



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Dirección General de Estudios de Posgrado

Facultad de Medicina Veterinaria

Unidad de Posgrado

**Comportamiento productivo, morfometría intestinal y
composición química de la carne de cuyes (*Cavia
porcellus*) de engorde suplementados con probióticos y
prebióticos y desafiados con *Salmonella entérica*
serovar Typhimurium**

TESIS

Para optar el Grado Académico de Doctor en Medicina
Veterinaria

AUTOR

Sandra Gracia BEZADA QUINTANA

ASESOR

Dr. Felipe Antonio SAN MARTÍN HOWARD

Lima, Perú

2025



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Bezada S. Comportamiento productivo, morfometría intestinal y composición química de la carne de cuyes (*Cavia porcellus*) de engorde suplementados con probióticos y prebióticos y desafiados con *Salmonella* entérica serovar Typhimurium [Tesis de doctorado]. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Medicina Veterinaria, Unidad de Posgrado; 2025.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Sandra Gracia Bezada Quintana
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	07630662
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-9516-0805
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Felipe Antonio San Martín Howard
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	09300356
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-5036-8135
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Daphne Doris Ramos Delgado
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07607293
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	William Arthur Barrios Santos
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	41676357
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Niceas Carlos Vilchez Perales
Tipo de documento	DNI

Número de documento de identidad	19935499
Datos de investigación	
Línea de investigación	B.4.2.4. Bioquímica, nutrición y alimentación animal
Grupo de investigación	Grupo de investigación en Nutrición y Alimentación Animal (GINAA)
Agencia de financiamiento	Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Vicerrectorado de Investigación y Posgrado. Programa de Promoción de Tesis de Posgrado. PTPDOCTO. A17080256b
Ubicación geográfica de la investigación	Edificio: Laboratorio de Bioquímica, Nutrición y Alimentación Animal, Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional Mayor de San Marcos País: Perú. PE Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: San Borja Calle: Av. Circunvalación Cdra. 28 Latitud: -12.08075 Longitud: -76.987252
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2017-2020
URL de disciplinas OCDE	Ciencia Veterinaria https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#4.03.00 Anatomía, Morfología https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#3.01.01



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Medicina Veterinaria
UNIDAD DE POSGRADO



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE
DOCTOR EN MEDICINA VETERINARIA**

En la Sala de Posgrado de la Facultad de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, siendo las 10:00 horas del día viernes 14 de marzo del 2025, el Jurado Examinador de Tesis de Grado de Doctor, presidido por la Dra. Daphne Doris Ramos Delgado y conformado por los siguientes miembros docentes: Dr. William Arthur Barrios Santos, Dr. Niceas Carlos Vilchez Perales y el Dr. Felipe San Martín Howard, se dio inicio a la sustentación oral y pública de la Tesis titulada:

“Comportamiento productivo, morfometría intestinal y composición química de la carne de cuyes (*Cavia porcellus*) de engorde suplementados con probióticos y prebióticos y desafiados con *Salmonella entérica* serovar Typhimurium”, presentado por la magíster:

SANDRA GRACIA BEZADA QUINTANA

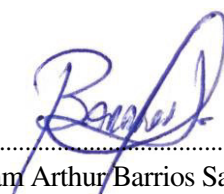
Quien sustentó la Tesis para obtener el grado académico de Doctor en Medicina Veterinaria y absolvió satisfactoriamente las preguntas y objeciones formuladas por el Jurado y practicada la votación obtuvo la calificación de: **MUY BUENO, (18) DIECIOCHO**

A continuación, el Jurado por intermedio de su Presidente recomendó a la Unidad de Posgrado de la Facultad de Medicina Veterinaria, proponga el otorgamiento del grado académico de Doctor en Medicina Veterinaria, a la magíster Sandra Gracia Bezada Quintana.

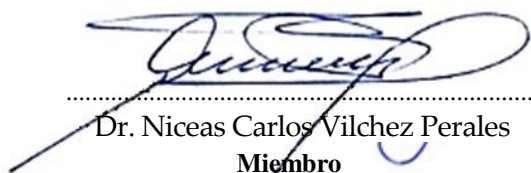
Siendo las 11:50 horas del día viernes 14 de marzo de 2025, se dio por concluido el acto académico, suscribiéndose la presente Acta.


Dra. Daphne Doris Ramos Delgado (P.P.D.E.)

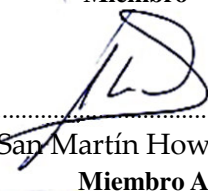
Presidente


Dr. William Arthur Barrios Santos (P.A.D.E.)

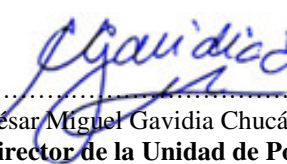
Miembro


Dr. Niceas Carlos Vilchez Perales

Miembro


Dr. Felipe San Martín Howard (P.P.E.E.)

Miembro Asesor


Dr. César Miguel Gavidia Chucán (P.P.D.E.)
Director de la Unidad de Posgrado





Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Vicerrectorado de Investigación y Posgrado



CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Felipe Antonio San Martin Howard en mi condición de asesor acreditado con la Resolución Directoral N°006-UPG-FMV-2021 de la tesis, cuyo título es **“Comportamiento productivo, morfometría intestinal y composición química de la carne de cuyes (*Cavia porcellus*) de engorde suplementados con probióticos y prebióticos y desafiados con *Salmonella enterica* serovar Typhimurium”**, presentado por la magister Sandra Gracia Bezada Quintana para optar el grado académico de Doctor en Medicina Veterinaria, CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante el software de similitud textual, el documento evaluado cuenta con el porcentaje de 9% de similitud, nivel PERMITIDO para continuar con los trámites correspondientes y para su publicación en el repositorio institucional.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del grado/ título/ especialidad correspondiente.

Firma del Asesor

Documento de Identidad: 09300356

Nombres y apellidos del asesor: Felipe Antonio San Martin Howard



Huella digital

DEDICATORIA

A Dios, Arquitecto del Universo

A mis padres y hermanas

A mis hijos

AGRADECIMIENTOS

A mi Asesor de tesis Dr. Felipe Antonio San Martín Howard

Al Dr. Niceas Carlos Vélchez Perales

A la Dra. Daphne Ramos Delgado y al Dr. William Barrios Santos

A mis amigos en la Facultad de Medicina Veterinaria

A mi *alma mater* la Universidad Nacional Mayor de San Marcos

*“Cualquier cosa que te haga sonreír,
O que tu día logre iluminar.
Desde un gesto pequeño y sutil,
Hasta alguien que haga tu mundo feliz
y signifique mucho para ti”. Para EERR*

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE	iii
RESUMEN	v
ABSTRACT.....	vi
LISTA DE FIGURAS Y CUADROS	vii
ABREVIATURAS Y SIGLAS.....	x
I INTRODUCCIÓN	1
II REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 Requerimientos nutricionales en el cuy de crianza intensiva.....	5
2.2 Estudio de la morfometría intestinal en cuyes.....	6
2.3 Empleo de prebióticos y probióticos en producción animal	7
2.3.1 Uso de prebióticos y probióticos en cuyes	10
2.4 <i>Salmonella</i> Typhimurium en cuyes	13
2.5 Relación entre dieta y presentación de enfermedades en cuyes	15
2.6 Composición Química de la Carne de Cuyes.....	16
2.6.1 Características de la carne de cuy:	17
2.7 Efecto de los probióticos y prebióticos en la resistencia a la salmonelosis en cuyes.....	18
2.8 Empleo de antibióticos en la crianza intensiva de animales de producción	20
2.9 Desafíos Experimentales en Animales Asociados con <i>Salmonella</i> Typhimurium	21
III MATERIALES Y MÉTODOS	24
3.1 Ubicación del estudio.....	24
3.2 Características de los animales de estudio, análisis de sangre y remisión de órganos para descarte de salmonelosis previo al desarrollo de la fase experimental del estudio... ..	25
3.3 Diseño experimental, tratamientos y dieta base	27

3.4 Desafío con <i>Salmonella enterica</i> variedad Typhimurium (SeVT).....	30
3.5 Medidas de bioseguridad aplicadas en el estudio.....	31
3.6 Parámetros para evaluación del comportamiento productivo	32
3.7 Procedimiento y parámetros para evaluación de la morfometría intestinal	34
3.8 Parámetros para evaluación de la composición química de la carne de cuyes...	37
3.9 Análisis de heces durante la fase experimental y análisis microbiológico de órganos para detectar la presencia de <i>Salmonella</i> spp.	39
3.10 Análisis estadístico	40
3.10 Consideraciones éticas	41
IV RESULTADOS	42
4.1 Comportamiento productivo.....	42
4.2 Morfometría intestinal	45
4.3 Composición química de la carne	47
4.4 Análisis de heces, órganos internos y valores hematológicos al finalizar la fase experimental del estudio	49
V DISCUSIÓN	52
VI CONCLUSIONES	63
VII RECOMENDACIONES.....	64
VIII LITERATURA CITADA.....	65

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la suplementación con probióticos (PRO), prebióticos (PRE) y simbióticos (SIM) en cuyes (*Cavia porcellus*) desafiados con *Salmonella enterica* serovar Typhimurium (SeVT), analizando su comportamiento productivo, morfometría intestinal y composición química de la carne. Se emplearon 60 cuyes machos distribuidos en seis tratamientos: T₁ (control), T₂ (Desafiado), T₃ (D + PRO), T₄ (D + PRE), T₅ (D + SIM) y T₆ (D + Zinc Bacitracina). Los animales fueron suplementados diariamente según su grupo y desafiados con una dosis de 2.0×10^6 UFC/0.5 ml de SeVT vía oral el día 12 del experimento. El periodo de engorde duró ocho semanas. Se evaluaron consumo de materia seca (CMS), índice de conversión alimenticia (ICA), rendimiento de carcasa (RC), morfometría intestinal (altura y ancho de vellosidades, profundidad de criptas, relación vellosidad-cripta y área de superficie de vellosidades) y análisis proximal de la carne. Los datos fueron analizados mediante ANOVA y prueba de Tukey ($p < 0.05$). El tratamiento sin desafío mostró el mejor rendimiento productivo ($p < 0.0001$), vellosidades más largas y mayor área ($p < 0.0001$) de superficie de vellosidades en duodeno yeyuno e ileon. No se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) en la composición química de la carne entre tratamientos. La suplementación con SIM y PRO presentó un comportamiento productivo y área de superficie de vellosidades similar ($p > 0.05$), al grupo de ZB en los cuyes desafiados con SeVT. El modelo de infección subclínica de salmonelosis desarrollado en este estudio permite evaluar estrategias nutricionales para evaluar el impacto de los efectos de patógenos entéricos en la producción de cuyes.

Palabras clave: simbiótico, probiótico, prebiótico, *Salmonella* Typhimurium, *Cavia porcellus*

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the effect of supplementation with probiotics (PRO), prebiotics (PRE), and symbiotic (SYM) in guinea pigs (*Cavia porcellus*) challenged with *Salmonella enterica* serovar Typhimurium (SeVT), analyzing their productive performance, intestinal morphometry, and meat chemical composition. A total of 60 male guinea pigs were distributed into six treatments: T₁ (control), T₂ (Challenged without supplementation), T₃ (Ch + PRO), T₄ (Ch +PRE), T₅ (Ch+ SYM), and T₆ (Ch + Bacitracin Zinc). Animals were supplemented daily according to their assigned group and challenged orally with 2.0×10^6 CFU/0.5 ml of SeVT on day 12 of the experiment. The fattening period lasted eight weeks. The evaluated parameters included dry matter intake (DMI), feed conversion ratio (FCR), carcass yield (CY), intestinal morphometry (villus height and width, crypt depth, villus-to-crypt ratio and villus surface area), and meat proximal composition. Data were analyzed using ANOVA and Tukey's test ($p < 0.05$). The unchallenged treatment showed the best productive performance ($p < 0.0001$), with longer villi and a greater villus surface area ($p < 0.0001$) in the duodenum, jejunum, and ileum. No significant differences ($p > 0.05$) were found in the chemical composition of the meat among treatments. Supplementation with SIM and PRO resulted in a productive performance and villus surface area similar ($p > 0.05$) to the ZB group in guinea pigs challenged with SeVT. The subclinical salmonellosis infection model developed in this study allows the evaluation of nutritional strategies to assess the impact of enteric pathogens on guinea pig production.

Keywords: symbiotic, probiotic, prebiotic, *Salmonella* Typhimurium, *Cavia porcellus*.

LISTA DE FIGURAS Y CUADROS

FIGURAS	página
Figura 1: Estructura histológica de vellosidades intestinales (Vi) de intestino delgado (duodeno) de cobayo señalando los parámetros considerados para el estudio histomorfométrico. Longitud de Vi (LV), ancho de Vi (AV) y profundidad de la cripta de Lieberkühn (PC)”. H-E; 10x.	37
Figura 2: Retribución económica relativa (%) en cuyes sometidos a los siguientes tratamientos: T1: Dieta base (DB) no desafiados, T2: DB desafiados con SeVT, T3: DB + PROB desafiados con SeVT, T4: DB + PRE desafiados con SeVT, T5: DB + SIM desafiados con SeVT , T6: DB + ZB desafiados con SeVT.	44

CUADROS	página
Cuadro 1. Valores hematológicos de cuyes seleccionados aleatoriamente para evaluación sanitaria antes del inicio del experimento.	26
Cuadro 2. Esquema detallado de los tratamientos experimentales en los grupos evaluados.	27
Cuadro 3. Análisis proximal porcentual y energía calculada de la dieta base (tal como ofrecido) ¹	28
Cuadro 4. Cronograma del periodo de adaptación y desafío con SeVT en cuyes suplementados con probiótico (PRO), prebiótico (PRE), simbiótico (SIM) y zinc bacitracina (ZB).	31
Cuadro 5. Parámetros, indicadores y fórmula para evaluar el comportamiento productivo de cuyes suplementados con PRO/PRE/SIM/ZB y desafiados con SeVT.	32
Cuadro 6. Comportamiento productivo ¹ en cuyes con y sin suplemento probiótico (PRO), prebiótico (PRE), simbiótico (SIM) y zinc bacitracina (ZB) y con o sin desafío con <i>Salmonella enterica</i> var. Typhimurium (SeVT).	44

Cuadro 7. Comparación del ingreso económico neto y retribución relativa por tratamiento experimental en cuyes (<i>Cavia porcellus</i>) con y sin suplemento probiótico (PRO), prebiótico (PRE), simbiótico (SIM) y zinc bacitracina (ZB) y con o sin desafío con <i>Salmonella enterica</i> var. Typhimurium (SeVT).	45
Cuadro 8. Morfometría ¹ : longitud de vellosidad (LV), ancho de vellosidad (AV), profundidad de cripta de Lieberkühn (PC), relación de LV/PC y área de superficie de vellosidades (ASV) a nivel de tres secciones del intestino delgado de cuyes con y sin suplemento probiótico (PRO), prebiótico (PRE), simbiótico (SIM) y zinc bacitracina (ZB) y con o sin desafío con <i>Salmonella enterica</i> var. Typhimurium (SeVT).	46
Cuadro 9. Análisis proximal de la carne de cuyes ¹ con y sin suplemento probiótico (PRO), prebiótico (PRE), simbiótico (SIM) y zinc bacitracina (ZB) y con o sin desafío con <i>Salmonella entérica</i> var. Typhimurium (SeVT).	48
Cuadro 10 Detección de <i>Salmonella</i> spp. en heces de cuyes con y sin suplementación (PRO, PRE, SIM, ZB) y con o sin desafío con <i>Salmonella enterica</i> serovar Typhimurium (SeVT).	49
Cuadro 11. Presencia de <i>Salmonella</i> spp. en vísceras de Cuyes con y sin suplementación (PRO, PRE, SIM, ZB) y con o sin desafío con <i>Salmonella enterica</i> serovar Typhimurium (SeVT).	49

Cuadro 12. Valores hematológicos de cuyes suplementados con PRO, PRE, SIM y ZB, con y sin desafío con *Salmonella enterica* serovar Typhimurium (SeVT)

50

ABREVIATURAS Y SIGLAS

AOAC	: Association of Official Analytical Chemists
BH	: Base Húmeda
CMS	: Consumo de Materia Seca
CZ	: Cenizas
D	: Desafío con SeVT
DB	: Dieta Base
ELN	: Extracto Libre de Nitrógeno
EE	: Extracto Etéreo
FAO	: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FCR	: Feed Conversion Ratio (Índice de Conversión Alimenticia)
FOS	: Fructooligosacáridos
GP	: Ganancia de Peso
ICA	: Índice de Conversión Alimenticia
INEI	: Instituto Nacional de Estadística e Informática
LBNA	: Laboratorio de Bioquímica, Nutrición y Alimentación Animal
LV	: Longitud de Vellosidades
MIDAGRI	: Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego
MOS	: Mannanoligosacáridos
MS	: Materia Seca

NRC	: National Research Council
PC	: Profundidad de Cripta de Lieberkühn
PCR	: Reacción en Cadena de la Polimerasa
PRE	: Prebiótico
PRO	: Probiótico
PV	: Peso Vivo
RAM	: Resistencia a los Antimicrobianos
RC	: Rendimiento de Carcasa
R Studio	: Software estadístico para análisis de datos
SeVT	: <i>Salmonella enterica</i> serovar Typhimurium
SF	: Suero Fisiológico
SIM	: Simbiótico
T ₁ -T ₆	: Tratamientos experimentales
UI	: Unidad de Investigación
Vi	: Vellosidades intestinales
VO	: Vía Oral
ZB	: Zinc Bacitracina

I INTRODUCCIÓN

La producción de carne de cuy (*Cavia porcellus*) ha experimentado un crecimiento significativo en el Perú, pasando de ser una actividad de traspatio a una industria con enfoque comercial intensivo (Aguilar *et al.*, 2011; Chávez y Avilés, 2022). Este incremento ha sido impulsado por la implementación de programas de mejoramiento genético y estrategias nutricionales que han optimizado su rendimiento productivo.

Según el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI), en 2019 se estimaba una población de más de 18 millones de cuyes en el país, cifra que ha aumentado en los últimos años (INEI, 2018). Esta expansión se debe, en parte, a su capacidad de adaptación a pequeños espacios de crianza, lo que ha permitido que su explotación sea viable en sistemas de producción a pequeña y mediana escala (Cantaro *et al.*, 2021).

Sin embargo, el avance en genética y alimentación no ha ido a la par con el desarrollo sanitario en la producción intensiva de cuyes. El hacinamiento y la crianza en pozas han favorecido la proliferación de enfermedades infecciosas, particularmente aquellas de origen entérico como la salmonelosis (Layme, 2010; Fournier, 2015; Ortega *et al.*, 2015; Ortega *et al.*, 2015; Chuquizuta y Morales, 2017; Lamichhane *et al.*, 2024). Entre los agentes de mayor preocupación se encuentra *Salmonella enterica* subespecie enterica serovar Typhimurium, un patógeno entérico que compromete la salud de los animales y su rendimiento productivo, generando pérdidas económicas en la industria pecuaria (Chauca, 1997; Durán, 2021; Carhuaricra, 2022).

Una forma de presentación de esta enfermedad es la subclínica, que ocasiona pérdidas económicas en los cuyicultores por la reducción significativa en los parámetros productivos en los animales durante la etapa de crecimiento-engorde, lo que ellos atribuyen como la causa del problema a una mala ración formulada o a la baja calidad genética de los reproductores debido que, al no observar signos clínicos de enfermedad en los cuyes, no asocian su baja producción con la presencia de una enfermedad infecciosa asintomática en curso (Shin *et al.*, 2021; Goicochea *et al.*, 2024).

La salmonelosis subclínica altera la integridad del epitelio intestinal causando un efecto negativo en la absorción y transporte de nutrientes, lo que explicaría la merma en la producción, y esto podría evaluarse mediante la histomorfometría del intestino delgado. Otro de los parámetros que podría verse también afectado sería la composición químico proximal de la carne, aunque a la fecha existen escasos estudios sobre composición química de la carne de animales que presentan esta forma de la enfermedad (Bazán *et al.*, 2019).

El uso de antibióticos en la producción animal ha sido una estrategia común para controlar infecciones, pero su uso indiscriminado ha contribuido al desarrollo de resistencia antimicrobiana (World Health Organization, 2016; FAO, 2024). Ante esta problemática, se han propuesto alternativas dentro de las cuales destacan los nutracéuticos denominados como probióticos (compuestos de microorganismos vivos), prebióticos (polisacáridos que nutren a los probióticos) y, la combinación de ambos, conocido también como “simbiótico”. Estas sustancias con actividad fisiológica han sido utilizadas en aves y cerdos de producción (Morales y Morales, 2020; Pereira *et al.*, 2022, Yang *et al.*, 2024) y en terneros (Cai, *et. Al.*, 2024).

En el caso de los cuyes, la información sobre la efectividad de estos aditivos es limitada, aunque algunos estudios han sugerido que pueden mejorar la morfometría intestinal y reducir la colonización de patógenos en el tracto digestivo (Lalsiamthara y Lee, 2018; Hurtado *et al.*, 2023). Además, su inclusión en la dieta podría optimizar la composición

química de la carne, incrementando su valor nutricional (Mancini y Paci, 2021).

El impacto de los simbióticos, que combinan probióticos y prebióticos, ha cobrado relevancia en los últimos años debido a su efecto sinérgico sobre la microbiota intestinal y el sistema inmune de los animales. Diversos estudios han evidenciado que la suplementación con simbióticos puede generar mejoras en la absorción de nutrientes y en la conversión alimenticia, lo que se traduce en un mejor desempeño productivo y una mayor eficiencia en la utilización del alimento (Gibson *et al.*, 2022; Ponce *et al.*, 2023). Estas mejoras no solo favorecen el crecimiento de los animales, sino que también pueden influir positivamente en la calidad de la carne, aspecto fundamental en la industria pecuaria.

Se ha observado que la inclusión de simbióticos en la dieta puede fortalecer la barrera intestinal y modular la respuesta inflamatoria ante infecciones entéricas, reduciendo la incidencia de enfermedades digestivas y promoviendo un equilibrio microbiológico más estable (Zhang *et al.*, 2023). En especies monogástricas, como aves y cerdos, estos efectos han sido ampliamente documentados, pero en cuyes aún es un campo de estudio en desarrollo. Investigaciones preliminares han reportado que el uso de simbióticos en cuyes podría tener un impacto positivo en la salud intestinal, aunque se requiere mayor evidencia científica para validar estos hallazgos en sistemas de producción intensivos (Pinchao *et al.*, 2024).

La implementación de estrategias nutricionales como el uso de prebióticos específicos ha demostrado ser una herramienta efectiva para potenciar la fermentación intestinal y promover la proliferación de bacterias benéficas como *Lactobacillus* y *Bifidobacterium* (Rivera y Sánchez, 2021). Esto no solo optimiza el proceso digestivo, sino que también podría reducir la excreción de patógenos en el ambiente, contribuyendo a mejorar la bioseguridad en las unidades de producción. Estos aspectos resaltan la importancia de evaluar el impacto de los simbióticos y otros aditivos funcionales en el desempeño productivo y sanitario de los cuyes.

En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la suplementación con probióticos y prebióticos en cuyes de engorde desafiados experimentalmente con *Salmonella enterica* serovar Typhimurium, analizando su comportamiento productivo, la morfometría intestinal y la composición química de la carne.

II REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Requerimientos nutricionales en el cuy de crianza intensiva

El conocimiento de los hábitos alimenticios del cuy (*Cavia porcellus*) es un factor esencial al momento de elegir qué insumos (en origen, cantidad y calidad) se utilizarán para preparar una ración que cubra los requerimientos nutricionales de esta especie. Siendo un roedor histricomorfo perteneciente a la familia *Caviidae* y género *Cavia*, este animal se clasifica como un mamífero herbívoro fermentador posgástrico cecal adaptado muy bien para digerir la fibra de pastos y forrajes gracias a su microbioma ubicada en el ciego el cual se encuentra desarrollado en esta especie y que, gracias a la ⁵ntérica⁵e que realiza, puede volver a utilizar el nitrógeno de los forrajes.

El aporte de nutrientes en los cuyes de producción intensiva, son más elevadas comparados con los cuyes que se crían en traspatio que se caracterizan por su poca exigencia por alimentos de alta densidad nutricional (Camino y Hidalgo, 2014). Para los cuyes de crianza comercial cuya meta es alcanzar el peso vivo (PV) de mercado entre las 8 y 10 semanas de engorde la cantidad de proteína cruda en el alimento no debe ser inferior al 18% (NRC, 1995) y cuya fuente estaría dada por el alimento balanceado y el forraje (leguminosa o gramínea) suministrado; sin embargo Aduviri (2013) reportó que los niveles de proteína podrían disminuirse hasta 16% en animales de crecimiento y en reproductores reducirse hasta 14% de proteína como mínimo.

Es importante además garantizar el suministro de aminoácidos esenciales como arginina, leucina, isoleucina, histidina, metionina, lisina, triptófano, fenilalanina, valina y treonina (Gómez, 2010). Respecto a la cantidad de agua requerida, Liu (1988) reportó una cantidad de ingesta de agua en cuyes machos de seis semanas de edad de 21.7ml/100g de PV y para animales de mayor edad y peso superior a los 600g el consumo promedio 7.5ml/100g de peso vivo. Por su parte Chauca (1997) reportó un consumo estimado de ingesta de agua entre 85 y 105ml/Kg de PV en cuyes mejorados genéticamente y que en situaciones de calor y elevación de temperatura hasta 30°C el consumo de agua puede elevarse por encima de los 200ml. Quesquén (2019) reportó consumo mínimo diario de agua de 107 ml $\pm$ 10.2 ml para cuyes machos mejorados genéticamente, de 1.00 kg PV, que habitan en clima de costa y que reciben alimentación mixta (balanceado y forraje). La calidad de agua es importante ya que es un factor determinante para su consumo (Saucedo *et al.*, 2017), de tal forma que el agua de pozo con elevado grado de dureza es rechazada por los cuyes disminuyendo considerablemente su consumo.

2.2 Estudio de la morfometría intestinal en cuyes

El sistema digestivo de los cuyes desempeña un papel importante en el procesamiento y la absorción de nutrientes. Si bien la morfometría del sistema digestivo del cuy se ha investigado, principalmente la mucosa del intestino delgado (López, 2018; Carcelén, 2021; Sarmiento, 2021), el estudio detallado de la morfometría intestinal especialmente el área de absorción intestinal y su correlación con la nutrición y la producción de carne se encuentra aún en una fase incipiente. A medida que profundizamos en el estudio de la morfometría intestinal en cuyes, se hace cada vez más evidente que comprender la anatomía y la fisiología de su sistema digestivo es crucial para optimizar su

El estudio de la morfometría intestinal en los cuyes comprende la evaluación de diferentes características estructurales, como la longitud (altura), ancho de las vellosidades intestinales y la profundidad de las criptas de Lieberkühn (Zhao, *et. Al.*, 2010; Chende *et. Al.*, 2023; Gal *et. Al.*, 2024). Estos parámetros son esenciales porque influyen en la eficiencia de la digestión y la absorción de nutrientes, y se consideran indicadores sensibles de la salud intestinal y la funcionalidad del intestino (Xiao, *et. Al.*, 2015; Zhu, *et. Al.*, 2024). Investigaciones en aves de corral, por ejemplo, han demostrado que la suplementación dietética con prebióticos y probióticos puede modificar en forma favorable la morfometría intestinal, incluyendo un aumento en la altura de las vellosidades y una disminución en la profundidad de las criptas (Dela *et.al.*, 2019; Shah, *et.al.*, 2019; de Souza, *et.al.*, 2024), mejorando la superficie de absorción de nutrientes y de manera potencial mejorar la productividad de las aves; además, se ha demostrado que la incorporación de prebióticos en la dieta mejora el desarrollo de las vellosidades intestinales, que son cruciales para la absorción de nutrientes y la eficiencia gastrointestinal general (Hutsko *et.al.*, 2016; Nwachukwu, *et. Al.*, 2021; Pinchao *et. Al.*, 2024). Estos hallazgos sugieren que las modificaciones dietéticas estratégicas pueden conducir a cambios beneficiosos en la arquitectura intestinal de los cuyes.

2.3 Empleo de prebióticos y probióticos en producción animal

Los prebióticos son ingredientes alimentarios no digeribles que estimulan el crecimiento y la actividad de microorganismos beneficiosos en el intestino. Se ha demostrado que mejoran la salud animal al potenciar el crecimiento de bacterias beneficiosas, mejorar la absorción de nutrientes y reducir el riesgo de colonización de patógenos (Marasco *et.al.*, 2020; Haarhuis *et.al.*, 2022). Los probióticos, por su parte, son microorganismos vivos que pueden aportar beneficios para la salud cuando se consumen en

cantidades adecuadas (Khan, *et.al.*, 2020; Pilla y Suchodolski, 2021; Kumar *et.al.*, 2024).

Los probióticos y prebióticos han surgido como componentes prometedores en las dietas de los animales de producción para mejorar su salud y rendimiento productivo; se ha demostrado que mejoran el control de la alimentación, aumentan el crecimiento, la producción y los mecanismos inmunitarios de los animales (Bajagai *et al.*, 2016). Los prebióticos pueden modificar la composición y/o actividad de la microbiota intestinal, favoreciendo el crecimiento de bacterias beneficiosas y ayudando a limitar el desarrollo de patógenos (Salinas de Reigosa, 2013). Por otro lado, el uso de probióticos en la alimentación animal ha demostrado tener varios beneficios, incluyendo la mejora de la digestibilidad de los nutrientes, la modulación de la microflora intestinal, la mejora de la respuesta inmunológica y la reducción de la incidencia de trastornos intestinales (Molina, 2019; Swanson, *et al.*; 2020); observándose que controlan la diarrea, mejoran la intolerancia a la lactosa, previenen el cáncer de colon, tratan el *H. pylori* y disminuyen el colesterol en sangre (Hashem *et al.*, 2024).

Si bien ya se dispone de información sobre el uso de prebióticos y probióticos en animales de producción pecuaria como cerdos (Cao *et al.*, 2023; Yang *et al.*, 2024; Saha *et al.*, 2024; Wu *et al.*, 2024), aves de corral (Andrew *et al.*, 2020; Khan *et al.*, 2020; Wu *et al.*, 2022; Dong *et al.*, 2024), y rumiantes (Elghandour *et al.*, 2015; Uyeno *et al.*, 2015; Ballou *et al.*, 2019; Várhidi *et al.*, 2022; El Jeni *et al.*, 2024) todos ellos con respuesta positiva favorable sobre los parámetros productivos de ganancia de peso, conversión alimenticia y rendimiento de carcasa; la información disponible sobre el uso de probióticos y prebióticos en cuyes es aún limitada.

Los probióticos, comúnmente definidos como microorganismos vivos cuyo beneficio es que al ser administrados en cantidades adecuadas, proveen beneficios a la salud de su huésped, han sido ampliamente estudiados en la producción animal (Bajagai *et al.*,

2016). Su inclusión en las dietas de animales de granja puede contribuir a la mejora del equilibrio de la microbiota intestinal, lo cual está relacionado con un mejor aprovechamiento de nutrientes y una mayor resistencia frente a patógenos. Diversos estudios han demostrado que la suplementación con probióticos puede aumentar la ganancia de peso, mejorar la conversión alimenticia y reducir la mortalidad en animales de consumo humano (Markowiak y Śliżewska, 2018; Méndez *et al.*, 2018; Boguslawska *et al.*, 2021; Czech *et al.*, 2024).

Los prebióticos son ingredientes alimentarios no digeribles que promueven la actividad de bacterias beneficiosas en el intestino. Estos compuestos, que incluyen oligosacáridos como la inulina y los fructooligosacáridos (FOS), proporcionan un sustrato para la fermentación de microorganismos beneficiosos, favoreciendo el crecimiento de bacterias como las bifidobacterias y los lactobacilos. El uso de prebióticos en la producción animal ha mostrado efectos positivos en la salud intestinal, mejorando la digestibilidad de los nutrientes y fortaleciendo la respuesta inmune, lo cual es particularmente importante cuando los animales son expuestos a desafíos patogénicos, como infecciones por *Salmonella* (Chakroun *et al.*, 2022; Abramov *et al.*, 2023; Asad *et al.*, 2023).

En la producción de cuyes, el empleo combinado de probióticos y prebióticos (conocidos como simbióticos) tiene un gran potencial para mejorar el rendimiento productivo y la calidad de la carne, a la vez que se reduce la incidencia de enfermedades entéricas. La suplementación con estos aditivos no solo mejora los parámetros productivos, sino que también contribuye a una mejor morfometría intestinal, lo cual indica una mayor superficie de absorción de nutrientes y una mejora en la salud general del animal (Shin *et al.*, 2021; Goicochea *et al.*, 2024). Estudios recientes sugieren que la inclusión de simbióticos en las dietas de cuyes puede resultar en una reducción significativa de la colonización intestinal por patógenos como *Salmonella*, lo cual se traduce en una disminución del riesgo de transmisión de enfermedades zoonóticas (Lalsiamthara y Lee,

2018; Hurtado *et al.*, 2023).

La calidad de la carne también se ve afectada positivamente por el uso de prebióticos y probióticos. Se ha observado que la carne de animales suplementados con estos aditivos presenta mejores características nutricionales, incluyendo un mayor contenido de proteínas y una mejor relación de ácidos grasos beneficiosos para la salud humana (Mancini y Paci, 2021; Zhu *et al.*, 2023; Dong *et al.*, 2024). Este enfoque es particularmente relevante en la producción de cuyes, ya que la carne de cuy es valorada por su bajo contenido en grasa y su alto contenido proteico, características que pueden ser potenciadas mediante el uso de aditivos alimentarios naturales.

Por lo tanto, el empleo de prebióticos y probióticos en la producción animal representa una estrategia sostenible y eficaz para mejorar el rendimiento productivo, la salud intestinal y la calidad de la carne, a la vez que se reduce la dependencia de antibióticos durante el crecimiento y producción de carne, particularmente en el contexto del engorde para consumo humano; minimizando el impacto de enfermedades infecciosas. Los estudios recientes sobre la suplementación de cuyes con estos aditivos muestran resultados prometedores, lo cual refuerza su potencial para ser implementados como parte de una estrategia integral de manejo en la producción de cuyes de engorde.

2.3.1 Uso de prebióticos y probióticos en cuyes

Shin *et al.* (2021), investigaron el efecto de los probióticos sobre la composición de la microbiota fecal, los ácidos orgánicos y el tránsito colónico en cobayas con íleo postoperatorio. El estudio descubrió que el pretratamiento oral con probióticos durante 7 días antes de la operación aumentaba significativamente la disminución del nivel de butirato fecal y mejoraba el tránsito colónico en el grupo de probióticos. Otro estudio analizó el efecto de la administración de una mezcla oral de probióticos sobre el rendimiento productivo de

cobayas de engorde. El estudio no encontró diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos sobre el consumo de materia seca (CMS) forrajera, el CMS de concentrado o el CMS total de concentrado. Del mismo modo, no se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos en términos de peso final o ganancia de peso (Carcelén *et al.*, 2021).

También se examinaron los efectos de la dosificación oral de *Bifidobacterium bifidum* G9-1 sobre los síntomas nasales alérgicos inducidos por el polen de cedro japonés en cobayas. El estudio descubrió que la administración oral prolongada de BBG9-1 suprime los síntomas nasales alérgicos inducidos por el polen de cedro japonés, incluida la obstrucción nasal, los estornudos y la infiltración de eosinófilos y neutrófilos en la cavidad nasal (Tsunemine *et al.*, 2015). Trabajos realizados en Perú en cuyes de ecotipo local Valdizán *et al.* (2019) evaluó el efecto de los probióticos, prebióticos y su combinación (simbióticos) en la dieta de cuyes sobre sus parámetros productivos. Los resultados mostraron la ausencia de respuesta significativa o consistente a los tratamientos, sugiriendo los autores que el resultado fue debido a que el equilibrio microbiano intestinal de los animales era apropiado. El probiótico utilizado fue un consorcio de seis especies bacterianas aisladas del intestino y heces de cuyes neonatales y adultos. El prebiótico utilizado fue un mananoligosacárido comercial. Los resultados no mostraron diferencias significativas en el aumento de peso, el consumo de alimento y la tasa de conversión alimenticia entre el grupo de control y los grupos suplementados con probióticos, prebióticos o simbióticos.

Minguez *et al.* (2019) investigaron los efectos de la suplementación en la dieta de cuyes con mannanoligosacáridos (MOS) en el rendimiento de crecimiento, las características de la carcasa y la mortalidad. Los resultados mostraron que los grupos MOS tuvieron un mejor rendimiento de crecimiento y una menor mortalidad comparado con el grupo control. Sin embargo, no hubo diferencias significativas en las características de la carcasa. El estudio

sugiere que MOS podría ser un buen sustituto de los promotores del crecimiento con antibióticos tradicionales en la producción de cuyes.

Guevara *et al.* (2021) evaluaron el efecto de la suplementación de probióticos naturales y comerciales en el rendimiento productivo de cobayas en crecimiento. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con cuatro tratamientos, seis repeticiones por tratamiento y dos animales por repetición. Los resultados mostraron que no hubo diferencias significativas en los parámetros determinados, pero hubo tendencias hacia una mayor ingesta de alimento y un mayor aumento de peso en las cobayas del grupo T3, una mejor conversión alimenticia en el grupo T4 y el mejor rendimiento de la canal se presentó en el grupo T2. La suplementación con probióticos comerciales tiende a mejorar el rendimiento productivo de las cobayas en crecimiento, con la excepción del rendimiento de la canal que mejora con la suplementación de probióticos naturales. Estos resultados servirán como base para el uso de probióticos en granjas comerciales de cobayas.

Los mecanismos a través de los cuales los probióticos proporcionan estos beneficios incluyen la exclusión competitiva de patógenos, la normalización de la microbiota alterada, el efecto antiproliferativo, la competencia por nutrientes, la producción de sustancias inhibitoras, la producción de ácidos grasos de cadena corta, la degradación de receptores de toxinas, los efectos inmunitarios y la regulación del tránsito intestinal (Markowiak y Śliżewska, 2017; Kim *et al.*, 2019; Mazziotta *et al.*, 2023). En general, se ha demostrado que los probióticos tienen beneficios potenciales para la salud y el crecimiento de los animales. Es necesario seguir investigando para determinar las cepas y las dosis más eficaces para las distintas especies y condiciones animales.

2.4 *Salmonella Typhimurium* en cuyes

Salmonella Typhimurium, un serotipo de la especie *Salmonella enterica*, es un patógeno zoonótico importante que representa una amenaza grave para la salud no solo de los seres humanos, sino también de una variedad de especies animales, incluidos los cuyes. Este patógeno es una bacteria Gram-negativa, con forma de bastón, que pertenece a la familia de las enterobacterias. Es uno de los serotipos más frecuentes asociados con enfermedades transmitidas por alimentos en humanos, a menudo originadas por productos animales contaminados (Herrero y Olsen, 2018). En los cuyes, las fuentes comunes de *Salmonella Typhimurium* incluyen alimentos y agua contaminados, así como el contacto directo con animales infectados o sus heces. Las vías de transmisión son multifacéticas, ya que las bacterias pueden alojarse en el tracto gastrointestinal de portadores asintomáticos, lo que complica las medidas de control (Lalsiamthara y Lee, 2018; Koczerka *et al.*, 2022).

La patogenia de *Salmonella Typhimurium* en cobayos involucra una serie de interacciones complejas entre el patógeno y el sistema inmunológico del huésped. Tras la ingestión, las bacterias sobreviven al ambiente ácido del estómago y penetran en la mucosa intestinal, donde utilizan factores de virulencia especializados para facilitar la adherencia e invasión de las células epiteliales. Una vez dentro, la especie *Salmonella Typhimurium* puede evadir la respuesta inmunológica del huésped, lo que lleva a una diseminación sistémica. La respuesta inmunológica en cuyes se caracteriza por mecanismos tanto innatos como adaptativos, con la participación de los macrófagos que intentan engullir y destruir a las bacterias invasoras. Sin embargo, la capacidad de *Salmonella Typhimurium* para replicarse dentro de los macrófagos le permite persistir y propagarse a pesar de los esfuerzos del huésped por montar una defensa inmunológica (Rogers *et al.*, 2020). Varios factores pueden influir en la gravedad y progresión de la enfermedad, incluida la edad, el estado nutricional y la salud general del cobayo. Por ejemplo, los individuos más jóvenes o inmunodeprimidos pueden presentar manifestaciones clínicas más graves debido a una

respuesta inmunitaria menos robusta, lo que subraya la importancia de comprender las interacciones entre el huésped y el patógeno para informar las estrategias de tratamiento y prevención (Carhuaricra *et al.*, 2022; Hurtado *et al.*, 2023).

Clínicamente, las infecciones por *Salmonella* Typhimurium en cuyes se manifiestan con una variedad desde síntomas gastrointestinales hasta sistémicos. El diagnóstico diferencial es primordial, ya que los síntomas de la infección por *Salmonella* Typhimurium pueden imitar los de otras enfermedades gastrointestinales en cuyes, como la coccidiosis o la enteritis clostridial (Lalsiamthara y Lee, 2018). El diagnóstico de infecciones por *Salmonella* Typhimurium en cuyes implica una combinación de técnicas de laboratorio y evaluaciones clínicas. El método principal para confirmar la presencia de la bacteria es mediante cultivo, que implica aislar el organismo de muestras de tejidos. La serotipificación también ayuda a identificar el serotipo específico de *Salmonella* presente, lo que puede ser crucial para los estudios epidemiológicos y la comprensión de la dinámica de los brotes. Un conocimiento profundo de las condiciones de vida de los animales afectados y la posible exposición a otros animales infectados puede proporcionar un contexto valioso para interpretar los resultados de laboratorio. Además, los signos clínicos pueden variar ampliamente y los portadores asintomáticos pueden complicar el diagnóstico (Carhuaricra *et al.*, 2022).

Una vez que se confirma el diagnóstico de infección por *Salmonella* Typhimurium en los cuyes, se deben considerar las opciones de tratamiento para garantizar resultados óptimos. La terapia antimicrobiana empleando antibióticos como las fluoroquinolonas y la sulfatrimetropina se emplean comúnmente para tratar las infecciones por *Salmonella*, pero su uso debe sopesarse frente a los riesgos de desarrollar resistencia a los antibióticos. La dependencia excesiva de estos medicamentos puede dar lugar a cepas resistentes, lo que complica las opciones de tratamiento futuras y plantea un riesgo para la salud pública. Es

importante también limitar la introducción de nuevos animales en crías de cuyes sin procedimientos de cuarentena adecuados ya que se incrementaría el riesgo de brotes de la enfermedad. Si bien las estrategias de vacunación contra *Salmonella* en cobayos aún se encuentran bajo investigación, el desarrollo de vacunas efectivas podría desempeñar un papel vital en la prevención de infecciones (Khan *et al.*, 2024 2b; Liu *et al.*, 2024; Raccoursier *et al.*, 2024).

2.5 Relación entre dieta y presentación de enfermedades en cuyes

La nutrición juega un papel esencial en la resistencia y la recuperación de las enfermedades en los animales. Un régimen alimenticio adecuado puede mejorar la inmunidad y disminuir la susceptibilidad a diversas enfermedades, incluyendo las infecciones bacterianas (Camino e Hidalgo, 2014). En este sentido, la suplementación dietética con probióticos y prebióticos ha atraído un creciente interés debido a su potencial para mejorar la salud intestinal y fortalecer la resistencia a las infecciones (López, 2018; Valdizán *et al.*, 2019).

La enfermedad causada por *Salmonella* Typhimurium puede reducir la productividad en los cuyes y provocar una serie de cambios adversos en el tracto intestinal, incluyendo alteraciones en la morfometría intestinal y la disrupción de la microbiota intestinal. Estos cambios pueden tener implicaciones significativas para la absorción de nutrientes y la salud en general de los cobayos, lo que a su vez puede afectar su rendimiento productivo y la calidad de la carne (Guevara *et al.*, 2021). En términos de la relación entre la dieta y la resistencia a las enfermedades, la suplementación con probióticos y prebióticos puede ofrecer varios beneficios potenciales. Los probióticos pueden ayudar a fortalecer la microbiota intestinal y mejorar la respuesta inmunológica del huésped, lo que podría aumentar la resistencia a las infecciones (Guevara *et al.*, 2021; Carhuaricra *et al.* 2022).

Además, la suplementación con prebióticos podría estimular el crecimiento de bacterias beneficiosas en el intestino, lo que puede ayudar a limitar la proliferación de patógenos como *Salmonella*.

A pesar de los potenciales beneficios de la suplementación con probióticos y prebióticos, es importante señalar que la eficacia de estas intervenciones puede variar en función de una serie de factores, incluyendo la especie y la cepa del probiótico o del tipo de prebiótico, así como las condiciones específicas de manejo y alimentación (Markowiak y Śliżewska, 2018). Finalmente, aunque existe una cantidad considerable de investigación en otras especies de animales de producción, la literatura científica sobre la relación entre la dieta y la resistencia a las enfermedades en los cobayos es relativamente limitada. Este es un área que necesita ser investigada con mayor profundidad para optimizar las estrategias de manejo y alimentación en la producción de cobayos.

2.6 Composición Química de la Carne de Cuyes

La carne de cuy es apreciada por su valor nutricional, su sabor único y su bajo contenido de grasa. La composición química de la carne de cuy puede variar dependiendo de varios factores, entre ellos la dieta, el estado de salud, la edad y el manejo del animal. En términos generales, la carne de cuy es rica en proteínas de alta calidad y baja en grasa, y contiene una serie de micronutrientes importantes, incluyendo hierro, zinc y vitamina B12 (Aphrodita *et al.*, 2024). Sin embargo, la composición exacta puede variar dependiendo de los factores mencionados anteriormente. La dieta es un factor particularmente importante que puede influir en la composición química de la carne. La alimentación de los cobayos con dietas suplementadas con determinados nutrientes, como los ácidos grasos omega-3, puede influir en la composición de la carne, aumentando por ejemplo su contenido en estos ácidos grasos (Sentono *et al.*, 2024). Asimismo, la suplementación con probióticos y

prebióticos puede afectar la absorción y utilización de nutrientes, lo que podría tener implicaciones para la composición de la carne.

El estado de salud del animal también puede influir en la composición de la carne. Por ejemplo, las infecciones por *Salmonella Typhimurium* pueden alterar la absorción de nutrientes y la salud intestinal en general, lo que podría afectar la calidad y la composición de la carne. Las enfermedades y el estrés afectan de manera directa el metabolismo del animal, lo que puede resultar en cambios significativos en el contenido de proteínas, grasas, y minerales. Por ejemplo, investigaciones han demostrado que infecciones como la salmonelosis en cuyes (*Cavia porcellus*) pueden reducir el contenido proteico y alterar el perfil de ácidos grasos de la carne debido a la inflamación y el catabolismo proteico asociados (Carhuaricra *et al.*, 2022; Duran *et al.*, 2021). De este modo, las estrategias de manejo que minimizan la prevalencia de enfermedades pueden contribuir a la producción de carne de cuy de alta calidad.

2.6.1 Características de la carne de cuy:

La carne del cuy posee un sabor muy agradable al paladar, una gran suavidad y una excelente digestibilidad. Además, a nivel nutricional posee un elevado contenido proteico, bajos niveles de grasas, minerales y vitaminas esenciales para la nutrición del ser humano. La composición de este alimento en una muestra de 100g contiene: “78,1% de agua, 19% de proteína, 1,6% de grasa, 1,2% de minerales y 0,1% de carbohidratos (totales y disponibles)”. Siendo los minerales más importantes el Calcio (29 mg), Fosforo (29 mg), Zinc (1,57 mg) y Hierro (1,90 mg). Además de aportar vitaminas de gran importancia como la Tiamina (0,06 mg), Riboflavina (0,14 mg) y la Niacina (6,50 mg). Finalmente, aporta un contenido energético de 96 kcal (Andina, 2019; Nathalie *et al.*, 2022).

La proteína proveniente de la masa muscular tiene un importante valor biológico debido a su alta digestibilidad y que aporta aminoácidos esenciales importantes para la salud humana, siendo estos la Fenil – Alanina, Isoleucina, Histidina, Leucina, Lisina, Metionina, Glicina, Treonina y Valinina (Camino y Hidalgo, 2014; Guevara Vásquez *et al.*, 2021). La importancia de estos aminoácidos reside en que no pueden ser sintetizados por el organismo y deben ser aportados por la dieta. Además, según lo reportado por Cantaro (2020) la carne de cuy tiene un contenido de proteína cruda (20.3%) superior al de otros animales como los cerdos (12.4%), vacas (18.70%) e incluso la de aves (18.20%).

En cuanto al contenido de grasas, la carne de cuy es baja en lípidos, con niveles que oscilan entre el 4 y el 7%, dependiendo de factores como la dieta y el manejo del animal. Además, presenta un perfil lipídico favorable, rico en ácidos grasos poliinsaturados como el ácido linoleico y el ácido linolénico, los cuales contribuyen a la prevención de enfermedades cardiovasculares (López, 2018; Valdizán *et al.*, 2019). Este bajo contenido de grasa saturada también favorece su aceptación en dietas hipocalóricas y saludables.

Estudios han demostrado que dietas suplementadas con probióticos, prebióticos y forrajes verdes no solo mejoran el perfil nutricional del animal, sino que también aumentan la proporción de ácidos grasos insaturados y la retención de minerales esenciales en el tejido muscular (Camino y Hidalgo, 2014; Guevara Vásquez *et al.*, 2021). Estos hallazgos subrayan la importancia de implementar estrategias de manejo que optimicen la calidad nutricional de la carne de cuy.

2.7 Efecto de los probióticos y prebióticos en la resistencia a la salmonelosis en cuyes.

La salmonelosis es una enfermedad bacteriana causada por diversas cepas de *Salmonella* spp., que afecta significativamente a la producción de cuyes (*Cavia porcellus*), generando

altas tasas de mortalidad y pérdidas económicas en los sistemas de crianza. En este contexto, el uso de probióticos y prebióticos ha emergido como una estrategia prometedora para mejorar la resistencia a esta enfermedad, al fortalecer la microbiota intestinal y estimular el sistema inmunológico del animal.

Los probióticos, definidos como microorganismos vivos que confieren beneficios a la salud del huésped, desempeñan un rol clave en la prevención de infecciones gastrointestinales. Estudios realizados en cuyes han demostrado que la suplementación con probióticos mejora el equilibrio de la microbiota intestinal, inhibiendo el crecimiento de *Salmonella* mediante mecanismos de exclusión competitiva y la producción de metabolitos antimicrobianos (López, 2018). Además, los probióticos incrementan la integridad de la barrera intestinal y modulan las respuestas inmunes, lo que reduce la susceptibilidad a infecciones bacterianas (Guevara Vásquez *et al.*, 2021).

Los prebióticos, compuestos no digeribles que estimulan selectivamente el crecimiento de bacterias beneficiosas en el intestino, potencian la eficacia de los probióticos al proporcionarles un sustrato ideal para su proliferación. La suplementación con prebióticos como los oligosacáridos de manano ha mostrado efectos positivos en la resistencia a la salmonelosis en cuyes, al aumentar la producción de ácidos grasos de cadena corta, que acidifican el ambiente intestinal e inhiben el desarrollo de patógenos (Valdizán *et al.*, 2019). La combinación sinérgica de probióticos y prebióticos, conocida como simbióticos, ha demostrado ser particularmente efectiva en la mejora de la salud intestinal y en la reducción de la incidencia de salmonelosis.

Hay diversos estudios que han evaluado el impacto de estas estrategias en los parámetros productivos de los cuyes. Animales suplementados con simbióticos presentaron mayores

tasas de crecimiento y mejor conversión alimenticia, lo que subraya no solo los beneficios en la salud, sino también en la productividad general del sistema de crianza (González, 2018; Valdizán *et al.*, 2019; Guevara *et al.*, 2021). Estos hallazgos resaltan la importancia de integrar probióticos y prebióticos en las dietas de los cuyes como parte de un enfoque integral para controlar enfermedades como la salmonelosis.

2.8 Empleo de antibióticos en la crianza intensiva de animales de producción

En los sistemas de cría intensiva, los antibióticos han sido fundamentales para mejorar el crecimiento y la productividad de los animales al prevenir brotes de enfermedades y promover la salud en entornos hacinados y de alta presión productiva. El uso de antimicrobianos no solo tiene fines terapéuticos, sino también como promotores del crecimiento, lo que aumenta significativamente la productividad de las granjas ganaderas (Gemeda *et al.*, 2020). Sin embargo, esta aplicación generalizada de antibióticos ha suscitado inquietudes sobre la resistencia a los antibióticos, que amenaza tanto el bienestar animal como la salud humana al reducir potencialmente la eficacia de los tratamientos 20ntérica20ees para las enfermedades infecciosas (Tang *et al.*, 2017; Gemeda *et al.*, 2020). A pesar de estas inquietudes, los antibióticos siguen siendo una piedra angular de las prácticas ganaderas intensivas actuales, lo que permite una producción animal de alta densidad y una mejor eficiencia alimentaria, lo que contribuye a la rentabilidad económica general (van den Honert *et al.*, 2018).

Para disminuir los riesgos asociados con el uso de antibióticos, existe un énfasis creciente en estrategias alternativas como la mejora de la genética animal, la mejora de las medidas de bioseguridad y la adopción de prácticas agrícolas más sostenibles, que pueden ayudar a mantener la productividad al tiempo que reducen la dependencia de los antibióticos (Hosain *et al.*, 2021). El equilibrio entre el mantenimiento de la productividad y la mitigación

de los riesgos para la salud requiere una gestión cuidadosa y la adopción de enfoques más holísticos para la cría de animales. Unos de los primeros países en prohibir la utilización de APC en la crianza animal fue Suiza en 1986; luego en 1998, Dinamarca también tomaría las mismas acciones y durante esta época los otros países de la Unión Europea (UE) comenzarían con restricciones de antibióticos en la producción animal; sin embargo, con el pasar de los años la prohibición total en todos los países de la UE ocurrió en el año 2006. Con el pasar de los tiempos muchos países tomaron la misma medida de prohibir los APC y otros comenzaron a poner mayor énfasis a la regulación de los antibióticos como Estados Unidos que incrementó las restricciones de uso en 2017 y en el 2020 empezaron las restricciones en China (Actualidad Avípecuaria, 2020).

Es importante mencionar que según estudios se estima que alrededor del 90% de antibióticos administrados al ganado serían eliminados al ambiente, siendo esta una fuente de contaminación que facilita la aparición de bacterias resistentes y su interacción con otras poblaciones bacterianas (Higiene y Sanidad Ambiental, 2018; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2024).

2.9 Desafíos Experimentales en Animales Asociados con *Salmonella Typhimurium*

El uso de modelos animales es fundamental para comprender la patogenia de *Salmonella Typhimurium*, un importante agente causal de enfermedades gastrointestinales. Los modelos animales más comunes empleados para estudiar este patógeno incluyen cobayos, pollos, cerdos y terneros, cada uno elegido por sus respuestas fisiológicas únicas y su relevancia para la salud humana y animal. En los estudios de investigación, estos modelos a menudo se someten a la inoculación oral de *Salmonella Typhimurium*, seguida de la eutanasia humanitaria después de un período determinado para evaluar la progresión y el impacto de la infección. Específicamente, los pollos y los terneros suelen ser sacrificados

después de cuatro días después de la infección, mientras que los cerdos son sacrificados después de tres días (Chaudhuri *et al.*, 2013). La elección de tejidos específicos para el aislamiento y análisis bacteriano es crucial en estos estudios; por ejemplo, los investigadores recolectan muestras de todo el ciego en pollos, la mucosa colónica espiral en cerdos y la mucosa ileal distal en terneros, asegurando que se estudien los sitios más informativos de colonización bacteriana y respuesta inmune (Mastroeni y Sheppard, 2004; Beristain *et al.*, 2019).

Este enfoque metódico permite comprender en profundidad cómo interactúa *Salmonella* Typhimurium con el sistema inmunitario del huésped, lo que aporta información sobre posibles intervenciones y tratamientos. Por lo tanto, la integración de estos modelos no solo arroja luz sobre el comportamiento del patógeno, sino que también orienta el desarrollo de estrategias de control eficaces para mitigar su impacto tanto en la salud humana como en la industria ganadera. En el caso particular de replicar experimentalmente el cuadro clínico de salmonelosis en cuyes (*Cavia porcellus*) representa un modelo relevante para evaluar estrategias de prevención y manejo, como la suplementación con probióticos y prebióticos. La inoculación oral de *Salmonella* entérica serovar Typhimurium debe realizarse cuidadosamente para evitar infecciones agudas que puedan resultar en altas tasas de mortalidad. En lugar de ello, es esencial diseñar desafíos experimentales que generen infecciones subclínicas o crónicas, similares a las observadas en el campo, lo que permite evaluar de manera más realista los efectos protectores y moduladores de estas estrategias nutricionales; por lo que la selección de la dosis de inóculo es crucial para alcanzar el equilibrio entre infectividad y viabilidad experimental. Estudios previos han utilizado concentraciones bacterianas ajustadas para inducir signos leves a moderados de infección, permitiendo la evaluación del impacto de intervenciones como los simbióticos sobre la morfología intestinal y la respuesta inmune del huésped (González, 2018; López, 2018;

Bazán, 2019; Beristain *et al.*, 2019). Este enfoque busca simular situaciones reales en las que los animales están expuestos a *Salmonella* en condiciones de campo, donde la carga patogénica es moderada y los animales pueden sobrevivir el tiempo suficiente para desarrollar respuestas inmunológicas y fisiológicas observables.

La capacidad de los prebióticos y probióticos para reducir la colonización intestinal de *Salmonella* y promover la integridad de la barrera intestinal se ha documentado en investigaciones anteriores, destacando su potencial como herramientas preventivas y terapéuticas en la producción animal sostenible (Gonzáles, 2018; López, 2018; Bazán, 2019; Beristain *et al.*, 2019) Esto subraya la importancia de continuar desarrollando modelos experimentales que reflejen la complejidad de las infecciones en el campo, proporcionando una base sólida para la implementación de prácticas de manejo más efectivas.

III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del estudio

La fase experimental de crianza de los cuyes se ejecutó durante los meses de octubre a diciembre del año 2017, mientras que durante todo el año 2018 se realizaron los análisis químicos proximales de la carcasa, así como el procesamiento y lectura de las láminas histológicas. En relación a la ubicación, la crianza de los cuyes, el desafío con *Salmonella* Typhimurium y registro de parámetros productivos se hizo en la Unidad de Investigación (UI) del “Laboratorio de Bioquímica, Nutrición y Alimentación Animal (LBNAA) de la Facultad de Medicina Veterinaria (FMV) de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM)”, Lima, Perú (12°04’54,3”S – 76°59’13,8”W, a una altitud de 170 metros (m) sobre el nivel del mar.

Se empleó un sistema intensivo de crianza en pozas de cemento las que se ubicaron dentro de un galpón construido con material noble y adaptado para la crianza de cuyes a nivel de costa central, empleando, además, un programa de manejo de cortinas para mantener un rango de temperatura óptimo en el interior del galpón.

El procesamiento y lectura de láminas histológicas se realizó en el “Laboratorio de Histología, Embriología y Patología Animal de la FMV-UNMSM. El análisis proximal de la

carcasa de cuyes se ejecutó en la “Sección de Evaluación Químico Nutricional de Alimentos del LBNA”. El análisis de *Salmonella* spp. y preparación del inóculo de *Salmonella* Typhimurium para llevar a cabo el desafío, se hizo en el “Laboratorio de Microbiología y Parasitología Veterinaria (LMPV) de la FMV-UNMSM”.

3.2 Características de los animales de estudio, análisis de sangre y remisión de órganos para descarte de salmonelosis previo al desarrollo de la fase experimental del estudio

Se utilizaron para la fase experimental del trabajo 60 cuyes machos de 15 días de edad, destetados, del tipo 1, cruces de las líneas genéticas mejoradas Perú y Andina, provenientes de camadas de madres de segundo parto criadas en pozas de piso de cemento de una granja comercial de cuyes localizada en una zona rural de la ciudad de Lima, sin historial de abortos o cuadros infecciosos según el reporte de los cuadernos de registro y del profesional médico veterinario encargado de la sanidad de la granja no reportando antecedentes de salmonelosis.

Los cuyes fueron seleccionados de un galpón específico de la granja y pasaron por un examen físico para verificar su buen estado de salud previo al inicio del trabajo. Se seleccionaron en un inicio un total de 65 cuyes y todos pasaron un examen clínico previo que se basó en la inspección de la conjuntiva de los ojos, de la mucosa oral y órganos genitales, además de auscultar con un estetoscopio: corazón, pulmones e intestinos; y culminar con la palpación de órganos internos, procedimientos que se ejecutaron con el objetivo de verificar la ausencia de alguna anomalía o enfermedad en ellos.

De este grupo inicial se seleccionaron aleatoriamente cinco cuyes que fueron eutanasiados para realizar un descarte microbiológico de *Salmonella* spp. Se remitieron muestras de hígado, vesícula biliar, nódulos mesentéricos, pulmón y bazo al Laboratorio de Microbiología y Patología Veterinaria (LMPV) de la FMV, obteniéndose un resultado negativo para *Salmonella* spp. También, de este grupo de animales se colectaron muestras de sangre, 2-3ml ml

aproximadamente, en tubos vacutainer® con anticoagulante EDTA_{k3} (ácido etilendiamino tetraacético) para realizar un hemograma completo. Los resultados del hemograma se muestran en el cuadro 1 señalando la estadística descriptiva e incluyendo valores mínimos y máximos de la serie roja y blanca. Los valores obtenidos para los parámetros hematológicos se encontraron dentro del rango de referencia reportado en estudios previos para cuyes sanos (Zimmerman *et al.*, 2015; Oriundo *et al.*, 2021; Rojas, 2024), lo que confirmó el estado de clínicamente saludables en los animales del experimento.

Cuadro 1. Valores hematológicos de cuyes seleccionados aleatoriamente para evaluación sanitaria antes del inicio del experimento.

Parámetro	n	Promedio	DE	Valor mínimo	Valor máximo
Eritrocitos (x10 ⁶ /μl)	5	5.06	0.30	4.8	5.5
Hemoglobina (g/dl)	5	15.50	0.63	14.8	16.5
Hematocrito (%)	5	45.98	1.63	44.2	48.6
VCM (fl)	5	82.64	3.25	79.0	87.5
Leucocitos (x10 ³ /μl)	5	6.04	1.00	4.8	7.3
Neutrófilos (%)	5	40.4	7.30	32.0	50.0
Linfocitos (%)	5	46.80	5.97	38.0	54.0
Monocitos (%)	5	2.20	1.64	1	5
Eosinófilos (%)	5	1.4	1.14	0	3
Basófilos (%)	5	0	0	0	0

Análisis hematológico realizado por tecnólogo médico particular.

El resto de los animales (60) fueron distribuidos en forma aleatoria en 60 pozas individuales con áreas de 0.20m²; construidas con paredes de concreto, techo de malla y piso de cemento pulido. Cada poza conformó una unidad experimental. Previo al inicio del trabajo, las pozas se desinfectaron con una solución de 1:200 de glutaraldehído al 20%. Se empleó viruta blanca de madera de pino a modo de cama en las pozas. Se utilizaron además forrajeras de alambre y comederos de arcilla revestidos con esmalte blanco para el alimento, previamente desinfectados; adicional, se brindó diario agua fresca *ad libitum*. En la UI los

cuyes recibieron 12 horas de luz natural diariamente y se instaló un manejo de cortinas para mantener una temperatura en el interior en el rango de 17-22°C y con humedad relativa de 70%, en promedio, durante toda la fase experimental.

3.3 Diseño experimental, tratamientos y dieta base

Se establecieron seis tratamientos conformado por 10 unidades cada tratamiento siguiendo el esquema mostrado en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Esquema detallado de los tratamientos experimentales en los grupos evaluados.

Tratamiento	Esquema
T ₁ (control)	Dieta base (DB) + 2ml de suero fisiológico 0.9% ClNa (SF) vía oral (VO); no desafiados
T ₂ (D)	DB + 2ml de SF, VO + desafiados con <i>Salmonella enterica</i> variedad Typhimurium (SeVT)
T ₃ (DPRO)	DB + 2ml de consorcio Probiótico (PRO), VO + desafío con SeVT.
T ₄ (DPRE)	DB + 2ml de Prebiótico (PRE), VO + desafío con SeVT.
T ₅ (DSIM)	DB + 2ml de consorcio Simbiótico (SIM), VO + desafío con SeVT.
T ₆ (DZB)	DB + zinc bacitracina (ZB) en el alimento + 2mL de SF, VO + desafío con SeVT

Fuente: Elaboración propia.

Se utilizó como DB una alimentación mixta que estuvo compuesta por alfalfa fresca (*Medicago sativa* L.) y concentrado en polvo cuya formulación se realizó con el programa comercial Desarrollo de Aplicaciones para Procesos Productivos (DAPP) Nutrition v.2.0 (2019), siguiendo las especificaciones nutricionales de la especie (Airahuacho *et al.*, 2017, Bazán, 2019; Reynaga *et al.*, 2020), utilizando insumos como afrecho de trigo (63.4%), maíz grano molido nacional (12.1%), harina integral de soya extruida (12.0%), torta de soya (9.4%), premezcla (1.4%), carbonato de calcio (1.3%) y sal (0.4%). El análisis proximal del

concentrado se hizo empleando el método de la Association of Official Analytical Chemists AOAC (2007) referente a lo relacionado al contenido de humedad, proteína cruda, extracto etéreo (grasa), fibra cruda, cenizas totales y ELN (extracto libre de nitrógeno); y en la estimación del contenido de energía se utilizaron ecuaciones de predicción basadas en el contenido del análisis proximal, cuyo resultado se muestra en el Cuadro 3. La ración diaria ofrecida a la totalidad de los tratamientos fue el equivalente al 10% de su peso vivo en materia seca (MS). El concentrado se suministró en horas de la mañana y el forraje se ofreció por la tarde.

Cuadro 3. Análisis proximal porcentual y energía calculada de la dieta base (tal como ofrecido)¹

Nutriente	Valor
Humedad %	11.61
Proteína (N x 6.25) %	18.65
Grasa %	5.10
Fibra cruda %	7.88
Cenizas %	5.70
ELN %	51.06
Energía Digestible Mcal/Kg	2.89

¹Laboratorio de Bioquímica, Nutrición y Alimentación Animal. FMV. UNMSM. Método AOAC, 2007.

Como antibiótico promotor de crecimiento se empleó zinc bacitracina (ZB) en dosis de 50ppm, proveniente de un preparado comercial cuya concentración de ZB estuvo al 10%. La ZB se mezcló en el alimento a consumir por los cuyes del T₆, durante toda la fase experimental, con ayuda de una mezcladora con capacidad de hasta 100 kilos. El alimento concentrado de los cuyes de los T₁ a T₅ estuvo libre de ZB o de otro tipo de antibiótico promotor de crecimiento.

El consorcio PROBIÓTICO (PRO) utilizado en el estudio fue una combinación estabilizada de un núcleo de bacterias probióticas compuesto por *Lactobacillus frumenti* 3.1×10^{10} UFC/ml, *Lactobacillus johnsoni* 2.2×10^{10} UFC/ml, *Lactobacillus reuteri* 3.3×10^{10} UFC/ml, *Streptococcus thoraltensis* 2.3×10^{10} UFC/ml, *Bacillus pumilus* 3.3×10^{10} UFC/ml, obtenidas de la mucosa intestinal y heces del yeyuno e íleon de cuyes neonatos y de sesenta días de edad, “aisladas en medios de cultivo bacterianos específicos e identificadas mediante el secuenciamiento del gen 16S RNAr” según la técnica de Rodicio y Mendoza (2004). El consorcio PRO fue preparado por un laboratorio comercial peruano mezclando el núcleo de bacterias probióticas más un vehículo dilutor (ácido láctico al 25%) y agua desionizada estéril; el consorcio comercial se utilizó también en anteriores estudios realizados en cuyes (Puente *et al.*, 2019; Carcelén *et al.*, 2021). La dosificación del PRO en los cuyes del T₃ se realizó VO mediante una sonda de silicona estéril, diariamente durante toda la fase experimental, en cantidad de 2ml de una dilución 1:10 (PRO:H₂O) en agua de bebida, en horas de la mañana (de 9 a 10am). La dilución de PRO se realizaba diariamente preparando únicamente la cantidad de dosis requerida para el grupo de animales a dosificar.

El PREBIÓTICO (PRE) estuvo compuesto por una suspensión natural de fructoligosacáridos (FOS) obtenidos mediante transfructosilación de partes vegetales y de la miel de abeja, compuesto por FOS de Yacón (*Smallanthus sonchifolius*), Inulina de Achicoria (*Chicorium intybus*) y miel de abeja, empleando como vehículo dilutor ácido láctico al 25%. El preparado comercial de PRE fue elaborado por un laboratorio comercial peruano y se dosificó a la totalidad de los cuyes del T₄ en cantidad de 2ml de una dilución 1:10 (PRE:H₂O) en agua de bebida, cada día en horas de la mañana (de 9 a 10am), VO mediante una sonda de silicona, durante toda la fase experimental. La dilución de PRE se realizaba a diario preparando sólo la cantidad de dosis requerida para el grupo de animales a

dosificar.

El consorcio SIMBIÓTICO (SIM) estuvo compuesto por una combinación de PRO y PRE de los T₃ y T₄, conformado cuantitativamente por (solución de 1 Litro): 200ml del PRE (70ml de FOS de Yacón + 130ml de Inulina de Achicoria + 100ml de miel de abeja), 350ml de núcleo de bacterias probióticas, 50ml de ácido cítrico al 25%, 100ml de ácido láctico al 25%, y 300ml de agua desionizada estéril. EL SIM fue elaborado por un laboratorio comercial peruano y se dosificó a la totalidad de los cuyes del T₅ en cantidad de 2ml de una dilución 1:10 (SIM:H₂O) en agua de bebida, durante la mañana (de 9 a 10am), VO utilizando una sonda de silicona, en la totalidad de la duración de la fase experimental. La dilución del SIM se realizaba todos los días, igualmente a los anteriores tratamientos, preparando sólo la cantidad de dosis requerida.

3.4 Desafío con *Salmonella enterica* variedad Typhimurium (SeVT)

La fase experimental duró 56 días iniciando con el periodo de adaptación de los cuyes a la dieta base; después de concluida la semana del periodo de adaptación de los animales del estudio se dio inicio a los tratamientos según se describe en el Cuadro 4. En el día 12 de la fase experimental se realizó el desafío VO, por única vez, a los T₂ al T₆, con un inóculo de concentración 2.0×10^6 UFC /0.5ml de SeVT suspendido en agua de peptona tamponada estéril.

El cultivo y preparación del inóculo se realizó en el LMPV de la FMV. La cepa SeVT fue obtenida de un laboratorio privado de reconocida trayectoria ubicado en Lima y se aisló de estudios previos de órganos de cuyes diagnosticados con salmonelosis. La identificación de *Salmonella* Typhimurium se hizo mediante biología molecular (PCR múltiple). Para dosificar a los animales se utilizó una sonda de silicona estéril y se realizó de manera individual siguiendo las normas de bioseguridad adoptadas para el presente estudio.

Cuadro 4 Cronograma del período de adaptación y desafío con SeVT en cuyes suplementados con probiótico (PRO), prebiótico (PRE), simbiótico (SIM) y zinc bacitracina (ZB).

Duración de la Fase Experimental: 56 días (8 semanas)				
Tratamientos	1° al 5° día	6° al 11° día	12° día	13° al 56° día
T₁(control)	DB, 2ml SF (VO)			
T₂(D)	Adaptación a la DB	DB + 2ml SF (VO)	Desafío con <i>Salmonella enterica</i> var. Typhimurium (SeVT) (2 x 10 ⁶ UFC/0.5ml) VO	DB + 2ml SF (VO)
T₃(DPRO)		DB + 2ml PRO (VO)		DB + 2ml PRO (VO)
T₄(DPRE)		DB + 2ml PRE (VO)		DB + 2ml PRE (VO)
T₅(DSIM)		DB + 2ml SIM (VO)		DB + 2ml SIM (VO)
T₆(DZB)		DB c/ ZB + 2ml SF (VO)		DB c/ ZB + 2ml SF (VO)

Fuente: Elaboración propia.

3.5 Medidas de bioseguridad aplicadas en el estudio

Se restringió el ingreso de visitas al interior de la UI permitiendo el ingreso únicamente al personal médico veterinario y técnico del LBNAA. El ingreso de roedores, insectos se controló mediante fumigación previa al inicio del estudio, y el control de pájaros se realizó con la instalación de cortinas y mallas a modo de red para evitar su ingreso a la UI. En la entrada se colocó un pediluvio que contenía una solución de glutaraldehído y cloruro de benzalconio para la desinfección del calzado y botas del personal antes del ingreso y a la salida de la UI. En el interior se dispuso de un área para cambio de ropa y colocación de implementos de protección personal como mascarilla N95, careta (protector) facial, gorro quirúrgico descartable, guantes de látex y mandil quirúrgico de uso hospitalario, cuyo reemplazo se realizó de manera diaria durante todo el estudio, antes del manejo, inspección y alimentación de los animales.

3.6 Parámetros para evaluación del comportamiento productivo

Los parámetros considerados para la evaluación del desempeño productivo en los cuyes suplementados con PRO, PRE, SIM y ZB se detallan en el cuadro 5. El alimento se pesó diariamente y se suministró a los animales retirando previamente, y pesando también, el alimento rechazado. El registro de peso vivo (PV) de los animales se realizó semanalmente hasta concluir las ocho semanas de crianza.

Cuadro 5. Parámetros, indicadores y fórmula para evaluar el comportamiento productivo de cuyes suplementados con PRO/PRE/SIM/ZB y desafiados con SeVT.

PARÁMETROS	ACTIVIDADES	INDICADORES	FÓRMULA
Ganancia de	Peso de los animales	A. GP semanal:	
Peso Vivo (GP)	al inicio de cada semana (7am), en forma individual, antes del suministro de alimentos.	Diferencia entre el peso vivo (PV) alcanzado en la semana actual y PV de la semana anterior.	$GP\ sem\ (g) = PV\ sem.\ Actual - PV\ sem.\ Anterior$
en g.		B. GP total:	
		Diferencia entre el peso vivo al finalizar la 8va semana de crianza y el PV al inicio de la 1era semana (destete).	$GP\ total\ (g) = PV\ final - PV\ inicio$

Consumo de Alimento en g.	Peso del alimento ofrecido versus el alimento rechazado, de cada poza experimental, calculado como MS, al finalizar la semana. Se analizó el contenido de MS del concentrado al inicio de cada semana y se multiplicó el peso de alimento ofrecido por el valor de MS.	A. CA semanal: Diferencia entre la cantidad de alimento ofrecido y el alimento rechazado, en MS, durante una semana. B. CA total: Diferencia entre el consumo de alimento (MS) al finalizar la 8va semana de crianza y el consumo de alimento (MS) de la 1era semana.	$CA\ sem\ (g) = MS\ sem\ ofrecido - MS\ sem.\ Rechazado$ $CA\ total\ (g) = MS\ total\ ofrecido - MS\ total\ rechazado$
Índice de Conversión Alimenticia (ICA)	Es el resultado de dividir el CA total de un animal sobre su GP total durante un determinado periodo de tiempo.	El ICA se determinó mediante fórmula y se consideró los datos del CA total y GP total de cada cuy al término de la 8va semana de crianza.	$ICA = CA\ total\ (g) / GP\ total\ (g)$
Rendimiento de carcasa en porcentaje (RC)	Se pesó la carcasa de los animales después del beneficio. La carcasa no contenía las vísceras como bazo, vesícula biliar, tracto digestivo (estómago e intestinos) y órganos reproductivos, Únicamente quedó el corazón, pulmón, hígado y riñones.	El RC (%) se obtuvo mediante fórmula luego del beneficio, pelado y oreado de las carcasas (por un lapso de 2-3 horas), y se dividió el peso de la carcasa y el PV del animal previo periodo de ayuno.	$RC\ (\%) = [peso\ carcasa\ (g) / PV\ (g)] \times 100$

Retribución económica relativa (RER) basada en la alimentación	La RER es un estimado del porcentaje (%) de ingreso por la venta de la carcasa de cuyo tratamiento y se descontando el gasto realizado por la alimentación durante el periodo de engorde.	Se calculó la retribución económica relativa (%) de las dietas de cada una y se consideró el gasto (S/.) realizado en el concentrado y forraje (alfalfa) consumido durante 8 semanas vs el ingreso (S/.) por la venta de la carcasa de los animales.	$RE = (\text{Ingreso bruto (S/.)} \times \text{Venta de carcasa}) - \text{Costo total (S/.) por alimentación}$ $RER_{tto} = (Re_{tto} / RE_{TttoControl}) \times 100$
---	---	--	--

Fuente: Elaboración propia

3.7 Procedimiento y parámetros para evaluación de la morfometría intestinal

Procedimiento de toma de muestras

Al término de las ocho semanas de crianza (56 días), se procedió a la evaluación de la morfometría intestinal. Previamente, los cuyes fueron sometidos a un periodo de ayuno de 8 horas, con acceso *ad libitum* a agua limpia, a fin de reducir el contenido luminal intestinal y minimizar artefactos histológicos durante el procesamiento de tejidos, según lo realizado por Sarmiento (2021) y López (2018).

El sacrificio de los animales se realizó mediante dislocación cervical seguida de degüello, procedimiento considerado método eutanásico aceptable para pequeños roedores de laboratorio según las directrices del AVMA (2020).

Posteriormente, se procedió a la apertura abdominal mediante laparotomía ventral media, exponiendo completamente el tracto digestivo. Se identificaron las tres secciones del intestino delgado: duodeno, yeyuno e íleon. Las muestras se tomaron de forma estandarizada, considerando como base el protocolo de López (2018) y Sarmiento (2021), realizando cortes transversales de 1 cm de longitud en las siguientes ubicaciones anatómicas:

Duodeno: 3 cm distal al píloro (porción inicial del intestino delgado).

Yeyuno: segmento medio entre el duodeno y la válvula ileocecal, en la zona de mayor longitud y disposición de asas intestinales.

Íleon: 3 cm proximales a la unión ileocecal (sección terminal del intestino delgado).

Los segmentos fueron inmediatamente lavados con suero fisiológico estéril para eliminar residuos de contenido intestinal, luego depositados en frascos plásticos con solución de Bouin, y dejados en fijación por un mínimo de 24 horas. Posteriormente, las muestras fueron remitidas al Laboratorio de Histología , Embriología y Patología Veterinaria de la Facultad de Medicina Veterinaria – UNMSM, donde se realizó el procesamiento histológico estándar.

Procesamiento histológico

Las muestras se fijaron en solución de Bouin, durante 24 horas (Avwioro, 2007). Luego se redujeron a un largo de 5mm y se deshidrataron empleando alcohol etílico a 70% en un proceso gradual para eliminar el agua intracelular.

Las muestras fueron embebidas en bloques de parafina para proporcionar estabilidad y facilitar los cortes histológicos; posteriormente se cortaron con un microtomo (Thermo Fisher®) hasta obtener cortes transversales de la mucosa del intestino delgado con espesor de 5 μ m, finalizando con la tinción Hematoxilina y Eosina (Checnes, 2014). Se elaboraron en total 60 láminas histológicas, conteniendo cada una las tres secciones del intestino delgado por cada unidad experimental de los tratamientos.

Parámetros para la evaluación de la morfometría intestinal

El registro de las medidas de las vellosidades intestinales (V_i), de cada lámina histológicas se realizó en micras (μ m) a una magnificación de 100x seleccionando seis campos y contabilizando las V_i que presentaron integridad de epitelio y cripta de Lieberkühn completa (López, 2018; Carcelén, 2021; Sarmiento, 2021), luego se promediaron y se obtuvo

un solo valor por cada repetición en los seis tratamientos.

La histomorfometría de las Vi se realizó con el programa “LAS EZ, versión 3.4” (Leica Microsystems, Alemania) del microscopio “LEICA DM1000 LED con cámara ICC50W” (Leica Microsystems, Alemania).

Los parámetros histomorfométricos considerados fueron los empleados por López (2018), Carcelén (2021) y Sarmiento (2021) que se señalan en la figura 1:

- 3.7.1 **Longitud (altura) de la vellosidad intestinal (LV)**, se midió desde el ápice (extremo superior) de la vellosidad hasta la entrada a la cripta de Lieberkühn.
- 3.7.2 **Ancho de la vellosidad intestinal (AV)**, se midió la línea perpendicular trazada en la sección media de la LV.
- 3.7.3 **Profundidad de la cripta de Lieberkühn (PC)**, distancia medida en la cripta de Lieberkühn desde su entrada hasta su base.
- 3.7.4 **Relación LV/PC.**, cifra numérica obtenida de la división entre longitud de vellosidad y profundidad de la cripta de Lieberkühn.
- 3.7.5 **Área de superficie de la vellosidad intestinal (ASV)**, se calcula mediante una fórmula matemática según lo descrito por El Sabry y Abd El-Ghany (2021) empleando las variables de LV y AV:

$$ASV = \pi [AV * (LV - 0.5 AV) + 0.5 * AV^2]$$

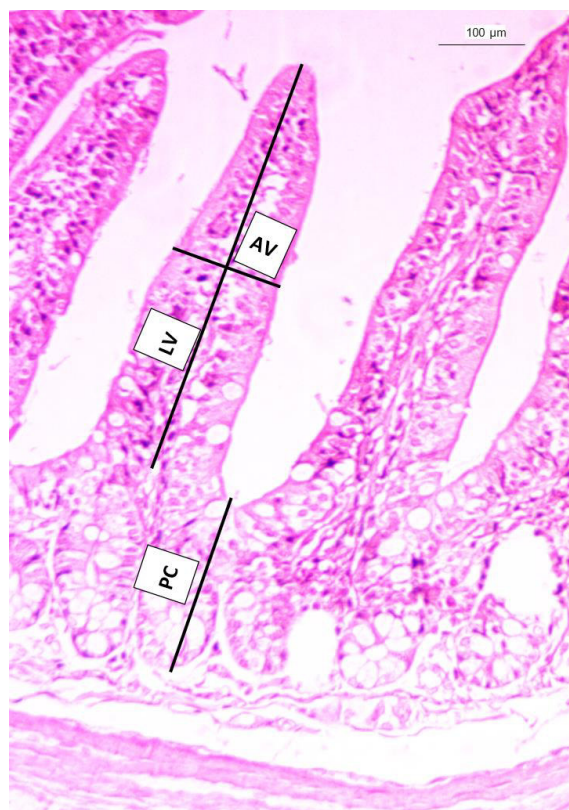


Figura 1. “Estructura histológica de vellosidades intestinales (Vi) de intestino delgado (yeyuno) de cobayo señalando los parámetros considerados para el estudio histomorfométrico. Longitud de Vi (LV), ancho de Vi (AV) y profundidad de la cripta de Lieberkühn (PC)”. Hematoxilina -Eosina, magnificación 100x.

3.8 Parámetros para evaluación de la composición química de la carne de cuyes

Para el estudio de la composición química de la carne de cuyes en el presente estudio se empleó la metodología modificada de la “ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS” (2007) para estimar los porcentajes de proteína cruda (PC) (AOAC 984.13), extracto etéreo (EE) (AOAC 945.16), fibra cruda (FC) (AOAC 978.10), cenizas totales (CZ) (AOAC 942.05) y extracto libre de nitrógeno (ELN). Los análisis se realizaron en el LBNA de la FMV colectando de cada carcasa de cuy el brazuelo, costillar y pierna del flanco derecho, inmediatamente se descarnó junto con la piel y se cortó en secciones de 0.5 cm los que finalmente se mezclaron hasta obtener una muestra homogénea

representativa de todo el flanco.

La selección de los músculos de la pierna (M. Cuádriceps femoral), flanco (M. Oblícuo Externo, M. Oblicuo Interno) y brazo (M. Triceps y bíceps braquial) del flanco derecho para el análisis proximal de la carne en cuyes se fundamenta en su mayor representatividad en el consumo humano, su accesibilidad y tamaño adecuados para la toma de muestras, así como en su importancia funcional en la locomoción y estabilidad del animal. A diferencia del músculo psoas en esta especie, que es de menor tamaño y se encuentra en una ubicación profunda con menor participación en la actividad muscular; los músculos seleccionados presentan una composición química más relevante para la evaluación de la calidad nutricional y tecnológica de la carne en cuyes (Palacios, 2017; Bazán, 2019; Quezada, 2023).

Los resultados se presentaron como porcentaje considerando la materia seca (MS) y base húmeda (BH) (AOAC 923.03) de las muestras y se obtuvo un promedio final por parámetro en cada tratamiento.

En el análisis de MS se empleó una estufa convencional de calor seco en la cual se colocaron las muestras de carcasa, previamente pesadas analíticamente, y se sometieron a una temperatura de 65°C durante 72h hasta obtener peso constante durante la deshidratación. Culminado el periodo de tiempo se volvieron a pesar y se aplicaron las siguientes fórmulas para obtener primero el porcentaje de BH y por diferencia se obtuvo el porcentaje de MS:

$$\%BH = \frac{(PIM - PFM)}{PIM} \times 100$$

$$\%MS = 100 - \%BH$$

“PIM=peso inicial de la muestra”

“%BH=% de humedad”

“PFM=peso final de la muestra”

Las carcasas desecadas se molieron hasta un diámetro de partícula de 1mm para los análisis de PC, EE y CZ. En el análisis de PC se aplicaron tres procedimientos: (i) digestión, de 300mg de la carcasa seca y molida, con 6ml de ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado y un catalizador a base de cobre, titanio y selenio, a una temperatura de 400°C durante 8 h aproximadamente; (ii) destilación, durante 3 minutos, del producto obtenido en la digestión, el cual se destila en presencia de 25 ml de Hidróxido de sodio al 40% que se agrega al producto de la digestión, para neutralizar el medio, y 25ml de ácido bórico al 3%, obteniéndose una solución de borato de amonio, y finalmente (iii) titulación, con H₂SO₄ 0.1 N, del destilado obtenido en el paso anterior, como indicador de cambio de color del medio utilizamos la solución de Tashiro. Por último, el gasto realizado en mililitros de ácido sulfúrico 0.1 N se reemplaza en la siguiente fórmula:

$$\%proteína\ cruda = \frac{(\text{gasto en ml H}_2\text{SO}_4) \times 0.1 \times 14 \times 6.25}{\text{peso muestra en g} \times 10}$$

0.1=normalidad de la solución de H₂SO₄.

6.25= factor de conversión de nitrógeno en proteína estimada.

14= peso molecular del nitrógeno.

Para la estimación de extracto etéreo se empleó el método de inmersión que consiste en pesar analíticamente 2g de muestra seca y molida, inmediatamente se coloca en un dedal de celulosa y se introduce en un matraz de vidrio conteniendo 50ml de éter de petróleo; el matraz con el dedal se fija y se procede al sellado para que el éter no se evapore y pueda “arrastrar” la fracción lipídica de la muestra la cual quedará en el fondo del matraz. El tiempo de inmersión es de 24 horas; luego del término se libera el dedal de celulosa y se lleva el matraz conteniendo el éter con la fracción lipídica a una estufa durante 12 h a una temperatura de 50°C para evaporación del éter; finalmente la fracción lipídica queda adherida en el fondo del matraz el cual se pesa analíticamente y se calcula la diferencia entre

el peso de matraz solo, previo a la colocación de éter, y peso de matraz con la fracción lipídica adherida en su fondo, se aplica una regla de tres simple y el resultado se expresa en porcentaje.

La determinación de cenizas se realizó el método de incineración, colocando en una mufla a 550°C un crisol de porcelana con 2 g de la muestra seca y molida, durante 3 horas luego de los cuales se pesa el residuo obtenido (cenizas) y se aplica una regla de tres simple para obtener la estimación de cenizas totales de la muestra en porcentaje. El cálculo del extracto libre de nitrógeno (ELN) se obtiene mediante fórmula matemática donde se consideran los parámetros de PC, EE, FC y CZ, según se detalla a continuación:

$$\%ELN (BS) = 100 - (\%PC + \%EE + \%FC + \%CZ)$$

BS= base seca o materia seca; PC= proteína cruda; EE=extracto etéreo; C=fibra cruda; CZ= cenizas totales.

3.9 Análisis de heces durante la fase experimental y análisis microbiológico de órganos para detectar la presencia de *Salmonella* spp.

Al 3er día del desafío con SeVT y en la 6ta semana se colectaron heces frescas del recto 05 C de cada T, que fueron elegidos al azar, realizando una mezcla uniforme por cada T y se sembraron por duplicado en Agar Cromogénico Salmonella®Labkem para determinar la presencia de *Salmonella* spp.; este análisis se llevó a cabo en el LBNAA de la FMV. En la 8va semana de engorde, y concluida la fase experimental, se realizó el sacrificio de los animales y se colectaron muestras de hígado, vesícula biliar, bazo, pulmón y nódulos linfáticos mesentéricos para realizar un descarte microbiológico de *Salmonella*, el cual se realizó en el LMPV de la FMV.

3.10 Análisis estadístico

Se empleó un diseño completamente aleatorio con el siguiente modelo estadístico:

$$Y = \mu + \tau + \varepsilon$$

En donde: Y = Observación de la variable de respuesta; μ = media global;

τ_i = efecto del tratamiento; ε = Error experimental asociado a la medición de Y .

Los resultados se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) previa comprobación de su normalidad y homocedasticidad mediante la prueba de Levene. En el caso de la existencia de diferencia estadística se empleó la prueba de Tukey para determinar la diferencia entre los tratamientos. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa R 3.4.3 (2013). El nivel de significancia utilizado fue de 0.05.

3.11 Consideraciones éticas

Se siguieron las “Normas éticas para la investigación señaladas en el protocolo de uso de animales vertebrados de laboratorio” establecido por el “Comité de Ética de Bienestar Animal” (CEBA) de la FMV-UNMSM.

IV RESULTADOS

4.1 Comportamiento productivo

El cuadro 6 muestra los resultados obtenidos en GP, CMS, ICA y RC al término de las 8 semanas de crianza. El mejor desempeño productivo en todos los parámetros ($p < 0.0001$) se obtuvo en el tratamiento $T_{1(\text{control})}$, registrando una ganancia promedio de 820.4 g. y como ICA 4.7. El $T_{2(D)}$ mostró el desempeño productivo más bajo ($p < 0.0001$) en todos los parámetros evaluados con excepción del RC, que presentó valores similares al grupo suplementado con PRO. Entre los demás grupos desafiados con SeVT el grupo $T_{6(DZB)}$ (T_6 : 688.0 g) mostró la mayor ganancia de peso, siendo significativamente superior ($p < 0.0001$) a los tratamientos $T_{3(DPRO)}$ a $T_{5(DSIM)}$. En relación al CMS el grupo $T_{5(DSIM)}$ (3514.1 g) registró el menor consumo ($p < 0.0001$) de todos los tratamientos.

El $T_{1(\text{control})}$ se utilizó como referencia con un efecto relativo (ER) del 100%, representando la condición óptima sin el impacto del desafío con *Salmonella enterica* serovar Typhimurium. En comparación, los tratamientos desafiados presentaron distintos niveles de mejora con respecto a esta referencia. El grupo $T_{2(D)}$ mostró el menor ($p < 0.0001$) efecto relativo (64%), indicando una reducción del 36% en la mejora esperada. Los grupos $T_{3(DPRO)}$ y $T_{5(DSIM)}$ alcanzaron un efecto relativo del 82%, indicando una reducción del 18% en la mejora esperada. El $T_{4(DPRE)}$ mostró una reducción de 24% de la mejora esperada.

El grupo T_{6(DZB)} presentó el mayor ($p < 0.0001$) efecto relativo entre los desafiados (84%), indicando una reducción del 16% en la mejora esperada. Entre los grupos desafiados con *Salmonella enterica* serovar Typhimurium, el tratamiento T_{2(D)} se tomó como referencia con un efecto relativo del 100%, considerando que el grupo T_{2(D)} representa el 100% del daño causado por el desafío con *Salmonella enterica* serovar Typhimurium, los tratamientos suplementados lograron reducir este impacto en distintos niveles. El grupo T_{3(DPRO)} disminuyó el daño en un 28%, mientras que el grupo T_{4(DPRE)} disminuyó el daño en un 19%. Los tratamientos T_{5(DSIM)} y T_{6(DZB)} mostraron la mayor reducción del daño, con mejoras del 30% y 32%, respectivamente.

En relación a la retribución económica relativa [RER] (%) el cuadro 7 y la figura 2 muestran la relación entre el peso de carcasa, precio por carcasa y la retribución económica relativa (%) en cuyes sometidos a seis tratamientos (T1-T6). El T1_(control) sirvió de referencia como la mayor retribución económica relativa (100%) y el mayor peso final promedio (aproximadamente 1200 g), considerándose como el tratamiento más eficiente y rentable. En comparación, el T2_(D) mostró la menor retribución económica relativa (58.95%) y el menor peso final entre todos los tratamientos. Los tratamientos T3_(DPRO), T4_(DPRE), T5_(DSIM) y T6_(DZB) obtuvieron resultados intermedios, con retribuciones entre 79.3%, 71.7% , 81.5% y 81.4%, respectivamente.

Cuadro 6. Comportamiento productivo¹ en cuyes con y sin suplemento probiótico

(PRO), prebiótico (PRE), simbiótico (SIM) y zinc bacitracina (ZB) y

con o sin desafío con *Salmonella enterica* var. Typhimurium (SeVT)

Parámetro productivo ³	Tratamientos ²						P-valor ⁴
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	
GP(g)	820.4±9.1 ^a	521.3±5.7 ^e	668.6±8.2 ^c	621.2±6.1 ^d	675.8±11.10 ^c	688.0±11.0 ^b	<0.0001
CMS (g)	3880.3±7.2 ^a	3583.6±5.6 ^d	3674.7±6.7 ^b	3614.9±3.9 ^c	3514.1±5.3 ^e	3610.8±5.2 ^c	<0.0001
ICA	4.7 ^e	6.9 ^a	5.5 ^c	5.8 ^b	5.2 ^d	5.3 ^d	<0.0001
RC (%)	71.7±0.8 ^a	68.5±0.7 ^d	70.2±0.8 ^b	68.9±1.2 ^{cd}	70.3±0.9 ^b	70.0±0.7 ^{bc}	<0.0001
ER (%)	100 ^a	64 ^e	82 ^c	76 ^d	82 ^c	84 ^b	<0.0001
		100 ^d	128 ^b	119 ^c	130 ^a	132 ^a	<0.0001
RER (%)	100 ^a	58.9 ^d	79.3 ^b	71.7 ^c	81.5 ^b	81.4 ^b	<0.0001

¹. Los resultados se expresan como promedio ± desvío estándar (n=10). ². T₁: Dieta base (DB) no desafiados, T₂: DB desafiados con SeVT, T₃: DB + PROB desafiados con SeVT, T₄: DB + PRE desafiados con SeVT, T₅: DB + SIM desafiados con SeVT, T₆: DB + ZB desafiados con SeVT. ³. GP: ganancia de peso, CMS: consumo total de materia seca, ICA: índice de conversión alimenticia, RC: rendimiento de carcasa, ER: efecto relativo, RER: retribución económica relativa. ⁴. Valores inferiores a 0.05 se consideran estadísticamente significativos. Letras diferentes en superíndice en las filas son estadísticamente diferentes.

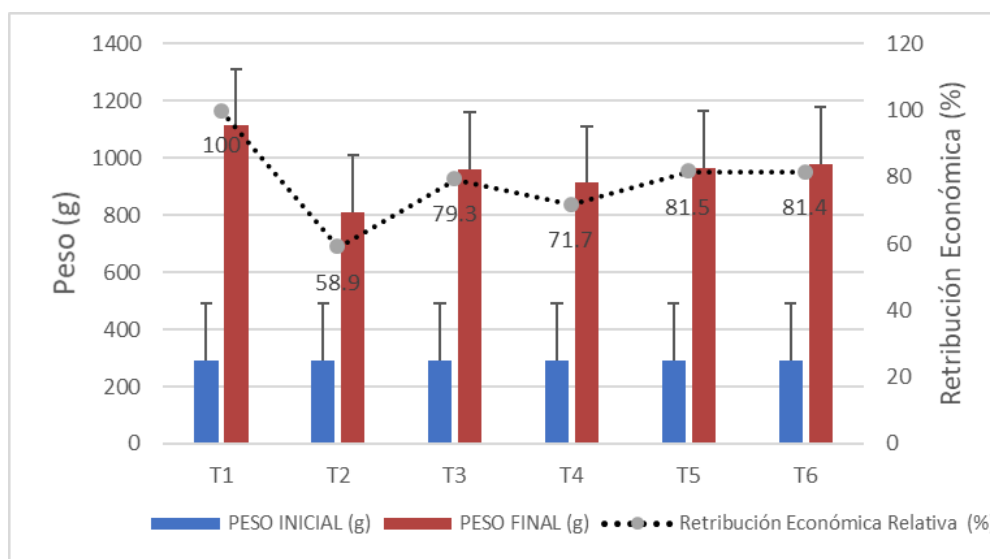


Figura 2. Retribución económica relativa (%) en cuyes sometidos a los siguientes tratamientos: T1: Dieta base (DB) no desafiados, T2: DB desafiados con SeVT, T3: DB + PROB + desafiados con SeVT, T4: DB + PRE + desafiados con SeVT, T5: DB + SIM + desafiados con SeVT, T6: DB + ZB + desafiados con SeVT

Cuadro 7. Comparación del ingreso económico neto y retribución relativa por tratamiento experimental en cuyes (*Cavia porcellus*) con y sin suplemento probiótico (PRO), prebiótico (PRE), simbiótico (SIM) y zinc bacitracina (ZB) y con o sin desafío con *Salmonella enterica* var. Typhimurium (SeVT)

Rubro	T ₁ control	T ₂ D	T ₃ DPRO	T ₄ DPRE	T ₅ DSIM	T ₆ DZB
Peso de carcasa, g	797.66	556.18	674.09	628.73	679.13	684.99
Precio por cuy, S/. Kg p.v.	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00
Ingreso por carcasa, S/	27.92	19.47	23.59	22.01	23.77	23.98
Consumo de alimento/ cuy, kg:						
Alimento balanceado						
Consumo (tal como ofrecido), g	3047.94	2899.26	2917.85	2880.68	2750.58	2862.09
Costo de balanceado/kg, S/.	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80
Sub total, S/.	5.49	5.22	5.25	5.19	4.95	5.15
Forraje fresco alfalfa						
Consumo, g	5000.00	5000.00	5000.00	5000.00	5000.00	5000.00
Costo/kg.	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Sub total, S/.	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
Tratamientos (PRE,PROB, SIM,ZB)						0.10
Costo de tratamiento	0	0	0.04	0.04	0.07	0.10
Costo de Alimentación, S/.	7.99	7.72	7.79	7.73	7.52	7.75
Retribución económica/cuy, S/.	19.93	11.75	15.80	14.28	16.25	16.23
Retribución económica relativa, %	100	58.9	79.3	71.7	81.5	81.4

T₁: Dieta base (DB) no desafiados, T₂: DB desafiados con SeVT, T₃: DB + PROB desafiados con SeVT, T₄: DB + PRE desafiados con SeVT, T₅: DB + SIM desafiados con SeVT, T₆: DB + ZB desafiados con SeVT.

4.2 Morfometría intestinal

En el cuadro 8 se observa las medidas de las características estructurales como la altura y ancho de las vellosidades intestinales y la profundidad de las criptas de Lieberkühn, así como el área de superficie de las vellosidades, indicadores que reflejan la capacidad del intestino para absorber nutrientes y su respuesta frente a desafíos fisiológicos o infecciosos.

Cuadro 8. Morfometría¹: longitud de vellosidad (LV), ancho de vellosidad (AV), profundidad de cripta de Lieberkühn (PC), relación de LV/PC y área de superficie de vellosidades (ASV) a nivel de tres secciones del intestino delgado de cuyes con y sin suplemento probiótico (PRO), prebiótico (PRE), simbiótico (SIM) y zinc bacitracina (ZB) y con o sin desafío con *Salmonella enterica* var. Typhimurium (SeVT)

Parámetro morfológico	Tratamientos ²					
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆
<i>Duodeno (μm)</i>						
LV	992.3±23.8 ^a	594.7±11.32 ^d	747.4±17 ^c	739.7±7.2 ^c	784.5±18.1 ^b	779.3±31.6 ^{bc}
AV	121.0±16.1 ^a	91.77±7.6 ^c	100.0±16 ^b	95.9±14.5 ^{bc}	100.0±16 ^b	110.3±5.8 ^a
PC	395.7±42 ^a	280.5±14.2 ^d	333.9±11.5 ^c	356.4±28 ^{bc}	310.0±4 ^{cd}	369.4±37.7 ^b
LV/PC	3.0±0.7 ^a	1.92±0.11 ^c	2.2±0.1 ^c	2.1±0.2 ^d	2.5±0.04 ^b	2.48±0.4 ^b
ASV ⁴	0.341 ^a	0.145 ^d	0.241 ^b	0.229 ^c	0.251 ^b	0.253 ^b
<i>Yeyuno (μm)</i>						
LV	558.9±17.1 ^a	340.5±18.5 ^d	390.8±14.3 ^b	369.6±17 ^{cd}	396.4±25 ^b	383.5±21.2 ^c
AV	105.3±20.3 ^a	80.6±3.9 ^b	94.2±18.7 ^a	92.7±19.4 ^a	85.1±12.6 ^{ab}	82.1±5.2 ^{ab}
PC	206.4±20.2 ^a	174.9±25.5 ^b	209.6±8 ^a	210.1±28 ^a	163.4±24 ^c	162.9±19.1 ^c
LV/PC	2.7±1.05 ^a	1.94±0.2 ^c	1.9±0.1 ^c	1.8±0.2 ^{cd}	2.3±0.3 ^b	2.3±0.3 ^b
ASV	0.175 ^a	0.069 ^d	0.120 ^b	0.103 ^c	0.113 ^b	0.111 ^b
<i>Ileon (μm)</i>						
LV	455.1±29.1 ^a	201.4±27.1 ^d	227.7±12 ^b	216.0±12 ^c	211.3±8.8 ^c	217.5±40.2 ^c
AV	100.9±10.5 ^a	90.4±7.1 ^c	97.5±16.8 ^{ab}	92.9±14 ^{bc}	97.2±12.8 ^{ab}	100.4±6.2 ^a
PC	234.6±14.6 ^a	138.7±7.1 ^{bc}	149.7±4.9 ^b	146.2±4.6 ^b	135.1±3.9 ^c	127.1±31 ^{cd}
LV/PC	2.0±0.20 ^a	1.4±0.2 ^c	1.5±0.1 ^{bc}	1.5±0.1 ^{bc}	1.6±0.1 ^b	1.7±0.3 ^b
ASV	0.138 ^a	0.058 ^c	0.083 ^b	0.076 ^b	0.081 ^b	0.084 ^b

¹: Los resultados se expresan como promedio (μm) ± desvío estándar (n_{ito}=10). ²: T₁(control), T₂(D), T₃(DPRO), T₄(DPRE), T₅(DSIM), T₆(DZB). ³: Valores inferiores a 0.05 se consideran estadísticamente significativos. Letras diferentes en superíndice en la misma fila son estadísticamente diferentes. ⁴: ÁSV(mm²)

En el segmento duodeno el tratamiento $T_{1(\text{control})}$ presentó significativamente ($p < 0.0001$) las vellosidades más largas ($992.3 \mu\text{m}$), seguido por los grupos $T_{5(\text{DSIM})}$ ($784.5 \mu\text{m}$) y $T_{6(\text{DZB})}$ ($779.3 \mu\text{m}$). El grupo $T_{2(\text{D})}$, mostró significativamente ($p < 0.0001$) las vellosidades más cortas ($594.7 \mu\text{m}$). La relación longitud de vellosidad/profundidad de cripta (LV/PC) fue mayor ($p < 0.0001$) en $T_{1(\text{control})}$ (3.0) y menor ($p < 0.0001$) en $T_{2(\text{D})}$ (1.92). El área de superficie de vellosidades (ASV) también fue más alta ($p < 0.0001$) en $T_{1(\text{control})}$ (0.341 mm^2) y más baja ($p < 0.0001$) en $T_{2(\text{D})}$ (0.145).

En el yeyuno las vellosidades más largas ($p < 0.0001$) se encontraron en $T_{1(\text{control})}$ ($558.9 \mu\text{m}$), mientras que el grupo $T_{2(\text{D})}$ mostró las más cortas ($340.5 \mu\text{m}$). La relación LV/PC fue significativamente mayor ($p < 0.0001$) en $T_{1(\text{control})}$ ($2.7 \mu\text{m}$) en comparación con el grupo $T_{4(\text{DPRE})}$ ($1.8 \mu\text{m}$) que mostró el valor más bajo ($p < 0.0001$) entre todos los tratamientos. El ASV fue más alto ($p < 0.0001$) en $T_{1(\text{control})}$ (0.175) y más bajo ($p < 0.0001$) en $T_{2(\text{D})}$ (0.069). El ASV entre el T_3 , T_5 y T_6 fueron similares estadísticamente ($p > 0.05$).

En el segmento ileon las vellosidades más largas ($p < 0.0001$) se observaron en $T_{1(\text{control})}$ ($455.1 \mu\text{m}$), mientras que el grupo $T_{2(\text{D})}$ presentó las más cortas ($201.4 \mu\text{m}$). El grupo $T_{3(\text{DPRO})}$ alcanzó una longitud de vellosidad ($227.7 \mu\text{m}$) superior a los grupos $T_{4(\text{DPRE})}$ ($216 \mu\text{m}$), $T_{5(\text{DSIM})}$ (211.3) y $T_{6(\text{DZB})}$ ($217.5 \mu\text{m}$). El ASV más alto ($p < 0.0001$) se registró en $T_{1(\text{control})}$ (0.138) y el más bajo en $T_{2(\text{D})}$ (0.058), los grupos ($T_{3(\text{DPRO})}$, $T_{4(\text{DPRE})}$, $T_{5(\text{DSIM})}$ y $T_{6(\text{DZB})}$) mostraron ASV similares ($p > 0.05$).

4.3 Composición química de la carne

El cuadro 9 muestra los resultados en el análisis proximal de la carcasa de cuyes al término de las ocho semanas de crianza en cuyes suplementados con PRO/PRE/SIM y desafiados con SeVT,

Cuadro 9. Análisis proximal de la carne de cuyes¹ con y sin suplemento probiótico (PRO), prebiótico (PRE), simbiótico (SIM) y zinc bacitracina (ZB) y con o sin desafío con *Salmonella enterica* var. Typhimurium (SeVT).

Tratamiento ²	Análisis Proximal ¹ (%)									
	Humedad	Materia Seca	Proteína cruda		Extracto Etéreo		Cenizas totales		Extracto Libre de Nitrógeno	
			BH	BS	BH	BS	BH	BS	BH	BS
T1	67.3 ^a ± 2.3	32.7 ^a ± 2.3	21.9 ^a ± 1.9	66.9 ^a ± 1.9	9.3 ^a ± 0.7	28.6 ^a ± 1.7	1.0 ^a ± 0.1	2.9 ^a ± 0.2	0.5 ^a ± 0.6	1.6 ^a ± 1.9
T2	67.6 ^a ± 2.9	32.4 ^a ± 2.9	22.1 ^a ± 2.0	68.2 ^a ± 1.9	9.2 ^a ± 1.2	28.3 ^a ± 1.9	0.9 ^a ± 0.0	2.8 ^a ± 0.2	0.2 ^a ± 0.1	0.7 ^a ± 0.4
T3	69.1 ^a ± 2.6	30.9 ^a ± 2.6	20.3 ^a ± 2.0	65.7 ^a ± 1.7	8.8 ^a ± 0.7	28.7 ^a ± 1.6	0.8 ^a ± 0.1	2.8 ^a ± 0.3	0.9 ^a ± 0.7	2.8 ^a ± 2.1
T4	67.9 ^a ± 2.0	32.1 ^a ± 2.0	21.4 ^a ± 1.6	66.6 ^a ± 2.2	9.0 ^a ± 0.7	28.3 ^a ± 2.5	0.9 ^a ± 0.0	2.9 ^a ± 0.2	0.7 ^a ± 0.9	2.3 ^a ± 2.9
T5	68.6 ^a ± 2.3	31.4 ^a ± 2.3	20.7 ^a ± 1.9	65.7 ^a ± 1.8	9.2 ^a ± 0.9	29.1 ^a ± 1.4	0.9 ^a ± 0.1	2.8 ^a ± 0.2	0.7 ^a ± 0.7	2.3 ^a ± 2.6
T6	68.3 ^a ± 1.3	31.7 ^a ± 1.3	21.3 ^a ± 1.3	67.2 ^a ± 2.6	9.0 ^a ± 0.7	28.4 ^a ± 1.9	0.9 ^a ± 0.1	2.9 ^a ± 0.2	0.5 ^a ± 0.6	1.6 ^a ± 1.8
P - valor	0.710	0.708	0.432	0.211	0.905	0.950	0.950	0.913	0.532	0.494

BH: base húmeda. BS: base seca. Promedios en la misma columna con letras diferentes son estadísticamente diferentes (p<0.05). ¹. Los resultados se expresan como promedio ± desvío estándar (n=10). ²: T₁(control), T₂(D), T₃(DPRO), T₄(DPRE), T₅(DSIM), T₆(DZB).

El análisis proximal de la carne de cuyes (Cuadro 8) no mostró diferencias significativas ($p>0.05$) entre los seis tratamientos (T_1 - T_6) en los parámetros de humedad (%BH), proteína cruda (%PC), extracto etéreo (%EE), cenizas (%CZ) y extracto libre de nitrógeno (%ELN). Los valores de proteína de la carne de cuyes se encuentran entre 20.3 a 21.9% en base húmeda.

4.4 Análisis de heces, órganos internos y valores hematológicos al finalizar la fase experimental del estudio

A continuación, se presentan los resultados del análisis de heces (cuadro 9), órganos internos (cuadro 10) y valores hematológicos (cuadro 11) obtenidos al finalizar la fase experimental del estudio. Estos parámetros son esenciales para evaluar el estado de salud general de los cuyes (*Cavia porcellus*) sometidos a diferentes tratamientos, así como para analizar los efectos de la suplementación con probióticos y prebióticos frente al desafío experimental con *Salmonella* Typhimurium.

Cuadro 10. Detección de *Salmonella* spp. en heces de cuyes con y sin suplementación (PRO, PRE, SIM, ZB) y con o sin desafío con *Salmonella enterica* serovar Typhimurium (SeVT).

Análisis de heces	Tratamientos ²					
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆
3er día post desafío con SeVT	0/3(-)	3/3(+)	3/3(+)	3/3(+)	3/3(+)	2/3(+)
8va semana de crianza	0/3(-)	3/3(+)	1/3(+)	2/3(+)	0/3 (-)	2/3 (+)

Análisis realizado en el LBNA de la FMV-UNMSM. ²T₁(control), T₂(D), T₃(DPRO), T₄(DPRE), T₅(DSIM), T₆(DZB).

Cuadro 11. Presencia de *Salmonella* spp. en vísceras de cuyes con y sin suplementación (PRO, PRE, SIM, ZB) y con o sin desafío con *Salmonella enterica* serovar Typhimurium (SeVT).

TTO	Hígado	Vesícula biliar	Nódulos mesentéricos	Pulmón	Bazo
T ₁	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
T ₂	5(+)	5(+)	5(+)	3(+)	3(+)
T ₃	2(+)	1(+)	2(+)	1(+)	2(+)

T₄	3(+)	2(+)	3(+)	1(+)	2(+)
T₅	1(+)	1(+)	(-)	(-)	1(+)
T₆	3(+)	2(+)	3(+)	2(+)	2(+)
Total	14(+)	11(+)	13(+)	7(+)	10(+)

Análisis microbiológico realizado en el LMPV de la FMV-UNMSM. ^{2:}T_{1(control)}, T_{2(D)}, T_{3(DPRO)}, T_{4(DPRE)}, T_{5(DSIM)}, T_{6(DZB)}.

Cuadro 12. Valores hematológicos de cuyes suplementados con PRO, PRE, SIM y ZB, con y sin desafío con *Salmonella enterica* serovar Typhimurium (SeVT)

Parámetro	Tratamientos						p-valor
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	
Eritrocitos (x10 ⁶ /μl)	5.1±0.3	5.2±0.2	4.9±0.3	4.9±0.7	5.2±0.3	5.1±0.2	0.5090
Hemoglobina (g/dl)	15.7±0.9	16.3±0.8	15.3±1.0	15.1±2.2	16.1±1.0	16.1±0.7	0.3930
Hematocrito (%)	47.6±2.9	49.4±2.7	46.4±3.0	45.9±6.7	48.9±2.9	48.8±2.0	0.3874
VCM (fl)	94.9±0.8 ^a	93.9±1.0 ^{ab}	94.5±1.5 ^{ab}	92.8±2.1 ^b	94.9±1.1 ^a	94.5±0.6 ^{ab}	0.0411
Leucocitos (x10 ³ /μl)	6.9±0.8 ^a	5.4±0.8 ^b	6.4±0.6 ^{ab}	5.8±0.6 ^{ab}	6.9±1.0 ^a	6.3±1.1 ^{ab}	0.0077
Neutrófilos	43.1±11.6	51.0±17.2	50.0±11.8	49.6±19.5	50.8±7.3	35.1±3.8	0.1707
Linfocitos	53.3±10.3 ^{ab}	40.4±8.5 ^b	46.3±14.8 ^{ab}	47.4±16.1 ^{ab}	44.3±7.3 ^{ab}	59.3±4.3 ^a	0.0438
Monocitos	0.6±0.8 ^{bc}	3.3±0.9 ^a	2.8±1.8 ^a	2.3±1.2 ^{ab}	2.4±1.0 ^a	0.3±0.5 ^c	<0.0001
Eosinófilos	2.1±1.9 ^b	1.6±1.5 ^b	1.7±1.9 ^b	0.7±1.2 ^b	2.3±1.4 ^b	5.7±3.5 ^a	0.0013
Basófilos	0	0	0	0	0	0	-----

Análisis hematológico realizado en consultorio privado. ^{2:}T_{1(control)}, T_{2(D)}, T_{3(DPRO)}, T_{4(DPRE)}, T_{5(DSIM)}, T_{6(DZB)}.

El tercer día post-desafío, todos los grupos desafiados T_{1(control)}, T_{2(D)}, T_{3(DPRO)}, T_{4(DPRE)}, T_{5(DSIM)}, T_{6(DZB)} presentaron 100% de positividad en las heces, con excepción de T_{6(DZB)}, donde solo 2 de 3 muestras fueron positivas. En la octava semana, se observó una reducción en la presencia de *Salmonella* spp. en algunos tratamientos: T_{5(DSIM)}, mostraron ausencia total de *Salmonella* spp., T_{3(DPRO)} y T_{4(DPRE)} presentaron una y dos muestras positivas, respectivamente.

El grupo T_{1(control)} no evidenció presencia de *Salmonella* spp. en ninguna víscera, confirmando la efectividad del protocolo de bioseguridad en ausencia de desafío.

En T_{2(D)}, la presencia de *Salmonella* spp. fue detectada en todas las muestras de hígado, vesícula

biliar y nódulos mesentéricos, y en 3 de 5 muestras de pulmón y bazo. El grupo T_{5(DSIM)} mostró el menor número de órganos afectados, con una muestra positiva en hígado, vesícula y bazo, y ausencia en nódulos mesentéricos y pulmón.

Los grupos T_{3(DPRO)} y T_{4(DPRE)} presentaron niveles intermedios de infección, con menor presencia de *Salmonella* spp. en comparación con T_{2(D)}, pero superiores a T_{5(DSIM)}.

Los parámetros hematológicos mostraron que el tratamiento T_{5(DSIM)} ayudó a mantener una mejor estabilidad inmunológica, con un recuento de leucocitos y linfocitos similar al grupo T_{1(control)}. Además, presentó un volumen corpuscular medio (VCM) más alto, lo que indica una mejor integridad eritrocitaria. En contraste, el grupo T_{6(DZB)} mostró un aumento significativo en eosinófilos, lo que podría estar asociado a una mayor respuesta inflamatoria.

V DISCUSIÓN

La infección por *Salmonella* representa aún el mayor desafío y limitante en la crianza de cuyes en nuestro país. Los resultados obtenidos en este estudio muestran diferencias en el comportamiento productivo y morfometría intestinal causadas por el desafío a salmonela y el uso de pro, pre, sim y zn que se detallarán a continuación.

Comportamiento productivo

Los resultados obtenidos en este trabajo muestran diferencias significativas ($p < 0.0001$) en el comportamiento productivo entre los seis tratamientos experimentales. El grupo $T_{1(\text{control})}$, presentó los mejores indicadores productivos principalmente en ganancia de peso, conversión alimenticia y rendimiento de carcasa lo cual era esperable debido a la ausencia de algún agente infeccioso pudiera afectar el metabolismo o la eficiencia digestiva de los animales. En contraste, el grupo $T_{2(D)}$ mostró el rendimiento más bajo ($p < 0.0001$) entre todos los T, reflejando el impacto negativo del patógeno sobre el crecimiento y la utilización de los nutrientes. Estas observaciones son consistentes con estudios previos que reportan que infecciones por *Salmonella* generan inflamación intestinal, disminuyen la absorción de nutrientes y aumentan el gasto energético asociado a la respuesta inmune (Mastroeni y Sheppard, 2004; Layme, 2010; Gonzáles, 2018).

Entre los grupos desafiados, y que fueron suplementados con PRO, PRE y SIM , evidenciaron un mejor desempeño los T suplementados con PRO y SIM los cuales tuvieron resultados similares ($p>0.05$) en GP y RC en comparación con el grupo de cuyes de T₄(DPRE). Este hallazgo es consistente con investigaciones que demuestran que los microorganismos probióticos (solos) o en combinación con prebióticos (simbióticos) optimizan la microbiota intestinal y mejoran la absorción de nutrientes (Awad *et al.*, 2009; Valdizán *et al.*, 2019).

Los resultados observados en los grupos suplementados con probióticos (PRO) y simbióticos (SIM), sugieren que el efecto beneficioso estuvo más asociado a la incorporación de microorganismos vivos en la dieta que a la fibra alimentaria proporcionada como prebiótico. Esto podría explicarse por la capacidad de los probióticos para colonizar rápidamente el tracto intestinal, modular la microbiota y reducir la inflamación (Markowiak y Śliżewska, 2017; Kim *et al.*, 2019; Mazziotta *et al.*, 2023), mientras que los prebióticos requieren un período más prolongado para generar cambios significativos en la fermentación y composición microbiana. Además, el simbiótico, al combinar ambos mecanismos, pudo potenciar el efecto beneficioso del probiótico, pero los resultados sugieren que la principal contribución viene del microorganismo vivo más que del sustrato prebiótico.

En cerdos, por ejemplo, se ha documentado que los simbióticos promueven una mayor ganancia de peso al incrementar la producción de ácidos grasos de cadena corta y mejorar la eficiencia de la conversión alimenticia (Giraldo *et al.*, 2015). En pollos, el uso de simbióticos también se ha asociado con un menor impacto de infecciones bacterianas y un aumento en el peso final (Timbermont *et al.*, 2010). Estudios realizados en aves y cerdos reafirman que los probióticos mejoran la conversión alimenticia y reducen los efectos de infecciones intestinales, mientras que los prebióticos favorecen el crecimiento de bacterias beneficiosas y mejoran la absorción de nutrientes (Smirnov *et al.*, 2005; Awad *et al.*, 2009).

En el grupo T_{6(DZB)} se bservó una mayor GP, ICA y ER superior ($p<0.0001$) al resto de los grupos desafiados (T_{2(D)} al T_{5(DSIM)}). Este mejor desempeño productivo del grupo T_{6(DZB)} puede atribuirse a su acción antibacteriana directa, que redujo la carga patógena en el intestino y disminuyó la inflamación, permitiendo una mejor absorción de nutrientes y eficiencia en la conversión alimenticia (Beristain-Covarrubias *et al.*, 2019; Yang *et al.*, 2024). Mientras que los simbióticos (T_{5(DSIM)}) favorecen la integridad intestinal y la modulación de la microbiota promoviendo el crecimiento de bacterias beneficiosas como *Lactobacillus* y *Bifidobacterium* y modular la respuesta inmune local, la ZB generó un efecto inmediato sobre la reducción de microorganismos, lo que explicaría su superioridad en ganancia de peso y rendimiento de carcasa.

Considerando la creciente preocupación por la resistencia antimicrobiana, el uso de simbióticos o probióticos representaría una alternativa más sostenible a largo plazo para la producción animal. Un estudio señaló que los antibióticos pueden alterar la composición de la microbiota, reduciendo la diversidad bacteriana y favoreciendo el crecimiento de cepas resistentes (Kogut y Arsenault, 2016). Los simbióticos evalaudos parecen mitigar los efectos negativos del estrés inducido por la infección, lo que permitiría un mayor enfoque de los recursos energéticos hacia el crecimiento en el animal. Este mecanismo es especialmente relevante en condiciones de campo, donde los animales están constantemente expuestos a microorganismos patógenos y factores de estrés.

La retribución económica relativa (RER) es un indicador clave en la rentabilidad de la producción animal, ya que relaciona el ingreso obtenido por la venta de la carcasa con los costos de alimentación. En este estudio, se observó que el tratamiento T_{1(control)}, correspondiente a los cuyes no desafiados con *Salmonella enterica* var. Typhimurium, presentó la mejor RER (100%), lo que se debe a su mayor ganancia de peso y mejor conversión alimenticia. En contraste, el grupo T_{2(D)} registró la menor RER (58.9%), evidenciando que la infección tuvo un impacto negativo en la eficiencia productiva. Los tratamientos T_{3(DPRO)}, T_{4(DPRE)}, T_{5(DSIM)} mostraron

valores intermedios, con una tendencia a una mejor retribución en los animales suplementados con simbióticos (81.5%) pero con resultado similar al grupo ZB (81.4%), lo que reafirmaría que la suplementación con PRO o SIM podría ser una estrategia viable para el reemplazo de antibióticos en la crianza de animales de producción pecuaria.

Resultados similares han sido reportados en estudios previos, donde la suplementación con simbióticos mejoró la eficiencia alimentaria y el rendimiento de carcasa, contribuyendo a una mayor rentabilidad en la producción de especies menores (Guevara *et al.*, 2021; Valdizán *et al.*, 2019). La inclusión de estos aditivos podría representar una alternativa sostenible para la producción de cuyes, especialmente en sistemas donde se busca reducir el uso de antibióticos sin comprometer la productividad y la rentabilidad del sistema

Morfometría intestinal

El análisis de la morfometría intestinal reveló diferencias significativas ($p < 0.0001$) en la altura y ancho de las vellosidades, la relación vellosidad-cripta entre los tratamientos y área de superficie de vellosidades. En los tres segmentos (duodeno, yeyuno e íleon) el tratamiento $T_{1(\text{control})}$ presentó la mayor LV ($992.3 \pm 23.8 \mu\text{m}$), y una mayor área de superficie de vellosidades, mientras que el grupo $T_{2(D)}$ mostró una reducción significativa de la altura de las vellosidades ($594.7 \pm 11.32 \mu\text{m}$) y una menor área de superficie de vellosidades en comparación el resto de T. Este hallazgo es consistente con estudios previos en aves y cerdos, donde infecciones bacterianas afectan la morfología intestinal al inducir una respuesta inflamatoria que disminuye la longitud de las vellosidades, comprometiendo la eficiencia de absorción de nutrientes al disminuir el área de superficie de las vellosidades (Mastroeni y Sheppard, 2004; Awad *et al.*, 2009).

Entre los tratamientos desafiados con *Salmonella enterica* serovar Typhimurium (SeVT), la longitud de las vellosidades en duodeno e íleon fue similar entre los grupos $T_{5(DSIM)}$ y $T_{6(DZB)}$. Esto reafirmaría que el simbiótico podría ser una alternativa viable al antibiótico, ya que favorece una

estructura intestinal más eficiente y una mayor capacidad de absorción de nutrientes, comparable a la obtenida con ZB. Estos resultados coinciden con estudios en pollos y cerdos, donde los simbióticos han demostrado promover el desarrollo de la mucosa intestinal y mejorar la eficiencia digestiva al optimizar la relación vellosidad-cripta, incrementando la superficie de absorción y fortaleciendo la funcionalidad intestinal. Esto refuerza la posibilidad de utilizar simbióticos como una estrategia sostenible para sustituir antibióticos en la producción animal sin comprometer el rendimiento productivo (Mastroeni y Sheppard, 2004; Awad *et al.*, 2009; Beristain-Covarrubias *et al.*, 2019; Wu *et al.*, 2024).

Por otro lado, los tratamientos $T_{3(DPRO)}$, $T_{4(DPRE)}$, $T_{5(DSIM)}$, mostraron una recuperación parcial de la LV en el duodeno (747.4 ± 17 , 739.7 ± 7.2 y $784.5 \pm 18.1 \mu\text{m}$, respectivamente), aunque sin alcanzar los valores del grupo $T_{1(\text{control})}$. Es importante resaltar que dentro de los T que fueron desafiados y suplementados con PRO, PRE y SIM, el tratamiento $T_{5(DSIM)}$ presentó la mayor recuperación ($P < 0.0001$) en la longitud de las vellosidades en comparación con los grupos suplementados con probióticos o prebióticos por separado, lo que sugiere una sinergia entre ambos aditivos en la modulación de la microbiota intestinal y la regeneración del epitelio intestinal. Este efecto ha sido previamente documentado en estudios sobre simbióticos en pollos, donde se ha observado un mayor desarrollo de la mucosa intestinal y una mejor absorción de nutrientes en comparación con tratamientos individuales de probióticos o prebióticos (Awad *et al.*, 2009; Beristain-Covarrubias *et al.*, 2019).

Los tratamientos que favorecieron un mayor desarrollo de la longitud de las vellosidades (LV) y del ancho de vellosidad (AV) también presentaron un aumento en el área de superficie de absorción, lo que puede tener implicaciones directas en la eficiencia digestiva. Asimismo la relación LV/PC es un indicador de la integridad y funcionalidad del epitelio intestinal. Un valor elevado de esta relación sugiere un epitelio en buen estado, con

vellosidades bien desarrolladas y criptas menos profundas, lo que indica una menor tasa de recambio celular y un intestino más eficiente.

En este estudio, el grupo $T_{1(\text{control})}$, $T_{5(\text{DSIM})}$ y $T_{6(\text{DZB})}$ presentaron la mejor relación LV/PC en los segmentos duodeno y yeyuno, aunque el $T_{1(\text{control})}$ lo obtuvo en los tres segmentos, lo que estuvo en concordancia con el mayor desarrollo del área de superficie de las vellosidades intestinales. En contraste, el grupo $T_{2(\text{D})}$ mostró significativa menor altura de vellosidad ($p < 0.0001$), una menor profundidad de criptas ($p < 0.0001$) y una LV/PC más baja ($p < 0.0001$) que el resto de tratamientos en el segmento duodeno, lo que se tradujo en una reducción del área de absorción y, por lo tanto podría explicar los resultados observados en los parámetros productivos de este grupo, que fueron los más bajos ($p < 0.0001$) comparados con el resto de tratamientos. Este resultado es consistente con investigaciones previas que han señalado que infecciones entéricas generan un aumento en la profundidad de las criptas como un mecanismo compensatorio de regeneración celular, lo que reduce la relación LV/PC y afecta la funcionalidad intestinal (Awad et al., 2009).

En este contexto, el simbiótico o probiótico, se presentarían como una estrategia sostenible y segura para mejorar la salud intestinal y el rendimiento productivo sin los efectos adversos asociados al uso prolongado de antibióticos en la producción animal modulando de manera más efectiva la microbiota intestinal y promoviendo la proliferación de bacterias beneficiosas que contribuyen a mantener la salud intestinal (Kogut y Arsenault, 2016; Beristain- Covarrubias *et al.*, 2019).

La mejora en la relación vellosidad-cripta observada en los grupos $T_{5(\text{DSIM})}$ y $T_{6(\text{DZB})}$ también podría asociarse con una mayor eficiencia metabólica del epitelio intestinal, ya que una menor profundidad de las criptas implica un menor gasto energético en la regeneración celular. Esto resulta en un uso más eficiente de los nutrientes disponibles para el crecimiento y mantenimiento general del organismo (Awad *et al.*, 2009). Este hallazgo subraya la

importancia de evaluar no solo la estructura intestinal, sino también los procesos fisiológicos que subyacen en la función intestinal.

Composición química de la carne

El análisis de la composición química de la carne no reveló diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los tratamientos experimentales, en los niveles de proteína, grasa, humedad, materia seca y cenizas. La síntesis de proteínas y el depósito de grasa en la musculatura esquelética están determinados en gran medida por factores fisiológicos internos, como la genética, el equilibrio de nutrientes y la eficiencia metabólica, más que por modificaciones en la microbiota intestinal o la morfología digestiva. Estudios han demostrado que, aunque los aditivos nutricionales pueden mejorar la conversión alimenticia y la salud intestinal, la composición proximal del músculo esquelético tiende a mantenerse relativamente constante en animales con dietas isoproteicas e isoenergéticas (Aphrodita *et al.*, 2024).

Además, la uniformidad en la dieta basal utilizada en este estudio pudo haber contribuido a la similitud en los resultados. Dado que todos los tratamientos recibieron una alimentación con los mismos niveles de proteína, energía y minerales, es esperable que la deposición de estos componentes en el tejido muscular no haya presentado variaciones significativas. Este fenómeno ha sido reportado en investigaciones previas en aves y cerdos, donde la inclusión de prebióticos y probióticos mejora la eficiencia digestiva sin alterar la composición química final de la carne (Liu *et al.*, 2021).

Otro factor a considerar es el efecto compensatorio del metabolismo muscular en respuesta al desafío con *Salmonella Typhimurium*. Aunque algunos tratamientos mejoraron la salud intestinal y la ganancia de peso, el organismo puede priorizar la utilización de nutrientes para la homeostasis y la recuperación del sistema inmunológico, más que para

modificaciones en la composición del músculo. Esto explicaría por qué no se observaron diferencias significativas ($p > 0.05$) en los niveles de proteína, grasa y cenizas, a pesar de las mejoras en otros parámetros fisiológicos y productivos. Este hallazgo no coincide con lo reportado por Bazán Rodríguez (2019), quien observó un mayor contenido proteico en la carne de cuyes que no fueron desafiados con *Salmonella* Typhimurium, pero es pertinente señalar que el estudio de Bazán no utilizó ningún suplemento del tipo PRO,PRE o SIM en la dieta de los animales.

Los resultados también son consistentes con estudios en otras especies animales; en pollos y cerdos, se ha documentado que los simbióticos mejoran la composición química de la carne al incrementar la retención de nitrógeno, optimizar el metabolismo proteico y reducir la acumulación de grasa intramuscular (Awad *et al.*, 2009; Cheng *et al.*, 2017; Wu *et al.*, 2024). Estos efectos están asociados con una mejora en la digestibilidad de los nutrientes y una disminución de la inflamación subclínica en el tracto gastrointestinal, lo que permite redirigir los recursos energéticos hacia el desarrollo muscular en lugar de los procesos de defensa inmune. Estudios similares en cerdos y aves han demostrado que los simbióticos promueven una mayor biodisponibilidad de aminoácidos y una modulación favorable del perfil lipídico de la carne (Timbermont *et al.*, 2010; Cheng *et al.*, 2017).

Aunque se observaron variaciones en la ganancia de peso y la conversión alimenticia, esto no necesariamente se tradujo en cambios en la proporción de humedad, proteína, grasa o cenizas en la carne, ya que estos parámetros tienden a mantenerse estables cuando la alimentación es uniforme. Además, el desafío con *Salmonella enterica* serovar Typhimurium se estableció en un modelo de infección subclínica, lo que evitó un impacto significativo en el metabolismo muscular y el catabolismo proteico. No obstante, en este estudio, los animales desafiados no quedaron sin soporte nutricional, sino que recibieron suplementos como probióticos, prebióticos, simbióticos y zinc bacitracina, lo que pudo contribuir a

minimizar los efectos adversos del desafío y favorecer un aprovechamiento eficiente de los nutrientes. Así, a pesar de las diferencias en desempeño productivo, los suplementos nutricionales pudieron haber permitido una compensación metabólica que ayudó a mantener una composición química homogénea en la carne de los cuyes. De este modo, los nutrientes disponibles fueron utilizados de manera similar en todos los tratamientos, favoreciendo una composición química homogénea en la carne de cuyes, a pesar de las diferencias en desempeño productivo (Liu *et al.*, 2021; Carhuaricra *et al.*, 2022; Aphrodita *et al.*, 2024).

Prevención de infecciones por *Salmonella* Typhimurium y relevancia de exámenes de laboratorio en el estudio

Los animales tratados con simbióticos mostraron una menor carga bacteriana en el intestino y un mejor estado de salud general, lo que refleja una respuesta inmune local y sistémica más robusta. El grupo T_{1(control)}, al no haber sido desafiado, mantuvo los mejores parámetros, mientras que los cuyes del grupo T_{2(D)} presentaron la mayor colonización bacteriana. Estos resultados concuerdan con estudios recientes que reportan la eficacia de los simbióticos en la prevención de infecciones por *Salmonella* mediante la mejora de la barrera intestinal, la reducción de la inflamación y la estimulación de respuestas inmunes adaptativas (Mastroeni y Sheppard, 2004; López, 2018;). En un contexto de campo, estas características hacen de los simbióticos una herramienta prometedora para el manejo de infecciones en producción animal.

Los resultados hematológicos y fecales obtenidos antes del inicio y al término del experimento evidenciaron diferencias significativas entre los tratamientos, mostrando cómo el desafío con *Salmonella* Typhimurium y la suplementación con probióticos, prebióticos, simbióticos y zinc bacitracina afectaron tanto los parámetros sanguíneos como la excreción fecal de la bacteria. Antes del inicio del experimento, los resultados del análisis de órganos

internos fueron negativos para *Salmonella* spp., lo que confirmó la ausencia de infección en los animales seleccionados. Al finalizar el experimento, se observó que el grupo T_{1(control)}, que no fue desafiado con *Salmonella* Typhimurium, mantuvo resultados negativos en el análisis de heces y órganos, lo que respalda su uso como referencia para evaluar los efectos del desafío bacteriano y los tratamientos.

En el grupo T_{2(D)}, la presencia de *Salmonella* en las heces se mantuvo positiva durante todo el periodo experimental, reflejando una alta carga bacteriana sin reducción significativa. Por otro lado, los grupos T_{5(DSIM)} y T_{6(DZB)} mostraron una notable reducción en la excreción de *Salmonella*, siendo el T_{5(DSIM)} el más efectivo. Este hallazgo concuerda con hallazgo previo que destaca la capacidad de los simbióticos para modular la microbiota intestinal, limitando la proliferación de patógenos (Yang *et al.*, 2024). El análisis microbiológico de órganos internos reveló una mayor presencia de *Salmonella* en el grupo T_{2(D)}, con colonización significativa en hígado, vesícula biliar y nódulos mesentéricos. En contraste, los grupos T_{5(DSIM)} y T_{6(DZB)} mostraron una menor incidencia de colonización en órganos clave. Los simbióticos, en particular, redujeron la colonización en el bazo y los pulmones, destacando su efecto protector sobre tejidos sistémicos.

En cuanto a los valores hematológicos, se observó que el grupo T_{1(control)} mantuvo valores en el rango promedio en cuyes, en todos los parámetros evaluados. En los animales del grupo T_{2(D)}, se registró un aumento numérico en los neutrófilos pero significativo en los monocitos, indicadores de una respuesta inflamatoria activa frente a la infección. Además, se observó una disminución relativa en los linfocitos, lo que podría reflejar una alteración en la respuesta inmune adaptativa. Los animales del grupo T_{5(DSIM)} mostraron una recuperación significativa de los parámetros hematológicos hacia valores similares al grupo control, mientras que los animales del grupo T_{6(DZB)} presentaron una reducción en la respuesta inflamatoria, pero con

un impacto menor en la restauración de los linfocitos. Esto sugiere que los simbióticos no solo mejorarían la microbiota intestinal, sino que también modulan positivamente la respuesta inmunitaria (Yang *et al.*, 2024).

La combinación de análisis clínicos y de laboratorio permitió una evaluación integral del estado de salud de los animales, destacando la importancia de estos exámenes para identificar el impacto de los tratamientos y su eficacia frente a infecciones bacterianas. La evaluación de heces, órganos internos y parámetros hematológicos proporciona datos críticos para entender cómo los diferentes tratamientos afectan tanto la infección como la respuesta inmune del hospedador. Los resultados de este estudio sugieren que el uso de probióticos (PRO) o la mezcla de ambos (simbiótico, SIM) podría ser una propuesta viable frente al uso de antibióticos y ser empleados como herramienta efectiva para mejorar la producción de cuyes y garantizar una carne de mejor calidad nutricional, al mismo tiempo que se reduce la dependencia de los antibióticos en la producción animal. Estos hallazgos tienen implicaciones importantes para la producción sostenible y el bienestar animal.

VI CONCLUSIONES

1. Los animales no desafiados con *Salmonella enterica* serovar Typhimurium (SeVT) mostraron mayor ganancia de peso, índice de conversión alimenticia, rendimiento de carcasa y retribución económica relativa, en comparación con el grupo de animales desafiados.
2. El desafío con SeVT afectó negativamente los parámetros evaluados en el desempeño productivo y la morfometría intestinal de los cuyes, sin generar mortalidad.
3. En el grupo de animales desafiados con SeVT la suplementación con simbióticos y probióticos logró valores de rendimiento de canal, efecto relativo y retribución económica relativa similares a los obtenidos en el grupo tratado con zinc bacitracina.
4. Los animales no desafiados alcanzaron mayor longitud, ancho de vellosidades y una relación longitud de vellosidad/profundidad de cripta de Lieberkühn superior en comparación al resto de tratamientos.
5. La composición química de la carne de cuyes no presentó diferencias entre tratamientos.
6. El protocolo de desafío con SeVT permitió establecer un modelo de infección subclínica en cuyes, adecuado para evaluar el impacto de enteropatógenos y la ventaja de uso de estrategias nutricionales en la respuesta productiva, intestinal y de la carne.

VII RECOMENDACIONES

1. Evaluar la calidad tecnológica de la carne de cuy mediante pruebas como: capacidad de retención de agua (CRA), fuerza de corte o textura (prueba de Warner-Bratzler), pH post mortem (a las 24 h) y pérdida por cocción.
2. Investigar los efectos de la suplementación con PRO, PRE y SIM sobre el sistema inmunológico de los cuyes, con énfasis en su respuesta ante infecciones entéricas como la salmonelosis.
3. Ampliar los estudios de desafío con *Salmonella enterica* serovar Typhimurium en cuyes, evaluando dosis de inóculo y diferentes tiempos de exposición caracterizando mejor la respuesta productiva y sanitaria de los animales.
4. Desarrollar investigaciones a largo plazo sobre la viabilidad económica y productiva del uso de simbióticos y probióticos en sistemas comerciales de producción de cuyes, considerando su impacto en la reducción del uso de antibióticos y la sostenibilidad del sistema.

VIII LITERATURA CITADA

1. **[AOAC] ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. 2007.**
Official Methods of Analysis of AOAC International. 18th. Ed. Washington, DC.
En línea: <https://bit.ly/3YBWojj>. 01/08/2022.
2. **Abramov VM, Kosarev IV, Machulin AV, Deryusheva EI, Pripitnevich TV, Panin AN, Chikileva IO, Abashina TN, Manoyan AM, Ahmetzyanova AA, Ivanova OE, Papazyan TT, Nikonov IN, Suzina NE, Melnikov VG, Khlebnikov VS, Sakulin VK, Samoilenko VA, Gordeev AB, Sukhikh GT, Uversky VN. 2023.** *Ligilactobacillus salivarius* 7247 Strain: Probiotic Properties and Anti-Salmonella Effect with Prebiotics. *Antibiotics* (Basel). Oct 12;12(10):1535. doi: 10.3390/antibiotics12101535. PMID: 37887236; PMCID: PMC10604316.
3. **Actualidad Avipecuaria. 2020.** Reducción del uso de antibióticos como promotores de crecimiento: Estrategias nutricionales. Recuperado de <https://actualidadavipecuaria.com/reduccion-del-uso-de-antibioticos-como-promotores-de-crecimiento-estrategias-nutricionales>
4. **Aduviri, T., y Blair, W. 201).** Efecto de Harina de Hojas de Olivo (*Olea europea* Var. Sevillana) en el Crecimiento y Engorde de Cuyes (*Cavia porcellus*) en la Región Tacna. Tesis de grado. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/1642>
5. **Aguilar R. Gisel, Bustamante L. José, Bazán R. Víctor, Falcón P. Néstor. 2011.**

- Diagnóstico situacional de la crianza de cuyes en una zona de Cajamarca. Rev. investig. vet. Perú [Internet]. [citado 2025 Feb 17]; 22(1): 09-14. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1609-91172011000100002&lng=es.
6. **Airahuacho Bautista Felix Esteban, Vergara Rubín Víctor. 2017.** Evaluación de dos niveles de energía digestible en base a los estándares nutricionales del NRC en dietas de crecimiento para cuyes (*Cavia porcellus* L). Rev. investig. vet. Perú [Internet]. citado 2025 Feb 17] ; 28(2): 255-264. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1609-91172017000200004&lng=es. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v28i2.13079>.
 7. **Andina Agencia de Noticias. 2019.** Conoce las bondades nutricionales de la carne de cuy. Agencia Peruana de Noticias Andina. Recuperado de <https://andina.pe/agencia/noticia-conoce-las-bondades-nutricionales-de-carne-cuy-769157.aspx>
 8. **Andrew Selaledi L, Mohammed Hassan Z, Manyelo TG, Mabelebele M. 2020.** The Current Status of the Alternative Use to Antibiotics in Poultry Production: An African Perspective. Antibiotics (Basel). Sep 11;9(9):594. doi: 10.3390/antibiotics9090594. PMID: 32932751; PMCID: PMC7559726.
 9. **Aphrodita, A., Sentono, D. N., y Fitria, L. 2024.** Analysis of carcass weight and proximate composition as guinea pig (*Cavia porcellus* Linnaeus, 1758) meat quality indicator. IO Web of Conferences, 8th ICBS 2023, 06004.
 10. **Asad Salman R, Khudhur Jameel S, Mahdi Shakir S. Evaluation of the Effects of Probiotics and Prebiotics on the Salmonella typhi Infections. 2023.** Arch Razi Inst. Jun 30;78(3):1115-1130. doi: 10.22092/ARI.2022.359937.2519. PMID: 38028837; PMCID: PMC10657965.

11. **American Veterinary Medical Association (AVMA). 2020.** AVMA Guidelines for the Euthanasia of Animals: 2020 Edition. Schaumburg, IL: American Veterinary Medical Association. <https://www.avma.org/sites/default/files/2020-02/AVMA-Guidelines-for-the-Euthanasia-of-Animals-2020.pdf>

12. **Awad WA, Ghareeb K, Abdel-Raheem S, Böhm J. 2009.** Effects of dietary inclusion of probiotic and synbiotic on growth performance, organ weights, and intestinal histomorphology of broiler chickens. Poult Sci. 2009 Jan;88(1):49-56. doi: 10.3382/ps.2008-00244. PMID: 19096056.

13. **Avwioro O. G., Imosemi I. O., Oduola T., Adisa O. J., Oladele A. A. 2007.** Studies on the Effects of Fixatives on the Staining Ability of Morinda lucida Extracts on Tissue Sections. Int. J. Morphol. [Internet]. Jun [citado 2025 feb 16] ; 25(2): 335-336. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-95022007000200015&lng=es. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022007000200015>.

14. **Bajagai, Y. S., Klieve, A. V., Dart, P. J., y Bryden, W. L. 2016.** Probiotics in Animal Nutrition. FAO Animal Production and Health Paper. <http://www.fao.org/3/i5933e/i5933e.pdf>

15. **Ballou MA, Davis EM, Kasl BA. 2019.** Nutraceuticals: An Alternative Strategy for the Use of Antimicrobials. Vet Clin North Am Food Anim Pract. Nov;35(3):507-534. doi: 10.1016/j.cvfa.2019.08.004. PMID: 31590900; PMCID: PMC7127241.

16. **Bazán Rodríguez, V. H. 2019.** Parámetros productivos, composición química y calidad microbiológica de la carcasa de cuyes (*Cavia porcellus*) desafiados vía oral con Salmonella Typhimurium [Tesis de posgrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. 138 p.

17. **Beristain-Covarrubias, N., Perez-Toledo, M., Thomas, M. R., Henderson, I. R.,**

- Watson, S. P., y Cunningham, A. F. 2019.** Understanding infection-induced thrombosis: Lessons learned from animal models. *Frontiers in Immunology*, 10, 2569. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2019.02569>
18. **Bogusławska-Tryk M, Ziółkowska E, Sławińska A, Siwek M, Bogucka J. 2021.** Modulation of Intestinal Histology by Probiotics, Prebiotics and Synbiotics Delivered In Ovo in Distinct Chicken Genotypes. *Animals (Basel)*. Nov 18;11(11):3293. doi: 10.3390/ani11113293. PMID: 34828024; PMCID: PMC8614360.
 19. **Cai X, Yi P, Chen X, Wu J, Lan G, Li S, Luo S, Huang F, Huang J, Shen P. 2024.** Intake of compound probiotics accelerates the construction of immune function and gut microbiome in Holstein calves. *Microbiol Spectr*. Jun 4;12(6):e0190923. doi: 10.1128/spectrum.01909-23. Epub 2024 Apr 23. PMID: 38651859; PMCID: PMC11237676.
 20. **Camino J y Hidalgo V. 2014.** Evaluación de dos genotipos de cuyes (*Cavia porcellus*) alimentados con concentrado y exclusión de forraje verde. *Rev Inv Vet Perú*. 25 (2): 190-197.
 21. **Cantaro, J. L., Sarria, J. A. y Cayetano, J. L. 2020.** Crecimiento de cuatro genotipos de cuyes (*Cavia porcellus*) bajo dos sistemas de alimentación. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/37545>.
 22. **Cantaro Segura, Jose Luis, Delgado Palma, Diana, y Cayetano Robles, Jovana Luz. 2021.** Caracterización de la crianza de cuyes en una zona de la sierra de Huarochirí - Perú. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 8(2), 72-78. Epub 31 de agosto de 2021. <https://doi.org/10.53287/hffs7980xc24q>
 23. **Cao L, Liu Z, Yu Y, Liang Q, Wei X, Sun H, Fang Y, Zhu C, Kong Q, Fu X, Mou**

- H. 2023.** Butyrogenic effect of galactosyl and mannosyl carbohydrates and their regulation on piglet intestinal microbiota. *Appl Microbiol Biotechnol.* 2023 Mar;107(5-6):1903-1916. doi: 10.1007/s00253-023-12436-0. Epub 2023 Feb 16. PMID: 36795139.
24. **Carcelén, F. 2021.** Morfometría intestinal y desempeño productivo de cuyes (*Cavia porcellus*) de engorde suplementados con probiótico, prebiótico y simbiótico (Tesis doctoral, Universidad Nacional Mayor de San Marcos). UNMSM.
 25. **Carhuaricra Huaman, D.E.; Luna Espinoza, L.R.; Rodríguez Cueva, C.L.; Duran Gonzales, C.G.; Rosadio Alcántara, R.H.; Setubal, J.C.; Maturrano Hernández, L. 2022.** Genomic Characterization of *Salmonella Typhimurium* Isolated from Guinea Pigs with *Salmonellosis* in Lima, Peru. *Microorganisms*, 10, 1726. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10091726>
 26. **Chakroun I, Fedhila K, Maatallah M, Mzoughi R, Bakhrouf A, Krichen Y. 2022.** The Synbiotic Effect of Probiotics and Dried *Spirulina platensis* or Phycocyanin on Biofilm Formation by *Salmonella Typhimurium* and *Staphylococcus aureus*. *Foodborne Pathog Dis.* 2022 Oct;19(10):655-662. doi: 10.1089/fpd.2022.0008. Epub 2022 Sep 20. PMID: 36126311.
 27. **Chauca L. 1997.** Producción de Cuyes (*Cavia porcellus*). Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación FAO. Instituto Nacional de Investigaciones Agraria INIA. Roma 77p.
 28. **Chaudhuri RR, Morgan E, Peters SE, Pleasance SJ, Hudson DL, Davies HM, et al. 2013.** Comprehensive Assignment of Roles for *Salmonella Typhimurium* Genes in Intestinal Colonization of Food-Producing Animals. *PLoS Genet* 9(4): e1003456.
 29. **Chavez-Tapia Ismael, Avilés-Esquivel Diana. 2022.** Caracterización del sistema de

- producción de cuyes del cantón Mocha, Ecuador. Rev. investig. vet. Perú [Internet]. Mar [citado 2025 Feb 17] ; 33(2): e22576. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1609-91172022000200005&lng=es. Epub 01-Abr-2022. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v33i2.22576>.
30. **Checcnes N. 2014.** Morfometría de la mucosa del intestino delgado de crías de alpaca (*Vicugna pacos*). Tesis de Médico Veterinario. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
 31. **Chende A, Miclăuș V, Damian A, Martonoș C, Rus V, Matei-Lațiu MC, Lațiu C, Gal AF. 2023.** Mucous non-goblet cells in the small intestine of guinea pigs (*Cavia porcellus*): a histological and histochemical study. Folia Morphol (Warsz). 2023;82(3):624-632. doi: 10.5603/FM.a2022.0048. Epub 2022 May 24. PMID: 35607874.
 32. **Cheng Y, Chen Y, Li X, Yang W, Wen C, Kang Y, Wang A, Zhou Y. 2017.** Effects of synbiotic supplementation on growth performance, carcass characteristics, meat quality and muscular antioxidant capacity and mineral contents in broilers. J Sci Food Agric. Aug;97(11):3699-3705. doi: 10.1002/jsfa.8230. Epub 2017 Feb 25. PMID: 28111775.
 33. **Chuquizuta, R. C., y Morales, C. S. 2017.** Identificación de agentes bacterianos aislados de gazapos muertos de cuyes en una granja de crianza intensiva en Lima, Perú. REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria, 18(12), 1-13.
 34. **Czech A, Kowalska D, Wlaził Ł, Bielański P, Ossowski M, Nowakowicz-Dębek B. 2024.** Improving nutrient digestibility and health in rabbits: effect of fermented rapeseed meal supplementation on haematological and lipid parameters of blood. BMC Vet Res. Oct 7;20(1):450. doi: 10.1186/s12917-024-04293-4. PMID: 39375658;

PMCID: PMC11457326.

35. **DAPP N-UTRITION. 2019.** Software para formulación de raciones a mínimo costo. Versión 2.0. Argentina. 2003. En línea: <https://bit.ly/3YC5pQw>. 05/05/2019.
36. **De la Cruz PJD, Dagaas CT, Mangubat KMM, Angeles AA, Abanto OD. 2019.** Dietary effects of commercial probiotics on growth performance, digestibility, and intestinal morphometry of broiler chickens. Trop Anim Health Prod. 2019 Jun;51(5):1105-1115. doi: 10.1007/s11250-018-01791-0. Epub 2019 Jan 7. PMID: 30617722.
37. **de Souza M, Baptista AAS, Menck-Costa MF, Justino L, da Glória EM, Shimizu GD, Ferraz CR, Verri WA, Van Immerseel F, Bracarense APFRL. 2021.** Modulation of Broiler Intestinal Changes Induced by Clostridium perfringens and Deoxynivalenol through Probiotic, Paraprobiotic, and Postbiotic Supplementation. Toxins (Basel). 2024 Jan 14;16(1):46. doi: 10.3390/toxins16010046. PMID: 38251262; PMCID: PMC10820081
38. **Dong S, Li L, Hao F, Fang Z, Zhong R, Wu J, Fang X. 2024.** Improving quality of poultry and its meat products with probiotics, prebiotics, and phytoextracts. Poult Sci. Feb;103(2):103287. doi: 10.1016/j.psj.2023.103287. Epub 2023 Nov 22. PMID: 38104412; PMCID: PMC10966786.
39. **Duran, C.; Luna, L.; Carhuaricra, D.; Salvatierra, G.; Rosadio, R.; Maturrano, L. 2021.** Evaluación de factores de virulencia en cepas de Salmonella Typhimurium aisladas de cuyes (*Cavia porcellus*) enfermos y sanos. Rev. Invest. Vet. Perú. 32(5): e21331.
40. **El Jeni R, Villot C, Koyun OY, Osorio-Doblado A, Baloyi JJ, Lourenco JM, Steele M, Callaway TR. 2023.** Invited review: "Probiotic" approaches to improving dairy production: Reassessing "magic foo-foo dust". J Dairy Sci. Apr;107(4):1832-1856. doi:

10.3168/jds.2023-23831. Epub 2023 Nov 9. PMID: 37949397.

41. **Elghandour, M., Salem, A. Z. M., Castañeda, J., Díaz, L. M., Kholif, A., y Chagoyá, J. 2015.** Direct fed microbes: A tool for improving the utilization of low-quality roughages in ruminants. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(3), 526–533.
42. **El Sabry MI, Abd El-Ghany WA, 2021.** A mathematical model for calculating intestinal villus surface area in broiler chickens. *International Journal of Veterinary Science* 10(4): 317-322. <https://doi.org/10.47278/journal.ijvs/2021.062>
43. **Fournier, J.B.; Knox, K.; Harris, M.; Newstein, M. 2015.** Family Outbreaks of Nontyphoidal Salmonellosis Following a Meal of Guinea Pigs. *Case Rep. Infect. Dis.* 2015: e864640.
44. **Gal AF, Matei-Lațiu MC, Lațiu C, Andrei S, Rus V. 2024.** Caecal villi? A comparative histological and morphometric study of caecal and jejunal mucosa in adult rabbits. *Acta Vet Scand.* Sep 12;66(1):50. doi: 10.1186/s13028-024-00770-w. PMID: 39267087; PMCID: PMC11396618.
45. **Gemeda, B. A., Amenu, K., Magnusson, U., Dohoo, I., Ström Hallenberg, G., Alemayehu, G., Desta, H., y Wieland, B. 2020.** Antimicrobial use in extensive smallholder livestock farming systems in Ethiopia: Knowledge, attitudes, and practices of livestock keepers. *Frontiers in Veterinary Science*, 7, 55.
46. **Giraldo-Carmona J, Narváez-Solarte W, Díaz-López E. 2015.** Probióticos en cerdos: resultados contradictorios. *Revista Biosalud*; 14(1): 81-90. DOI: 10.17151/biosa.2015.14.1.9
47. **Goicochea-Vargas J, Salvatierra-Alor M, Acosta-Pachorro F, Rondón-Jorge W, Herrera- Briceño A, Morales-Parra E, Mialhe E. 2024.** Genomic characterization and probiotic potential of lactic acid bacteria isolated from feces of guinea pig (*Cavia porcellus*). *Open Vet J.* Feb;14(2):716-729. doi: 10.5455/OVJ.2024.v14.i2.12. Epub 2024 Feb 29. PMID: 38549567; PMCID: PMC10970124.

- 48.. **Gómez C. 2010.** Fundamentos de la Nutrición y Alimentación. Facultad de Zootecnia. UNALM.
49. **González Vivas, L. Y. 2018.** Efecto de los probióticos, prebióticos y simbióticos sobre la morfología intestinal y parámetros sanguíneos (serie eritrocítica y serie leucocítica) en cuyes (*Cavia porcellus*) de engorde desafiados con *Salmonella Typhimurium* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. 69 p.
50. **Guevara Vásquez, J. E., Carcelén Cáceres, F. D., y García Zapata, T. D. 2021.** Comportamiento productivo de cuyes (*Cavia porcellus* L.) en crecimiento suplementados con prebióticos y probióticos naturales. Ciencia Y Tecnología Agropecuaria, 22(3), e1920.
51. Haarhuis JE, Kardinaal A, Kortman GAM. (2022). Probiotics, prebiotics and postbiotics for better sleep quality: a narrative review. Benef Microbes. Aug 3;13(3):169-182. doi: 10.3920/BM2021.0122. Epub 2022 Jul 11. PMID: 35815493.
52. **Hashem, M. A., Mia, N., Alam, A. M. M. N., y Rahman, M. M. 2024.** Probiotics to enhance animal production performance and meat quality: A review. Meat Research, 4(2), 1-7.
53. **Herrero-Fresno A, Olsen JE. 2018.** *Salmonella Typhimurium* metabolism affects virulence in the host - A mini-review. Food Microbiol. May;71:98-110. doi: 10.1016/j.fm.2017.04.016. Epub. PMID: 29366476.
54. **Higiene y Sanidad Ambiental. 2018.** El impacto ambiental de los antibióticos utilizados en la ganadería. Recuperado de https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc5b35f30c38cde_Hig.Sanid_.Ambient.18.%282%29.1605-1609.%282018%29.pdf
55. **Hosain MZ, Kabir SML, Kamal MM. 2021.** Antimicrobial uses for livestock production in developing countries. Vet World. Jan;14(1):210-221. doi: 10.14202/vetworld.2021.210-221. Epub 2021 Jan 25. PMID: 33642806; PMCID:

PMC7896880.

56. **Hurtado R, Barh D, de Jesus LCL, Canário Viana MV, Tiwari S, Aburjaile FF, Carhuaricra Huaman DE, Brenig B, Hernández LM, Azevedo V. 2023.** The genomic approach of antimicrobial resistance of *Salmonella Typhimurium* isolates from guinea pigs in Lima, Peru. Res Microbiol. Sep-Oct;174(7):104086. doi: 10.1016/j.resmic.2023.104086. Epub 2023 Jun 10. PMID: 37307910.
57. **Hutsko SL, Meizlisch K, Wick M, Lilburn MS. 2016.** Early intestinal development and mucin transcription in the young poult with probiotic and mannan oligosaccharide prebiotic supplementation. Poult Sci. May;95(5):1173-8. doi: 10.3382/ps/pew019. Epub 2016 Mar 4. PMID: 26944966.
58. **[INEI] Instituto Nacional de Estadística e Informática 2012.** IV Censo Nacional agropecuario 2012, (CENAGRO). Banco de datos estadísticos [Internet].[18 octubre 2014] Disponible en: Disponible en: <http://censos.inei.gob.pe/cenagro/tabulados/>
59. **[INEI] Instituto Nacional de Estadística e Informática. 2018.** Encuesta Nacional Agropecuaria. Principales Resultados Pequeñas, Medianas y Grandes Unidades Agropecuarias 2014-2018. [Archivo PDF]. Ministerio de Agricultura y Riego. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1697/libro.pdf
60. **Khan S, McWhorter AR, Andrews DM, Underwood GJ, Moore RJ, Van TTH, Gast RK, Chousalkar KK. 2024.** A live attenuated *Salmonella Typhimurium* vaccine dose and diluent have minimal effects on the caecal microbiota of layer chickens. Front Vet Sci. Apr 15;11:1364731. doi: 10.3389/fvets.2024.1364731. PMID: 38686027; PMCID: PMC11057240.
61. **Khan S, Moore RJ, Stanley D, Chousalkar KK. 2020.** The Gut Microbiota of Laying

- Hens and Its Manipulation with Prebiotics and Probiotics To Enhance Gut Health and Food Safety. *Appl Environ Microbiol.* Jun 17;86(13):e00600-20. doi: 10.1128/AEM.00600-20. PMID: 32332137; PMCID: PMC7301851.
62. **Kim SK, Guevarra RB, Kim YT, Kwon J, Kim H, Cho JH, Kim HB, Lee JH. 2019.** Role of Probiotics in Human Gut Microbiome-Associated Diseases. *J Microbiol Biotechnol.* 2019 Sep 28;29(9):1335-1340. doi: 10.4014/jmb.1906.06064. PMID: 31434172.
 63. **Koczerka M, Lantier I, Pinard A, Morillon M, Deperne J, Gal-Mor O, Grépinet O, Virlogeux-Payant I. 2022.** In Vivo Tracking of Bacterial Colonization in Different Murine Models Using Bioluminescence: The Example of Salmonella. *Methods Mol Biol.* 2427:235-248. doi: 10.1007/978-1-0716-1971-1_19. PMID: 35619038.
 64. **Kogut, M. H., y Arsenault, R. J. 2016.** Editorial: Gut health: The new paradigm in food animal production. *Frontiers in Veterinary Science*, 3, 71. <https://doi.org/10.3389/fvets.2016.00071>
 65. **Kumar S, Pattanaik AK, Jadhav SE, Jangir BL. 2024.** *Lactobacillus johnsonii* CPN23 vis- à-vis *Lactobacillus acidophilus* NCDC15 Improves Gut Health, Intestinal Morphometry, and Histology in Weaned Wistar Rats. *Probiotics Antimicrob Proteins.* Apr;16(2):474-489. doi: 10.1007/s12602-023-10063-9. Epub 2023 Mar 28. PMID: 36976517.
 66. **Lalsiamthara J, Lee JH. 2018.** Immunization of guinea pigs with *Salmonella* delivered anti-Brucella formulation reduces organs bacterial load and mitigates histopathological consequences of *Brucella abortus* 544 challenge. *Vet Immunol Immunopathol.* Jan;195:40-45. doi: 10.1016/j.vetimm.2017.11.006. Epub 2017 Nov 23. PMID: 29249316.
 67. **Lamichhane, B.; Mawad, A.M.M.; Saleh, M.; Kelley, W.G.; Harrington, P.J., II;**

- Lovestad, C.W.; Amezcua, J.; Sarhan, M.M.; El Zowalaty, M.E.; Ramadan, H.; et al. 2024.** Salmonellosis: An Overview of Epidemiology, Pathogenesis, and Innovative Approaches to Mitigate the Antimicrobial Resistant Infections. *Antibiotics* 2024, 13, 76. <https://doi.org/10.3390/antibiotics13010076>
68. **Layme A. 2010.** Frecuencia de lesiones anatomopatológicas en cobayos con diagnóstico bacteriológico de *Salmonella* sp remitidos al laboratorio de histología, embriología y patología veterinaria de la FMV-UNMSM durante el periodo 2001- 2007. Tesis Médico Veterinario. Lima: Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 64 p.
69. **Liu K, Li Z, Li Q, Wang S, Curtiss R 3rd, Shi H. (2024).** *Salmonella typhimurium* Vaccine Candidate Delivering Infectious Bronchitis Virus S1 Protein to Induce Protection. *Biomolecules*. Jan 20;14(1):133. doi: 10.3390/biom14010133. PMID: 38275762; PMCID: PMC10813627
70. **Liu CT. 1988.** Energy balance and growth rate of outbred and inbred male guinea pigs. *Am J Vet Res*. Oct;49(10):1752-6. PMID: 3189993.
71. **López, B. G. 2018.** Efecto de la suplementación oral de una mezcla probiótica en cuyes (*Cavia porcellus*) de engorde desafiados con *Salmonella* Typhimurium sobre la morfología intestinal. Tesis pregrado. UNMSM.
72. **Mancini S, Paci G. 2021:**1021. doi: 10.3390/nu9091021. PMID: 28914794; PMCID: PMC5622781.
73. **Markowiak P, Śliżewska K. 2018.** The role of probiotics, prebiotics and synbiotics in animal nutrition. *Gut Pathog*. Jun 6;10:21. doi: 10.1186/s13099-018-0250-0. PMID: 29930711; PMCID: PMC5989473.
74. **Mastroeni, P., y Sheppard, M. 2004.** *Salmonella* infections in the mouse model: Host resistance factors and in vivo dynamics of bacterial spread and distribution in the tissues. *Microbes and Infection*, 6(5), 398–405.

75. **Mazziotta C, Tognon M, Martini F, Torreggiani E, Rotondo JC. 2023.** Probiotics Mechanism of Action on Immune Cells and Beneficial Effects on Human Health. *Cells*. 2023 Jan 2;12(1):184. doi: 10.3390/cells12010184. PMID: 36611977; PMCID: PMC9818925.
76. **Molina, A. (2019).** Probiotics and their mechanism of action in animal feed. *Agronomía Mesoamericana*, 30(2), 601–611.
77. **Morales-Oñate, V., y Morales-Oñate, B. 2020.** Probióticos Como Aditivos Dietéticos Para Cerdos. Una Revisión/Probiotics as Dietetic Additives for Pigs. A Review. *KnE Engineering*, 5(2), 477–499. <https://doi.org/10.18502/keg.v5i2.6267>
78. **Méndez-Palacios N, Méndez-Mendoza M, Vázquez-Flores F, Castro-Colombres JG, Ramírez-Bribiesca JE. 2018.** Productive and economic parameters of pigs supplemented from weaning to finishing with prebiotic and probiotic feed additives. *Anim Sci J*. Jul;89(7):994-1001. doi: 10.1111/asj.13008. Epub 2018 May 3. PMID: 29722097; PMCID: PMC7159736.
79. **Mínguez, C., Ingesa, S., y Calvo, A. 201).** Effects of mannan oligosaccharide dietary supplementation on mortality, growth performance and carcass traits in meat guinea pigs. *Journal of Applied Animal Research*, 47(1), 540–545. .
80. **Nathalie, M. N., Laure, M. T. C., Désiré, M. P., Macaire, W. H., Florence, F. A., y Etienne, P. T. 2022.** Mineral contents of guinea pigs' (*Cavia porcellus* L.) meat fed cassava (*Manihot esculenta* Crantz) leaf meal as protein source. *Scholars Journal of Agriculture and Veterinary Sciences*, 9(7), 1–7.
81. **[NRC] National Research council. 2021.** Requerimientos Nutricionales para animales Nwachukwu CU, Aliyu KI, Ewuola EO. Growth indices, intestinal histomorphology, and blood profile of rabbits fed probiotics- and prebiotics-supplemented diets. *Transl Anim Sci*. Jun 30;5(3):txab096. doi: 10.1093/tas/txab096. PMID: 34316539; PMCID: PMC8309950.

82. **[FAO] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2024.** Ganadería, agricultura y resistencia a los antibióticos. Recuperado de <https://www.inesalud.com/actualidad-sanitaria/investigacion/ganaderia-agricultura-resistencia-antibioticos>
83. **[OMS] Organización Mundial de la Salud. 2016.** Plan de acción mundial sobre la resistencia a los antimicrobianos. Organización Mundial de la Salud. <https://www.who.int/es/publications/i/item/9789241509763>
84. **Oriundo K, Delgadillo P, Arévalo R, Alfaro M, Bautista S. 2021.** Parámetros hematológicos de referencia de cuyes nativos (*Cavia porcellus*). Rev Inv Vet Perú. 32(5): e18417. doi: /10.15381/rivep.v32i5.18417
85. **Ortega O Gabriela, Jiménez A Ronald, Ara G Miguel, Morales C Siever. 2015.** La Salmonelosis como factor de riesgo de mortinatalidad en cuyes. Rev. investig. vet. Perú [Internet]. Dic [citado 2025 Feb 17] ; 26(4): 676-681. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1609-91172015000400015&lng=es. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v26i4.11203>.
86. **Palacios Ramón RV. 2017.** Textura instrumental de la carne de cuy: efecto de la edad y el sexo sobre los parámetros de dureza y fuerza de trabajo. Tesis para título profesional. Universidad Nacional de Chimborazo; 36 p.
87. **Pereira WA, Franco SM, Reis IL, Mendonça CMN, Piazzentin ACM, Azevedo POS, Tse MLP, De Martinis ECP, Gierus M, Oliveira RPS. 2022.** Beneficial effects of probiotics on the pig production cycle: An overview of clinical impacts and performance. Vet Microbiol. 2022 Jun;269:109431. doi: 10.1016/j.vetmic.2022.109431. Epub 2022 Apr 6. PMID: 35468401.
88. **Pilla R, Suchodolski JS. 2021.** The Gut Microbiome of Dogs and Cats, and the Influence

- of Diet. Vet Clin North Am Small Anim Pract. 2021 May;51(3):605-621. doi: 10.1016/j.cvsm.2021.01.002. Epub 2021 Feb 27. PMID: 33653538.
89. **Pinchao YA, Serna-Cock L, Mora OO. 2024.** Probiotic capacity of commensal lactic acid bacteria from the intestine of Guinea pigs (*Cavia porcellus*). Heliyon. Apr 9;10(8):e29431. doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e29431. PMID: 38655303; PMCID: PMC11035050.
 90. **Pinchao-Pinchao, Y., Serna-Cock, L., Osorio-Mora, O., y Tirado, D. F. 2024.** Guinea pig breeding and its relation to sustainable food security and sovereignty in South America: nutrition, health, and production challenges. CyTA - Journal of Food, 22(1). DOI:10.1080/19476337.2024.2392886
 91. **Quesquén Adanaqué, D. 2019.** Evaluación del consumo de agua en cuyes de engorde (*Cavia porcellus*), alimentados a base de concentrado y mantenidos en diferentes densidades de crianza. Tesis para título profesional. UNMSM. 34 pag.
 92. **Quezada Meza, N. 2023.** Inclusión de Cushuro (*Nostoc sphaericum*) microencapsulado en la alimentación de cuyes y su efecto sobre los parámetros productivos. Tesis para título profesional. UNMSM. 70 pag.
 93. **R CORE TEAM. R: 2013.** A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria.. En línea: <http://www.R-project.org/>. 15/04/2020.
 94. **Raccoursier M, Siceloff AT, Shariat NW. 2024.** In silico and PCR Screening for a Live Attenuated Salmonella Typhimurium Vaccine Strain. Avian Dis. Mar;68(1):18-24. doi: 10.1637/aviandiseases-D-23-00051. PMID: 38687103.
 95. **Reynaga Rojas Max Fernando, Vergara Rubín Víctor, Chauca Francia Lilia, Muscari Greco Juan, Higaonna Oshiro Rosa. 2020.** Sistemas de alimentación mixta e integral en la etapa de crecimiento de cuyes (*Cavia porcellus*) de las razas Perú, Andina e Inti. Rev. investig. vet. Perú [Internet]. [citado 2025 Feb 17] ; 31(3): e18173.

Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1609-91172020000300035&lng=es. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v31i3.18173>.

96. **Rodicio MR, Mendoza MC. 2004.** Identificación bacteriana mediante secuenciación del ARNr 16S: fundamento, metodología y aplicaciones en microbiología clínica. *Enferm Infecc Microbiol Clin.* 22(4):238-45.
97. **Rogers AWL, Tsolis RM, Bäumler AJ. 2020.** *Salmonella* versus the Microbiome. *Microbiol Mol Biol Rev.* Dec 23;85(1):e00027-19. doi: 10.1128/MMBR.0002719. PMID: 33361269; PMCID: PMC8549850.
98. **Rojas Vega JE. 2024.** Parámetros hematológicos y bioquímicos sanguíneos de cuyes (*Cavia porcellus*) suplementados con nanoemulsiones de aceites esenciales de chincho (*Tagetes elliptica*) y orégano (*Origanum vulgare*) Tesis de título profesional. Lima. Perú. Universidad UNMSM; 91 p.
99. **Saha S, Namai F, Nishiyama K, Villena J, Kitazawa H. 2024.** Role of immunomodulatory probiotics in alleviating bacterial diarrhea in piglets: a systematic review. *J Anim Sci Biotechnol.* Aug 12;15(1):112. doi: 10.1186/s40104-024-01070-z. PMID: 39129013; PMCID: PMC11318305.
100. **Salinas de Reigosa, Belén. 2013.** Microbiota intestinal: clave de la salud. *Salus*, 17(2), 3-5. Recuperado en 24 de diciembre de 2024, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-71382013000200002&lng=es&tylng=es.
101. **Sarmiento Tupacyupanqui, M. d. C. 2021.** Morfometría de la mucosa del intestino delgado de cuyes (*Cavia porcellus*) suplementados con vitamina C y sometidos a la reducción del espacio vital. Tesis de Pregado. UNMSM.
102. **Saucedo-Terán, Rubén Alfonso, Holguín-Licón, Celia, Jurado-Guerra, Pedro,**

- Ochoa- Rivero, Jesús Manuel, y Rubio-Arias, Héctor Osbaldo. 2017.** Cattle drinking water quality in the cow-calf beef operation in southern Chihuahua, Mexico. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 4(11), 331-340.
103. **Sentono, D., Aphrodita, A., y Fitria, L. 2024.** Comparison of microscopic meat quality parameters in guinea pig (*Cavia porcellus* Linnaeus, 1758), broiler chicken, and local catfish as protein source. *BIO Web of Conferences*, 94, 06005.
 104. **Shah M, Zaneb H, Masood S, Khan RU, Ashraf S, Sikandar A, Rehman HFU, Rehman HU. 2019.** Effect of Dietary Supplementation of Zinc and Multi-Microbe Probiotic on Growth Traits and Alteration of Intestinal Architecture in Broiler. *Probiotics Antimicrob Proteins*. Sep;11(3):931-937. doi: 10.1007/s12602-018- 9424-9. PMID: 29680883.
 105. **Shin SY, Hussain Z, Lee YJ, Park H. 2021.** An altered composition of fecal microbiota, organic acids, and the effect of probiotics in the guinea pig model of postoperative ileus. *Neurogastroenterol Motil*. Jan;33(1):e13966. doi: 10.1111/nmo.13966. Epub Aug 19. PMID: 32815235.
 106. **Smirnov, A., Perez, R., Amit-Romach, E., Sklan, D., y Uni, Z. 2005.** Mucin dynamics and microbial populations in the chicken small intestine are changed by dietary probiotic and antibiotic growth promoter supplementation. *The Journal of Nutrition*, 135(2), 187-192. <https://doi.org/10.1093/jn/135.2.187>
 107. **Swanson, K.S., Gibson, G.R., Hutkins, R. 2020.** The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of synbiotics. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol* 17, 687–701.
 108. **Tang KL, Caffrey NP, Nóbrega DB, Cork SC, Ronksley PE, Barkema HW, Polachek AJ, Ganshorn H, Sharma N, Kellner JD, Ghali WA. 2017.** Restricting the use of antibiotics in food-producing animals and its associations with antibiotic resistance in food-producing animals and human beings: a systematic review and meta- analysis.

- Lancet Planet Health. Nov;1(8):e316-e327. doi: 10.1016/S2542- 5196(17)30141-9.
- Erratum in: Lancet Planet Health. 2017 Dec;1(9):e359. doi: 10.1016/S2542-5196(17)30157-2. PMID: 29387833; PMCID: PMC5785333.
109. **Timbermont, L., Lanckriet, A., Dewulf, J., Nollet, N., Schwarzer, K., Haesebrouck, F., Ducatelle, R., y Van Immerseel, F. 2010.** Control of *Clostridium perfringens*-induced necrotic enteritis in broilers by target-released butyric acid, fatty acids and essential oils. *Avian Pathology*, 39(2), 117-121.
 110. **Tsunemine S, Isa Y, Ohno H, Hagino S, Yamamura H, Mizutani N, Nabe T. 2015.** Longitudinal study of effects of oral dosage of *Bifidobacterium bifidum* G9-1 on Japanese cedar pollen-induced allergic nasal symptoms in guinea pigs. *Microbiol Immunol*. Nov;59(11):690-9. doi: 10.1111/1348-0421.12324. PMID: 26400839.
 111. **Uyeno Y, Shigemori S, Shimosato T. 2015.** Effect of Probiotics/Prebiotics on Cattle Health and Productivity. *Microbes Environ*. 30(2):126-32. doi: 10.1264/jsme2.ME14176. Epub 2015 May 23. PMID: 26004794; PMCID: PMC4462921.
 112. **Valdizán G, Cynthia, Carcelén C, Fernando, Ara G, Miguel, Bezada Q, Sandra, Jiménez A, Ronald, Asencios M, Ana, y Guevara V, Jorge. 2019.** Efecto de la inclusión de probiótico, prebiótico y simbiótico en la dieta sobre los parámetros productivos del cuy (*Cavia porcellus*). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 30(2), 590-597.
 113. **Van den Honert, M. S., Gouws, P. A., y Hoffman, L. C. 2018.** Importance and implications of antibiotic resistance development in livestock and wildlife farming in South Africa: A Review. *South African Journal of Animal Science*, 48(3), 401-412. <https://doi.org/10.4314/sajas.v48i3.1>.
 - 114 **Várhidi Z, Máté M, Ózsvári L.2022.**The use of probiotics in nutrition and herd health

- management in large Hungarian dairy cattle farms. *Front Vet Sci.* Sep 20;9:957935. doi: 10.3389/fvets.2022.957935. PMID: 36204295; PMCID: PMC9530397.
115. **Wu M, Zuo S, Maiorano G, Kosobucki P, Stadnicka K. 2022.** How to employ metabolomic analysis to research on functions of prebiotics and probiotics in poultry gut health? *Front Microbiol.* 2022 Nov 14;13:1040434. doi: 10.3389/fmicb.2022.1040434. PMID: 36452931; PMCID: PMC9701725.
 116. **Wu Y, Zhang X, Liu X, Li Y, Han D, Pi Y, Whitmore MA, Lu X, Zhang G, Zheng J, Wang J. 2024.** Strain specificity of lactobacilli with promoted colonization by galactooligosaccharides administration in protecting intestinal barriers during Salmonella infection. *J Adv Res.* Feb;56:1-14. doi: 10.1016/j.jare.2023.03.001.Epub Mar 7. PMID: 36894120; PMCID: PMC10834803.
 117. **Xiao J, Metzler-Zebeli BU, Zebeli Q. 2015.** Gut Function-Enhancing Properties and Metabolic Effects of Dietary Indigestible Sugars in Rodents and Rabbits. *Nutrients.* Sep 28;7(10):8348-65. doi: 10.3390/nu7105397. PMID: 26426045; PMCID: PMC4632417.
 118. **Yang H, Fan X, Mao X, Yu B, He J, Yan H, Wang J. 2024.** The protective role of prebiotics and probiotics on diarrhea and gut damage in the rotavirus-infected piglets. *J Anim Sci Biotechnol.* May 3;15(1):61. doi: 10.1186/s40104-024-01018-3. PMID: 38698473; PMCID: PMC11067158.
 119. **Zhao, J., Liao, D., Yang, J., y Gregersen, H. 2010.** Biomechanical remodelling of obstructed guinea pig jejunum. *Journal of Biomechanics*, 43(7), 1322-1329.
 120. **Zhu Q, Azad MAK, Dong H, Li C, Li R, Cheng Y, Liu Y, Yin Y, Kong X. 2023.** Sow-Offspring Diets Supplemented with Probiotics and Synbiotics Are Associated with Offspring's Growth Performance and Meat Quality. *Int J Mol Sci.* Apr 21;24(8):7668. doi: 10.3390/ijms24087668. PMID: 37108828; PMCID: PMC10144797.
 121. **Zhu S, Li J, Li Z, Wang Z, Wei Q, Shi F. 2024.** Effects of non-nutritive sweeteners

on growth and intestinal health by regulating hypothalamic RNA profile and ileum microbiota in guinea pigs. J Sci Food Agric. May;104(7):4342-4353. doi: 10.1002/jsfa.13320. Epub Feb 8. PMID: 38328855.

122. **Zimmerman K, Moore DM, Smith SA. 2015.** Hematological assessment in pet guinea pigs (*Cavia porcellus*): blood sample collection and blood cell identification. Vet Clin North Am Exot Anim Pract. 18(1):33-40. doi: 10.1016/j.cvex.2014.09.002.