales permanecieron en la cámara de acumulación de gases durante 10 minutos; los resultados arrojados por el PDA estaban expresados en ppmv (partes por millón en volumen);. Luego 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 relativa 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).

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

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 ($^\circ\text{K} = 273.15 + ^\circ\text{T}$).

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)



Figura 2. Medición corporal del cuy para V_a .

La determinación de la circunferencia (El radio) del animal se dedujo 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) (Figura 2), luego convertido en metros cúbicos (m^3).

El volumen de la cámara de acumulación de gases, fue 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)

Fue determinada por la siguiente ecuación:

$$\text{mg, CH}_4 / \text{VFC} = \text{mg/m}^3, \text{CH}_4 \times (V_c - V_a)$$

Donde:

$\text{mg, CH}_4 / \text{VFC}$ = Miligramos de metano entérico por volumen final de la cámara

$\text{mg/m}^3, \text{CH}_4$ = Miligramos de metano 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 (CH_4) en gramos/día (g/d) se empleó la siguiente fórmula:

$$\text{g/d, CH}_4 = ((\text{mg, CH}_4 / \text{VFC}) \times 6 \times 24) / 1000$$

Donde:

g/d, CH_4 = Producción de metano entérico gramos por día

$\text{mg, CH}_4 / \text{VFC}$ = Miligramos de metano entérico por volumen final de la cámara.

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

Producción de metano que está directamente proporcional al consumo de materia seca, para lo cual se utilizará la siguiente fórmula:

$$\text{CH}_4, \text{ g/CMS, g} = (\text{CH}_4 \text{ g/d}) / (\text{CMS, g/d})$$



Donde:

CH_4 , g/CMS, g = Producción de metano entérico en consumo de materia seca

CH_4 , g/d = Producción de metano entérico gramos/día

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

f) Determinación de la producción de metano en moles por día

Para calcular la emisión total de metano en moles/día (mol/d), se consideró el peso molecular del $\text{CH}_4 = 16.04246$ g/mol (EPA, 2015), empleándose la siguiente ecuación.

$$\text{mol/d, CH}_4 = (\text{g/d, CH}_4) / 16.04246$$

Donde:

mol/d, CH_4 = Producción de metano entérico de moles por día

g/d, CH_4 = Producción de metano entérico de gramos por día

M. = Peso Molecular de Metano 16.04246 g/mol

g) Determinación de la producción de metano por kilo caloría

Para determinar el kilo caloría/día de metano entérico producido, se empleó la siguiente ecuación:

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

Donde:

Kcal/d = Kilo caloría/día de metano entérico que produce

mol/d = Producción de metano entérico de moles por día

Kcal/mol = valor calórico del metano

h) Determinación de la producción de metano en litros por día

De manera que el volumen total de la producción de metano en litros/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 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 ello se empleó la siguiente fórmula:

$$L/W^{0.75} = (L/d, CH_4) / (Wkg^{0.75})$$

Donde:

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

Wkg^{0.75} = Peso Metabólico

L/d, CH₄ = Producción de metano entérico litros/día

3.3.4 Determinación de la digestibilidad aparente

El periodo de colección tuvo una duración de 8 días, durante el cual 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 de los alimentos, luego fueron colocados en bolsas debidamente identificados con claves y fechas de colección, debidamente pesadas. El contenido de materia seca de las muestras de heces se determinó en estufa de convección, a 60°C, hasta peso constante por un periodo de 72 horas. La determinación de materia seca del alimento, alimento rechazado y heces, se realizó en el laboratorio de Nutrición y alimentación animal de la Facultad de



Medicina Veterinaria y Zootecnia. 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.

3.3.5 Análisis estadístico

Los datos fueron procesados mediante el análisis descriptivo, determinándose promedio y desviación estándar respectivamente, para los diferentes parámetros y variables de estudio (Sancho & Bota, 1999).

3.3.5.1 Promedio

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

Donde:

Media(X) = Promedio de las variables

X₁ = Variables

N = Número total de animales

3.3.5.1 Desviación Estándar

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

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 4 muestra la producción de gas metano entérico en cuyes alimentados con alfalfa fresca más concentrado, cuyo valor encontrado fue de 0.79 ± 0.18 Litros/día, ($1.09 \pm 0.25 \text{ CH}_4, \text{ L/Wkg}^{0.75}$).

Tabla 4. *Producción de metano entérico en cuyes bajo una alimentación mixta (alfalfa y concentrado) en altura*

Variables de medición	Datos
PV, kg	0.655 ± 0.05
Wkg ^{0.75}	0.73 ± 0.05
CMS, g/d	57.00 ± 6.15
CH ₄ , ppmv/10min.	132.7 ± 29.77
mg/ m ³ /Cám.	2.25 ± 0.51
CH ₄ , g / d	0.32 ± 0.07
CH ₄ , g /Wkg ^{0.75}	0.45 ± 0.10
CH ₄ , g /CMS, g	0.006 ± 0.002
CH ₄ , mol / d	0.02 ± 0.00
CH ₄ , kcal / d	4.30 ± 0.97
CH ₄ , L/d	0.79 ± 0.18
CH ₄ , L/Wkg ^{0.75}	1.09 ± 0.25

PV: Peso vivo; WKg^{0.75}: Peso metabólico; CH₄: Metano; CMS: Consumo de materia seca; eq CO₂: Equivalente a dióxido de carbono; GPV: Ganancia de peso vivo.



En contraste con Romero (2021) quien reportó una producción de CH₄ de 0.57 Litros/día en cuyes de un mes de edad (0.513 kg peso vivo), alimentados solo con forraje (alfalfa fresca y heno de avena); así mismo con lo reportado por Franz *et al.* (2011) de 0.22 Litros/día 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 los nuestros (0.79 ± 0.18 CH₄ Litros/día); entre los factores que pudieran estar influenciando se tiene el método de medición de metano, nivel de digestibilidad y el tipo de alimentación, además que el aumento de la proporción de concentrado en relación al forraje, supone también un descenso considerable de la concentración de H y de microorganismos metanogénicos (Van Soest, 1982); así como también lo indicado por la IPCC (2006) y Ramirez et al (2015) quienes mencionan que la producción de metano está relacionado con el desarrollo del tracto digestivo, la edad y el peso del animal; y quizá el principal factor que estaría influenciando sería la cantidad de alimento consumido corroborado por Jonker et al. (2017) y Alvarado (2018) que señalaron que la producción de este gas está relacionada principalmente con la cantidad de alimentos consumidos.

En comparación con otros roedores fermentadores posgástricos, como el conejo, en el que Franz *et al.* (2011) reportó una producción de metano entérico de 0.20 L/d (0.13 L/ Wkg^{0.75}), y Belenguer *et al.* (2008) reportaron 0.002 L/d de metano entérico (0.0034 L/ Wkg^{0.75}); versus lo reportado en la presente investigación de 0.79 Litros/día (1.09 ± 0.25 L/ Wkg^{0.75}) observándose que este resultado es mayor; estas diferencias están relacionadas con los tipos de animales y las características de la dieta proporcionada (Ramirez et al., 2015; IPCC, 2006; Jonker et al., 2017), debido a que las diferencias individuales 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 en la fisiología digestiva del cuy posee una mayor



fermentación microbiana, lo que podría explicar la mayor producción de metano por peso metabólico (Franz et al., 2010). En contraste con las maras (*Dolichotis patagonum*) quienes producen metano entérico en una cantidad de 3.85 Litros/día ($0.50 \text{ L/ Wkg}^{0.75}$) reportado por Clauss *et al.* (2019), muestra también ser diferente a pesar de que ambos son roedores; esto se debería también a la especie animal, la cantidad de alimento consumido, al tamaño corporal g/d (Ramirez et al., 2015; IPCC, 2006; Jonker et al., 2017) y quizá esté ocurriendo lo mismo que en conejos que es menor la fermentación microbiana (Franz et al., 2010).

Por otro lado, la producción de metano entérico en cuyes reportado de $1.09 \pm 0.25 \text{ L/ Wkg}^{0.75}$, muestra ser menor que en los rumiantes, como en vacas lechera reportado por Vilca (2015) que en su investigación del efecto del concentrado fibroso sobre las emisiones de metano entérico obtuvo 8.59 y 7.55 $\text{CH}_4 \text{ L/Wkg}^{0.75}$; esto puede deberse a que un aumento sistemático en la producción de metano depende de la retención de ingesta en rumiantes, la que es más prolongada que en cuyes, por lo tanto el grupo de microbiota de las *Archaeas* tienen más tiempo para producir metano (Vendí *et al.*, 2016; Franz *et al.*, 2010), además que en los cuyes se encuentran concentraciones más bajas de estas *Archaeas metanógenas* a nivel del intestino posterior (Morvan *et al.*, 1996); la alta producción de metano en vacunos pudiera estar relacionada también con la cantidad de alimento ingerido (Alvarado, 2018).

En contraste con camélidos sudamericanos como la alpaca y llama, existe diferencia con lo reportado en la presente investigación de $1.09 \pm 0.25 \text{ L/ Wkg}^{0.75}$; siendo ligeramente superior la emisión de metano entérico para diferentes tamaños de partícula (12 y 24 mm) que en alpacas fue de 1.42 y 1.68 $\text{L/Wkg}^{0.75}$ y en llamas valores de 1.77 y 1.82 $\text{L/Wkg}^{0.75}$ (Ramírez, 2018), esta diferencia puede deberse a la explicación anterior en



rumiantes, es decir a que un aumento sistemático en la producción de metano depende de la retención de ingesta en rumiantes (Vendí *et al.*, 2016; Franz *et al.*, 2010; Ramírez (2018) menciona que los animales pueden reducir la producción de metano al ingerir alimento forrajero picado y peletizado, lo que puede aplicarse también a cuyes que tiene relación con una mejor digestibilidad y por ende pueden disminuir la producción de metano , corroborado por Fernández *et al.* (2007).

Con los datos detallados anteriormente, se demuestra que 100 cuyes de 0.500 kg de peso vivo pueden llegar a producir metano similar que un rumiante de 100 kg, o un caballo de 400 kg (Franz *et al.*, 2010), lo cual implicaría que, con el actual crecimiento en la producción de cuyes, aumentará la producción de metano entérico, repercutiendo ello sobre el efecto invernadero.

4.2 Digestibilidad aparente de materia seca

La digestibilidad aparente de materia seca de alimento mixto (alfalfa y concentrado) fue de 73.46 ± 6.75 % (Tabla 5) en cuyes de dos meses de edad; encontrándose este resultado dentro del rango de parámetros de digestibilidad normal para este tipo de alimentación, indicado por Vergara (2008) quien reporta valores entre 70 a 75 %.

Tabla 5. Digestibilidad aparente de materia seca de alimento mixto en cuyes alimentados en base (concentrado y alfalfa) en altura

Variables de medición	Datos
EMS, g/d	12.07 ± 2.55
MSD, g/d	45.47 ± 4.74
DMS, %	73.46 ± 6.75

EMS: Excreción de materia seca; MSD: Materia seca digestible;
DMS: digestibilidad de materia seca.

Esta digestibilidad está relacionada con la producción de metano entérico, así como lo menciona Franz et al. (2010), en su trabajo realizado sobre la producción de metano en équidos, (*Equus ferus caballus*), donde concluye que la producción de metano de un rumiante es 3.6 veces más que un équido de masa corporal comparable; esto pudiera estar influenciado por la digestibilidad de los alimentos. Así mismo dentro de las principales estrategias de mitigación de metano está la manipulación de la dieta, manipulación del microbioma ruminal y el uso de selección animal (Pinares et al., 2003) y dentro de la primera estrategia se tiene el procesamiento de los alimentos para mejorar la digestibilidad y así disminuir la emisión de este gas (Ramirez, 2018); incluso el tipo de concentrado incluido en la dieta (diferente proporción de endospermo harinoso o córneo) produce modificaciones en la producción de metano (Beauchemin & McGinn; 2005); por lo que es necesario recordar que alimentos groseros y fibrosos producen mayor metano entérico (Pinares et al., 2003).



Por otro lado la digestibilidad aparente de materia seca obtenida 73.46 % es diferente a los resultados encontrados por diferentes autores, como es el caso de Choque (2014) quien reporto una digestibilidad de 78.00 %, y Núñez (2017) también reporto digestibilidad de la materia seca de 61.03%, en cuyes de 15 a 17 días de nacidos; esta diferencia puede estar relacionada con la edad de los animales, corroborado por Campos (2007), quien mencionó que los animales jóvenes tienen una digestión deficiente, debido a la 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).

Trabajos realizados en digestibilidad con cuyes alimentados a base de forrajes, como el de Romero (2021), quien reporto una digestibilidad de 61.05 % en cuyes alimentados con heno de avena y alfalfa fresca, de igual manera Franz *et al.* (2011) quienes obtuvieron una DMS de 61%; estos valores son inferiores al presente trabajo; esto posiblemente se deba a la edad y al estado fenológico del forraje, ya que está comprobado que a medida que aumenta la edad del forraje disminuye su contenido de proteína, azúcares y se eleva la fibra (principalmente lignina), lo que lleva a una disminución gradual de la digestibilidad (Shimada, 2017), así como también estuviese afectando la edad de los animales con respecto a la digestibilidad (Campos, 2007).

Otro trabajo reportado por Sihuacollo (2013) en cuyes alimentados con una ración balanceada en pellets, quien obtuvo una digestibilidad de 70.51%, de igual manera Salcedo (2017) quien utilizo alimentos balanceados tipo concentrado (peletizado), alimento balanceado con harina de alfalfa, alimento balanceado mezcla de harina de alfalfa y harina de sangre, alimento balanceado con harina de sangre y obtuvo digestibilidades de 76.6 %, 74.4 %, 78.9 % respectivamente; estos resultados son diferentes a lo reportado en el presente trabajo de investigación que fue de (73.46 %),



estas diferencias se deberían a la preparación del alimento; es decir el picado de los forrajes como ocurre con la paja de cereales es una medida que tiende a evitar la selección; donde el tamaño óptimo de las partículas de una dieta permite aumentar la digestibilidad del alimento (Cañas, 1998).



V. CONCLUSIONES

- La producción de metano entérico en cuyes fue de 0.79 L/d (0.93 L/Wkg^{0.75}) bajo una alimentación mixta (alfalfa y concentrado).
- La digestibilidad aparente de la materia seca en cuyes alimentados con alfalfa y concentrado fue de 73.46%.



VI. RECOMENDACIONES

- Realizar trabajos de mitigación de producción de metano en cuyes, con la utilización de saponinas, aceites, entre otros.
- Medir la producción de metano bajo otras condiciones (otros insumos en la preparación del alimento concentrado, otros forrajes).



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aliaga L, Moncayo R, Rico E. y Caycedo A. (2009). *Producción de cuyes*. Fondo Editorial de la Universidad Católica Sedes Sapientiae. Lima-Perú.
- Alvarado Bolovich, V. (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.
- Beauchemin, K.A. and McGinn, S.M. (2005). *Emisión de metano del Ganado alimentado con cebada o maíz. J. Anim. Sci., 83: 653-661.*
- Belenguer, A., Fondevilla, M., Balcells, J., Abecia, L., Lachica, M., & Carro, M. (2008). Estudios in vivo e in vitro sobre el modo de fermentación del ciego del conejo y la metanogénesis. *Process World Bunny Congress* págs. 535 - 539.
- 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.
- 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.
- Cañas, R. (1998). *Alimentación y Nutrición Animal*. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.
- Calsamiglia A, Ferret A, Bach. (2004) Tablas FEDNA de valor nutritivo de Forrajes y Subproductos fibrosos húmedos. *Fundación para el Desarrollo de la Nutrición Animal*. Madrid. (Consultado en diciembre del 2015) disponible en línea. (<http://www.fundacionfedna.org/tablas-fedna-composicion-alimentos-valor-nutritivo>).
- Chalan M. (2010). *Conocimientos básicos para la crianza adecuada del cuy*. Revista. Pág. 221-323.
- 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.
- 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.
- Cruz N. (2008). “*Digestibilidad in vitro y valor nutritivo de tres variedades de alfalfa (Medicago sativa) en hidroponía*” Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México.
- ENA. (2017). Producción de cuyes. (*Oficina de Comunicaciones e Imagen Institucional*). Ministerio de Agricultura y Riego, Lima Perú.
- 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.
- FAO. (1997). Producción de cuyes (*Cavia porcellus*). (*Produccion y Sanidad Animal*). Instituto Nacional de Investigación Agraria, Molina, Perú.
- Fernández, M., García, M., & Gómez, 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. R., Kreuzer, M., Steuer, P., Hummel, J., & Clauss, M. (2010). *Producción de metano relacionada con el peso corporal de rumiantes y caballos. Facultad Vetsuisse.* Universidad de Zurich, Suiza.
- Franz, R., Soliva, C., Kreuzer, M., Humme, J., & Clauss, M. (2011). *Salida de metano de conejos (Oryctolagus cuniculus) y cuyes (Cavia porcellus) alimentados con una dieta de solo heno: implicaciones para el aumento de la producción de metano con masa corporal en herbívoros mamíferos no rumiantes* (Vol. 158). Suiza: Elsevier. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2010.10.019>
- GasmetMR. (2012). *Gasmet DX-4030 Manual del usuario Analizador de gas de campo FTIR. Descripción de serie y manual de funcionamiento versión E1.* 18 (5.12.2012).
- 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.
- Hook, S. E., A. D. G. Wright, and B. W. McBride. (2010). Methanogens: *Methane producers of the rumen and mitigation strategies.* Archaea. 2010:1-11.
<http://www.minagri.gob.pe/portal/especial-iv-cenagro/40-sector-agrario/situacion-de->



- Huarco, D. (2012). Determinación de la digestibilidad aparente de la semilla despigmentada de achiote (*Bixa orellana*). En el cuy (*Cavia porcellus* L.). (*Tesis de Ingeniería Zootecnista*). UNSAAC, Cusco, 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/>
- Johnson, K., Westberg, H., Lamb, B., & Kincaid, R. (2002). *The use of sulphur hexafluoride for measuring methane emissions from farm animals*. In Proc. 1st international conference on greenhouse gases and animal agriculture Obihiro, Hokkaido, Japón, pp. 72-81.
- Jonker, A., Molano, G., Koolgaard, J., Muetzel, S. (2017). *Emisiones de metano de vacas lecheras lactantes y no lactantes y ganado en crecimiento alimentado con pastos frescos*. Ciencias de la producción animal, 2017, 57, 643–648.
- Kamra D.N., Agarwal n. y Chaudhary L.C. (2010) *Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: a review*. Livestock. Science 130, 47–56.
- Khalil, M.A.K. (2000). *Atmospheric methane: An introduction*. In: M.A.K. Khalil (Ed.). Atmospheric methane, its role in the global environment. Springer-Verlag. Berlín. pp. 1-8.
- Kirschke, S., Bousquet, P., Ciais, P., & Zeng, G. (2013). Three decades of global methane sources and sinks. *7^o Framework Program of the European Commission*. UK National NERC Center.
- Lammers, P. J., S. L., Carlson, G. A. Zdorkowski, and M. S. Honeyman. (2009). *Reducing food insecurity in developing countries through meat production: the potential of guinea pig (Cavia porcellus)*. Renewable Agriculture and Food Systems.24:155-162pp.
- Lassen, J., Lovendahl, P., & Madsen, J. (2012). Accuracy of noninvasive breath methane measurements using Fourier transform infrared methods on individual cows. *J.Dairy Sci.*, 95:890-898.
- Lopez, R. (2019) *Identificación de microorganismos asociados a la mejora de digestión y absorción de nutrientes con impacto en el peso y salud de cuyes mediante la metagenómica*. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza - UNTRM Obtenido de <http://repositorio.unrtm.edu.pe/handle/UNTRM/1909>
- Madigan, M., Martinko, J., Bender, K., Buckley, D., & Stahl, D. (2015). Brock: Biología de los Microorganismos. 14^a ed. Pearson, España, Madrid. Madsen, J., Bjerg, B.,



- Hvelplund, T., Weisbjerg, M., & Lund, P. (2010). Methane and carbon dioxide ratio in excreted air for quantification of methane production in ruminants. *Livestock science* 129:223-227.
- Morales, A. (2009). Evaluación de dos niveles de energía en el comportamiento productivo de cuyes de la raza Perú. (*Tesis. Médico Veterinario*). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú. 58 p.
- Morvan, B., Bonnemoy, F., Fonty, G., & Gouet, P. (1996). *Quantitative determination of H₂-utilizing acetogenic and sulfate-reducing bacteria and methanogenic archaea from digestive tract of different mammals*. *Curr. Microbiol.*, 32: 129–133.
- Myhre, G., et al. In: Climate Change (2013). *The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. [3] Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Nunoura, T., Takaki, Y., Kakuta, J., Nishi, S., Sugahara, J., & Kazama, H. (2011). *El genoma de las nuevas arqueas revela conocimientos sobre la evolución de las arqueas y los sistemas de modificación de proteínas eucariotas*. Investigación de ácidos nucleicos. *Apr*; 39(8):3204-23. doi: 10.1093/nar/gkq1228, Europa PubMed Central.
- 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.
- Paputungan, U., Hakim, 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.
- Pedreira, M., Dos Santos, O., Primavesi, M., Aparecida, R., Frighetto, & oliveira. (2009). *ruminal methane emission by dairy cattle in southeast Brazil*. *Scientia Agricola, Brazil*. 66: 742-50.
- Pinares C.S, Baumont R, Martin C. (2003). *Methane emissions by Charolais cows grazing a monospecific pasture of timothy at four stages of maturity*. *Can J Anim Sci* 83:769-777. doi: 10.4141/A03-034
- 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 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.
- Romero, J.; R. (2021). Determinación de metano en cuyes (*Cavia porcellus*) bajo una alimentación con forraje (alfalfa y avena) en altura. (*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.
- Salcedo, W; A. (2017). “Evaluación de harina de sangre bovina y harina de alfalfa (medicago sativa) como fuentes de proteína en el alimento balanceado para cuyes (*cavia porcellus*).” (*Facultad de Ciencias Agrarias*). Universidad Nacional del Altiplano Puno-Perú.
- 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.
- SENAMHI, (2017). Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.
- Shimada, M. (2017). *Nutricion Animal*. D.F. México: Trillas.
- Sihuacollo, E.; F. (2013). Influencia de ración balanceada en pellets sobre la ganancia de peso vivo en cuyes (*cavia porcellus* l.). (*Facultad de Ciencias Agrarias*). Universidad Nacional del Altiplano Puno-Perú.
- Thauer, R.K., A.K. Kaster., H. Seedorf., W. Buckel., and R. Hedderich, R. (2008). *Methanogenic archaea: ecologically relevant differences in energy conservation*. *Nature Reviews in Microbiology*. 6: 579-91.
- Van Soest, P.J. (1982). Nutritional ecology of the ruminant: ruminant metabolism, nutritional strategies, the cellulolytic fermentation and the chemistry of forages and plant fibers. (*O And B Books, Corvallis, Oregon*).
- 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,
- Vilca, 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.



ANEXOS

Anexo 1. Determinación de la producción de metano en cuyes alimentados con alimentación mixta (alfalfa y concentrado) en altura

Tabla 6. Producción de metano en cuyes reportado en la cámara estática

VARIABLE	Cuyes alimentados con alfalfa y 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	0.709	0.740	0.568	0.584	0.682	0.700	0.643	0.705	0.673	0.619	0.599	0.644	0.655
GPV, g/d	15.60	16.27	6.13	11.00	14.40	14.20	10.73	11.40	16.07	16.80	8.73	9.53	12.57
Wkg ^{0.75}	0.77	0.79	0.65	0.67	0.75	0.76	0.72	0.77	0.74	0.70	0.68	0.72	0.73
CMS, g/d	57.00	62.00	46.00	60.00	65.00	58.00	52.00	62.00	56.00	61.00	48.00	51.00	57.00
CMS/Wkg ^{0.75}	74.00	78.00	70.00	91.00	86.00	76.00	72.00	81.00	76.00	89.00	70.00	71.00	78.00
ppm/10min	146.0	125.2	159.9	103.1	120.9	192.5	87.0	120.7	111.7	113.4	150.6	161.3	132.7
mg/ m ³ /Cám.	2.48	2.13	2.71	1.76	2.06	3.27	1.47	2.05	1.89	1.92	2.56	2.75	2.25
CH ₄ , g/d	0.36	0.31	0.39	0.25	0.30	0.47	0.21	0.30	0.27	0.28	0.37	0.40	0.32
CH ₄ , g/Wkg ^{0.75}	0.46	0.38	0.60	0.38	0.40	0.62	0.30	0.38	0.37	0.40	0.54	0.55	0.45
CH ₄ , g/CMS, g	0.006	0.005	0.009	0.004	0.005	0.008	0.004	0.005	0.005	0.005	0.008	0.008	0.006
CH ₄ , mol/d	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02
CH ₄ , Kcal/d	4.74	4.07	5.18	3.36	3.94	6.24	2.81	3.91	3.62	3.67	4.89	5.25	4.30
CH ₄ , g/GPV, g	0.02	0.02	0.06	0.02	0.02	0.03	0.01	0.08	0.02	0.02	0.04	0.04	0.03
CH ₄ , L/d	0.86	0.74	0.95	0.62	0.72	1.14	0.52	0.72	0.66	0.67	0.90	0.96	0.79
CH ₄ , L/ CMS, g	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01
CH ₄ , L/Wkg ^{0.75}	1.12	0.93	1.45	0.92	0.96	1.50	0.72	0.93	0.90	0.97	1.32	1.34	1.09
CH ₄ , eqCO ₂	8.93	7.66	9.76	6.34	7.42	11.75	5.30	7.38	6.81	6.91	9.21	9.89	8.11

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 en base a concentrado y alfalfa en altura

Alimentos ofrecido (Alfalfa + concentrado)										Consumo de Alimento en base seca			
Alfalfa MFO	MS %	Alfalfa MSO	Concentrado MFO	MS %	Concentrado MSO	TFMSO	ARF	MS %	ARMS	CMS	PV	CMS	CMS/W ^{0.75}
g		g	g	%	G	g	g	%	g	g/d	kg	%	g/kg
Promedio	65	16	80	94.6	75,7	85.9	32.14	91.23	29.31	57.53	0.655	8.80	79.14
D.S.	0.68		2.42	1.52	1.22		6.73	2.56	6.15	5.16	0.06	0.90	7.18
CV, %	4.25		23.65	1.61	1.61		20.94	2.81	20.98	8.97	8.37	10.21	9.08

MFO: Materia fresca ofrecida; ARF: Alimento rechazado fresco; MS: Materia seca; ARMS: Alimento rechazado en materia seca; CMS: Consumo de materia seca; CMS W^{0.75}: Consumo de materia seca por peso metabólico; TFMSO: Total forraje materia seca ofrecida



Tabla 8. Digestibilidad aparente en cuyes alimentados en base concentrado y alfalfa en altura

N°	Determinación de la Digestibilidad aparente				
	Heces excretada (Alfalfa + Concentrado)				Digestión
	HF	MS	EMS	MSD	DMS
	g/d	%	g/d	g/d	%
Cuy 1	23.4	71.2	16.6	40.5	59.0
Cuy 2	17.6	71.2	12.6	49.7	75.6
Cuy 3	13.0	71.2	9.3	47.9	80.6
Cuy 4	16.3	71.2	11.6	48.9	76.3
Cuy 5	20.3	71.2	14.4	50.3	72.4
Cuy 6	14.9	71.2	10.6	47.7	77.8
Cuy 7	18.3	71.2	13	38.7	67.4
Cuy 8	20.6	71.2	14.7	47.6	69.1
Cuy 9	17.5	71.2	12.5	43.7	72.4
Cuy 10	13.6	71.2	9.7	51.4	81.1
Cuy 11	10.4	71.2	7.4	40.2	81.6
Cuy 12	17.4	71.2	12.4	39	68.2
Suma	203.3	854.40	144.80	545.60	881.5
Promedio	16.94	71.20	12.07	45.47	73.46
D.S.	3.61	0.00	2.55	4.74	6.75
CV, %	21.28	0.00	21.17	10.42	9.19

HF: Heces frescas; EMS: Excreción de materia seca; MS: Materia seca; MSD: Materia seca digestible; DMS: Digestibilidad aparente de materia seca.

Tabla 9. Pesos de cuyes alimentados con alfalfa y concentrado en altura

N°	PI		PF		P \bar{x} , G		GPV	
	g	G	G	g	g	g	g	g/d
Cuy 1	579	813	813	709	234		15.60	
Cuy 2	600	844	844	740	244		16.27	
Cuy 3	531	623	623	568	92		6.13	
Cuy 4	492	657	657	584	165		11.00	
Cuy 5	569	785	785	682	216		14.40	
Cuy 6	584	797	797	700	213		14.20	
Cuy 7	563	724	724	643	161		10.73	
Cuy 8	613	784	784	705	171		11.40	
Cuy 9	539	780	780	673	241		16.07	
Cuy 10	479	731	731	619	252		16.80	
Cuy 11	544	675	675	599	131		8.73	
Cuy 12	555	698	698	644	143		9.53	
Suma	6.648	8.911	8.911	7.865	2.263		150.87	
Promedio	554	743	743	655	189		12.57	
Desv. Est.	40.17	68.61	68.61	55	52		3.46	
CV, %	7.25	9.24	9.24	8.37	28		27.51	

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



Tabla 10. *Volumen corporal de cuyes alimentados con alfalfa y concentrado en altura*

N°	Peso	LC	PT	Radio	Volumen corporal	
	(g)	Cm	cm	cm	cm ³	(m ³)
Cuy 1	709	21.5	20.5	3.26	719.01	0.0007190
Cuy 2	740	20.25	20.75	3.30	693.83	0.0006938
Cuy 3	568	19.5	17.5	2.79	475.23	0.0004752
Cuy 4	584	19.25	18.5	2.94	524.28	0.0005243
Cuy 5	582	20.5	19.5	3.10	620.32	0.0006203
Cuy 6	700	21.75	20	3.18	692.32	0.0006923
Cuy 7	643	21.5	18	2.87	554.34	0.0005543
Cuy 8	705	21	19	3.02	603.28	0.0006033
Cuy 9	673	21	19.25	3.06	619.26	0.0006193
Cuy 10	619	20.25	18	2.87	522.11	0.0005221
Cuy 11	599	20	16.5	2.63	433.30	0.0004333
Cuy 12	644	20.25	18.75	2.98	566.52	0.0005665
Promedio	655	20.56	18.85	3.00	585.31	0.0005853
Desv. Est.	55	0.76	1.20	0.19	85.66	8.56648
C.V., %	8.37	3.72	6.35	6.35	14.64	14.64

LC: Largo corporal; PT: Perímetro torácico; cm³: Centímetro cúbico; m³: Metros cúbicos

Anexo 2. Fotografías de todo el plan piloto del experimento



Figura 4. Adquisición de heno de avena y alfalfa



Figura 3. Pesado de los subproductos



Figura 6. Ingredientes para la elaboración del concentrado



Figura 5. Adición de aceite vegetal



Figura 8. Adición de suplementos minerales



Figura 7. mesclado de suplementos minerales



Figura 9. Mesclado de la dieta experimental



Figura 10. Embolsado de la dieta experimental



Figura 12. Medición del largo corporal en cuyes



Figura 11. Medición del perímetro torácico en cuyes



Figura 14. Recojo de las heces



Figura 13. Pesos de las heces



Figura 16. Medición de la orina



Figura 15. Pesado de los residuos



Figura 18. Rotulado de las muestras



Figura 17. Pesado de muestras para el análisis químico



Figura 19. Secado de muestras para determinar la MS.



Figura 20. Visualización de los materiales secos sacados de la estufa



Figura 22. Oreo y picado de la alfalfa fresco



Figura 21. Pesado de la alfalfa



Figura 24. Pesado del alimento concentrado



Figura 23. Suministro de agua a los cuyes



Figura 26. Suministro de alimento a los cuyes



Figura 25. Control del peso de los cuyes



Figura 28. Apertura de la llave de la válvula del tanque de Nitrógeno UHT (99.999 N)



Figura 27. Abrir la perilla reguladora, fijándose que el manómetro ejerza una presión en cilindro de 5L



Figura 30. Colocación de la manguera poliuretano para calibrar

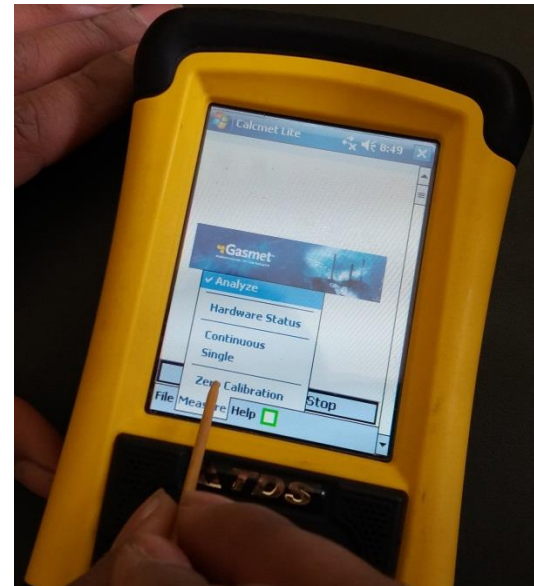


Figura 29. Visualización de calibración

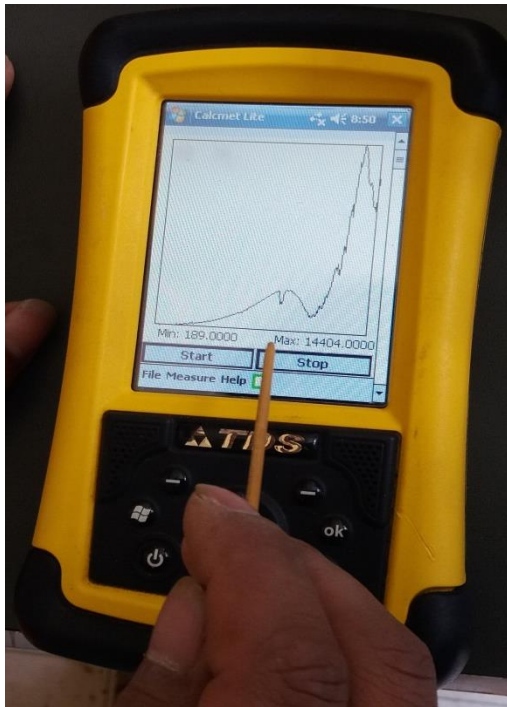


Figura 32. Visualización de los datos de calibración PDA



Figura 31. Visualización del equipo Gaset DX-403 y colocación de la manguera poliuretano al equipo



Figura 34. Colocación del colector (sensor) por donde pasa la muestra de (CH₄)



Figura 33. Colocación de la conexión del ventilador mecánico y termómetro digital en la tapa 34.

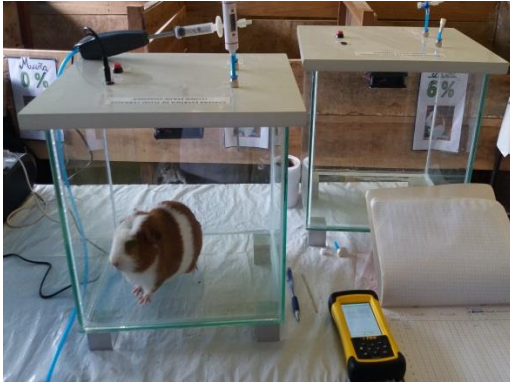


Figura 35. Visualización de la cámara estática.



Figura 36. Notación de datos, visualizado en el PDA.