



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



**DETERMINACIÓN DE METANO EN CUYES (*Cavia porcellus*)**  
**BAJO UNA ALIMENTACIÓN CON FORRAJES (ALFALFA Y**  
**AVENA) EN ALTURA**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. JIMENA ROXANA ROMERO YANQUE**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**MEDICO VETERINARIO Y ZOOTECNISTA**

**PUNO – PERÚ**

**2021**



## 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 Matilde, Héctor, Yovana, James, quienes fueron mi ejemplo a seguir y gracias a sus consejos y apoyo incondicional me han sabido guiar para alcanzar mis objetivos.*

*Al amor de mi vida, ya que a través de su apoyo incondicional, paciencia y amor me ayudo a concluir esta meta.*

*A mi hermanita Maricruz y a mi abuelita Rosa, que siempre y para siempre los llevare en mi corazón.*

***Jimena Roxana Romero Yanque***



## AGRADECIMIENTO

*Primeramente, quiero agradecer a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome salud, paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas y propuestas en la investigación que he llevado a cabo y que presento, tengo que hacer un 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.*

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

*A todos mis docentes de la escuela profesional de Medicina Veterinaria y Zootecnia por brindar sus conocimientos y compartir sus experiencias.*

*A mis padres, por el apoyo, comprensión y aliento que me brindan.*

*A mis hermanos los cuales fueron como mis segundos padres gracias por el apoyo que me brindaron.*

*Al amor de mi vida por su apoyo incondicional y respaldo.*

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

***Jimena Roxana Romero Yanque***



## INDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTO**

**INDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 11**

**ABSTRACT..... 12**

### **CAPITULO I**

#### **INTRODUCCIÓN**

**1.1 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN ..... 14**

1.1.1 Objetivo general ..... 14

1.1.2 Objetivos específicos ..... 15

### **CAPITULO II**

#### **REVISIÓN DE LITERATURA**

**2.1 ANTECEDENTES ..... 16**

2.1.1 Generalidades ..... 16

2.1.2 Anatomía y fisiología digestiva..... 16

**2.2 NUTRICIÓN Y ALIMENTACIÓN ..... 18**

2.2.1 Nutrición..... 18

2.2.2 Alimentación ..... 18

**2.3 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ..... 19**

2.3.1 Alimentación con forraje ..... 19

2.3.2 Alimentación mixta ..... 20

2.3.3 Alimentación a base de concentrado ..... 21

**2.4 FORRAJES..... 21**



2.4.1	Avena.....	22
2.4.2	Alfalfa.....	23
<b>2.5</b>	<b>DIGESTIBILIDAD .....</b>	<b>24</b>
<b>2.6</b>	<b>DIGESTIBILIDAD EN CUYES .....</b>	<b>25</b>
<b>2.7</b>	<b>MÉTODOS PARA MEDIR LA DIGESTIBILIDAD .....</b>	<b>25</b>
2.7.1	Digestibilidad <i>in vivo</i> – Método de diferencia.....	25
2.7.2	Digestibilidad <i>in situ</i> .....	31
<b>2.8</b>	<b>PRODUCCIÓN DE METANO ENTÉRICO.....</b>	<b>32</b>
2.8.1	Metano .....	32
2.8.2	Metanogénesis .....	33
2.8.3	Factores que afectan la metanogénesis .....	33
2.8.4	Las Arqueas .....	34
2.8.5	Características de las arqueas .....	35
2.8.6	Arqueas metanógenas .....	36
<b>2.9</b>	<b>DETERMINACIÓN DE METANO .....</b>	<b>37</b>
<b>2.10</b>	<b>ESPECTROSCOPIA INFRARROJA TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR).....</b>	<b>38</b>
<b>2.11</b>	<b>ANTECEDENTES DE USO DEL EQUIPO GASMET DX – 4030 .....</b>	<b>39</b>
<b>2.12</b>	<b>LA CÁMARA ESTÁTICA DE FLUJO CERRADO .....</b>	<b>40</b>
<b>2.13</b>	<b>METANO ENTÉRICO EN HERBÍVOROS DEL TRACTO DIGESTIVO POSTERIOR .....</b>	<b>41</b>

### CAPITULO III

#### MATERIALES Y MÉTODOS

<b>3.1</b>	<b>LUGAR DE ESTUDIO .....</b>	<b>45</b>
<b>3.2</b>	<b>INSTALACIONES .....</b>	<b>45</b>
<b>3.3</b>	<b>MATERIALES, EQUIPOS .....</b>	<b>46</b>
3.3.1	Materiales durante el experimento .....	46
3.3.2	Equipos utilizados en el experimento .....	46



3.3.3 Instrumentos utilizados en el lugar del experimento .....	47
<b>3.4 CÁMARA ESTÁTICA DE FLUJO CERRADO .....</b>	<b>47</b>
<b>3.5 ANIMALES .....</b>	<b>48</b>
<b>3.6 DURACIÓN Y PROTOCOLO DE BIOSEGURIDAD .....</b>	<b>48</b>
<b>3.7 ALIMENTACIÓN DE LOS CUYES .....</b>	<b>48</b>
<b>3.8 METODOLOGÍA .....</b>	<b>49</b>
<b>3.8.1 Etapa pre-experimental .....</b>	<b>49</b>
3.8.1.1 Manejo pre-experimental de los animales .....	49
<b>3.8.2 Etapa experimental .....</b>	<b>49</b>
3.8.2.1 Determinación del consumo de materia seca .....	49
3.8.2.2 Determinación de la digestibilidad aparente .....	50
3.8.2.3 Determinación de la producción de metano entérico .....	51
<b>3.9 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....</b>	<b>59</b>
<b>CAPITULO IV</b>	
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	
<b>4.1 CONSUMO DE MATERIA SECA.....</b>	<b>61</b>
<b>4.2 DIGESTIBILIDAD APARENTE DE MATERIA SECA.....</b>	<b>63</b>
<b>4.3 PRODUCCIÓN DE METANO .....</b>	<b>64</b>
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>70</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>71</b>
<b>VII. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>72</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>87</b>

**Área : Producción de cuyes.**

**Tema : Determinación de metano por efecto de la alimentación.**

**FECHA DE SUSTENTACIÓN: 22 de enero 2021.**



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Diseño de la jaula metabólica para los cuyes .....	45
<b>Figura 2.</b>	Medición corporal del cuy .....	54
<b>Figura 3.</b>	Adquisición de heno de avena y alfalfa.....	93
<b>Figura 4.</b>	Molino picador forrajero marca Trapp, modelo TRF – 800.....	93
<b>Figura 5.</b>	Operación del molino y picador forrajero .....	93
<b>Figura 6.</b>	Llegada de la alfalfa fresco y oreo.....	93
<b>Figura 7.</b>	Control del peso de los cuyes .....	93
<b>Figura 8.</b>	Medidas corporales de los cuyes .....	93
<b>Figura 9.</b>	Incorporación de los cuyes a sus jaulas metabólicas.....	93
<b>Figura 10.</b>	Suministro de alimento y agua a los cuyes.....	93
<b>Figura 11.</b>	Imagen de los 6 cuyes en sus jaulas metabólicas .....	93
<b>Figura 12.</b>	Imagen de los otros 6 cuyes faltantes .....	93
<b>Figura 13.</b>	Pesos de las heces y residuos.....	93
<b>Figura 14.</b>	Inicio de la calibración del tanque de nitrógeno UHT (99.999 N) .....	93
<b>Figura 15.</b>	Apertura de la llave del tanque de nitrógeno UHT (99.999 N) .....	93
<b>Figura 16.</b>	Zona frontal del equipo Gasmeter DX-4030 .....	93
<b>Figura 17.</b>	Encendido del equipo Gasmeter DX-4030.....	93
<b>Figura 18.</b>	El equipo Gasmeter DX-403, para la medición de metano entérico .....	93
<b>Figura 19.</b>	Colocando la manguera poliuretano al equipo .....	93
<b>Figura 20.</b>	Equipos y material para la medición de metano.....	93
<b>Figura 21.</b>	Visualización de los datos registrado en el PDA.....	93
<b>Figura 22.</b>	Visualización de los datos de calibración del PDA.....	93
<b>Figura 23.</b>	Visualización de la tapa de la cámara estática.....	93
<b>Figura 24.</b>	Visualización de la cámara estática .....	93



<b>Figura 25.</b>	Visualización del PDA y la cámara estática.....	93
<b>Figura 26.</b>	Balanza analítica para el pesaje.....	93
<b>Figura 27.</b>	Rotulo de las bolsas de papel craft .....	93
<b>Figura 28.</b>	Pesado de muestras para el análisis químico.....	93
<b>Figura 29.</b>	Notación de datos, visualizado en el PDA .....	93
<b>Figura 30.</b>	Incorporación de las muestras a la bolsa de papel craft .....	93
<b>Figura 31.</b>	Pesado de los alimentos.....	93
<b>Figura 32.</b>	Pesado de los residuos que dejaban los cuyes .....	93
<b>Figura 33.</b>	Pesado de las heces de los cuyes .....	93
<b>Figura 34.</b>	Introduciendo las muestras a la estufa a 60 °C por 24 horas .....	93
<b>Figura 35.</b>	Instrumento de laboratorio, probeta para medir la orina .....	93
<b>Figura 36.</b>	Instrumento de laboratorio, cucharilla.....	93
<b>Figura 37.</b>	Visualización de los materiales frescos, llevados a la estufa .....	93
<b>Figura 38.</b>	Visualizaciones de los materiales secos, sacados de la estufa.....	93



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Valor nutricional de la avena ( <i>Avena sativa</i> ) forrajera en la región de Puno .....	23
<b>Tabla 2.</b>	Composición nutricional de la alfalfa ( <i>Medicago sativa</i> ) verde en sus 5 variedades .....	24
<b>Tabla 3.</b>	Valores de la digestibilidad aparente de la alfalfa ( <i>Medicago sativa</i> ) en cuyes .....	28
<b>Tabla 4.</b>	Valores de la digestibilidad aparente del heno de avena ( <i>Avena sativa</i> ) en cuyes.....	28
<b>Tabla 5.</b>	Materia seca de heno de avena ( <i>Avena sativa</i> ) y alfalfa ( <i>Medicago sativa</i> ).....	48
<b>Tabla 6.</b>	Consumo de materia seca en cuyes alimentados con forraje (heno de avena y alfalfa) en altura.....	61
<b>Tabla 7.</b>	Digestibilidad aparente de materia seca de los forrajes en cuyes alimentados con forraje (heno de avena y alfalfa) en altura .....	63
<b>Tabla 8.</b>	Producción de metano ( $\text{CH}_4$ ) entérico en cuyes, alimentados con forraje (heno de avena y alfalfa) en altura .....	65
<b>Tabla 9.</b>	Producción de metano en cuyes reportado en la cámara estática .....	88
<b>Tabla 10.</b>	Consumo de alimento en cuyes en base a forrajes en altura.....	89
<b>Tabla 11.</b>	Digestibilidad aparente en cuyes alimentados en base forrajes en altura .....	90
<b>Tabla 12.</b>	Pesos de cuyes alimentados en base a forrajes en altura .....	91
<b>Tabla 13.</b>	Volumen corporal de cuyes alimentados con forraje en altura.....	92



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

AGV	: Ácido Graso Volátil
CH <sub>4</sub>	: Metano
CO <sub>2</sub>	: Dióxido de carbono
DMS	: Digestibilidad de Materia Seca
EMS	: Excreción de Materia Seca
FTIR	: Espectroscopia Infrarroja Transformada en Fourier
IMS	: Ingestión de Materia Seca
MF	: Materia Fresca
MFO	: Materia Fresca Ofrecida
MS	: Materia Seca
MSD	: Materia Seca Digestible
MSO	: Materia Seca Ofrecida
N <sub>2</sub> O	: Óxido Nitroso
PDA	: Personal Digital Assistant
ppmv	: Partes por Millón en Volumen
T <sup>o</sup>	: Temperatura
TCO	: Tal como ofrecido
VCA	: Volumen Corporal del Animal
VC	: Volumen de la Cámara
VE	: Valores Energéticos
Wkg <sup>0.75</sup>	: Peso Metabólico



## RESUMEN

Las emisiones de gases de efecto invernadero del sector agrícola derivan en un mayor porcentaje de la producción de metano entérico ( $\text{CH}_4$ ) por los rumiantes, lo cual ha sido ampliamente estudiado, sin embargo es escasa la información en animales herbívoros (posgástricos) como los cuyes; en ese sentido fue evaluada la producción de metano entérico en cuyes bajo una alimentación en base a forrajes, criados en la altura (3827 m); para lo cual se utilizó 12 cuyes machos de la línea Perú, con un peso promedio de  $0.513 \pm 0.04$  kg, alimentados en base a alfalfa (*Medicago sativa*) y avena (*Avena sativa*); fueron evaluados también el consumo de alimento y digestibilidad aparente, para lo cual cada animal permaneció en una jaula metabólica; La medición de la producción de metano entérico se realizó en una cámara de acumulación de gases, con el equipo de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (equipo Gasmeter DX-4030) durante 10 minutos; después de 15 días de experimentación se determinó que la producción de metano ( $\text{CH}_4$ ) fue de  $0.57 \pm 0.08$  L/d ( $0.93 \pm 0.20$  L/Wkg<sup>0.75</sup>), el consumo de materia seca fue  $38.78 \pm 4.27$  g/d ( $63.57 \pm 4.68$  g/d Wkg<sup>0.75</sup>), la digestibilidad aparente de materia seca fue  $61.05 \pm 9.25$  %; Por lo que se puede concluir que los cuyes alimentados en base a forrajes producen metano entérico en menor proporción que los rumiantes.

**Palabras Claves:** Espectroscopia, cámara de acumulación de gases, herbívoros posgástricos, materia seca, consumo y digestibilidad.



## ABSTRACT

Greenhouse gas emissions from the agricultural sector result in a higher percentage of enteric methane (CH<sub>4</sub>) production by ruminants, which has been widely studied, however information is scarce in herbivorous (postgastric) animals such as guinea pigs; In this sense, the enteric methane production was evaluated in guinea pigs under a diet based on forages, reared at altitude (3827 m); For which 12 male guinea pigs of the Peru line were used, with an average weight of  $0.513 \pm 0.04$  kg, fed based on alfalfa (*Medicago sativa*) and oats (*Avena sativa*); Food consumption and apparent digestibility were also evaluated, for which each animal remained in a metabolic cage; The measurement of the enteric methane production was carried out in a gas accumulation chamber, with the Fourier transform infrared spectroscopy equipment (Gasmeter DX-4030 equipment) for 10 minutes; After 15 days of experimentation, it was determined that the methane (CH<sub>4</sub>) production was  $0.57 \pm 0.08$  L / d ( $0.93 \pm 0.20$  L / Wkg<sup>0.75</sup>), the dry matter consumption was  $38.78 \pm 4.27$  g / d ( $63.57 \pm 4.68$  g / d Wkg<sup>0.75</sup>), the apparent dry matter digestibility was  $61.05 \pm 9.25\%$ ; Therefore, it can be concluded that guinea pigs fed on forage produce enteric methane in a lower proportion than ruminants.

**Keywords:** Spectroscopy, gas accumulation chamber, postgastric herbivores, dry matter, consumption and digestibility.



## CAPITULO I

### INTRODUCCIÓN

Los cuyes son pequeños mamíferos domésticos originario de los andes, su crianza es generalizada en el ámbito rural, como un animal de carne (gustable y nutritiva) para el autoconsumo; se caracteriza por tener un ciclo reproductivo corto, adaptabilidad, rusticidad (Chauca, 1997). De acuerdo con la Encuesta Nacional Agropecuaria la población de cuyes es de 17 millones 380 mil 175 unidades, cantidad que sigue creciendo potencialmente, siendo una alternativa de negocio para los productores, además de contribuir en la seguridad alimentaria como fuente proteica (ENA, 2017).

Los cuyes son especies herbívoras monogástricas, por poseer un estómago y durante el trayecto de tubo digestivo existe digestión enzimática; esta especie se caracteriza por su anatomía gastrointestinal, que lo clasificada como fermentador (posgástricos), debido a los microorganismos que posee a nivel del ciego; otra particularidad es que realiza el proceso de cecotrófia con la finalidad de reutilizar el nitrógeno (Gomez & Vergara, 1994).

El metano ( $\text{CH}_4$ ) entérico es el producto final de la fermentación que sufren los alimentos en los animales, principalmente en rumiantes, y en menor cuantía en monogástricos, en estos la producción de metano se produce en el intestino posterior (ciego) por fermentación microbiana; este gas en términos de energía constituye una gran pérdida y en términos ambientales contribuye al calentamiento y al cambio climático global (Pedreira, 2013).

Se han realizado innumerables investigaciones acerca de la producción de  $\text{CH}_4$  en vacunos, ovinos y camélidos; utilizando un sin fin de técnicas, como por ejemplo la de



calorimetría de respiración de cuerpo entero, cajas de cabeza, cámaras y máscaras ventiladas (Johnson & Johnson, 1995). Sin embargo, es limitada la información en animales herbívoros monogástricos, más aún los cuyes (*Cavia porcellus*); se supone que estos pequeños herbívoros producen cantidades insignificantes de CH<sub>4</sub>, pero no está claro si se trata de una peculiaridad fisiológica o simplemente un efecto de escala (Franz *et al.*, 2011). Dichas medidas son necesarias para evaluar, si la producción de metano aumenta con la dieta que consume o la digestibilidad de esta, también es de importancia saber si la producción de metano en pequeños herbívoros como los monogástricos es similar a la de los herbívoros rumiantes (Franz *et al.*, 2011), teniendo en cuenta estas consideraciones se hace necesaria contar con una línea de base, como el de conocer la producción de CH<sub>4</sub> en cuyes.

Por lo anteriormente descrito, la investigación tiene como objetivo medir la producción de metano entérico en cuyes, en una cámara de acumulación de gases, con el equipo de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (equipo Gasmeter DX-4030), además de medir el consumo y digestibilidad de materia seca, su relación con la producción de este gas, con lo cual se contribuirá con la generación de conocimientos nuevos con respecto al metano en cuyes alimentados con forrajes (alfalfa y avena) criados en altura.

## **1.1 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.1.1 Objetivo general**

- Determinar la producción de metano entérico en cuyes (*Cavia porcellus*) bajo una alimentación con forrajes (alfalfa y avena) en altura.



### 1.1.2 Objetivos específicos

- Determinar el consumo de materia seca de los forrajes.
- Determinar la digestibilidad de materia seca de los forrajes.
- Determinar la producción de metano entérico.



## CAPITULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 ANTECEDENTES

##### 2.1.1 Generalidades

Los cuyes (*Cavia porcellus*) son roedores domésticos estrictamente herbívoros, originario de los Andes Peruano-Boliviano (Castelo, 2012), puede permanecer en las alturas como en los valles, es una especie precoz, prolífica, de ciclos reproductivos cortos y de fácil manejo; vive en áreas abiertas utilizan hoyos y madrigueras para ocultarse y protegerse, tiene una longevidad de 4 a 6 años. Los cuyes son el legado tradicional más significativo heredado de nuestros ancestros aborígenes, puesto que su domesticación data de miles de años atrás, según investigaciones arqueológicas realizadas en diversos lugares en la zona interandina como el Perú; “El imperio Inca se basó en principios morales que dirigían la conducta de una producción uniforme, también lo hicieron en el caso del cuy con la frase "JAKATA HUATAY HALLITA MIKYNAYQUIPAC"(cría el cuy para que te alimentes bien), (Zumarraga, 2011). Su crianza tecnificada puede representar una importante fuente y permanente de alimento, para la familia de escasos recursos y además una fuente de ingresos. Con el manejo técnico se triplica la producción, a partir de una mejora en la fertilidad de las reproductoras, una mayor supervivencia de las crías y una mejora de la alimentación para un rápido crecimiento y engorde (Vela, 2006; Guacho, 2009).

##### 2.1.2 Anatomía y fisiología digestiva

Los cuyes (*Cavia porcellus*), tiene un estómago donde se inicia la digestión enzimática y un ciego funcional donde se realiza la fermentación bacteriana, realiza cecotrofia para reutilizar el nitrógeno. Está clasificado por su anatomía gastrointestinal



como un animal de fermentación (posgástricos), debido a los microorganismos que posee a nivel del ciego (Gomez & Vergara, 1995).

El proceso de digestión de los cuyes se inicia en la boca, en donde posee piezas dentarias diseñadas para cortar y triturar la materia vegetal, esta masticación reduce el tamaño de partícula de la digesta a tal magnitud que al mezclarse con la saliva facilita la acción de las enzimas digestivas, el cual luego pasa al estómago (Bustamante, 1997).

El estómago secreta ácido clorhídrico cuya función es disolver el alimento convirtiéndolo en una solución denominada quimo, para luego pasar al intestino delgado, a nivel de este ocurre la mayor parte de la digestión y absorción; la ingesta es más rápida en el estómago e intestino delgado donde demora dos horas. Las vitaminas, el agua y otros microelementos ingresan al ciego para la fermentación microbiana y donde la ingesta es más lenta, demora 48 horas; todo el material no digerido ni absorbido llega al recto y es eliminado a través del ano (Chauca, 1995).

La cecotrófia es la ingestión de los llamados cecotrofos (heces blandas), que permite aprovechar la fibra y reutilizan el nitrógeno, que no alcanzó a ser digerido en el intestino delgado, esta actividad es nocturna al igual que en los conejos (Vargas & Yupa, 2011).

Una vez que la digesta ha pasado por el intestino delgado absorbiéndose la mayor parte de los nutrientes, llega al ciego (órgano colonizado por microorganismos capaces de degradar la fibra del alimento) donde la fibra es separada mecánicamente según su tamaño por el peristaltismo en el ciego para solamente degradarse la fibra corta (<0.3 mm), mientras que la fibra larga (>0.3 mm) es expulsada. Estas partículas largas de fibra se excretan mayormente en la noche y son lo que nosotros conocemos como heces duras,



son muy secas, con mucha fibra, poca proteína y redondas; está no la come. Por otro lado, ese alimento fermentado que se retuvo en el ciego; cuando está en este órgano se llama contenido cecal, su fermentación se da durante toda la noche y en la mañana es expulsado por el ano, en este momento se le conoce como cecótrofo y los cuyes consumen directamente desde el ano antes que caiga al suelo, al cecótrofo también se le conoce como heces blandas. (Cheeke, 1995; Guacho, 2009).

## **2.2 NUTRICIÓN Y ALIMENTACIÓN**

### **2.2.1 Nutrición**

La nutrición juega un rol muy importante en toda explotación pecuaria, el adecuado suministro de nutrientes conlleva a una mejor producción. El conocimiento de los requerimientos nutritivos de esta especie permitirá elaborar raciones balanceadas que logren satisfacer las necesidades de mantenimiento, crecimiento y producción, al igual que en otras especies. Los nutrientes requeridos por los cuyes son: agua, proteína (aminoácidos), fibra, energía, ácidos grasos esenciales, minerales y vitaminas, los requerimientos de esta especie dependen de la edad, estado fisiológico, genotipo y medio ambiente donde se desarrolle la crianza (Morales, 2009).

### **2.2.2 Alimentación**

La alimentación juega un papel muy importante en toda explotación pecuaria; los cuyes como productores de carne precisan el suministro de una alimentación completa y bien equilibrada ya que no se trata simplemente de administrar alimento y llenar su capacidad digestiva con forraje, sino administrar en cantidades adecuadas y con nutrientes suficientes que puedan satisfacer sus requerimientos; por esta razón la alimentación en los cuyes debe ser en base a una selección y combinación de productos (Revollo, 2009).



La alimentación de cuyes ha sido tema de investigación durante las últimas décadas en el Perú, Bolivia, Ecuador, Colombia y otros países a nivel global, por tal razón se tiene diversidad de alimentos para ofrecer, siempre con la incorporación tanto de alimento vegetal (forraje), residuos y alimento concentrado, existen tres sistemas de alimentación dentro de la crianza de cuyes como son alimentación en base a forraje, alimentación mixta (forraje y concentrado) y alimentación en base a concentrado (con adición de vitamina C) (Chauca, 2004).

### **2.3 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN**

La producción de cuyes está determinada por dos aspectos fundamentales que son: el 75% se debe a factores medio ambientales y el 25% corresponde a los factores genéticos. Entre los factores medio ambientales, se considera el clima, manejo y principalmente la alimentación; siendo este último importante, ya que influye entre el 75 - 80 % en la producción. De la cual se puede deducir que, aunque el animal tenga buenas características genéticas sí las condiciones ambientales no son favorables, este no demostrara una buena producción (Moncayo, 2012).

#### **2.3.1 Alimentación con forraje**

Su alimentación se basa en el consumo de forraje verde y ante el suministro de diferentes tipos de alimentos muestra siempre su preferencia por el forraje. Una de las estrategias para cubrir los requerimientos nutritivos de los cuyes es mediante la mezcla entre leguminosas y gramíneas que permite equilibrar la dieta en un porcentaje de proteína y nivel de energías adecuados enriqueciéndose de esta manera las raciones alimenticias (Zaldívar & Rojas, 1968).



La FAO (1997), menciona que las leguminosas, por su calidad nutritiva, se comportan como un excelente alimento, aunque en muchos casos la capacidad de ingesta que tiene los cuyes no les permite satisfacer sus requerimientos nutritivos. Las gramíneas tienen menor valor nutritivo por lo que es conveniente combinar especies de gramíneas y leguminosas. Los cambios en la alimentación no deben ser bruscos; siempre debe ir adaptándose al cambio de forraje. Esta especie es muy susceptible ya que pueden presentar trastornos digestivos, sobre todo las crías de menor edad.

Los niveles de forraje suministrados van entre 80 y 200 g/animal/día; es así que con 80 g/animal/día de alfalfa (*Medicago sativa*), se alcanzan pesos finales de 812.6 g con un incremento de peso total de 588.2 g y con suministros de 200 g/animal/ día los pesos finales alcanzados fueron 1039 g. siendo sus incrementos totales 631 g (Paredes *et al.*, 1972).

### **2.3.2 Alimentación mixta**

A lo largo de los años la disponibilidad de alimento verde no es constante; hay meses de mayor producción y épocas de escasez, esto se puede deber a los cambios bruscos de clima, ya que hay épocas donde falta la presencia de lluvia o de riego. En estos casos la alimentación de los cuyes se torna crítica, habiéndose tenido que estudiar diferentes alternativas, entre ellas el uso de concentrado, granos o subproductos industriales (afrecho de trigo o residuo seco de cervecería) como suplemento al forraje (FAO, 1997).

Diferentes trabajos han demostrado la superioridad del comportamiento de los cuyes cuando reciben un suplemento alimenticio conformado por una ración balanceada, el suministro de una ración de tipo forrajera, perderá toda su importancia (Chauca, 1997).



### **2.3.3 Alimentación a base de concentrado**

El utilizar un concentrado como único alimento, requiere preparar una buena ración para satisfacer los requerimientos nutritivos de los cuyes. Bajo estas condiciones los consumos por animal/día se incrementan, pudiendo estar entre 40 a 60 g/animal/día, esto dependiendo de la calidad de la ración (Chauca, 1997).

## **2.4 FORRAJES**

La alimentación de los cuyes, es sobre todo a base de forraje verde y ante la administración de diferentes tipos de alimento, muestra su preferencia por el forraje. Es así que al evaluar dos ecotipos de los cuyes en el Perú se encontró que en la sierra norte fueron más eficientes cuando recibían alimentos que fueron forraje más concentrado, pero el ecotipo de la sierra sur respondía mejor a una alimentación a base solo de forraje (Chauca, 1997).

Aliaga (1998), indica que al incluir forrajes en la dieta de cuyes, proporciona un efecto benéfico en dichos animales ya que son fuente de celulosa, agua y vitamina C, elementos necesarios para satisfacer sus requerimientos nutricionales.

Vergara (2008), menciona que la utilización de forraje verde como único alimento no contribuye con el aporte suficiente de nutrientes y energía como para expresar todo el potencial genético, particularmente de los cuyes mejorados, debiéndose considerar para este caso la alimentación mixta, teniendo como base el forraje verde más la suplementación de alimento balanceado el cual debe estar adecuadamente formulado.



### 2.4.1 Avena

La avena (*Avena sativa*) tuvo su origen en Asia Central y el Mediterráneo; la historia de su cultivo es desconocida, es aparente que este forraje no llegó a tener importancia en épocas pasadas, pues antes de ser cultivado la avena (*Avena sativa*) fue una mala hierba. Los primeros restos arqueológicos relacionados a este cultivo se hallan en Egipto y Europa central, los mismos que datan de la Edad de Bronce (INIA, 2010).

La avena es uno de los cultivos forrajeros más difundidos y de mucha importancia en esta Región Puno como fuente importante de alimento para la población pecuaria, es una planta herbácea anual de la familia de gramíneas. Posee raíces fibrosas más abundantes y profundas que otros cultivos forrajeros; sus tallos son gruesos y rectos que varían de 0.5 a 2 m de altura y están formados por entrenudos que terminan en gruesos nudos (Choque, 2005).

Sus hojas son planas y alargadas con láminas torcidas hacia la izquierda con borde libre dentado, el limbo de la hoja es estrecho y extenso con lígula larga, carece de aurícula y su flor es un racimo de espiguillas, situadas sobre los pedúnculos largos y su fruto es en cariósipide, con glumillas adheridas, las fases fenológicas de desarrollo del cultivo de avena forrajera son la emergencia, macollado, embuchado, espigado, floración completa y maduración del grano (Tapia, 2007).

No obstante, la escala de desarrollo más utilizada en la morfología externa (desarrollo y crecimiento) del cultivo de avena es la germinación, crecimiento de plántula, macollaje, elongación del tallo, estado de bota, emergencia de inflorescencia, anthesis, desarrollo lechoso del grano, desarrollo pastoso del grano y madurez fisiológica (Zadoks *et al.*, 1974).

La avena es un cultivo alternativo que ha dado mayor soportabilidad en la alimentación animal frente a los pastos naturales, garantiza la sostenibilidad de la producción ganadera en épocas de escasez o estiaje; Es uno de los cultivos más difundidos en la sierra peruana, por su alto potencial de producción forrajera, facilidad de cultivo, degustable y digestibilidad en estado de forraje verde, heno o ensilado (Choque, 2005).

**Tabla 1.** Valor nutricional de la avena (*Avena sativa*) forrajera en la región de Puno

Variedad	Porcentaje (%)					
	Materia seca	Ceniza	Proteína	Extracto Etéreo	Fibra cruda	Nifex
Africana	94.84	5.23	8.68	13.26	29.06	43.77
Negra Local	94.89	4.99	7.18	12.95	30.55	45.83

Fuente: INIA (2006)

#### 2.4.2 Alfalfa

En la región altiplánica la alfalfa (*Medicago sativa*), es la planta forrajera más antigua e importante (Chimicz, 1988). La alfalfa (*Medicago sativa*) es originaria del suroeste de Asia menor y sur de Cáucaso, abarcando Turquía, Serbia, Irak, Irán, Afganistán, parte occidental de Pakistán y Cachemira, de aquí es probable que se extendiese su cultivo a Grecia más tarde fue llevada a Italia, y a los países europeos, incluyendo España y con la conquista a América central y América del sur.

Yzarra & López (2012), dan a conocer las siguientes fases fenológicas del cultivo de alfalfa, la cual consta de cuatro fases principales, las cuales son:

a) Emergencia: Fecha en que aparecen los cotiledones por encima de la superficie del suelo. Esta fase se observa solo durante el primer año de la plantación, posteriormente debe suplantarse por la observación de la fase de botón floral.

- b) Botón floral: Aparecen los primeros botones florales.
- c) Floración: Aparece la primera flor.
- d) Maduración: En la alfalfa para uso forrajero se registra la fecha de corte; si el propósito es la producción de semilla, la madurez fisiológica se manifiesta por el oscurecimiento de las vainas.

Comparada con otras especies, el forraje de alfalfa tiene un mayor contenido de proteína, por consiguiente, altos requerimientos nitrogenados; siendo estos los forrajes más disponible y económica para alimentar los cuyes, tanto en época lluviosa y de escasez (INIA, 1991)

**Tabla 2.** Composición nutricional de la alfalfa (*Medicago sativa*) verde en sus 5 variedades

Variedad	Porcentaje (%)							
	H	M.S.	Cenizas	P.T	E. E.	Fibra	ELN	Fosforo
WL-330-HQ	77	23	8	21,7	6,03	10,8	46,47	0,39
WL-625-HQ	79,7	20,33	8,25	19,51	6,02	17,9	41,32	0,35
440	79,5	20,5	8,75	21,26	5,68	15,24	42,57	0,56
Rebound	77	23	8	21,79	6,2	15,67	41,34	0,57
WL-350-HQ	79	21	9,5	21,44	6,35	15,8	39,41	0,39

Fuente: Tingal (2015)

## 2.5 DIGESTIBILIDAD

La digestibilidad es uno de los factores más importantes para evaluar la calidad nutritiva de los alimentos, ya que indica el grado en que los nutrientes van a ser aprovechados directamente por el animal. Una buena digestibilidad resultará de una mayor productividad por parte del animal. Existen diferentes maneras de determinar la digestibilidad de los nutrientes, tales como las pruebas de digestibilidad in vivo (método de colección total o parcial), digestibilidad *in situ* y digestibilidad *in vitro* (López, 2012).



La digestibilidad es uno de los indicadores más utilizados para determinar la calidad de las proteínas, debido a que no todas son digeridas, absorbidas y utilizadas en la misma medida; las diferencias en digestibilidad pueden deberse a factores como la naturaleza de las proteínas alimentarias, a la presencia de componentes no proteicos con influencia en la digestión (fibra de la dieta, taninos, anti-nutrientes) (Church *et al.*, 2002).

## **2.6 DIGESTIBILIDAD EN CUYES**

Chauca (1997), menciona que los cuyes presentan una digestibilidad de materia seca de alfalfa y avena entre 50 a 65 % y se mide en la desaparición de los nutrientes de su paso a través del tracto digestivo debido a la absorción. Es importante conocer la digestibilidad de los alimentos que usualmente consumen los cuyes con la finalidad de obtener el conocimiento más exacto del valor alimenticio de dichos alimentos y de una mejor estructuración de las diferentes raciones comúnmente empleadas (Lammers *et al.*, 2009).

Las heces procedentes del primer ciclo de la digestión rara vez son expulsadas al exterior, sino que son ingeridas nuevamente por el animal directamente boca - ano; proceso que se conoce con el nombre de cecotrófia (Cabrero, 2005).

## **2.7 MÉTODOS PARA MEDIR LA DIGESTIBILIDAD**

### **2.7.1 Digestibilidad *in vivo* – Método de diferencia**

Es aquella 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 eliminadas por el animal después de un período de acostumbamiento al alimento en evaluación. La colección fecal total 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 (McDonald *et al.*, 1979; Roque, 2015).

El método de recuperación total requiere un registro de las sustancias consumidas y las cantidades que se excretan en las heces. Para tal propósito se han ideado 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, 1955).

Antes de comenzar el período de colección, es necesario un período previo de adaptación para los animales de 10 a 14 días, con el fin de no estresar y más bien acostumbrar al animal, 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).

Otro método frecuentemente utilizado es el método del indicador, que es muy útil en caso que se dificulta controlar la ingesta, coleccionar o pesar las heces. Además, cuando se alimenta a los animales en grupos, no se puede precisar cuánto ha sido ingerido por cada uno. En estos casos es posible calcular la digestibilidad añadiendo al alimento una sustancia que sea totalmente indigestible. Midiendo su concentración en el alimento y en pequeñas muestras de heces de los animales, se obtiene una relación que permite obtener una medida de la digestibilidad (McDonald *et al.*, 1979).



### 2.7.1.1 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, 2012).

#### a. Digestibilidad Aparente

McDonal *et al.*, (1995), conceptúa a la digestibilidad aparente como la ración no digerida y para su determinación recomienda realizar ensayos con varios 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.

Se debe mantener un consumo diario de los alimentos durante varios días para reducir al mínimo la variación diaria de la producción de heces. También se manifiesta que son varios los factores que pueden afectar la cuantía de la digestión anotándose los siguiente (Church, 1990).

- Nivel de consumos de los alimentos
- Trastornos digestivos
- Deficiencia de nutrientes
- Frecuencia de la ración
- Tratamiento a que son sometidos los animales
- Efectos asociados de los alimentos

Maynard *et al.*, (1981), manifiestan que una prueba de digestión cuantifica los nutrientes consumidos y las cantidades que se eliminan en las heces; es importante que las heces recolectadas representen en forma cuantitativa el residuo no digerido del alimento consumido previamente medido; 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 procura que las cantidades ingeridas sean aproximadamente las mismas.

**Tabla 3.** Valores de la digestibilidad aparente de la alfalfa (*Medicago sativa*) en cuyes

Alimento	Digestibilidad %				
	MS	PC	FC	EE	ELF
Alfalfa verde	60.67	64.96	32.27	40.92	75.14

Fuente: Saravia et al. (1992); MS=Materia seca, PC=Proteína cruda, FC=Fibra cruda, EE=Extracto eterio, ELF=Extracto libre de nitrógeno.

**Tabla 4.** Valores de la digestibilidad aparente del heno de avena (*Avena sativa*) en cuyes

Alimento	Digestibilidad %		Consumo g.
	Digestibilidad proteica	Digestibilidad fibra	Materia seca
Heno de avena	59	64	41

Fuente: Rico (1995); Mollo (1994)

## 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.

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 totalmente (es decir, su 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 (McDonald *et al.*, 2002).

En general, los granos de cereales y otras fuentes de azúcares o almidones tienen buena digestibilidad en todas las especies de animales de granja. Posiblemente, los granos menos digeribles son la avena 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 influye bastante en la digestibilidad, ya que el tamaño óptimo de las partículas de un alimento permite aumentar la digestibilidad del alimento. La digestibilidad es más una propiedad del alimento que del consumidor, pero ello no implica que un alimento suministrado a diferentes animales tenga 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).

### **c. Digestibilidad *in vitro***

Es aquella medición que se realiza en frascos de vidrio, imitando el proceso digestivo del animal rumiante. Como equipo se utiliza un rumen artificial. El método más utilizado es la digestibilidad de dos etapas; La primera etapa consiste en la incubación del alimento en líquido ruminal y saliva artificial por 48 horas, luego se incuba en ácido clorhídrico y pepsina por otras 48 horas. El material que desaparece en este proceso corresponde a la digestibilidad *in vitro* (Roque, 2015).

Existen tres componentes fundamentales en todo ensayo de digestibilidad *in vitro*: el sustrato, que corresponde a la muestra; el inóculo o licor ruminal, y el tampón o buffer que es saliva artificial (Simón, 1992).

Tilley & Terry (1963), en su técnica que consiste en incubar una pequeña muestra de forraje seco en una muestra de licor ruminal con saliva artificial, la que permite



mantener el pH en los niveles normales de digestión, el sistema debe mantenerse anaeróbico y a 380 °C durante 48 horas; para lo cual cada tubo se le adiciona CO<sub>2</sub> antes de ser tapado. Luego se realiza una segunda etapa donde el residuo que no ha sido digerido se somete a una solución de pepsina ácida a 380 °C por un periodo de 48 horas, en esta etapa la condición anaeróbica no es necesaria.

### **2.7.2 Digestibilidad *in situ***

Es aquella medición de la digestión en un segmento del tracto digestivo del animal vivo. La medición más frecuente se realiza en el rumen. Una cantidad de alimento se coloca en una bolsa de nylon, luego se incuba en el interior del rumen (fermentación o degradación) por un determinado tiempo. El resultado se expresa como tasa de degradabilidad (Aylwin, 1987; Roque, 2015).

Según Aylwin (1987), el éxito de la técnica *in situ* está determinada por diversos factores como: el material de la bolsa, tratamiento, preparación y tamaño de la muestra, posición en el rumen, tiempo de incubación, repeticiones, número de bolsas incubadas, dieta del animal y lavado de la bolsa.

Según Illanes (1989), el método de digestibilidad *in situ* tiene la ventaja que requiere muestras pequeñas, haciendo uso de animales fistulados en el rumen, donde se fermentan los forrajes de bolsas de algún material poroso que resiste a la acción microbiana. La técnica de la bolsa de nylon es altamente correlacionable con el valor de digestibilidad *in vivo* de la materia seca.



## 2.8 PRODUCCIÓN DE METANO ENTÉRICO

### 2.8.1 Metano

Los principales gases debido a su alto potencial de calentamiento global son el Metano ( $\text{CH}_4$ ), Óxido Nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) y Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ), a nivel mundial el 56.6% de las emisiones totales de  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  y  $\text{CO}_2$  provienen del uso de combustible (origen fósil y otras fuentes) ocurriendo principalmente en países desarrollados (Gómez & Fernández, 2009).

El metano ( $\text{CH}_4$ ), después del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), es el gas carbonado de efecto invernadero más importante en la atmósfera 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  $\text{CO}_2$ , realzando los efectos de la radiación térmica solar y las temperaturas atmosféricas sobre la superficie (Knapp *et al.*, 2014). 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).

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).



### 2.8.2 Metanogénesis

La metanogénesis se puede ver afectada 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).

### 2.8.3 Factores que afectan la metanogénesis

Factor alimenticio y dietario: La producción de metano principalmente depende de la cantidad y calidad del alimento que afecta la tasa de digestión y la velocidad del paso en el proceso de fermentación (VanSoest, 1982). Los rumiantes son los principales emisores de metano (CH<sub>4</sub>) entérico; se ha demostrado que la digestibilidad del alimento y la cantidad de éste, incrementan las emisiones de CH<sub>4</sub> (Blaxter & Clapperton, 1965).

Factor ambiental: Dada por altitud, latitud, temperatura y fotoperiodo (VanSoest, 1982). Se sugiere que la pérdida de energía aumenta a través de la producción de metano, pero solo ligeramente (Franz *et al.*, 2011).

Factor tipo de producción: Algunos autores indican que el sistema de producción, así como la línea y raza del animal juegan un papel importante en las emisiones de metano entérico (Pedreira *et al.*, 2009).

Factor de la fisiología digestiva: El factor que afecta la producción de metano es la relación de ácidos grasos volátiles (AGV) producidos, lo cual regula la producción de H<sub>2</sub> y la producción de metano. Si la relación acética-propiónico fuera 0.5%, la pérdida energética puede ser de 0%; pero si todos los glúcidos fuesen fermentados a ácido acético y no se produjera propiónico, las pérdidas energéticas podrían llegar a 33%. La relación



acética-propiónico puede variar entre 0.9 a 4%, por lo tanto, las pérdidas por metano varían ampliamente (Johnson & Johnson, 1995).

Factor genético: Además del manejo eficaz de los programas de alimentación, hay varias otras estrategias que sirven para mejorar la productividad animal. Éstos incluyen la adopción de estrategias de selección animal y mejoramiento genético (Boadi *et al.*, 2002).

#### **2.8.4 Las Arqueas**

Woese *et al.*, (1990), dieron un giro conceptual en la década de 1970, tras el descubrimiento de la estructura del ADN, llegando a la conclusión de que la historia evolutiva está registrada en el ADN. Propusieron la clasificación de los seres vivos en tres dominios: Archaea, Bacteria y Eukarya, basándose en la utilización de la subunidad menor del ARN ribosómico (ARNr 16S) como marcador filogenético.

Archaea y Bacteria contienen a los microorganismos procariotas y Eukarya, los ARN ribosómicos (ARNr) forman parte de los ribosomas y son esenciales para la síntesis de proteínas en el proceso de traducción. (Woese *et al.*, 1990), comparó las secuencias de las moléculas de ARNr de la subunidad pequeña de muchos microorganismos y observó que había un nuevo grupo de especies cuyas secuencias eran muy diferentes a las de bacterias y eucariotas. A este nuevo grupo lo denominó Archaea (originariamente Archaeobacteria) y así surgió el que hoy conocemos como el tercer dominio de la vida (Madigan *et al.*, 2015).



### 2.8.5 Características de las arqueas

Cada uno de los tres dominios (Bacteria, Eucarya y Archaea) tiene características propias y otras en común. Las arqueas tienen una morfología celular similar a la de las bacterias, pero se han descrito morfologías cuadradas planas o células de tipo ameboides que son exclusivas de las arqueas. Aunque no tienen un núcleo y tienen una organización celular de tipo procariota como las bacterias, las propiedades moleculares son más parecidas a las de las células eucarióticas (Vargas & Villazante, 2014).

En cuanto a la pared celular, la mayoría de las células de las Bacterias y Archaeas tienen una pared que soporta altas presiones, impide la lisis celular, y da un equilibrio a la célula de forma y rigidez. Sin embargo, el componente principal de la pared celular de las bacterias se encuentra ausente en la pared de las arqueas. Dicho componente es el peptidoglicano. Esta ausencia hace que las arqueas sean resistentes a las lisozimas y a la penicilina, ya que son agentes que destruyen o impiden la síntesis de peptidoglicano. La estructura más común de la pared celular dentro de las arqueas es la constituida por una capa superficial cristalina o capa S, formada por un entrelazamiento de glicoproteínas y proteínas. Las capas S son muy resistentes por lo que pueden ser el único componente de la pared celular; en muchos casos se encuentra acompañada de otros componentes, pero la capa S siempre será la que está en contacto directo con el medio externo (Madigan *et al.*, 2015).

Se pueden distinguir cuatro grupos bien diferenciados dentro de las arqueas: haloarqueas, arqueas metanógenas, arqueas hiper-termófilas y arqueas acidófilas extremas, cuyas principales características se discuten a continuación (Nunoura *et al.*, 2011).



### 2.8.6 Arqueas metanógenas

La metanogénesis es la producción biológica de metano ( $\text{CH}_4$ ) y es un proceso característico de las denominadas arqueas metanógenas (anaerobias estrictas), las cuales pertenecen en su mayoría al grupo *Euryarchaeota*. Actualmente hay descritas una gran cantidad de arqueas metanógenas.

Los metanógenos constituyen una fuente natural de metano de origen biológico 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).

Las archaeas metanógenas no utilizan oxígeno para respirar (el oxígeno inhibe su crecimiento), sino carbono como aceptor final de electrones. El carbono puede derivar de un pequeño número de compuestos orgánicos, todos con bajo peso molecular. En términos fisiológicos, hay tres rutas de metanogénesis: (1) a partir de la reducción del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) con hidrógeno ( $\text{H}_2$ ) (ruta hidrogenotrófica), (2) a partir de compuestos metilados tales como el metanol y aminas metiladas (ruta metilotrófica), y (3) a partir de la escisión del acetato (ruta acetoclástica) (Thauer *et al.*, 2008).

El ciego es el principal órgano fermentador de los conejos y cuyes, aunque en los segmentos proximal (estómago e intestino delgado) y distal (colon) del tracto gastrointestinal también existe población microbiana activa (Gouet & Fonty, 1979).

Es importante mencionar las características del tracto digestivo del conejo que hacen de éste un lugar idóneo para el desarrollo de determinadas especies de microorganismos, el tracto gastrointestinal del conejo presenta un pH casi neutro (6 - 6,5); la población de Archaea supone 107 copias de ARNr 16S por gramo de contenido cecal (Combes *et al.*, 2011). Los hongos anaeróbicos y levaduras están ausentes en la



microbiota cecal del conejo y ésta también carece de protozoos; excepto en animales enfermos de coccidiosis (Bennegadi *et al.*, 2003; Kimsé, *et al.*, 2012; Lelkes *et al.*, 1987).

Las Archaeas presentes en el ciego son metanogénico de tipo hidrogenótrofo y anaerobias estrictas. Se encuentran integradas al final de la cadena alimentaria, proceso de transferencia de nutrientes entre las diferentes especies que componen una comunidad biológica y permiten la eliminación de hidrógeno ( $H_2$ ) procedente de la fermentación (Jones *et al.*, 1987).

## 2.9 DETERMINACIÓN DE METANO

Las emisiones de  $CH_4$  por parte del ganado se han medido usando técnicas de calorimetría de la respiración tales como las cámaras para el cuerpo entero, cajas de cabeza, cámaras y máscaras ventiladas (Johnson *et al.*, 2002).

Las emisiones de metano entérico se pueden medir por distintos métodos. La elección del método dependerá de la precisión, así como de las ventajas y desventajas de cada uno (Johnson *et al.*, 2002; Johnson *et al.*, 2007).

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) La espectroscopia infrarroja transformada de Fourier (FTIR)
- d) La espectroscopia de absorción láser con diodos sintonizables



e) Los semiconductores sensores de chip (Bhatta *et al.*, 2007).

## **2.10 ESPECTROSCOPIA INFRARROJA TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)**

La espectroscopia infrarroja transformada de Fourier (FTIR), es una técnica simple, limpia y no invasiva que podría ser de utilidad para las mediciones de CH<sub>4</sub>, como alternativa a la sofisticada cámara de respiración de aire controlado. La técnica utiliza principios físicos que posibilita analizar con relativa facilidad y rapidez el contenido de los contaminantes del aire; fue evaluada en varias investigaciones y se ha mostrado como una herramienta útil para las mediciones de las emisiones de metano entérico y otros gases en los animales rumiantes (Madsen *et al.*, 2010; Lassen *et al.*, 2012; Haque *et al.*, 2015; Bai *et al.*, 2016), en canguros de cuello rojo (Madsen & Bertelsen, 2012).

El principio básico de la espectroscopia FTIR en la detección y medición de los 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. 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 *et al.*, 2007).

Los resultados egresan en partes por millón en volumen (ppmv) de la concentración del gas CH<sub>4</sub> en el aire presente de la cámara de respiración, cuyos valores luego se expresan en unidades de masa (mg, mol) y en unidades de volumen, a través de la ley general de los gases y su respectiva corrección por altitud y presión atmosférica. Las emisiones de metano entérico se expresan en cantidades por día (g/d, mol/d), como



proporción del consumo (% EBI), intensidad de emisión (mol/Kg producto) y como equivalente de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

## **2.11 ANTECEDENTES DE USO DEL EQUIPO GASMET DX – 4030**

El equipo portátil Gasmeter DX 4030, el cual está basado en mediciones infrarrojas (FTIR) para medir la producción de metano mediante la técnica de CO<sub>2</sub>, el cual se basa como un gas trazador. Midiendo la proporción de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> a intervalos regulares combinando con la medición del CO<sub>2</sub> total producido diariamente, también se pudo calcular la cantidad de metano producido. La concentración de la proporción de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y la relación de CO<sub>2</sub> entre CH<sub>4</sub> (Bäckman, 2012).

Las emisiones de metano entérico se determinan mediante las mediciones in situ de las concentraciones de metano del aire espirado por los animales experimentales, con un analizador de gases de metano (Gasmeter DX-4030), diseñado para mediciones in situ de diferentes compuestos gaseosos (tanto orgánicos e inorgánicos) a bajas concentraciones en el aire ambiente. Los resultados del análisis fueron de hasta 25 compuestos pre-calibrado se visualizan en la pantalla de un PDA (Personal Digital Assistant). La comunicación entre el módulo analizador y el PDA es inalámbrica (con el protocolo Bluetooth). En la configuración estándar, se pueden monitorizar concentraciones de hasta 15 gases de interés simultáneamente (GasmeterMR, 2012).

Se utilizó una cámara que está conectada a un sistema de análisis de gases que permite la medición continua de O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>. La medición en la cámara de respiración tiene mayor ventaja ya que incluye la producción de gases del tracto posterior, la misma que representa el 5% de la producción total de metano entérico en ovinos o el 3% del total



de las emisiones de metano procedentes de boca, nariz y recto en vacas lecheras (Muñoz *et al.*, 2012).

Se Midió emisiones de gas metano de llamas y alpacas en pastoreo mediante una cámara de acumulación de gases instalada en su interior el equipo portátil analizador de gases Gasmeter DX-4030, la medición de los gases O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> fue reportado en su PDA en valores relativos de ppmv los cuales fueron transformados a valores absolutos, sin embargo para determinar el efecto dietario sobre las emisiones de metano entérico se realizó el análisis del bolo alimenticio obtenido por fistula esofágica (Choquemamani, 2017; Quispe, 2017).

Ramirez (2018), en la medición de las emisiones del gas metano en llamas y alpacas, por el método de medición directa de corto plazo en una cámara de acumulación de gases de 9.8 m<sup>3</sup> por la técnica de espectroscopia infrarroja transformada de Fourier (FTIR) con un analizador de gases Gasmeter DX-4030, donde se realizó las mediciones 2 veces por animal/día (6:00 am y 18:00 p.m.), los valores reportados por el PDA, para posteriormente ser transformados a valores absolutos, en la unidad de partes por millón en volumen (ppmv) de CH<sub>4</sub> en el aire de la cámara.

## **2.12 LA CÁMARA ESTÁTICA DE FLUJO CERRADO**

La cámara esta herméticamente sellada, presenta una ventilación dentro de la cámara y el aire se oxigena, creando una presión inferior a la del ambiente externo, mientras que el volumen de aire fresco ingresa a la cámara y el aire (contaminado) de la cámara es enviado a intervalos frecuentes hacia un analizador de gases para medir la concentración de CH<sub>4</sub>. La cámara está equipada con ventiladores internos para una mezcla eficiente de los gases espirados y el aire entrante. El aire fresco ingresa a la cámara



directamente del exterior o a partir de un sistema de aire acondicionado y temperatura controlada. La cámara también está equipada con sensores/medidores de temperatura, que se utilizan para calcular la tasa de ventilación en condiciones de aire seco, temperatura y presión estándar. La medición en cámara de respiración tiene mayor ventaja ya que incluye la producción de gases del tracto posterior.

### **2.13 METANO ENTÉRICO EN HERBÍVOROS DEL TRACTO DIGESTIVO POSTERIOR**

El metano entérico ( $\text{CH}_4$ ) es el gas digestivo más abundante que se genera en el tracto intestinal de los animales herbívoros y constituye la mayor fuente de metano  $\text{CH}_4$  antropogénico (Knapp *et al.*, 2014). Como producto del trabajo bioquímico de un grupo de microorganismos del dominio Archaea conocidos colectivamente como metanógenos del *phylum Euryarcheota* que viven en el tracto digestivo posterior de los herbívoros capaz de crecer utilizando Dihidrogeno  $\text{H}_2$  como fuente de energía y electrones que derivan del  $\text{H}_2$  para reducir el dióxido de carbono  $\text{CO}_2$  a metano  $\text{CH}_4$  (Janssen *et al.*, 2008).

Franz *et al.*, (2011), reportaron una producción de metano para conejos (*Oryctolagus cuniculus*) de  $0.20 \pm 0.10$  L/d y para cuyes (*Cavia porcellus*)  $0.22 \pm 0.08$  L/d, el experimento se realizó en una cámara respiratoria de circuito abierto, con seis conejos (peso vivo  $1.57 \pm 0.31$  kg) y seis cuyes (peso vivo  $0.79 \pm 0.07$  kg), a los que suministraron heno de hierbas en forma *ad libitum*; para los conejos la ingesta diaria de materia seca (MS) fue de  $50 \pm 6$  g/día y la digestibilidad de MS fue de  $55 \pm 6\%$ , en cuyes la ingesta diaria de materia seca (MS) es  $59 \pm 11$  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.

Belenguer *et al.*, (2008), realizaron una investigación en cuanto de producción de metano eliminan los conejos blancos de Nueva Zelanda, (80 días y  $2.27 \pm 0.064$  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 de  $0.002 \pm 1.94$  L/día de CH<sub>4</sub>, durante tres veces consecutivas en una cámara respiratoria herméticamente sellada.

Clauss *et al.*, (2019) en su estudio de la fisiología digestiva de las maras (*Dolichotis patagonum*), han reportado que la emisión de CH<sub>4</sub>, en cinco animales cautivos ( $7.67 \pm 0.98$  kg) alimentados con una dieta de alfalfa peletizada, promediaron a  $3.85 \pm 0.47$  L/día y  $14,5 \pm 5,2$  L/kg de materia seca ingerida; esto tiene una relación de CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub> de  $0,042 \pm 0.004$ ; Estos resultados y los obtenidos de otros roedores histicomorfos, sugieren que la producción de CH<sub>4</sub> puede ser más prominente en los roedores de lo que se pensaba anteriormente; también fue reportada la ingestión de materia seca que fue de  $61 \pm 12$  g/kg de peso vivo.

Franz *et al.*, (2010), en su trabajo realizado en producción de metano en équidos, (*Equus ferus caballus*,  $97 \pm 6$  kg), se les ofreció acceso *ad libitum* donde solo se dio forraje, con un consumo de materia seca de  $72 \pm 16$  g/kg de peso vivo/día/animal, una digestibilidad de materia seca  $41 \pm 3\%$  y una producción de metano  $13.4 \pm 4.6$  L/día/animal, con un llenado intestinal de  $1.9 \pm 0.4$  %/masa corporal, según los datos se observó que un aumento lineal de la producción de metano está influenciado con la masa corporal en équidos.



Velasquez *et al.*, (2018), mencionan que la emisión de metano (CH<sub>4</sub>) por los equinos está asociada con un impacto negativo en el medio ambiente y con la pérdida de energía del forraje; para mitigar este efecto invernadero han utilizado aceites vegetales *in vitro*, reportando que un alto nivel de aceite de maíz en el equino reduce la emisión de gases en las heces (44.5, 36.0 y 54.6% para el CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>, respectivamente); sin embargo, para un rendimiento combinado, como la digestibilidad, el pH y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, se puede recomendar el aceite de soya; (Elghandour *et al.*, 2018), también mencionan que la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero es un aspecto muy importante en la sostenibilidad de la Tierra, aunque los equinos producen menos metano que los rumiantes

Vendi *et al.*, (2016), en su investigación que fue basada en producción de metano en dos herbívoros no rumiantes como son el pecarí de collar (*Pecari tajacu*) y el hipopótamo pigmeo (*Hexaprotodon liberiensis*); en el pecarí con collar (Pecari tajacu, peso vivo de 17 kg en promedio) y el hipopótamo pigmeo (*Hexaprotodon liberiensis*, peso vivo de 229 kg en promedio); la dieta del pecarí con collar fue a base de gránulos de alfalfa, algunas galletas para perros dos veces al día y agua dulce que estaba disponible en todo momento; el hipopótamo pigmeo fue alimentado dos veces al día y consistió en gránulos de alfalfa y dos tipos de heno de alfalfa (paja y heno entero), los resultados reportados fueron una producción de CH<sub>4</sub> de 7.96 ± 1.06 L/día pecarí de collar y 71.61 ± 16.14 L/día hipopótamo pigmeo.

Boadi *et al.*, (2002), en un estudio realizado en producción de metano en vaquillas, con una alimentación forrajera *ad libitum* y restringida (alta, media y baja), con un peso vivo de 310 ± 15.3 kg y de 1 año de edad, la producción de metano fue de 238.0 ± 6.9 L/día/animal. La digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (IVOMD) del forraje de



dieta fue alta = 61.5%, media = 50.7% y baja = 38.5%; Cada período consistió en 23 días durante los cuales las novillas fueron alimentadas individualmente con sus forrajes, la variación diaria en la producción de CH<sub>4</sub> y la alimentación restringida fue de 26.9 y 27.1% *ad libitum*.

Ramirez (2018), Reporta una producción de metano entérico para las alpacas de 30.97 L/d CH<sub>4</sub> y Para llamas 62.35 L/d CH<sub>4</sub>, con una alimentación de heno de avena (Avena sativa) y alfalfa (Medicago sativa) procesados mecánicamente a 12 mm y 24 mm de diámetro para las alpacas y llamas, con pesos vivos de 48.08 y 97.6 kg., edad de 2 años,; Se concluye que el efecto tamaño de partícula del forraje tiene efecto en el consumo de alimento, ganancia de peso, sin embargo la producción de metano entérico estuvo influenciada por el factor especie y no por el factor dieta experimental, no habiendo diferencia estadística.

## CAPITULO III

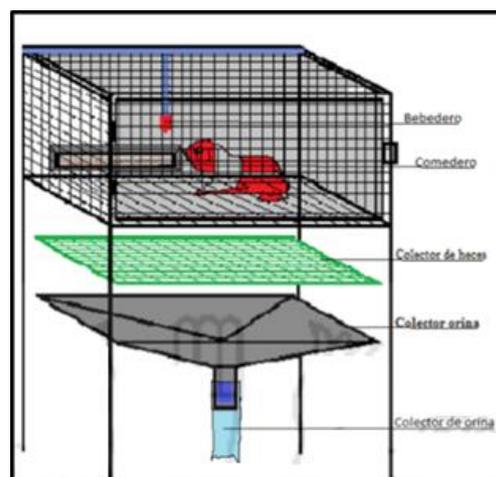
### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 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, ubicado a una altitud de 3827 m, en la sierra sureste del país, en la meseta del Collao a: 13°00'66"00" y 17°17'30" de latitud sur y los 71°06'57" y 68°48'46" de longitud oeste del meridiano de Greenwich; durante los meses de enero y febrero del 2020.

#### 3.2 INSTALACIONES

La determinación de metano, digestibilidad aparente y el consumo de alimento se realizó en el bioterio de cuyes, construido de material concreto y techo de calamina con un área de 4 x 4 x 2.2 m. Se utilizó 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 recubierta con mallas metálicas hexagonales; en cada jaula se acondicionó una malla colectora de heces, como se muestra en la Figura 1.



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



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.

### **3.3 MATERIALES, EQUIPOS**

#### **3.3.1 Materiales durante el experimento**

- Plástico blanco
- Bolsas polietileno (5 x 10 cm)
- Papel toalla
- Balde de 18 L
- 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
- Aplicador y silicona
- Sacos
- Gasolina de 90 octanos
- Papel kraft

#### **3.3.2 Equipos utilizados en el 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



- Calculadora
- Cronómetro
- Cámara fotográfica digital (24 mpx)
- Estabilizador
- Calefactor
- Estufa

### **3.3.3 Instrumentos utilizados en el lugar del experimento**

- Termómetro ambiental
- Cinta métrica
- Balanza digital con capacidad de 5/0.01 kg
- Balanza digital con capacidad de 200/0.0001g
- Espátula para pesado de la muestra
- Pinza de crisoles
- Campana de desecación

## **3.4 CÁMARA ESTÁTICA DE FLUJO CERRADO**

Se utilizaron dos cámaras estáticas de flujo cerrado de gases, de material de vidrio doble los cuatro lados y con una tapa de placa prensada (CMD) de 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, lo que permitió cerrar herméticamente la cámara (Anexo 2, figura 24), a nivel de la tapa se acondicionó espacios para un termómetro digital (controlar la temperatura del medio interno de la cámara), así como para un colector (sensor) por donde pasó la muestra ( $\text{CH}_4$ ) con la finalidad de analizar los gases en el equipo Gasmeter DX-4030, en la base cuenta con un ventilador mecánico para homogenizar el aire interior de la cámara.



### 3.5 ANIMALES

Para el experimento se utilizaron 12 cuyes machos, de 1 mes de edad, de la línea Perú, con un peso promedio de  $0.513 \pm 0.04$  kg.

### 3.6 DURACIÓN Y PROTOCOLO DE BIOSEGURIDAD

El experimento tuvo 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; restricción de ingreso de personas ajenas, además de la limpieza de las jaulas, que se realizó en forma diaria; la desinfección se realizó en forma semanal utilizando amonio cuaternario al 20 % (2.5 mL/L de agua), y creso (1 mL/L).

### 3.7 ALIMENTACIÓN DE LOS CUYES

La alimentación fue en base de avena picada (diámetro de 2 mm) suministrada en una cantidad de 40 g/d la cual fue humedecida en una proporción de (60% de materia seca y 40% de agua) y alfalfa fresca en un estado fenológico tierno (en botón de floración), en un promedio de 140 g/d. Los animales fueron alimentados dos veces al día (6 a.m. y 4 p.m.).

**Tabla 5.** *Materia seca de heno de avena (Avena sativa) y alfalfa (Medicago sativa)*

Insumo	Cantidad TCO (g)	Mezcla TCO (%)	Materia Seca (%)	H° (%)
Avena	40	22.22	56.20	43.80
Alfalfa	140	77.78	21.32	78.68
<b>Total</b>	<b>180</b>	<b>100</b>		

TCO: Tal como ofrecido



## **3.8 METODOLOGÍA**

Las mediciones de la producción de metano entérico, la digestibilidad aparente en materia seca y el consumo de la materia seca, se realizó en dos etapas la primera de acostumbramiento (pre-experimental) con una duración de 7 días y la otra etapa realizada en 8 días, las que se detallan a continuación:

### **3.8.1 Etapa pre-experimental**

#### **3.8.1.1 Manejo pre-experimental de los animales**

Selección de la unidad experimental: Los animales fueron colocados en las jaulas metabólicas, a los que se les suministró una alimentación en base a heno de avena seca picada y alfalfa fresca. Donde se registró el peso vivo, perímetro torácico y largo corporal.

Etapa de acostumbramiento: Los animales se adaptaron al manejo, evitando el estrés con un cambio gradual de las actividades. Además, se registró en forma diaria los alimentos rechazados y las heces.

En esta etapa se determinó el tiempo de evaluación y permanencia de los cuyes en las cámaras estática de flujo cerrado, siendo este tiempo de 10 minutos, posterior a este tiempo el animal mostraba signos de inquietud y estrés, además que no había variación en las lecturas de la medición de la producción de metano en el Gasmeter DX-4030.

### **3.8.2 Etapa experimental**

#### **3.8.2.1 Determinación del consumo de materia seca**

Para obtener el consumo de materia seca (CMS), se pesó en forma diaria el alimento ofrecido y rechazado; que fue calculado por diferencia, para ello se utilizó la siguiente ecuación:



$$\text{CMS, g/d} = \text{MSO} - \text{MSR}$$

Donde:

CMS, g/d = Consumo de Materia Seca

MSO, g/d = Materia Seca Ofrecida

MSR, g/d = Materia Seca Rechazada

Para la determinación de materia seca, se tomó muestras de alfalfa y avena, las que fueron procesadas en el laboratorio de nutrición y alimentación animal, de la FMVZ-UNA-Puno.

### 3.8.2.2 Determinación de la digestibilidad aparente

Para la digestibilidad aparente además de la determinación de Consumo de materia seca (CMS), también se registró diariamente los pesos de las heces, se utilizó la siguiente fórmula:

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

Donde:

MSC = materia seca consumida

MSE = materia seca excretada



Para la determinación de materia seca de las heces, se tomó muestras de estas y fueron procesadas en el laboratorio de nutrición y alimentación animal, de la FMVZ-UNA-Puno.

### **3.8.2.3 Determinación de la producción de metano entérico**

La producción de metano ( $\text{CH}_4$ ) en cuyes se determinó por el método de medición directo de corto plazo, en una cámara estática de flujo cerrada, con la técnica de espectroscopia infrarroja transformada de Fourier, con un analizador portátil de gases Gasmeter DX-4030, (Anexo 2, figura 18) las mediciones se realizaron a las 11 a.m.; los animales permanecieron por 10 minutos en la cámara de acumulación de gases; la medición se realizó bajo el siguiente procedimiento:

Se calibro el equipo analizador de gases Gasmeter DX-4030 con nitrógeno UHT (99.999 N), para lo cual se inicia con la apertura de la llave de la válvula del tanque de Nitrógeno, seguidamente se abrió la perilla reguladora, fijándose que el manómetro ejerza una presión en el cilindro de 5 L por minuto; luego se enciende PDA el cual tiene una conexión externa con el Bluetooth, de esa manera se calibra el equipo analizador de gases Gasmeter DX-4030.

Preparación de la cámara de acumulación de gases, básicamente esta debe encontrarse seca, además de verificar el funcionamiento del ventilador, el cerrado de llaves y colocar el termómetro, también controlar el colector de gases por donde sale la muestra.

Una vez conectada el equipo Gasmeter DX-4030 con el interruptor, se enciende de inmediato y tendrá la presencia de una luz de color azul y se enlaza con PDA a través del bluetooth.



Activar el ventilador para homogenizar el medio ambiente interno de la cámara, de inmediato conectamos el termómetro para controlar la temperatura dentro de la cámara, como último paso se conectó el colector de gases a la cámara de acumulación de gases, el cual se encuentra a nivel de la tapa donde indica la salida de la muestra del gas metano.

Después de preparar todas las conexiones se introdujeron a los cuyes dentro de la cámara, para posteriormente realizar la medición de la producción de metano entérico, a diferentes tiempos: 0 minutos, 5 minutos, y 10 minutos en la cual se obtuvieron 4 datos de cada uno; mediciones presentados en el PDA, en ppmv (partes por millón en volumen). Este procedimiento, se realizó en los 12 cuyes durante 10 minutos cada uno, alternando la utilización de las cámaras, para el correcto limpiado, secada y ventilada, todo este procedimiento de experimentación se realizó por 8 días.

Luego del registro de datos en la producción de metano ppmv, se realizó la transformación de datos bajo 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 (ppmv) fue convertida en concentración absoluta de metano expresada en miligramos por metro cúbico ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{mg}/\text{m}^3$ ) de aire presente en la cámara de acumulación de gases, considerando la cantidad de ppmv, constante de gases, la temperatura registrada en la altura y tomando en cuenta el peso molecular del metano 16.04246 g/mol (EPA, 2015), dicha conversión se realizó mediante la siguiente fórmula (Beychok, 2005).

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



Donde:

$\text{CH}_4, \text{mg/m}^3$  = Concentración absoluta de gases, en miligramos de metano por metro cúbico del aire presente en la cámara.

ppmv = Concentración de metano en partes por millón en volumen en el aire de la cámara.

12.187 = Valor de la constante universal de los gases (constante de proporcionalidad o inversa de la constante de la Ley Universal de los gases).

M = peso molecular de metano 16.04246 g/mol.

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

El volumen de la cámara de acumulación de gases ( $V_c$ ) es de 0.026 m. (0.3 m x 0.25 m x 0.35 m), lo cual se estimó a través de la siguiente fórmula:

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

Donde:

$V_c$  = Volumen de la cámara ( $\text{m}^3$ )

A = Ancho de la cámara (m)

L = Largo de la cámara (m)

$h$  = Altura de la cámara (m)

### b) Determinación del volumen corporal de los animales

Los animales se caracterizan por tener masa y volumen (Chang *et al.*, 2012), por lo que fue necesario restar el volumen corporal del animal del volumen total de la cámara de acumulación de gases.

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

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

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

### Determinación la circunferencia (El radio) del animal

El radio se dedujo de la fórmula de la circunferencia del animal ( $C = 2\pi r$ ,  $r = PT/2\pi$ ), que 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 ( $\text{cm}^3$ ) (Figura 2), luego convertido en metros cúbicos ( $\text{m}^3$ ).



### c) Determinación de la producción de metano CH<sub>4</sub> (mg)

La producción total de metano entérico en los cuyes que se midieron en el interior de la cámara de acumulación de gases el cual fue de 10 minutos en mg, corresponde al producto de la concentración absoluta del gas (mg/m<sup>3</sup>) y el volumen total del aire (V<sub>c</sub> – V<sub>a</sub> en m<sup>3</sup>) presente en la cámara (Broucek, 2014), siendo la siguiente ecuación:

$$\text{mg, CH}_4/\text{VFC} = \text{mg/m}^3, \text{CH}_4 \times (\text{V}_c - \text{V}_a)$$

Donde:

mg, CH<sub>4</sub>/VFC = Miligramos de metano entérico por volumen final de la cámara

mg/m<sup>3</sup>, CH<sub>4</sub> = Miligramos de metano por metro cúbico

V<sub>c</sub> = Volumen de la cámara de acumulación de gases

V<sub>a</sub> = Volumen corporal del animal.

### d) Determinación de la producción de metano CH<sub>4</sub> en gramos por día (g/d)

Para determinar la producción total de metano (CH<sub>4</sub>) expresado en gramos/día (g/d) se empleó la siguiente fórmula:

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

Donde:

g/d, CH<sub>4</sub> = Producción de CH<sub>4</sub> entérico gramos por día

mg, CH<sub>4</sub>/VFC = Miligramos de CH<sub>4</sub> entérico por volumen final de la cámara.



Para determinar el Peso Metabólico de Metano CH<sub>4</sub> expresado en gramos/día (g/d) se empleó la siguiente fórmula:

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

Donde:

$g/W^{0.75}$  = Peso Metabólico de Metano expresado en gramos/día

$Wkg^{0.75}$  = Peso Metabólico de los cuyes

$g/d, CH_4$  = Producción de CH<sub>4</sub> entérico gramos/día

Determinar la producción de metano CH<sub>4</sub> que está directamente proporcional al consumo de materia seca

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

Donde:

$CH_4, g/CMS, g$  = Producción de metano CH<sub>4</sub> entérico en consumo de materia seca

$CH_4, g/d$  = Producción de CH<sub>4</sub> entérico gramos/día

$CMS, g/d$  = Ingestión de Materia Seca Total de la dieta en alfalfa y avena en kg/d

#### **e) Determinación la producción de metano CH<sub>4</sub> en moles por día**

Para hallar la emisión total de CH<sub>4</sub> en moles/día (mol/d), se consideró el peso molecular del CH<sub>4</sub> = 16.04246 g/mol (EPA, 2015), empleándose la siguiente ecuación.

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



Donde:

mol/d, CH<sub>4</sub> = Producción de CH<sub>4</sub> entérico de moles por día

g/d, CH<sub>4</sub> = Producción de CH<sub>4</sub> entérico de gramos por día

M = Peso Molecular de Metano 16.04246 g/mol.

Para determinar el kilo caloría/día de Metano CH<sub>4</sub> entérico que produce, empleando la siguiente ecuación.

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

Donde:

Kcal/d = Kilo caloría/día de metano CH<sub>4</sub> entérico que produce

mol/d = Producción de CH<sub>4</sub> entérico de moles por día

Kcal/mol = Su valor calórico del metano

#### **f) Determinación de la producción de metano CH<sub>4</sub> 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.

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

Donde:

n = Producción de CH<sub>4</sub> moles por día (mol/d, CH<sub>4</sub>).

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



$T = (°K=273.15 + °T)$  (Temperatura absoluta en Kelvin más la temperatura interior de la cámara estática de flujo serrado)

$P_h = 472.74$  mmHg (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 msnm. (3.827 km)

Para determinar el Dióxido de Carbono  $CO_2$ , de Metano  $CH_4$  entérico en gramos/día se estimó de acuerdo a la siguiente fórmula.

$$CO_{2eq.} = g/d, CH_4 * 25$$

Donde:

$CO_{2eq.}$  = Dióxido de Carbono  $CO_2$ , de Metano  $CH_4$  entérico en gramos/d

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

25 = Es una constante de  $CO_2$  en kg.

### **g) Determinación de la producción de metano $CH_4$ en gramos por gramos de ganancia de peso ( $CH_4$ g/g GPV)**

Para determinar la producción de metano  $CH_4$  en g/d por ganancia de peso en cuyes, se estimó de acuerdo a la siguiente fórmula.

$$CH_4 \text{ g/g GPV} = (g/d CH_4) / (g/d GPV)$$



Donde:

$\text{CH}_4$  g/g GPV = Producción de metano en gramos por gramos de ganancia de peso vivo del cuy

g/d  $\text{CH}_4$  = Producción de metano en gramos por día

g/d GPV = Ganancia de peso vivo del cuy

### 3.9 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).

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

Donde:

Media(X) = Promedio de las variables

$X_1$  = Variables

N = Número total de animales

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

Donde:

SD = Desviación Estándar

Media (X) = Promedio de variables



$X_1 = \text{Variables}$

$N = \text{Número total de animales.}$

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 CONSUMO DE MATERIA SECA

La Tabla 6 y 10 del Anexo 1, muestran el peso vivo promedio (kg), el consumo de materia seca, expresado como cantidad por día (g/d), el peso metabólico expresado en  $Wkg^{0.75}$ , la proporción del peso vivo (%) y como cantidad por unidad de peso metabólico ( $g/Wkg^{0.75}$ ) en cuyes alimentados en base a forrajes (heno de avena y alfalfa) en altura.

**Tabla 6.** Consumo de materia seca en cuyes alimentados con forraje (heno de avena y alfalfa) en altura

Variables de medición	Datos
Peso vivo promedio, kg	$0.513 \pm 0.04$
$Wkg^{0.75}$	$0.61 \pm 0.032$
CMS, g/d	$38.78 \pm 4.27$
CMS, %	$7.56 \pm 0.49$
CMS, $g/Wkg^{0.75}$	$63.57 \pm 4.68$

CMS: Consumo de materia seca

En la tabla 6 se observa que el consumo de materia seca de forrajes (heno de avena y alfalfa) en cuyes que fue de  $38.78 \pm 4.27$  g/día, que representa el 7.56 % de su peso vivo, con un peso metabólico de  $0.61 \pm 0.032$  y una cantidad de  $63.57$   $g/Wkg^{0.75}$ ; encontrándose este resultado dentro de los rangos normales bajo este sistema de alimentación en base a forrajes, cuyos valores oscilan entre 20 a 40 g/d de MS (Chauca, 1995), por ser los cuyes una especie herbívora por excelencia, y su alimentación es sobre todo a base de forraje verde y ante el suministro de diferentes tipos de alimento, muestra siempre su preferencia por este, y más aún por las leguminosas (Zaldívar & Rojas, 1968); llegando con este consumo a desarrollarse normalmente, pero en un mayor tiempo



(Vergara, 2008), ya que el consumo es el primer factor de la producción animal, debido a que define la cantidad disponible de nutrientes para el animal (Church *et al.*, 2002).

El consumo en MS de 38.78 g/d es inferior a lo reportado por Franz *et al.* (2011), quienes obtuvieron un consumo de materia seca de 59 g/día/cuy; al igual que Machaca (2017) cuyo CMS fue de 57.54 g/día; esta diferencia posiblemente se deba a factores como el peso vivo, la edad, y las condiciones ambientales (como el estrés de frío, estrés de calor, termoneutralidad), factores que influyen directamente en el consumo de alimento (McDonald *et al.*, 2002), ya que en ambos estudios utilizaron animales de mayor edad en contraste con lo obtenido en la presente investigación. Existe también el efecto de la selectividad y gustosidad (Paredes *et al.*, 1972), ya que Trujillo (1992) reportó un CMS mayor de 45 g/día; esta diferencia posiblemente se deba a que el autor en mención solo suministró alfalfa, mientras que en contraste con lo reportado se suministró alfalfa más heno de avena.

Se observó que el CMS de 38.78 g/d superior a lo reportado por (Condori, 2018), cuyo consumo fue de 21.41 g/día/cuy, esta diferencia está dada por el peso y la edad, ya que el autor en mención utilizó cuyes de 15 días, y como anteriormente se mencionó que la edad es un factor que influye sobre el consumo de alimento (McDonald *et al.*, 2002).

En contraste con otros sistemas de alimentación como el mixto con un CMS de 40 a 60 g/día (Chauca, 1995) y alimentación integral (solo concentrado) con un CMS de 40 a 70 g/día (Vergara, 2008), existen diferencias, y básicamente se deberían al sistema empleado; corroborado por (Chauca, 1997), quien indica que un suplemento alimenticio que tenga una ración balanceada haría que el forraje perdiera toda su importancia, y bajo estas condiciones el consumo del animal/día se incrementaría.

## 4.2 DIGESTIBILIDAD APARENTE DE MATERIA SECA

La tabla 7 y 11 del Anexo 1, muestran la excreción de materia seca, expresado por cantidad por día (g/d); materia seca digestible expresada (g/d), así como la digestibilidad aparente de materia seca (%) en cuyes alimentados en base a forrajes (heno de avena y alfalfa) en altura.

**Tabla 7.** Digestibilidad aparente de materia seca de los forrajes en cuyes alimentados con forraje (heno de avena y alfalfa) en altura

VARIABLES DE MEDICIÓN	DATOS
EMS, g/d	13.93 ± 3.20
MSD, g/d	24.73 ± 3.93
DMS, %	61.05 ± 9.25

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

En la tabla 7 se observa que la digestibilidad aparente de materia seca en cuyes alimentados con forrajes (heno de avena y alfalfa), que fue de  $61.05 \pm 9.25$  %, valores que se encuentran dentro de los rangos normales para forrajes como la alfalfa y avena con DMS que oscila entre 50 a 65 % (Chauca, 1997); digestibilidad que hace propicia una buena nutrición de los cuyes como productor de carne (Aliaga, 1998), ya que la digestibilidad constituye el segundo factor dietario de importancia en la producción animal debido a que mide el aporte de nutrientes para el animal (Church *et al.*, 2002).

La digestibilidad aparente de materia seca obtenida es 61.05 %, es similar a lo obtenido por Franz *et al.* (2011) quienes reportan una DMS de 61% en cuyes. Por otro lado Choque (2014) quien reportó una digestibilidad de materia seca 83,64 % con alfalfa, y Valenzuela (2015) reportó una DMS de 66.29 % con mucuma; ambas digestibilidades son superiores a lo reportado, esta diferencia posiblemente se deba a la especie vegetal,



ya que las leguminosas son altamente digestibles (Chauca, 1997); otro factor sería el estado fenológico del forraje, siendo las plantas tiernas más digestibles por su menor contenido de lignina (Valenzuela, 2015).

La DMS reportada de 61.05 %, superior a lo obtenido por Saravia *et al.* (1992), quienes reportan una DMS de la alfalfa 60.67 %, esta diferencia debe ser posiblemente al estado fenológico del forraje, ya que 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); otro factor que pudiera estar influyendo es la edad de los animales, es así que Campos (2007), sostiene que los animales jóvenes tienen una digestión deficiente, debido a la poca actividad funcional por su aparato digestivo, por lo tanto la digestibilidad aumenta con la edad de los animales.

En contraste con otros sistemas de alimentación como el mixto, con un DMS de 50 a 60% (Chauca, 1995) y alimentación integral (solo concentrado) con un DMS de 70 a 80 % (Vergara, 2008), existen diferencias y básicamente se deberían al sistema empleado; en caso de sistema mixto dependerá también del forraje que se utilice si es con leguminosas será mayor la digestibilidad y si es gramíneas será una menor digestibilidad; en el caso del sistema integral dependerá de la forma física de presentación si es en harina o peletizado, siendo el segundo más digestible por el efecto de calor sobre los nutrientes, que tuvo en el proceso de elaboración, así como también los insumos que se utilicen.

### **4.3 PRODUCCIÓN DE METANO**

La Tabla 8 y 9 del Anexo 1, muestran el peso vivo promedio (kg), la ganancia de peso vivo (g/d), el peso metabólico ( $Wkg^{0.75}$ ), el consumo de materia seca (g/d) y la producción de metano en cuyes expresado en ppmv, mg/m<sup>3</sup>/Cám., g/d, g/gCMS, mol/d,



kcal/d, g/g GPV, L/d, L/g CMS, L/WKg<sup>0.75</sup> y eq CO<sub>2</sub>, en cuyes alimentados en base a forrajes (heno de avena y alfalfa) en altura.

**Tabla 8.** Producción de metano (CH<sub>4</sub>) entérico en cuyes, alimentados con forraje (heno de avena y alfalfa) en altura

Variables de medición	Datos
GPV, g/d	6.72 ± 2.17
CMS, g/d	38.78 ± 4.27
CMS/Wkg <sup>0.75</sup>	63.57 ± 4.68
CH <sub>4</sub> , ppmv/10min. mg/ m <sup>3</sup> /Cám.	95.00 ± 12.86
CH <sub>4</sub> , g / d	1.62 ± 0.22
CH <sub>4</sub> , g /Wkg <sup>0.75</sup>	0.23 ± 0.03
CH <sub>4</sub> , g /CMS, g	0.38 ± 0.06
CH <sub>4</sub> , mol / d	0.006 ± 0.001
CH <sub>4</sub> , kcal / d	0.02 ± 0.002
CH <sub>4</sub> , g /g GPV	3.10 ± 0.42
CH <sub>4</sub> , L/d	0.03 ± 0.02
CH <sub>4</sub> , L/ CMS, g	0.57 ± 0.08
CH <sub>4</sub> , L/Wkg <sup>0.75</sup>	0.01 ± 0.003
CH <sub>4</sub> , eqCO <sub>2</sub>	0.93 ± 0.20
	5.75 ± 0.79

PV: Peso vivo; WKg<sup>0.75</sup>: Peso metabólico; CH<sub>4</sub>: Metano; CMS: Consumo de materia seca; eq CO<sub>2</sub>: Equivalente a dióxido de carbono; GPV: Ganancia de peso vivo.

En la Tabla 8 se observa los promedios generales para la producción de metano (CH<sub>4</sub>) en cuyes criados en altura bajo una alimentación en forraje como el heno de avena y alfalfa, siendo este valor de 0.57 ± 0.08 L/d; la producción de metano en relación con



el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) es de 5.75 eq $\text{CO}_2$ ; además de una intensidad de esta emisión de  $\text{CH}_4$  en relación a la producción con respecto a la ganancia de peso (g/d) de  $0.03 \pm 0.02$  g/g GPV. Esta metanogénesis es producida por la fermentación microbiana a nivel del ciego, básicamente por los microorganismos del grupo *Archeas metanogénicas* (Madigan *et al.*, 2015) y expulsado por el ano; además existen otros factores como la presencia de los protozoos, que a menudo son productores de hidrógeno y por lo tanto tienen una estrecha relación metabólica con las *Archaeas* (Dehority, 1986).

El metano reportado de 0.57 L/d es superior a lo observado por Franz *et al.* (2011) cuya producción de metano fue de 0.22 L/día, esta diferencia podría deberse a muchos factores, la edad de los animales, ya que el presente experimento se utilizó cuyes de 1 mes y el autor en mención utilizó cuyes de 1 año, relacionado esto con el desarrollo de la fisiología digestiva, factor afín que afecta la producción de los ácidos grasos volátiles (AGV), lo cual regula la producción de  $\text{H}_2$  y la producción de  $\text{CH}_4$  (Johnson & Johnson, 1995); dentro de otros posibles factores que pudieran estar afectando esta producción de  $\text{CH}_4$ , se encontrarían la cantidad y calidad de alimento, frecuencia de la alimentación y la genética de los animales (Carmona *et al.*, 2005).

El contraste de la producción de metano reportado en cuyes de 0.57 L/d de  $\text{CH}_4$ , muestra ser diferente con otras especies de monogástricas fermentadoras posgástricas, como lo obtenido en conejos por Franz *et al.* (2011) cuya producción fue de 0.20 L/d, y a lo reportado por Belenguer *et al.* (2008) de 0.002 L/d; estas diferencias están asociadas con la especie animal y con las características de la dieta ofrecida, debido a la alta variabilidad individual 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). Otra especie como las maras (*Dolichotis patagonum*) produce  $\text{CH}_4$



en una cantidad de 3.85 L/d (Clauss *et al.*, 2019), muestra una marcada diferencia a pesar de ser roedor de la familia *Caviidae*, esto se debería al volumen y tamaño corporal, lo cual estría relacionando también al consumo de alimento g/d; otro factor sería la digestibilidad, ya que las maras digirieron la materia orgánica de  $48 \pm 8 \%$ , ya que existe un aumento de emisiones de CH<sub>4</sub> frente a la menor digestibilidad de los alimentos (Clauss *et al.*, 2020).

En caballos, Franz *et al.*, (2010), reportaron una producción de metano de 13.4 L/día, en contraste a lo hallado en cuyes (0.57 L/d), a pesar de que ambas especies son herbívoros no rumiantes, la diferencia radicaría que el caballo no es roedor y su fisiología digestiva son diferentes, así como en volumen corporal y la digestibilidad; los equinos procesan con menor eficiencia los forrajes por lo que tienen que ingerir mayores cantidades, además que el tiempo de retención de ingesta es corta (Vermorel *et al.*, 1997). Sin embargo esta producción en caballos como en cuyes muestran ser menores a lo producido en rumiantes, lo cual se debería a que el nivel del intestino posterior de estas especies, se han encontrado concentraciones más bajas de *Archaeas metanógenas* (Morvan *et al.*, 1996). Esta producción de CH<sub>4</sub> en caballos esta asociado con un impacto negativo al medio ambiente y para su mitigación se viene utilizando aceite de maiz lo que reduce la produccion de emisiones de gases en las heces hasta un 44.5 % (Velásquez *et al.*, 2018), la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero se puede disminuir con la utilización de aceite de soya (Elghandour *et al.*, 2018); conceptos que también pudieran aplicarse a los cuyes.

La producción de CH<sub>4</sub> reportado para otras especie monogástricas como el pecarí (*Pecari tajacu*) de collar y el hipopótamo pigmeo (*Hexaprotodon liberiensis*), fue de 7.96 y 71.61 L/d respectivamente por (Vendi *et al.*, 2016), muestran ser mayor a lo hallado en



la presente investigación en cuyes (0.57 L/d); esto se debería a la especie animal, tipo de alimento, a la fisiología digestiva (fermentan el intestino anterior), además a la digestibilidad. Es así que los Pecarí de collar generalmente no logran mayores eficiencias digestivas para la fibra con respecto a los monogástricos que fermentan el intestino posterior como los cuyes según (Elston *et al.*, 2005; Clauss *et al.*, 2008; Elston, 2010) por lo tanto no parece estar particularmente adaptado al consumo de dietas altas en fibra. En el caso de los hipopótamos, estos presentan una proporción mucho mayor del contenido total del tracto gastrointestinal que los cuyes, con respecto al lugar de fermentación; en base a esta diferencia, por lo que la mayor producción de CH<sub>4</sub> estaría relacionado también con masa corporal, sin embargo las emisiones de CH<sub>4</sub> en esta especie, se han considerado como una fuente existente pero insignificante de CH<sub>4</sub> atmosférico (Crutzen *et al.*, 1986); a pesar de que el hipopótamo es una especie corpulenta a diferencia de los cuyes, que son de masa muscular pequeña, sus contaminaciones de CH<sub>4</sub> son mínimas; con lo que respecta a la actividad microbiana se sabe que en hipopótamos tienen una alta actividad pero su microbiota es mínima en el intestino delgado y colon (Aguila, 2007), contrario a los cuyes, quienes tienen mayor microbiota a nivel del ciego.

En contraste con rumiantes, como los vacunos, Boadi *et al.* (2002) reportó una producción de CH<sub>4</sub> de 238 L/d, superior a lo reportado en cuyes (0.57 L/d); al realizar una diferencia entre rumiantes y no rumiantes, sugiere 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 *Archaea* tiene más tiempo para producir metano (Vendí *et al.*, 2016; Franz *et al.*, 2010) el que es expulsado en el eructo; dentro de otros factores que influyen en la alta producción de metano en vacunos, se explicaría por la cantidad, calidad de alimento que afecta la digestión y la fermentación (VanSoest, 1982); al igual que por la cantidad de microorganismos que se



encuentra presente en el tracto digestivo para la fermentación (Franz *et al.*, 2011). La producción de CH<sub>4</sub> depende entonces de varios factores como tamaño corporal, capacidad gastrointestinal, especie animal, raza y las condiciones ambientales (McAlliste *et al.*, 1996).

Los camelidos como la alpaca y llama muestran también una alta producción de CH<sub>4</sub> en contraste con lo obtenido en cuyes criados en altura y alimentados en base a forrajes (0.57 L/d); es así que Ramirez (2018) reporta valores de 30.97 L/d CH<sub>4</sub> en alpacas y en llamas 62.35 L/d CH<sub>4</sub>, esta especie al igual que los vacunos son fermentadores pre-gástricos, la diferencia se debería a lo anteriormente explicado en vacunos, como es el tipo de alimento, la especie, tamaño corporal, capacidad gastrointestinal y las condiciones ambientales (McAlliste *et al.*, 1996); el autor hace referencia que los animales al consumir su alimento forrajero picado y peletizado pueden disminuir la producción de metano, lo que puede aplicarse también a cuyes que tiene relación con una mejor digestibilidad y por ende pueden disminuir la producción de CH<sub>4</sub>, 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 lo actual crecimiento en la producción de cuyes, aumentará la producción de CH<sub>4</sub>, repercutiendo ello sobre el efecto invernadero.



## V. CONCLUSIONES

- El consumo de materia seca en cuyes alimentados con forrajes como el heno de avena y alfalfa fresca fue de 38.78 g/d ( $63.57 \text{ g/Wkg}^{0.75}$ ).
- La digestibilidad aparente de materia seca de los forrajes en cuyes alimentados con heno de avena y alfalfa fresca fue de 61.05 %.
- La producción de metano entérico en cuyes fue de 0.57 L/d ( $0.93 \text{ L/Wkg}^{0.75}$ ), con una relación de 5.75 CH<sub>4</sub>, eqCO<sub>2</sub>, y una intensidad de producción de 0.03 CH<sub>4</sub>, g /g GPV.



## VI. RECOMENDACIONES

- Realizar trabajos similares con variantes como el suministro de alimentación mixta y concentrado, la frecuencia de alimentación, época del año y otra genética.
- Determinar la población y clasificación de microbiota a nivel del ciego en cuyes.
- Realizar investigaciones con insumos como aceites, taninos entre otros que mitiguen la producción de CH<sub>4</sub> en cuyes.



## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Aguila, O. (2007). La alimentacion de los hipopotamos en los Zoos. (*Departamento de Producción Animal*). Facultad de Veterinaria de Madrid, UCM, Madrid, España.
- Aliaga, L. (1998). Crianza de cuyes. (*Serie de Informes Técnicos*). Lima: INIA., Lima, Perú.
- Aylwin, P. (1987). Validación del método de digestibilidad in situ y su comparación con el método in vitro y de digestibilidad aparente. (*Tesis de Pregrado*). Universidad de Chile, Chile.
- Bäckman, k. (2012). The effect of additional nitrate and sulfur in the diet the methane production in cattle. (*Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science Department of Animal Nutrition and Management*). Swedish University of agricultural Sciences, Sueca, Europa.
- Bai, M., Griffith, D., Phillips, F., Naylor, T., Muir, S., McGinn, S., & Chen, D. (2016). Correlations of methane and carbon dioxide concentration from feedlot cattle as a predictor of methane emissions. *Anim. Prod. Sci.*, 56:108-115.
- Belenguer, 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.
- Bennegadi, N., Fonty, G., Millet, L., Gidenne, T., & Licois, D. (2003). *Effects of age and dietary fibre level on caecal microbial communities of conventional and specific pathogen-free rabbits*. Microbial ecology in health and disease, vol. 5: 23-32.
- 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.
- Blaxter, K., & Clapperton, J. (1965). *Prediction of the amount of methane produced by ruminants*. Br. J. Nutr. 19:511-522.
- 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.
- Broucek, J. (2014). *Methods of methane measuring in ruminants*. J. Anim. Sci.,47:81-90., Eslovaquia, Europa.
- Bustamante, J. (1997). Producción de cuyes. (Tesis). Univ. Nacional Mayor de San Marcos, Lima.
- Cabrero, E. (2005). *Actividad Cecotrofia*. Obtenido de <http://es.scribd.com/doc/60392000/CECOTROFIA#scribd>, España.
- 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.
- Carmona, J., Bolívar, D., & Giraldo, L. (2005). El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Agrarias, Medellín-Colombia.



- 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.
- Chang, R., Álvarez, R., Ponce, S., & Zugazagoitia, R. (2012). *Química*. 7ma edición. McGraw-Hill interamericana editores, S.A. de C.V. México.
- Chauca, F. (1995). Producción de cuyes (*Cavia porcellus*) en los países andinos. (*Instituto Nacional de Investigación Agraria y Agroindustrial-Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (INIAA-CIID)*). Revista Mundial de Zootecnia, La Molina, Perú.
- Chauca, F. (2004). Proyecto de sistema de producción de cuyes en el Perú. (*CIID. Informe técnico final*) vales I y II. Fase I y II. INIA, Perú. 201 Pg.
- Chauca, L. (1997). Producción de Cuyes (*Cavia porcellus*). (*Estudio FAO Produccion Y Sanidad Animal*). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentacion, Molina Perú.
- Cheeke, P. (1995). *Alimentación y nutrición del conejo*. (Zagora, Ed.) España: Acribia. Obtenido de [https://www.editorialacribia.com/libro/alimentacion-y-nutricion-del-conejo\\_53710/](https://www.editorialacribia.com/libro/alimentacion-y-nutricion-del-conejo_53710/)
- Chimicz, J. (1988). Los sistemas de producción de leche en Argentina. (*Producción Animal*). Revista Argentina, Balcarce. AR. pp. 155-168.
- Choque, J. (2005). *Producción y manejo de especies forrajeras* (1ra Edición ed.). Puno, Perú. 306 pp.: Editorial Universitaria UNA.
- Choque, L. (2014). "Evaluación de dieta 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 Pachia”. (*Tesis de Medico Veterinario y Zootecnista*). Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú.
- Choquemamani, M. (2017). Emisión de metano entérico en llamas al pastoreo en praderas andinas. (*Tesis Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia*). Universidad Nacional del altiplano, Puno, Perú.
- Church, D. (1990). *Fundamento de Nutricion e Alimentacion de Animales* (3<sup>a</sup> ed. ed.). Mexico: Edit. UTEHA. 512p.
- Church, D., Pond, W., & Pond, K. (2002). *Fundamentos de nutrición y alimentación de animales* (2da Edición. México ed.). D.F. - México: Editorial Limusa, S.A.
- Clauss, M., Dittmann, M., Vendl, C., & Hagen, K. (2020). Comparative methane production in mammalian herbivores. *Published online by Cambridge University Press*. Swiss National Science Foundation, Suiza.
- 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.
- Clauss, M., Nijboer, J., Loermans, J., Roth, T., Van der Kuilen, J., & Beynen, A. (2008). *Comparative digestion studies in wild suidae at the Rotterdam Zoo*. *Zoo Biol.*, 27 (2008), págs. 305-319.
- Combes, S., Michelland, R., Monteils, V., Cauquil, L., Soulie, V., Tran, N., & Gidenne, T. (2011). *Postnatal development of the rabbit caecal microbiota composition and activity*. *FEMS microbiology ecology*, vol. 77: 680-689, Beaumont, Francia.



- Condori, D. (2018). Raciones de henolajes de avena, alfalfa y retamilla (*Cytisus canariensis* L.) en el engorde de cuyes machos (*Cavia porcellus* L.)". (*Tesis de Ingeniero Agronomo*). Universidad Nacional del Altiplano-Puno, Perú, Puno.
- Crutzen, P., Aselmann, I., & Seiler, W. (1986). *Methane production by domestic animals, wild ruminants, other herbivorous fauna and humans*. *Tellus* , 38B ( 1986 ) , págs. 271 - 284.
- Dehority, B. (1986). *Microbes in the foregut of arctic ruminants*. In *Control of Digestion and Metabolism in Ruminants*. Proceedings of the Sixth International Symposium on Ruminant Physiology, Nueva Jersey: Prentice-Hall. [Google Académico] pp. 307–325.
- Elghandour, M., Adegbeye, M., Pilego, A., Perez, N., Rojas , S., Zaragoza, A., & Salem, A. (2018). Equine Contribution in Methane Emission and its Mitigation Strategies. (*Article*), *Journal of Equine Veterinary Science*. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de México, Estado de México, México.
- Elston, J., & Hewitt, D. (2010). *Comparative Food Digestion Among Wildlife in Texas: Implications for Competition*. *Sur oeste. Nat.* , 55 ( 2010 ) , pp. 67 - 77.
- Elston, J., Klinksiek, E., & Hewitt, D. (2005). *Digestive efficiency of collared peccaries and wild pigs*. *Sur oeste. Nat.* , 50 ( 2005 ) , págs. 515 - 519.
- ENA. (2017). Produccion 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.



- 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.
- FAO. (1997). Producción de cuyes (*Cavia porcellus*). (*Produccion y Sanidad Animal*). Instituto Nacional de Investigacion 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). Methane production in relation to body mass of ruminants and equines. *Facultad Vetsuisse*. Universidad de Zurich, Suiza.
- Franz, R., Soliva, C., Kreuzer, M., Humme, J., & 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>
- GasmetMR. (2012). *Gasmet DX-4030 USER MANUALFTIR Gas Analyser On-site*. Series Instruction and Operating Manual Version E1.18 (5.12.2012).
- 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, B., & Vergara, V. (1994). Fundamentos de Nutricion y Alimentacion de cuyes. (*Crianza de cuyes*). Lima Perú.
- Gomez, C., & Vergara, V. (1995). *Fundamentos de la nutrición y alimentación*. Lima: INIA-DGTT: Serie Guía Didáctica.



- Gouet, P., & Fonty, G. (1979). *Changes in the digestive microflora of holoxenic \* rabbits from birth until adulthood*. *Annales de biologie animale biochimie biophysique*, vol. 19: 553-566., Beaumont, Francia.
- Guacho, M. (2009). Valoración energética de diferentes tipos de balanceado utilizados en la alimentación de cuyes (*Cavia porcellus*). (*Tesis. Ingeniero Zootecnista*). Universidad de Guadalajara, Jalisco México.
- Haque, M., Cornou, C., & Madsen, J. (2015). Individual variation and repeatability of methane production from dairy cows estimated by the CO<sub>2</sub> method in automatic milking system. *Animal*, 9:1567-1576.
- 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.
- Illanes, R. (1989). Estudio comparativo de las digestibilidades in vivo, in situ y enzimático para siete forrajes de uso común en rumiantes. (*Tesis de Pregrado*). Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- INIA. (2006). Expediente técnico de avena forrajera variedad INIA-902 Africana (*Avena sativa* L.). *Instituto Nacional de Innovación Agraria. (Estación Experimental Illpa)*. Programa Nacional de Investigación en Pastos y Forrajes, Puno, Perú. 28 p.
- INIA. (2010). Avena forrajera INIA-903 Tayko Andenes. *Estación Experimental Agraria Andenes*. Instituto Nacional de Innovación Agraria, Cusco, Perú. 26 pp.
- INIA, I. N. (1991). Sistema de Producción de Cuyes. (*Instituto de Investigación Agraria*). Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo CIID, Canada, 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., & M. Kirs. (2008). *Structure of the archaeal community of the rumen*. *Applied and environmental microbiology*. 74:3619-3625, Nueva Zelanda.
- Johnson, K., & Johnson, D. (1995). *Methane emissions from cattle* (Vol. 73). (M. d. Science, Ed.) Oxford. Obtenido de <https://doi.org/10.2527/1995.7382483x>
- Johnson, K., Westbeg, H., Michal, J., & Cossalman, M. (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., 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.
- Jones, W., Nagle, D., & Whitman, W. (1987). *Methanogens and the diversity of archaeobacteria*. *Microbiology reviews*, vol. 51: 135-177, Oklahoma, EE.UU.
- Kimsé, M., Bayourthe, C., Monteils, V., Fortun-Lamothe, L., Cauquil, L., Combes, S., & Gidenne, T. (2012). *Live yeast stability in rabbit digestive tract: Consequences on the caecal ecosystem, digestion, growth and digestive health*. *Animal feed science technology*, vol. 173: 235-243.
- 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. *7º 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>
- Lammers , P., Carlson, S., Zdorkowski, G., & Honeyman, M. (2009). Reducing food insecurity in developing countries through meat production: the potential of the guinea pig (*Cavia porcellus*). (*Departamento de Ciencia Animal*). Universidad Estatal de Iowa, Ames, IA 50011-3150, EE. UU.
- 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.
- Lelkes , L., & Chang , C. (1987). *Microbial dysbiosis in rabbit mucoid enteropathy*. *Laboratory animal science*, vol. 37: 757-764.
- López, M. (2012). Efecto de la alimentación suplementada con urea en la morfometría y calidad de carne en cuyes (*Cavia porcellus* L.). (*Tesis de Ingeniero Agrónomo*). FCA.UNA-Puno, Puno, Perú.
- Machaca, I. (2017). Influencia de la vitamina “C” sobre los parámetros productivos en cuyes (*Cavia porcellus* L.) en Ichu – Puno. (*Tesis de Ingeniero Agrónomo*). Universidad Nacional del Altiplano, Perú, Puno.
- Madigan, M., Martinko, J., Bender, K., Buckley, D., & Stahl, D. (2015). *Brock: Biología de los Microorganismos*. 14<sup>a</sup> ed. Pearson, España, Madrid.
- Madsen, J., & Bertelsen, M. (2012). Methane production by red-necked wallabies (*Macropus rufogriseus*). *J. Anim. Sci.*, 90:1364-1370.
- 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. .



- Maynard, L. (1955). *Nutrición animal*. Unión Tipográfica Hispano Americana, Ciudad de México, México. 484p.
- Maynard, L., Loosli, J., Hintz, H., & Warner, R. (1981). *Nutrición Animal*. Libros McGraw-Hill de México, Mexico, 640 pp.
- McAlliste, T., Okine, E., Mathison, G., & Chengl, K. (1996). Dietary, environmental and microbiological aspects of methane Production in ruminants. (*Revista canadiense de ciencia animal*). J. Anim. Sci, Volumen 76, pp. 231-243, Canada.
- McDonal, P., Edwards, R., Greenhalgh, J., & Morgan, C. (1995). *Nutrición animal* (Edición: 5 ed.). Zaragoza, España: Editorial Acribia, S.A.
- McDonald, P., Edwards, R., Greenhalgh, J., & Morgan, C. (2002). *Nutrición Anima* (6ta edición ed.). Zaragoza, España: Editorial Acribia, S. A.
- McDonald, P., Edward, R., & Greenhalgh, J. (1979). *Nutrición animal*. Zaragoza, España: Editorial Acribia, S.A.
- Mollo, C. (1994). Digestibilidad de forrajes de invierno para la alimentación de cuyes (*Cavia aperea porcellus*). (*Tesis Lic. Bio. Cochabamba*), Facultad de Ciencias y Tecnología; Carrera Biología. Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia, p. 4,7,9, 18, 20, 21, 22, 24, 32, 42, 43, 51, 52, 53, 54,64.
- Moncayo, R. (2012). Producción de cuyes. (*Proceso productivo-alimentación*). Criadero Auquicuy, Ibarra, Ecuador. Pág. 16, 18.
- 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 H<sub>2</sub>-utilizing acetogenic and sulfate-reducing bacteria and methanogenic archaea from digestive tract of different mammals*. Curr. Microbiol., 32: 129–133.



- Muñoz, C., Yan, T., Wills, D., Murray, S., & Gordon, A. (2012). Comparison of the sulfur hexafluoride tracer and respiration chamber techniques for estimating methane emissions and correction for rectum methane output from dairy cows. (*Asociación Estadounidense de Ciencias Lácteas*). *J Dairy Sci*; 95 (6): 3139-48. doi: 10.3168/jds.2011-4298.
- Nunoura , T., Takaki , Y., Kakuta , J., Nishi , S., Sugahara , J., & Kazama , H. (2011). *Insights into the evolution of Archaea and eukaryotic protein modifier systems revealed by the genome of a novel archaeal group*. *Nucleic Acids Res* Apr;39(8):3204-23. doi: 10.1093/nar/gkq1228, Europa PubMed Central.
- 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.
- Paredes, P., Quijandria, S., & Zaldivar, A. (1972). *Utilizacion de diferentes niveles de alfalfa en la alimentacion del cuy (Cavia porcellus)*. Segunda Reunion Nacional de la Asociacion de Especialistas e Investigadores Forrajeros, Perú, Arequipa.
- Pedreira, M. (2013). *ruminal methane emission by dairy*. *Scientia Agricola*, southeast Brazil.
- 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.
- Quispe, N. (2017). Emisión de metano entérico en alpacas al pastoreo en praderas andinas. (*Tesis de Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia* ). Universidad Nacional del altiplano, Puno, Perú.



- 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.
- Revollo, K. (2009). *Proyecto de Mejoramiento Genético y Manejo del Cuy (Mejocuy)*. pdf., Bolivia. Pg 24, 30. .
- Rico, E. (1995). Investigación en aspectos de nutrición de cuyes en Bolivia. (*Mejocuy*). Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia. (Bol.) P. 16.
- Roque, B. (2015). Nutrición y alimentación animal consumo y digestibilidad. (*Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia*). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. 5-6pp.
- Sancho, J., & Bota, E. (1999). *Introducción al análisis sensorial de los alimentos*. Universidad de Barcelona, España.
- Saravia, J., Ramirez, S., & Muscari, J. (1992). Consumo voluntario y digestibilidad de cuyes de forrajes producidos en la Costa Centra. (*Asociación Peruana de Producción Animal*). En: XV Reunión APPA. Pucallpa:, Pucallpa, Perú.
- Shimada, M. (2017). *Nutricion Animal*. D.F. México: Trillas.
- Simón, M. (1992). Efecto de aditivos estimulantes, inhibidores y absorbentes, sobre la digestibilidad del ensilaje en terneros rumiantes. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Tapia, M. (2007). La Ganadería en el Altiplano de Puno. (*El problema agrario en debate SEPIA XII, Tarapoto*). Una visión, técnica, económica social y ambiental, San Martín, Perú. 23 p.
- 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.



- Tilley, J., & Terry, R. (1963). *A twostage technique for the in vitro digestion of forage crops*. Grass Forage Sci.
- Tingal, H. (2015). Evaluacion de leguminosas en la region de cajamarca - Baños del Inca. (*Tesis para obtener el título de Ingeniero Zootecnista*), Facultad de Ingenieria en Ciencias Pecuarias. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- Trujillo, J. (1992). Comparación de consumo de alimento y conversión alimenticia entre cuyes bolivianos y peruanos. (*Tesis de Ingenieria Agronomo*). Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia.
- Valenzuela, R. (2015). “Determinacion de la digestibilidad y energia digestible del forraje seco de mucuma (*Stizolobium deeringianum*) en cuyes”. (*Tesis de Ingeniero Zootecnista*). Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú.
- VanSoest, P. J. (1982). ruminant metabolism, nutritional strategies, the cellulolytic fermentation and the chemistry of. (*O And B Books, Corvallis, Oregon.*). Nutritional ecology of the ruminant.
- Vargas, S., & Yupa, E. (2011). Determinación de la ganancia de peso en cuyes (*Cavia porcellus*) con dos tipos de alimento balanceado. (*Tesis. Médico Veterinario*). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Vargas, T., & Villazante, L. (2014). *Clasificación de los Microorganismos*. Rev. Act. Clin. Med. vol.44, pp. 2309-2313. ISSN 2304-3768., Bolivia.
- Vela, D. (2006). Estudio de factibilidad de la producción y exportación de carne de cuy congelada al mercado italiano 2006 – 2015. (*Tesis. Ingeniera de comercio exterior e integración*). Universidad Tecnológica Equinocia, Quito Ecuador.
- Velasquez, A., Elghandour, M., Adegbeye , M., Pilego, A., Vallejo, L., Salem, A., & Salazar, M. (2018). Influence of Dietary Inclusion With Corn and Soybean Oils, in Combination With Live Yeast Culture, on Horse Fecal Methane, Carbon



- Dioxide and Hydrogen Production. *Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (Journal of Equine Veterinary Science)*. Universidad Autonoma del Estado de Mexico, Estado de Mexico, Mexico.
- 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](mailto: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.
- Woese, C., Kandler, O., & Wheelis, M. (1990). Towards a natural system of organisms: Proposal for the domains Archaea, Bacteria, and Eucarya. *Proc Natl Acad Sci EE. UU.* 87 (12): 4576-9. doi: 10.1073 / pnas.87.12.4576.
- Yzarra , W., & López, F. (2012). Manual de Observaciones Fenológicas. *Ministerio de Agricultura*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, Lima: Edimag.
- Zadoks, J., Chang, T., & Konzak, C. (1974). *A decimal code for the growth stages of cereals* (Vol. 14). Lagunas, The Philippines: Board, Weed Research. Obtenido de <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x>



Zaldívar, A., & Rojas, S. (1968). *Tratamientos dietéticos en el crecimiento de dos ecotipos de cuyes (Cavia porcellus)*. Investigaciones Agropecuarias del Perú, Lima, Perú. 7-13 pag.

Zumarraga, S. (2011). “Innovaciones gastronómicas del cuy en la provincia de Imbabura”. *“Tesis en Tecnología en gastronomía”*. Universidad técnica del norte facultad de ciencias de la salud escuela de nutrición y salud comunitario, Imbabura, Ecuador.



# ANEXOS

**Anexo 1.** Determinación de la producción de metano en cuyes alimentados con forraje en altura

**Tabla 9.** Producción de metano en cuyes reportado en la cámara estática

VARIABLE	Cuyes alimentados heno de avena y alfalfa fresca												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	0.529	0.550	0.494	0.464	0.509	0.535	0.519	0.567	0.487	0.447	0.505	0.546	0.513
GPV, g/d	10.93	9.27	7.53	5.60	6.27	8.87	7.27	5.53	5.13	4.00	6.53	3.67	6.72
W <sub>kg</sub> <sup>0.75</sup>	0.62	0.64	0.59	0.56	0.60	0.63	0.61	0.65	0.58	0.55	0.60	0.65	0.61
CMS, g/d	36.00	46.00	38.00	34.00	39.00	40.00	41.00	41.00	35.00	30.40	41.00	44.00	38.78
CMS/W <sub>kg</sub> <sup>0.75</sup>	58.06	71.88	64.00	60.00	64.00	63.70	67.30	62.30	60.20	57.00	68.20	69.30	63.57
ppm/10min	76.6	82.4	98.6	112.6	103.2	104.7	87.0	87.1	79.3	107.5	89.3	111.7	95.00
mg/ m <sup>3</sup> /Cám.	1.31	1.41	1.68	1.93	1.77	1.78	1.48	1.49	1.35	1.84	1.53	1.91	1.62
CH <sub>4</sub> , g/d	0.19	0.20	0.24	0.28	0.25	0.26	0.21	0.22	0.20	0.26	0.22	0.28	0.23
CH <sub>4</sub> , g/W <sub>kg</sub> <sup>0.75</sup>	0.31	0.32	0.41	0.50	0.42	0.41	0.35	0.32	0.33	0.48	0.36	0.43	0.38
CH <sub>4</sub> , g/CMS, g	0.005	0.004	0.006	0.008	0.007	0.006	0.005	0.005	0.005	0.008	0.005	0.006	0.006
CH <sub>4</sub> , mol/d	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02
CH <sub>4</sub> , Kcal/d	2.51	2.69	3.21	3.68	3.37	3.41	2.83	2.85	2.59	3.51	2.92	3.65	3.10
CH <sub>4</sub> , g/GPV, g	0.02	0.02	0.03	0.05	0.04	0.03	0.03	0.04	0.04	0.07	0.03	0.08	0.03
CH <sub>4</sub> , L/d	0.46	0.49	0.59	0.67	0.62	0.62	0.52	0.52	0.47	0.64	0.53	0.67	0.57
CH <sub>4</sub> , L/ CMS, g	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01
CH <sub>4</sub> , L/W <sub>kg</sub> <sup>0.75</sup>	0.74	0.77	1.00	1.20	1.03	1.00	0.85	0.80	0.81	1.17	0.89	1.05	0.93
CH <sub>4</sub> , eqCO <sub>2</sub>	4.73	5.06	6.04	6.93	6.36	6.42	5.33	5.37	4.88	6.61	5.50	6.89	5.75

PV: Peso vivo, W kg<sup>0.75</sup>: Peso metabólico; CMS: Consumo de materia seca; PPM: Partes por millón; CO<sub>2</sub>eq: Dióxido de carbono; GPV, kg: Ganancia de peso vivo

**Tabla 10.** Consumo de alimento en cuyes en base a forrajes en altura

Alimentos ofrecido (Alfalfa + Avena)												Consumo de Alimento en base seca												
Alfalfa		Avena		Avena		MS		TFMSO		ARF		MS		ARMS		CMS		PV		CMS		CMS/ W <sup>0.75</sup>		
MFO	g	MFO	g	MFO	g	MFO	%	MFO	g	MFO	g	MFO	%	MFO	g	MFO	%	MFO	kg	MFO	%	MFO	g/kg	
Promedio	140	21.32	29.85	40	56.20	22.48	52.33	26.78	50.59	13.55	38.78	0.513	7.56	63.57										
D.S.		2.75	4.03		0.77	0.20		8.02	4.18	4.06	4.27	0.04	0.49	4.68										
CV, %		12.90	13.50		1.37	0.89		29.95	8.26	29.96	11.01	7.80	6.48	7.36										

MFO: Materia fresca ofrecida; ARF: Alimento rechazado fresco; MS: Materia seca; ARMS: Alimento rechazado en materia seca; CMS: Consumo de materia seca; CMS W<sup>0.75</sup>: Consumo de materia seca por peso metabólico; TFMSO: Total forraje materia seca ofrecida

**Tabla 11.** Digestibilidad aparente en cuyes alimentados en base forrajes en altura

N°	Determinación de la Digestibilidad aparente				
	Heces excretada (Alfalfa + Avena)				Digestión
	HF g/d	MS %	EMS g/d	MSD g/d	DMS %
Cuy 1	20.5	64.4	13.2	22.6	62.3
Cuy 2	29.9	64.4	19.2	26.6	57.2
Cuy 3	14.8	64.4	9.6	27.9	73.3
Cuy 4	27.8	64.4	17.9	15.7	40.2
Cuy 5	21.4	64.4	13.8	24.8	62.9
Cuy 6	19.4	64.4	12.5	27.3	67.3
Cuy 7	17.8	64.4	11.5	29.6	71.5
Cuy 8	21.7	64.4	13.9	26.7	64.7
Cuy 9	20.5	64.4	13.2	21.9	56.3
Cuy 10	16.2	64.4	10.5	20.7	55.6
Cuy 11	19.6	64.4	12.6	28.2	68.5
Cuy 12	29.8	64.4	19.2	24.8	52.8
Suma	259.4	772.8	167.1	296.8	732.6
Promedio	21.62	64.40	13.93	24.73	61.05
D.S.	5.00	5.12	3.20	3.93	9.25
CV, %	23.13	7.95	22.97	15.90	15.15

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



**Tabla 12.** Pesos de cuyes alimentados en base a forrajes en altura

N°	P $\bar{x}$ , G	GPV	
	g	g	g/d
Cuy 1	529	164	10.93
Cuy 2	550	139	9.27
Cuy 3	494	113	7.53
Cuy 4	464	84	5.60
Cuy 5	509	94	6.27
Cuy 6	535	133	8.87
Cuy 7	519	109	7.27
Cuy 8	567	83	5.53
Cuy 9	487	77	5.13
Cuy 10	447	60	4.00
Cuy 11	505	98	6.53
Cuy 12	546	55	3.67
Suma	6150	1209	80.60
Promedio	513	100.75	6.72
Desv. Est.	40	32	2.17
CV, %	7.80	31.76	32.29

P $\bar{x}$ ,G: Peso promedio general; GPV: Ganancia de peso vivo



**Tabla 13.** *Volumen corporal de cuyes alimentados con forraje en altura*

N°	LC	PT	Radio	Volumen corporal	
	cm	cm	cm	cm <sup>3</sup>	( m <sup>3</sup> )
Cuy 1	19.78	17.38	2.77	475.07	0.0004751
Cuy 2	21.83	18.45	2.94	591.20	0.0005912
Cuy 3	20.85	16.38	2.61	591.20	0.0005912
Cuy 4	19.08	16.63	2.65	444.89	0.0004449
Cuy 5	22.68	17.75	2.82	419.54	0.0004195
Cuy 6	22.30	17.50	2.79	568.50	0.0005685
Cuy 7	22.25	15.25	2.43	543.46	0.0005435
Cuy 8	21.63	16.58	2.64	411.77	0.0004118
Cuy 9	22.30	16.38	2.61	472.77	0.0004728
Cuy 10	21.13	15.75	2.51	475.83	0.0004758
Cuy 11	20.68	15.40	2.45	417.01	0.000417
Cuy 12	22.38	16.13	2.57	390.19	0.0003902
Promedio	21.40	16.63	2.65	483.45	0.0004834
Desv. Est.	1.13	0.98	0.16	72.69	0.0000014
C.V., %	5.28	5.89	6.04	15.04	15.04

LC: Largo corporal; PT: Perímetro torácico; cm<sup>3</sup>: Centímetro cúbico; m<sup>3</sup>: Metros cúbicos

## Anexo 2. Fotografías de todo el plan piloto del experimento



**Figura 3.** Adquisición de heno de avena y alfalfa



**Figura 4.** Molino picador forrajero marca Trapp, modelo TRF – 800



**Figura 5.** Operación del molino y picador forrajero



**Figura 6.** Llegada de la alfalfa fresco y oreo



**Figura 7.** Control del peso de los cuyes



**Figura 8.** Medidas corporales de los cuyes



**Figura 9.** Incorporación de los cuyes a sus jaulas metabólicas



**Figura 10.** Suministro de alimento y agua a los cuyes



**Figura 11.** Imagen de los 6 cuyes en sus jaulas metabólicas



**Figura 12.** Imagen de los otros 6 cuyes faltantes



**Figura 13.** Pesos de las heces y residuos



**Figura 14.** Inicio de la calibración del tanque de nitrógeno UHT (99.999 N)



**Figura 15.** Apertura de la llave del tanque de nitrógeno UHT (99.999 N)



**Figura 16.** Zona frontal del equipo Gasmeter DX-4030



**Figura 17.** Encendido del equipo Gasmeter DX-4030



**Figura 18.** El equipo Gasmeter DX-403, para la medición de metano entérico



**Figura 19.** Colocando la manguera poliuretano al equipo



**Figura 20.** Equipos y material para la medición de metano



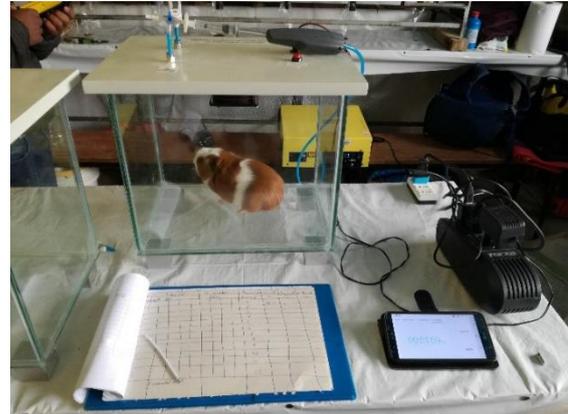
**Figura 21.** Visualización de los datos registrado en el PDA



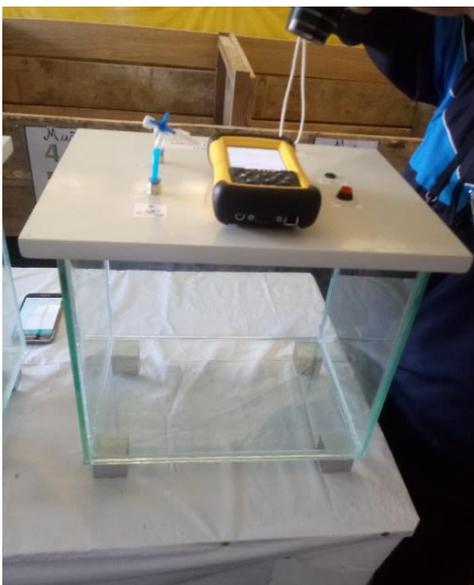
**Figura 22.** Visualización de los datos de calibración del PDA



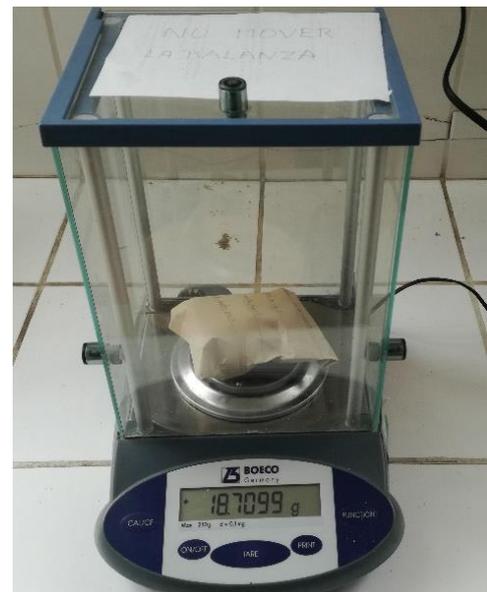
**Figura 23.** Visualización de la tapa de la cámara estática



**Figura 24.** Visualización de la cámara estática



**Figura 25.** Visualización del PDA y la cámara estática



**Figura 26.** Balanza analítica para el pesaje



**Figura 27.** Rotulo de las bolsas de papel craft



**Figura 28.** Pesado de muestras para el análisis químico



**Figura 29.** Notación de datos, visualizado en el PDA



**Figura 30.** Incorporación de las muestras a la bolsa de papel craft



**Figura 31.** Pesado de los alimentos



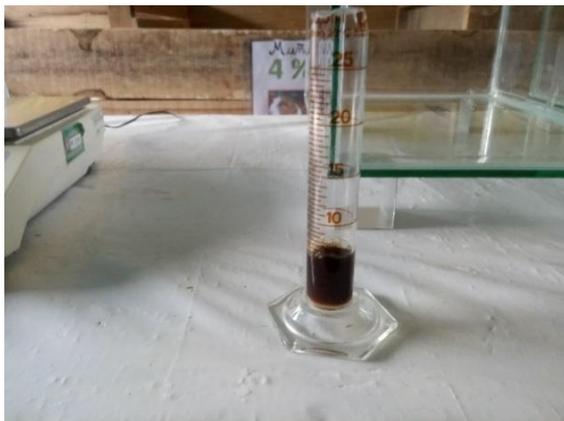
**Figura 32.** Pesado de los residuos que dejaban los cuyes



**Figura 33.** Pesado de las heces de los cuyes



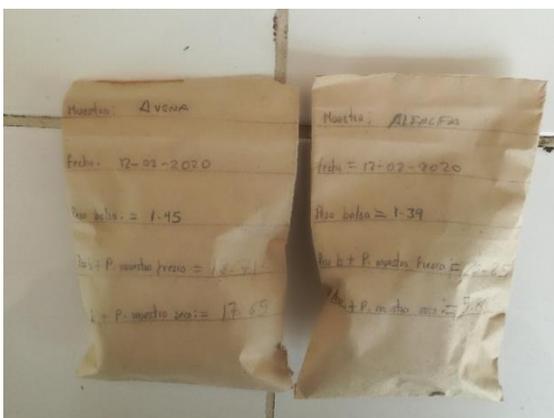
**Figura 34.** Introduciendo las muestras a la estufa a 60 °C por 24 horas



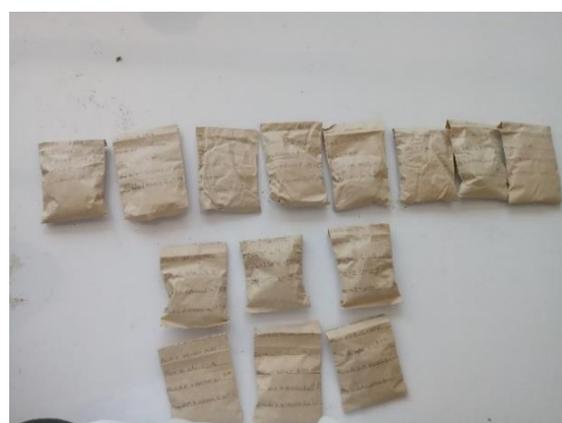
**Figura 35.** Instrumento de laboratorio, probeta para medir la orina



**Figura 36.** Instrumento de laboratorio, cucharilla



**Figura 37.** Visualización de los materiales frescos, llevados a la estufa



**Figura 38.** Visualizaciones de los materiales secos, sacados de la estufa