

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE AGRONOMÍA Y ZOOTECNIA

ESCUELA PROFESIONAL DE ZOOTECNIA



TESIS

**RELACIÓN DE AMINOÁCIDOS AZUFRADOS A LISINA EN
POLLOS DE CRECIMIENTO LENTO DE LA LINEA SASSO, EN
LA ETAPA DE INICIO, EN CONDICIONES DE ALTITUD**

PRESENTADO POR:

Br. DANNY DIXON MEDINA YLLA.

**PARA OPTAR AL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO
ZOOTECNISTA.**

ASESORES:

Mg. JESÚS CAMERO DE LA CUBA

Dr. DUNKER ARTURO ÁLVAREZ MEDINA

CUSCO - PERÚ

2026



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor Mg. JESÚS CAMERO DE LA CUBA
 quien aplica el software de detección de similitud al
 trabajo de investigación/tesistitulada:

RELACIÓN DE AMINOÁCIDOS AZUFRADOS A LISINA EN
 POLLOS DE CRECIMIENTO LENTO DE LA LINEA SASSO, EN
 LA ETAPA DE INICIO, EN CONDICIONES DE ALTITUD

Presentado por: Br. DANNY DIXON MEDINA YLLA DNI N° 48427089;

presentado por: DNI N°:

Para optar el título Profesional/Grado Académico de
INGENIERO ZOOTECNISTA

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 01 veces, mediante el Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de Similitud en la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 9 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	<input checked="" type="checkbox"/>
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	<input type="checkbox"/>
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	<input type="checkbox"/>

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 27 de Mayo de 2026



 Firma

Post firma JESÚS CAMERO DE LA CUBA

Nro. de DNI 42705425

ORCID del Asesor 0000-0002-5575-0242

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: **oid:** 27259:593360010

TESIS DANNY DIXON MEDINA YLLA 11-05-26.pdf

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:593360010

Fecha de entrega

20 may 2026, 6:10 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

20 may 2026, 9:41 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

TESIS DANNY DIXON MEDINA YLLA 11-05-26.pdf

Tamaño del archivo

3.0 MB

124 páginas

29.254 palabras

153.146 caracteres

9% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...




Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía

Exclusiones


- ▶ N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 8%  Fuentes de Internet
- 5%  Publicaciones
- 7%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**
32 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

A mi valiente madre ANDREA YLLA MAZA, que a lo largo de mi vida ha sabido formarme, inculcándome buenos hábitos, valores y sentimientos; su amor incondicional, apoyo y sacrificio han sido pilares fundamentales durante toda mi etapa educativa. Este éxito académico es un reflejo de tu inquebrantable dedicación. Te amo con todo mi corazón y esta tesis es mi modesta forma de agradecerte por todo lo que has hecho por mí.

A mi pareja ELIZABETH RAMOS AVALOS, por su comprensión, paciencia y confianza. En los días difíciles ha sido mi ancla y en los buenos momentos, mi razón de sonrisas. Esta tesis se teje con hilos de su amor y apoyo. Gracias por apoyarme en mis momentos de flaqueza, tu presencia en mi vida es un regalo invaluable, y este logro es de ambos.

A mi familia, especialmente, a mi abuela, tíos y primos por estar siempre presentes y haberme brindado su cariño y aliento.

A mi suegra, cuñados y sobrinas por su cálido recibimiento y haber sido parte importante esta etapa de mi vida.

A mis compañeros y amigos del código 10, con quienes compartí este importante desafío que estuvo lleno de aprendizajes y experiencias inolvidables.

Finalmente, a mis amigos de la promoción 2009 del colegio, quienes siempre han estado cerca de mí, impulsándome con su amistad a lo largo de los años.

Danny

AGRADECIMIENTO

A mis asesores de tesis, el Ing. Zoot. Mgt. JESÚS CAMERO DE LA CUBA y el Dr. DUNKER ARTURO ALVAREZ MEDINA, que con su guía experta y dedicación constante fueron parte esencial para la culminación del presente trabajo; gracias por su paciencia, sus consejos y su valioso aporte que me ayudaron a perfeccionar cada aspecto de la presente investigación.

A mi alma mater, la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, que en todos los años de mi formación profesional me brindó las facilidades para crecer académica y profesionalmente; estoy muy agradecido por las oportunidades brindadas y por qué fue el hogar que me acogió para desarrollarme profesionalmente.

A los docentes de la Escuela Profesional de Zootecnia, por su dedicación y entrega a lo largo de todos estos años de formación profesional, gracias por sus enseñanzas y por haber sido fuente de inspiración para nunca rendirme, esforzarme y dar siempre lo mejor de mí en cada paso de este camino académico.

Danny

ÍNDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE ANEXOS	ix
GLOSARIO	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	1
I. OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN	3
1.1. Objetivos	3
1.1.1. Objetivo general.....	3
1.1.2. Objetivo específico.....	3
1.2. Justificación	4
II. MARCO TEÓRICO	6
2.1. Antecedentes de la investigación	6
2.2. Bases Teóricas	11
2.2.1. Pollos de crecimiento lento.....	11
2.2.2. Función de los aminoácidos en la nutrición de aves	12
2.2.3. Proteína ideal.....	14
2.2.4. Determinación de requerimientos de aminoácidos	16
2.2.5. Requerimientos nutricionales en aves de crecimiento lento	17
2.2.6. Requerimiento de lisina	21
2.2.7. Requerimiento de metionina más cistina	23

2.2.8. Relación de aminoácidos azufrados a lisina (Met+Cis:Lis)	25
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
3.1. Lugar del experimento.....	27
3.1.1. Ubicación política	27
3.1.2. Ubicación geográfica (Coordenadas UTM).....	27
3.1.3. Condición climática.....	27
3.1.4. Variables Intervinientes	28
3.1.5. Duración de la investigación.....	28
3.2. Material experimental	29
3.2.1. Aves.....	29
3.2.2. Alimento	30
3.3. Equipos.....	30
3.3.1. Equipo de protección personal.....	30
3.3.2. Equipo auxiliar	31
3.3.3. Equipo de oficina	31
3.4. Instalaciones.....	32
3.5. Tratamientos y dietas experimentales.....	33
3.6. Evaluaciones.....	36
3.7. Porcentaje de mortalidad	41
3.8. Diseño estadístico.....	41
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	43
4.1. Parámetros Productivos.....	43
4.1.1. Peso Vivo	43
4.1.2. Ganancia de Peso	47
4.1.3. Consumo de Alimento	51
4.1.4. Conversión alimenticia.....	54
4.1.5. Rendimiento de carcasa.....	60

4.1.6. Rendimiento de pechuga	63
4.2. Desarrollo morfoanatómico del sistema digestivo e inmunológico	66
4.3. Mérito económico	71
4.4. Mortalidad	73
V. CONCLUSIONES	75
VI. RECOMENDACIONES	76
VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	77
VIII. ANEXOS	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Recomendación nutricional FEDNA para pollos de crecimiento diferenciado (lento)	20
Tabla 2. Valores de lisina digestible y aminoácidos azufrados por tratamiento	33
Tabla 3. Formulación de dietas experimentales para la etapa de inicio (1-28 días)	34
Tabla 4. Contenido nutricional de las dietas experimentales	35
Tabla 5. Peso vivo promedio semanal por tratamiento (g).....	43
Tabla 6. Ganancia de peso promedio semanal por tratamiento (g).....	48
Tabla 7. Consumo de alimento promedio semanal por tratamiento (g).....	52
Tabla 8. Conversión alimenticia promedio semanal por tratamiento	55
Tabla 9. Rendimiento de carcasa a los 28 días.	61
Tabla 10. Rendimiento de pechuga a los 28 días.....	64
Tabla 11. Peso semanal de órganos internos por tratamiento.....	67
Tabla 12. Análisis comparativo del Mérito Económico entre tratamientos	72
Tabla 13. Análisis de la mortalidad en pollos de la línea genética Sasso	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de la instalación de la unidad de aves	29
Figura 2. Peso vivo semanal por tratamiento (g).....	46
Figura 3. Ganancia de peso semanal por tratamiento (g).....	50
Figura 4. Consumo de alimento semanal por tratamiento (g)	53
Figura 5. Conversión alimenticia semanal por tratamiento.....	58

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Pesos semanales promedio por tratamiento y repetición (g).....	88
Anexo 2. Ganancia de peso semanal promedio por tratamiento y repetición (g).....	88
Anexo 3. Consumo semanal promedio por tratamiento y repetición (g).....	89
Anexo 4. Conversión semanal por tratamiento y repetición	89
Anexo 5. Peso de órganos semanal (g)	90
Anexo 6. Peso vivo, peso de carcasa, peso de pechuga, rendimiento de carcasa y pechuga a los 28 días	94
Anexo 7. Costo de la dieta	95
Anexo 8. ANOVA de los parámetros productivos	98
Anexo 9. ANOVA del desarrollo morfoanatómico del sistema digestivo e inmunológico	99
Anexo 10. ANOVA de los parámetros productivos a los 28 días	103
Anexo 11. Fotografías de la instalación del galpón.....	105
Anexo 12. Fotografía de la recepción de aves en el galpón.....	106
Anexo 13. Fotografía de la determinación de peso vivo.....	107
Anexo 14. Fotografía del sacrificio de ave	107
Anexo 15. Fotografías del peso de carcasa y pechuga.....	108
Anexo 16. Fotografías del peso de órganos	109

GLOSARIO

Aminoácidos azufrados: Considerados como la metionina y cistina esenciales en la nutrición aviar.

Aminoácidos digestibles: Fracción de los aminoácidos de un alimento que realmente es absorbida y está disponible para el ave.

Desarrollo morfoanatómico de los órganos digestivos e inmunológicos: Indicadores relacionados con el desarrollo y funcionamiento del sistema digestivo de las aves.

Energía metabolizable: Fracción de energía disponible para mantenimiento y producción.

Epigenéticos: Mecanismos que actúan como activadores o silenciadores en la expresión o manifestación de un gen.

Extrapolar: Aplicar resultados obtenidos de un ámbito a otro determinado.

FEDNA: Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal.

Lisina: Aminoácido esencial para la síntesis de proteína muscular.

Merito económico: Indicador parcial de rentabilidad entre los ingresos y egresos relevantes.

Parámetros productivos: Variables zootécnicas utilizadas para evaluar el desempeño de las aves, como peso vivo, ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia.

Pollos SASSO: Línea genética de crecimiento lento desarrollada en Francia por la empresa “Selection Avicole de la Sarthe y del Sudoeste”.

Proteína bruta: Estimación del contenido total de proteína de un alimento, calculada a partir de su contenido de nitrógeno.

Proteína ideal: Equilibrio óptimo de aminoácidos esenciales en relación a la lisina.

RESUMEN

El estudio se llevó a cabo con 192 pollos machos de la línea genética Sasso, de un día de edad, con el objetivo de evaluar el efecto de la relación de aminoácidos azufrados digestibles a lisina digestible (Met+Cisd:Lisd) durante la etapa de inicio (1 a 28 días), en condiciones de altitud (3 230 m). Se utilizaron tres relaciones experimentales: 67; 73 y 77% de Met+Cisd:Lisd, manteniendo constante el nivel de Met+Cisd en 0,80% y ajustando los niveles de lisina digestible a 1,190; 1,090 y 1,040%, respectivamente. Las dietas fueron isocalóricas e isoproteicas, formuladas según las recomendaciones de FEDNA (2018) para pollos de crecimiento lento. Se aplicó un diseño completamente al azar con tres tratamientos, cuatro repeticiones y 16 aves por unidad experimental. Los parámetros evaluados semanalmente fueron peso vivo (PV), ganancia de peso (GP), consumo de alimento (CONS) y conversión alimenticia (CA). A los 28 días, también se determinaron los pesos de órganos digestivos, el rendimiento de carcasa (RC) y rendimiento de pechuga (RP). Se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) en PV, GP, CA y RP a favor de la relación del 73%, sin variaciones en el consumo de alimento. No se observaron diferencias estadísticas en los órganos digestivos. El rendimiento de carcasa (65,8%) y de pechuga (30,3%) fue superior con el 73%. Sin embargo, la mayor rentabilidad se obtuvo con la relación del 67%, que registró una rentabilidad de S/. 0,90 por ave y un mérito económico del 38,89%.

Palabras clave: Metionina, lisina, proteína ideal, pollos Sasso (*Gallus gallus domesticus*), rendimiento productivo.

ABSTRACT

The study was conducted with 192 one-day-old male Sasso chickens, with the objective of evaluating the effect of the digestible sulfur amino acids to digestible lysine ratio (Met+Cisd:Lisd) during the starter phase (1 to 28 days) under high-altitude conditions (3 230 m.a.s.l.). Three experimental ratios were used: 67; 73, and 77% of Met+Cisd:Lisd, keeping the level of Met+Cisd constant at 0,80% and adjusting digestible lysine levels to 1,190; 1,090, and 1,040%, respectively. The diets were isoenergetic and isoproteic, formulated according to FEDNA (2018) recommendations for slow-growing chickens. A completely randomized design was applied with three treatments, four replicates, and 16 birds per experimental unit. The parameters evaluated weekly were body weight (BW), weight gain (WG), feed intake (FI), and feed conversion ratio (FCR). At 28 days, digestive organ weights, carcass yield (CY), and breast yield (BY) were also determined. Significant differences ($p < 0,05$) were found in BW, WG, FCR, and BY in favor of the 73% ratio, with no variations in feed intake. No statistical differences were observed in digestive organ weights. Carcass yield (65,8%) and breast yield (30,3%) were higher with the 73% ratio. However, the greatest profitability was obtained with the 67% ratio, which recorded a net return of S/. 0,90 per bird and an economic merit of 38,89

Keywords: Methionine, lysine, ideal protein, Sasso chickens (*Gallus gallus domesticus*), productive performance.

INTRODUCCIÓN

La avicultura peruana constituye uno de los sectores pecuarios de mayor crecimiento en las últimas décadas, siendo el pollo de engorde la principal fuente de carne animal en el país. Entre el año 2023 y 2024, el consumo per cápita de carne de pollo alcanzó los 52,35 kg y 53,75 kg, reflejando la alta demanda de esta proteína de origen animal (MIDAGRI, 2025). Sin embargo, paralelamente a la producción intensiva, se ha evidenciado una creciente preferencia del consumidor por alternativas más sostenibles y diferenciadas, como los pollos de crecimiento lento, los cuales ofrecen características organolépticas superiores y sistemas de crianza menos intensivos (Grashorn, 2017).

Durante los años 2023 y 2024 se reportaron 6,841 y 6,992 millones de pollos BB de crecimiento lento distribuidos a nivel nacional (MIDAGRI, 2025), mientras que en la región Cusco se registró un incremento del 2,93 % en la producción de estas aves (Cámara de Comercio del Cusco, 2023). Este fenómeno responde, en parte, al desarrollo de circuitos cortos de comercialización y al posicionamiento de productos con valor agregado en mercados locales, siendo los pequeños y medianos productores los principales actores en este nicho (Flores, 2019).

No obstante, la crianza de aves de crecimiento lento conlleva desafíos importantes, particularmente en el aspecto nutricional. La escasa información técnica sobre sus requerimientos específicos a diferencia de las líneas comerciales convencionales genera incertidumbre en la formulación de dietas eficientes, afectando tanto el desempeño zootécnico como la rentabilidad del sistema productivo (Alqaisi et al., 2017).

Entre los nutrientes esenciales, los aminoácidos desempeñan un rol crítico en la síntesis proteica, el desarrollo muscular y la eficiencia alimenticia (Klasing, 2019). La lisina, metionina y cistina son aminoácidos limitantes en dietas avícolas, cuya proporción relativa incide directamente en la ganancia de peso, la conversión alimenticia y la excreción de nitrógeno (Leeson & Summers, 2005; Medrano, 2021). El concepto de proteína ideal permite establecer relaciones precisas entre estos aminoácidos, optimizando el perfil nutricional de la dieta y reduciendo las pérdidas metabólicas.

En ese contexto, la presente investigación se planteó con el objetivo de evaluar el efecto de diferentes relaciones porcentuales entre aminoácidos azufrados y lisina digestible (Met+Cisd:Lisd) sobre los parámetros productivos, desarrollo morfoanatómico del sistema digestivo e inmunológico y mérito económico en pollos de crecimiento lento de la línea Sasso, durante la etapa de inicio y en condiciones de altitud. Los hallazgos del estudio pretenden generar evidencia científica aplicable a sistemas de producción alternativos, contribuyendo así a la sostenibilidad técnica y económica de la avicultura en regiones altoandinas.

I. OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

- Determinar el efecto de diferentes relaciones porcentuales entre los aminoácidos azufrados y lisina digestible (Met+Cisd:Lisd) sobre los parámetros productivos, desarrollo morfoanatómico del sistema digestivo e inmunológico y el mérito económico en pollos de crecimiento lento de la línea genética Sasso durante la etapa de inicio (1 a 28 días), en condiciones de altitud (3 230 m.s.n.m.).

1.1.2. Objetivo específico

- Evaluar el efecto de diferentes relaciones porcentuales entre los aminoácidos azufrados y lisina digestible (Met+Cisd:Lisd) 67; 73 y 77 %, sobre los parámetros productivos (peso vivo, ganancia de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia, rendimiento de carcasa y rendimiento de pechuga).
- Analizar el efecto de las diferentes relaciones porcentuales Met+Cisd:Lisd sobre el desarrollo morfoanatómico de los órganos digestivos e inmunológicos (hígado, proventrículo, molleja, intestino delgado, páncreas, bazo y bolsa de Fabricio).
- Estimar el mérito económico de las diferentes relaciones porcentuales entre los aminoácidos azufrados y lisina digestible (Met+Cisd:Lisd), mediante el análisis comparativo del costo de alimentación, la ganancia neta por ave y la rentabilidad del sistema de producción aplicando el método de presupuestos parciales.

1.2. Justificación

En el contexto actual de la producción avícola, los sistemas alternativos y sostenibles, como la crianza de pollos de crecimiento lento, están ganando relevancia por su capacidad de adaptarse a condiciones diversas y por ofrecer productos diferenciados, con características sensoriales apreciadas por un sector creciente de consumidores (Grashorn, 2017). Esta tendencia representa una oportunidad para pequeños y medianos productores, especialmente en regiones altoandinas, donde las líneas genéticas rústicas como Sasso han mostrado un mejor desempeño frente a condiciones ambientales adversas y sistemas de crianza menos intensivos (Flores, 2019).

Sin embargo, uno de los principales desafíos en estos sistemas es el desconocimiento de los requerimientos nutricionales específicos, particularmente en lo que respecta al balance de aminoácidos esenciales. A diferencia de los pollos de crecimiento rápido, cuyas exigencias han sido ampliamente documentadas, las recomendaciones para aves de crecimiento lento aún son escasas y muchas veces extrapoladas sin validación experimental (Grashorn, 2017; Klasing, 2019). Esta situación limita la formulación eficiente de dietas y compromete tanto la productividad como la rentabilidad del sistema.

Entre los nutrientes clave, los aminoácidos azufrados (metionina + cistina) y la lisina digestible son determinantes en la síntesis de proteína corporal, el crecimiento muscular y la eficiencia alimenticia (Leeson & Summers, 2005). La aplicación del concepto de proteína ideal basado en proporciones óptimas entre aminoácidos permite maximizar el aprovechamiento nutricional y reducir la excreción de nitrógeno, contribuyendo además a una producción más sostenible (Baker & Han, 1994; Emmert & Baker, 1997).

En este sentido, la presente investigación se justifica por la necesidad de generar evidencia científica que permita establecer relaciones prácticas entre metionina + cistina y lisina digestible, específicamente en aves de crecimiento lento criadas bajo condiciones de altitud. Asimismo, la inclusión del análisis económico aporta criterios adicionales de decisión para productores, al vincular el rendimiento biológico con el retorno económico de las dietas formuladas. Los resultados obtenidos permitirán no solo optimizar la nutrición de estas aves, sino también fortalecer la competitividad y sostenibilidad de los sistemas avícolas alternativos en zonas altoandinas.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Barbosa *et al.* (2001) evaluaron diferentes niveles de lisina digestible en dietas para pollos de engorde de diferentes líneas comerciales, de 49 a 56 días de edad, sobre el rendimiento y las características de la canal. Se utilizaron tres líneas comerciales (Cobb 500, Hubbard Flex y Ross 308) se dividieron en cuatro niveles de lisina digestible (0,800; 0,950; 1,100 y 1,250%). Se evaluó la ganancia de peso, el consumo de alimento, el índice de conversión alimenticia, el rendimiento de la canal, el rendimiento de la pechuga, el rendimiento de la carne de pechuga y el rendimiento del muslo y la pierna. No hubo diferencia significativa en los diferentes niveles de lisina ni en el rendimiento de la canal. Pero si existió diferencias significativas entre las líneas, en cuanto al consumo de alimento y las características de la canal. La línea Cobb 500 presentó un mayor rendimiento de pechuga y carne de pechuga, mientras que las líneas Hubbard Flex y Ross 308 presentaron un mayor rendimiento de muslo y contramuslo.

Vieira *et al.* (2004), determinaron la respuesta de pollos de engorde Ross 308 y Cobb (de 14 a 35 días de edad), mediante el efecto que tenían los niveles de metionina más cisteína a lisina digestible (62; 69 y 77 %) y lisina (1,12 y 1,46%). Concluyeron que las dietas con Met+Cisd:Lisd del 77% perjudica el rendimiento, y que la proporción óptima de Met+Cisd:Lisd para pollos de engorde en crecimiento podría ser superior al 77%, aunque ANOVA no reveló ninguna mejora significativa con una relación de Met+Cisd:Lisd superior al 69% y las respuestas proporcionan evidencia de que el nivel óptimo de Met+Cisd en la dieta depende del nivel de proteína en la dieta y, por lo tanto, debe estar relacionado con el contenido de proteína.

García y Batal (2005) realizaron cuatro experimentos para estudiar los cambios en los requerimientos de lisina digestible y aminoácidos azufrados de pollos de engorde durante los primeros 21 días. Se alimentaron pollos de engorde machos Cobb 500 con dietas de maíz, gluten de maíz y soya, formuladas para ser isocalóricas e isonitrogenadas. Se utilizaron cinco niveles graduados, que variaron de 0,78 a 1,28% de Lisd y de 0,61 a 1,08% de Met+Cisd. Durante esta etapa se produjeron cambios mínimos en los requerimientos estimados de Lisd o Met+Cisd, lo que sugiere que los niveles recomendados de Lisd y Met+Cisd determinados a los 21 días de edad parecen ser adecuados para satisfacer las necesidades de los pollitos durante la primera semana de edad.

Murakami *et al.* (2012) investigaron los efectos de la suplementación de aminoácidos azufrados en dietas con distintos niveles energéticos en pollos de engorde. Los autores compararon el rendimiento zootécnico de aves alimentadas con niveles crecientes de metionina+cistina, evaluando sus efectos sobre la conversión alimenticia, el crecimiento muscular y la retención nitrogenada. Sus resultados indicaron que la suplementación con aminoácidos azufrados, aún en dietas con niveles reducidos de energía metabolizable, favorece la eficiencia alimenticia sin comprometer la ganancia de peso. La relación Met+Cisd:Lisd influye directamente en la síntesis de proteína corporal, y su optimización permite compensar dietas energéticamente restringidas, lo que aporta utilidad práctica en sistemas con limitaciones nutricionales o alto costo de ingredientes.

Dozier y Mercier (2013) realizaron dos experimentos para determinar las proporciones de Met+Cisd:Lisd en dietas administradas a pollos de engorde machos Ross × Ross 708 y Hubbard × Cobb 500 entre el día 1 y el 15. En cada experimento se utilizaron 8 proporciones de Met+Cisd:Lisd, que variaban de 0,56 a 0,84 en incrementos de 0,04. La digestibilidad estandarizada de Met+Cisd de las dietas basales se determinó en 0,65 en ambos experimentos. En el experimento 1, la adición progresiva de Met+Cisd:Lisd determinó que la relación óptima

de Met+Cisd:Lisd era de 0,74, basándose en la conversión alimenticia entre los días 1 y 14, utilizando un modelo lineal de línea discontinua. En el experimento 2, se estimaron relaciones óptimas de Met+Cisd:Lisd de 0,78 y 0,77 para la conversión alimenticia entre los días 1 y 7 y entre los días 1 y 14. Por lo tanto, con base en estos datos, los requisitos de Met+Cisd para un crecimiento óptimo de los pollos de engorde modernos son mayores que los reportados previamente.

De Castro *et al.* (2014) realizaron dos experimentos para evaluar diferentes niveles de Met+Cisd:Lisd sobre el desempeño de pollos de engorde Cobb 500 en machos y hembras a los 11 a 21 y 22 a 35 días de edad. El experimento evaluó las dos fases utilizando 5 diferentes niveles de Met+Cisd:Lisd y un tratamiento control para cada sexo. Las dietas cumplieron con los requerimientos, excepto para Met+Cis:Lis. Para evitar el exceso de lisina digestible, su nivel se calculó al 95% del nivel recomendado para todas las fases. Las relaciones Met+Cisd:Lisd, para el máximo rendimiento de pollos de engorde machos y hembras, respectivamente, son 75,53 y 78,23%, en la fase de 11 a 21 días, y 78,83 y 79,82%, en la fase de 22 a 35 días.

Usman *et al.* (2020) evaluaron el efecto de reducir en 4,5% la proteína dietética en pollos de engorde y suplementarlo con glicina y cisteína. Se probaron seis tratamientos: dietas estándar con 100% y 85% de aminoácidos azufrados totales y dietas con proteína reducida con o sin suplementación de glicina, cisteína o ambas. Los resultados mostraron que la dieta estándar con 85% de aminoácidos azufrados totales logró mejor peso corporal, ganancia diaria, consumo y conversión alimenticia, además de perfiles sanguíneos y metabólicos favorables. Este estudio demostró que el contenido de proteína dietética puede reducirse en un 4,5% sin comprometer el rendimiento productivo, siempre que se suplementen 1% de glicina y 0,1% de cisteína, lo cual optimiza la utilización de nutrientes y mantiene la calidad de la canal.

Medrano (2021) desarrolló un experimento con pollos de engorde Cobb 500 para evaluar el efecto de diferentes relaciones entre aminoácidos azufrados y lisina digestible sobre los parámetros productivos en la etapa inicial (1 a 21 días). Se aplicaron cuatro tratamientos con relaciones Met+Cisd:Lisd de 67%; 71%; 75% y 79%, manteniendo constante el nivel de aminoácidos azufrados. Las dietas fueron isoproteicas e isocalóricas, y se evaluaron el peso corporal, ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia. Los resultados mostraron que, si bien no se registraron diferencias significativas en peso vivo ni ganancia de peso, la conversión alimenticia mejoró significativamente ($p < 0,05$) en las relaciones de 75% y 79%. Este hallazgo sugiere que un mayor aporte relativo de metionina y cistina mejora la eficiencia del uso del alimento. El estudio evidenció la importancia de ajustar la relación Met+Cis:Lisd para optimizar el desempeño productivo sin incrementar el consumo ni comprometer la ganancia de peso.

Sarsour y Persia (2021) realizaron seis experimentos para validar la hipótesis de que los requerimientos de Met+Cisd:Lisd disminuyen dentro de la fase de inicio de los 2 a los 11 días de edad. En los primeros 3 experimentos, se generaron 7 dietas agregando L-Lis a una dieta basal deficiente en lisina en incrementos de 0,10%, que van desde 0,85 a 1,45% de Lis digestible. En los experimentos subsecuentes se generaron 7 dietas agregando incrementos de 0,07% de DL-metionina a una dieta deficiente en Met+Cis para producir dietas que van desde 0,63 a 1,04% de Met+Cisd. La estimación para Lis digestible fue 1,22; 1,17 y 1,16% y 1,31; 1,21 y 1,14% en los experimentos 1; 2 y 3. La estimación para Met+Cisd fue de 0,82; 0,81 y 0,94 % y de 0,82; 0,80 y 0,90 % en los experimentos 4; 5 y 6, respectivamente. Estos resultados indicaron que los requerimientos de lisina disminuyeron linealmente, como se había hipotetizado; sin embargo, los requerimientos de Met+Cis no siguieron el mismo patrón.

Loayza y Torres (2021) evaluaron el rendimiento de crecimiento y características de la canal de aves de lento crecimiento de la genética Sasso, sin sexar, alimentadas por los requerimientos nutricionales de Aviagen®, NRC, Rostagno, Cobb y FEDNA para un período de 35 días. Las dietas formuladas según el requerimiento nutricional de Aviagen® mejoró los rendimientos de pesos en todas las etapas crecimiento de los pollos SASSO en comparación con los otros grupos evaluados. El grupo con requisitos nutricionales de Cobb tuvo el mayor consumo, pero resultó ser la dieta menos eficiente. Asimismo, los tratamientos Rostagno y NRC mostraron el menor consumo, pero obtuvieron pesos finales similares a los grupos FEDNA y Cobb. Las dietas formuladas con un buen balance los aminoácidos digestibles como Aviagen® presentaron mejores rendimientos. No se encontró diferencias significativas en las características de la canal de los pollos de engorde.

Brugaletta (2023) evaluaron el impacto fisiológico de los aminoácidos azufrados en pollos de engorde, dentro del concepto de proteína ideal. Su estudio resaltó el papel de la metionina y la cistina en procesos como la síntesis proteica, el estado antioxidante y la eficiencia nitrogenada. Asimismo, se discutió cómo el exceso o deficiencia de estos aminoácidos puede alterar el metabolismo y la salud intestinal de las aves. El estudio enfatiza que establecer una relación adecuada de Met+Cis:Lisd permite maximizar la utilización de nutrientes, reducir la excreción de nitrógeno y mejorar la sostenibilidad de la producción avícola. Este enfoque resulta particularmente relevante en aves criadas en confinamiento y bajo condiciones ambientales desafiantes, como ocurre en zonas altoandinas, donde el estrés térmico y la menor presión de oxígeno pueden comprometer el desempeño fisiológico.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Pollos de crecimiento lento

Los pollos de crecimiento lento constituyen una alternativa genética a las líneas comerciales convencionales de crecimiento rápido, caracterizándose por un menor ritmo de desarrollo corporal, mayor rusticidad y una mejor adaptación a sistemas de producción extensivos o semiintensivos. Estas aves, generalmente definidas como aquellas con una ganancia diaria de peso menor o igual a 50 gramos, requieren un periodo de crianza más prolongado (mayor a 56 días) para alcanzar el peso comercial, lo cual responde a su menor tasa de crecimiento muscular y a un metabolismo menos intensivo (Grashorn, 2017).

Desde el punto de vista productivo, estas líneas genéticas presentan ventajas importantes en términos de bienestar animal, menor incidencia de trastornos metabólicos (como ascitis y síndrome de muerte súbita) y mayor tolerancia al estrés ambiental, lo que las hace particularmente aptas para su crianza en regiones de condiciones agroecológicas adversas, como las zonas altoandinas (Jaturasitha *et al.*, 2008; Fisher, 2019). Además, su mayor actividad locomotora y comportamiento exploratorio favorecen un desarrollo más armónico del sistema músculo-esquelético, reduciendo la aparición de cojeras o deformaciones esqueléticas.

Desde una perspectiva nutricional, los pollos de crecimiento lento exhiben una eficiencia alimenticia moderada y un perfil de deposición proteica diferenciado, requiriendo estrategias de alimentación ajustadas que maximicen el aprovechamiento de nutrientes sin incurrir en sobrecostos. Al respecto, las exigencias en aminoácidos esenciales suelen ser inferiores en comparación con las líneas comerciales, aunque con ciertas particularidades como una elevada sensibilidad al balance entre metionina, cistina y lisina digestible, especialmente durante las fases iniciales del desarrollo (Grashorn, 2017).

En términos de calidad de canal, estas aves presentan un mayor porcentaje de carne oscura, con características sensoriales superiores como mayor firmeza, menor contenido de grasa intramuscular y mejor sabor, atributos que las hacen preferidas en nichos de mercado orientados al consumo saludable, gourmet o a sistemas de producción con certificación orgánica o de bienestar animal (Kjaer *et al.*, 2006; Mayorga, 2021).

En particular, la línea genética Sasso, originaria de Francia y desarrollada por la empresa SASSO (Sélection Avicole de la Sarthe et du Sud-Ouest), se caracteriza por su rusticidad, colores, sabor y rendimiento, representando uno de los genotipos más empleados en sistemas alternativos de producción, debido a su doble propósito (carne y huevos), su buena conformación de canal y su versatilidad para crianzas tanto intensivas como al aire libre. Estas aves pueden ser manejadas eficientemente bajo sistemas de crianza familiar, comunitaria o semi-tecnificada, representando una opción estratégica para pequeños y medianos productores en contextos rurales y periurbanos (Flores, 2019).

En conclusión, los pollos de crecimiento lento ofrecen un equilibrio entre sostenibilidad productiva y calidad de producto. No obstante, su eficiencia productiva depende críticamente de una adecuada formulación nutricional, clave para maximizar su rendimiento y rentabilidad.

2.2.2. Función de los aminoácidos en la nutrición de aves

Los aminoácidos son compuestos nitrogenados fundamentales en la nutrición aviar, ya que constituyen las unidades básicas para la síntesis de proteínas estructurales y funcionales. Participan activamente en procesos esenciales como el crecimiento tisular, la regeneración celular, la producción de enzimas, hormonas, neurotransmisores, anticuerpos y la regulación de múltiples rutas metabólicas. Su adecuada provisión en la dieta es imprescindible para alcanzar el potencial genético de crecimiento y eficiencia productiva en las aves (Belloir *et al.*, 2017; Klasing, 2019).

Desde el punto de vista nutricional, los aminoácidos se clasifican en esenciales y no esenciales. Los primeros deben ser incluidos obligatoriamente en la dieta, ya que las aves carecen de la capacidad de sintetizarlos en cantidad suficiente. Entre ellos se encuentran: metionina, lisina, treonina, triptófano, valina, leucina, isoleucina, histidina y fenilalanina (Sakomura *et al.*, 2015). Los aminoácidos no esenciales pueden ser sintetizados a partir de otros compuestos, pero su presencia en la dieta sigue siendo relevante para un crecimiento óptimo. Ejemplos de estos incluyen cisteína, glutamina, glicina y serina.

Entre los aminoácidos esenciales, la lisina y la metionina son particularmente importantes por su influencia directa en el desarrollo muscular, la eficiencia alimenticia y el rendimiento de la canal. La lisina, por ejemplo, está altamente correlacionada con el desarrollo del músculo pectoral y es el aminoácido de referencia en el concepto de proteína ideal (Baker & Han, 1994; Emmert & Baker, 1997). Por su parte, la metionina, junto con su derivado cistina, no solo es crítica en la síntesis proteica, sino que cumple funciones antioxidantes, participa en la síntesis del glutatión, en el metabolismo de lípidos hepáticos y en la integridad intestinal (Shen *et al.*, 2015; Millecam *et al.*, 2021).

El desbalance o deficiencia de aminoácidos esenciales genera consecuencias negativas sobre el desempeño productivo, tales como reducción en la tasa de crecimiento, incremento en la conversión alimenticia, afectación de la inmunocompetencia y mayor susceptibilidad a enfermedades. Por el contrario, un exceso de aminoácidos particularmente cuando no están en proporción adecuada conlleva un aumento en la desaminación hepática y la excreción de nitrógeno, generando efectos adversos tanto sobre la salud del ave como sobre la sostenibilidad ambiental (Sakomura *et al.*, 2015).

La incorporación de aminoácidos cristalinos o sintéticos (DL-Metionina, L-Lisina, L-Treonina, L-Valina) ha permitido formular dietas más precisas y con menor contenido de proteína bruta, mejorando la eficiencia alimenticia y reduciendo la carga nitrogenada en la cama avícola . Esta estrategia nutricional está alineada con el concepto de proteína ideal, el cual promueve la formulación de dietas en base a relaciones específicas entre aminoácidos digestibles, optimizando así la utilización biológica de la proteína (Coon, 2004; García & Batal, 2005).

Recientemente, se ha identificado que algunos aminoácidos como la metionina también actúan como reguladores epigenéticos a través de procesos de metilación del ADN y modificación de histonas, influyendo en la expresión génica relacionada con el crecimiento, la inmunidad y el metabolismo energético. Además, se ha demostrado que niveles adecuados de aminoácidos azufrados mejoran la salud intestinal, aumentan la absorción de nutrientes y reducen la incidencia de enteropatías, particularmente en aves criadas en condiciones de estrés térmico o ambiental (Beltran *et al.*, 2021).

2.2.3. Proteína ideal

El concepto de proteína ideal constituye uno de los pilares más relevantes en la formulación moderna de dietas para aves. Fue introducido originalmente por Mitchell (1964); y citado por Baker & Han (1994), se define como la proporción exacta de aminoácidos esenciales digestibles que satisface las necesidades del animal para el mantenimiento y la producción, tomando como referencia un aminoácido patrón, usualmente la lisina digestible.

La formulación de dietas con base en proteína ideal no busca maximizar el contenido absoluto de proteína bruta, sino optimizar la proporción entre aminoácidos esenciales disponibles, de modo que se minimicen los excesos y las deficiencias, permitiendo una síntesis

proteica eficiente y sostenible, con menor excreción de nitrógeno y menores costos de formulación (Sakomura *et al.*, 2015; Rostagno *et al.*, 2017).

El modelo se basa en la premisa de que todos los aminoácidos limitantes deben encontrarse en proporciones óptimas respecto a la lisina, de forma que ninguno de ellos impida la síntesis de proteína corporal ni provoque su catabolismo por exceso. Este equilibrio mejora el crecimiento, la conversión alimenticia, el rendimiento de carcasa y la salud general del ave (Gous *et al.*, 2018). En la práctica, la proteína ideal se expresa en porcentajes relativos a la lisina digestible. Por ejemplo, en pollos de engorde, los valores de referencia digestibles comunes son: metionina (43 a 45%), metionina + cistina (74 a 76%), treonina (65 a 67%) y triptófano (18 a 20%) en relación con la lisina (100%) (Rostagno *et al.*, 2017).

La concentración de proteínas y aminoácidos en las dietas de los pollos de engorde tendrá un gran impacto en el rendimiento de la carne de pechuga, la relación alimentación, ganancia y el número de días necesarios para producir el peso corporal adecuado dependiendo de la línea genética y los objetivos del mercado (Coon, 2004).

En sistemas con pollos de crecimiento lento, esta relación requiere ajustes específicos debido a la menor tasa de crecimiento, mayor rusticidad y condiciones ambientales más variables, como ocurre en zonas altoandinas. En estas condiciones, el modelo de proteína ideal permite adaptar la dieta para maximizar el aprovechamiento de los nutrientes y reducir los costos, sin comprometer la calidad del producto final (Grashorn, 2017; Belloir *et al.*, 2017).

La implementación exitosa del modelo de proteína ideal requiere el uso de valores de digestibilidad ileal estandarizada (SID) para los aminoácidos, así como una adecuada caracterización de los ingredientes y un monitoreo constante del rendimiento zootécnico. Además, se deben considerar factores como la edad, el sexo, la genética, el nivel energético de la dieta y las condiciones de manejo (Sakomura *et al.*, 2015).

En aves de crecimiento lento, cuya ganancia diaria es inferior a la de líneas comerciales, el patrón de requerimiento puede desplazarse hacia mayores necesidades relativas de aminoácidos para mantenimiento, lo que justifica la evaluación experimental de nuevas relaciones ideales adaptadas a estas líneas genéticas (Rostagno *et al.*, 2017; Grashorn, 2017).

2.2.4. Determinación de requerimientos de aminoácidos

Los requerimientos de los aminoácidos son afectados por una considerable cantidad de factores, por lo que existen diversos métodos para estimar dichos requerimientos, algunos de ellos son: Método factorial, método de dosis-respuesta (crecimiento) y método de supresión (Cisneros, 2019).

El método dosis-respuesta consiste en el crecimiento y las respuestas de la composición corporal del ave que se puede usar con la finalidad de obtener los requerimientos en aminoácidos y el uso de los aminoácidos absorbidos; pero es necesario que se mantengan constantes las condiciones experimentales, la composición de las dietas, los ingredientes que se usarán y las condiciones medioambientales, también es importante que cuando se prepara la ración base es importante que se compruebe que el aporte de los demás nutrientes, en especial el de los aminoácidos sea el correcto; por otro lado este método debe incluir niveles graduales de suplementación del aminoácido que debe ser estudiado constantemente a través de la aplicación de una dieta deficiente en dicho aminoácido, finalmente el nivel de ración con la cual se logra el mejor crecimiento o retención de nitrógeno será el indicador de la necesidad conjunta para el mantenimiento y crecimiento requerido para el pollo respecto al aminoácido estudiado, además se pueden obtener respuestas adicionales respecto a la conversión alimenticia o el rendimiento de pechuga (Cisneros, 2019).

2.2.5. Requerimientos nutricionales en aves de crecimiento lento

Los pollos de crecimiento lento presentan características fisiológicas y productivas diferenciadas respecto a las líneas comerciales de crecimiento rápido, lo que implica necesidades nutricionales específicas que no pueden extrapolarse directamente de los manuales de manejo estándar. Estos genotipos, cuya ganancia diaria de peso suele ser menor a 50 g/día, requieren un enfoque nutricional adaptado, basado en su tasa de crecimiento moderada, mayor actividad locomotora y mayor longevidad productiva (Grashorn, 2017).

A pesar del creciente interés en la producción alternativa con aves rústicas o semirústicas impulsada por la demanda de productos diferenciados, sostenibles y de mejor calidad sensorial, la información sobre los requerimientos nutricionales específicos para estas líneas sigue siendo limitada. Esto ha llevado a muchos nutricionistas a formular dietas en base a estimaciones empíricas o a recomendaciones para aves de crecimiento medio, con los consecuentes riesgos de subalimentación o sobredosificación (Gous *et al.*, 2018).

En general, los pollos de crecimiento lento presentan una eficiencia alimenticia menor debido a su menor velocidad de crecimiento y mayor actividad física, lo que incrementa las necesidades de energía para mantenimiento. Sin embargo, dietas con alta densidad energética pueden inducir una deposición excesiva de grasa, afectando negativamente la calidad de la canal. Por ello, se recomienda el uso de dietas con niveles moderados de energía metabolizable (EM) y proteína bruta (PB), que promuevan un crecimiento sostenido y un perfil cárnico más magro (Belloir *et al.*, 2017).

Las recomendaciones nutricionales del grupo FEDNA, 2018 (Tabla 1) para aves de crecimiento lento sugieren, durante la etapa de inicio (0 a 28 días), niveles de 2 850 kcal/kg de EM, 19,6% de PB, y una lisina digestible de 1,00%, con una relación metionina + cistina:lisina de aproximadamente 75%. No obstante, estas recomendaciones deben validarse experimentalmente bajo las condiciones específicas de altitud, temperatura y sistema de manejo donde se crían estas aves (Rostagno *et al.*, 2017).

El requerimiento de aminoácidos esenciales en estas aves difiere notablemente del de las líneas comerciales. Por ejemplo, los niveles de lisina digestible, esenciales para la síntesis de proteína muscular, deben ajustarse no solo a la fase productiva, sino también al ritmo de crecimiento real del ave. De manera similar, la relación entre aminoácidos azufrados (metionina + cistina) y lisina debe adecuarse para mantener un equilibrio funcional que permita un crecimiento eficiente, sin comprometer la salud hepática ni la inmunidad (Sakomura *et al.*, 2015; Millecam *et al.*, 2021).

Estudios recientes en aves de crecimiento lento, como los de Borges *et al.* (2020), sugieren que niveles excesivos de aminoácidos en la dieta pueden resultar en un uso ineficiente del nitrógeno, sin mejoras proporcionales en el rendimiento productivo. Por ello, la aplicación del modelo de proteína ideal adaptado a aves rústicas se vuelve una herramienta fundamental para optimizar la eficiencia alimenticia y reducir el impacto ambiental.

Los requerimientos nutricionales de los pollos de crecimiento lento pueden estar influenciados por diversos factores:

- **Genética y línea específica:** Las necesidades varían según el origen genético (por ejemplo, Sasso vs. Hubbard vs. Label Rouge).
- **Edad y etapa fisiológica:** En etapas tempranas se requieren niveles más altos de lisina y metionina para soportar la formación de tejidos estructurales.
- **Condiciones ambientales:** En altitudes elevadas (>3000 m.s.n.m.) las aves experimentan hipoxia relativa, lo cual puede modificar sus tasas metabólicas y requerimientos energéticos (Rostagno *et al.*, 2017).
- **Sistema de crianza:** Las aves criadas al aire libre, con mayor actividad física, demandan mayor energía para mantenimiento y pueden requerir ajustes en la proporción de aminoácidos.

El principal desafío en la nutrición de aves de crecimiento lento es lograr un balance nutricional que optimice la producción sin generar excesos que comprometan la rentabilidad ni deficiencias que afecten el bienestar animal. En este contexto, el diseño de dietas específicas para estas aves requiere una evaluación experimental rigurosa que considere tanto los aspectos zootécnicos como económicos y medioambientales.

La tendencia actual es avanzar hacia modelos de nutrición basados en aminoácidos digestibles y en el uso de herramientas como el análisis NIR (espectroscopía de infrarrojo cercano) para evaluar la composición real de los ingredientes, lo que mejora la precisión en la formulación de dietas (Sakomura *et al.*, 2015).

Tabla 1.*Recomendación nutricional FEDNA para pollos de crecimiento diferenciado (lento)*

Variables	Unidad	Inicio (0 a 28 días)
Peso inicial	g	38
Peso final	g	615
EM	kcal/kg	2 850
Ac. Linoleico	%	0,8 a Libre
Fibra bruta	%	3,0 a 5,0
PB, MIN	%	19,6
Aminoácidos digestibles		
Gly equiv. dig	%	1,20
Arginina dig.	%	1,06
Lisina dig.	%	1,00
Valina dig.	%	0,79
Met+Cisteina dig.	%	0,75
Isoleucina dig.	%	0,68
Treonina dig.	%	0,66
Metionina dig.	%	0,40
Triptofano dig.	%	0,18
Aminoácidos totales		
Gly equiv. Total	%	1,36
Arginina total	%	1,20
Lisina total	%	1,13
Valina total	%	0,90
Metionina+Cistina total	%	0,85
Isoleucina total	%	0,77
Treonina total	%	0,75
Metionina total	%	0,45
Triptofano total	%	0,21
Minerales		
Calcio, min-max	%	0,95 a 1,00
Potasio, min-max	%	0,65 a 1,00
Fosforo total	%	0,61
Fosforo disponible	%	0,48
Fosforo digestible	%	0,43
Sodio, min-max	%	0,17 a 0,22
Cloro, min-max	%	0,16 a 0,25
Xantofilas amarillas	mg/kg	Libre
Xantofilas rojas	mg/kg	Libre

Nota: FEDNA (2018)

2.2.6. Requerimiento de lisina

La lisina es un aminoácido esencial de alta prioridad en la nutrición de aves, al ser el segundo aminoácido limitante en dietas típicas a base de maíz y soya, después de los aminoácidos azufrados. Su función principal se vincula a la síntesis de proteínas musculares, particularmente del músculo pectoral, por lo que influye directamente en el rendimiento de la canal y el crecimiento del ave (Baker & Han, 1994; Rostagno *et al.*, 2017).

Dado que las aves no pueden sintetizar lisina endógenamente, debe ser proporcionada en la dieta en cantidades adecuadas y en forma digestible. Su uso como aminoácido de referencia en el modelo de proteína ideal se debe a su función casi exclusiva en la síntesis de proteína corporal, su disponibilidad en formas sintéticas estables (como L-lisina HCl), y la facilidad de su análisis en laboratorio (Sakomura *et al.*, 2015).

Además de su papel estructural, la lisina está implicada en la síntesis de colágeno, elastina, enzimas y hormonas, así como en la absorción de calcio y en el metabolismo del nitrógeno. También cumple funciones inmunológicas y participa indirectamente en la modulación del apetito a través de rutas neuroendocrinas (Beltran *et al.*, 2021).

En dietas deficientes en lisina, se observa una disminución de la ganancia de peso, reducción del desarrollo del músculo pectoral, incremento de la conversión alimenticia, e incluso alteraciones óseas y del sistema inmune. Por el contrario, el exceso de lisina puede provocar desequilibrios con otros aminoácidos como la arginina o la metionina, lo que disminuye la eficiencia alimenticia y aumenta la excreción de nitrógeno (Gous *et al.*, 2018).

Los requerimientos de lisina varían en función de la edad, el sexo, la genética y la etapa fisiológica del ave. En pollos de crecimiento rápido, se han reportado necesidades de lisina digestible de hasta 1,20 a 1,25% durante los primeros 21 días (Rostagno *et al.*, 2017). Sin embargo, en líneas de crecimiento lento como Sasso o Label Rouge, los requerimientos pueden ser menores, aunque deben ser ajustados cuidadosamente para evitar limitaciones en el crecimiento muscular.

De acuerdo con las recomendaciones de FEDNA (2018) para pollos de crecimiento diferenciado en etapa de inicio (0 a 28 días), el requerimiento de lisina digestible es de aproximadamente 1,00%, con una lisina total de 1,13%. Estas cifras se basan en dietas con 19,6% de proteína bruta y 2 850 kcal/kg de energía metabolizable. En condiciones de altitud, donde el estrés oxidativo y la hipoxia pueden afectar el metabolismo, es recomendable realizar validaciones experimentales para afinar estos valores (Grashorn, 2017).

Almeida *et al.* (2010) evaluaron distintos planes nutricionales con niveles crecientes de lisina digestible (1,05%; 1,10%; 1,15% y 1,20%) en dietas para broilers. Encontraron que los niveles más altos mejoraron significativamente la ganancia de peso, la conversión alimenticia y el rendimiento de pechuga, sin efectos negativos sobre la acumulación de grasa abdominal. Estos resultados fueron consistentes con otros estudios que han demostrado que la lisina tiene una eficacia lineal hasta cierto punto, y que su exceso genera un retorno marginal decreciente.

Por otro lado, Belloir *et al.* (2017) y Borges *et al.* (2020), han señalado que, en aves de crecimiento lento, un exceso de lisina en la dieta no siempre se traduce en una mejora significativa del desempeño, y puede representar un costo innecesario o afectar el equilibrio con otros aminoácidos esenciales.

2.2.7. Requerimiento de metionina más cistina

Los aminoácidos azufrados, representados principalmente por la metionina y su derivado metabólico cistina, son esenciales en la nutrición de aves y constituyen el primer aminoácido limitante en dietas convencionales basadas en maíz y soya. Debido a su importancia en la síntesis proteica, el metabolismo celular y la función antioxidante, la metionina + cistina (Met + Cys) se considera un parámetro crítico para la formulación de dietas balanceadas, especialmente en las etapas tempranas del desarrollo (Rostagno *et al.*, 2017; Sakomura *et al.*, 2015).

La metionina es un aminoácido esencial, mientras que la cistina puede ser sintetizada a partir de la metionina cuando hay disponibilidad adecuada de azufre. Por ello, se considera que la metionina satisface parte del requerimiento de cistina, y el requerimiento nutricional se expresa generalmente como metionina + cistina totales o digestibles. Esta relación es clave para garantizar una síntesis eficiente de proteínas estructurales, enzimas, glutatión y componentes del sistema inmune (Shen *et al.*, 2015; Millecam, 2021).

La metionina participa como iniciador en la síntesis de péptidos y como donador de grupos metilo a través de la S-adenosilmetionina (SAM), esencial para procesos epigenéticos como la metilación del ADN. También es precursora de la cisteína, taurina y glutatión, moléculas clave en el control del estrés oxidativo y la desintoxicación celular (Beltran *et al.*, 2021). Por su parte, la cistina forma parte de la estructura de queratina y colágeno, siendo indispensable para el desarrollo de plumas y tejidos conectivos.

Una deficiencia en Met + Cys afecta negativamente la ganancia de peso, el desarrollo del músculo pectoral, la conversión alimenticia, la pigmentación del plumaje y la inmunocompetencia, especialmente en condiciones de estrés térmico o hipoxia (Belloir *et al.*, 2017; Grashorn, 2017).

Las aves de crecimiento lento, como las líneas Sasso o Label Rouge, tienen un perfil metabólico distinto al de las líneas comerciales de rápido crecimiento. Esto implica una menor tasa de deposición proteica, pero una mayor demanda relativa de aminoácidos para mantenimiento, entre ellos los azufrados. En estas aves, se ha observado que una relación Met + Cys:Lisina digerible entre 72% y 76% resulta adecuada durante la fase de inicio, aunque se recomienda ajustar esta proporción según condiciones ambientales y edad (Rostagno *et al.*, 2017; Borges *et al.*, 2020).

Según FEDNA (2018), en dietas para pollos de crecimiento lento en fase de inicio (0 a 28 días), con 1,00% de lisina digerible, se recomienda un nivel de 0,75% de metionina + cistina digerible, lo que equivale a una relación del 75% respecto a la lisina. Este balance asegura una óptima utilización de la proteína y un desarrollo estructural adecuado, sin excesos que comprometan la eficiencia alimenticia.

Millecam *et al.* (2021), en una revisión sobre la biodisponibilidad relativa de fuentes de metionina, demostraron que el uso de L-metionina permite una mejor absorción intestinal y una respuesta más consistente en términos de ganancia de peso y conversión alimenticia en comparación con DL-metionina o análogos hidroxianálogos. Asimismo, Shen *et al.* (2015) reportaron que dietas con L-metionina favorecieron una mayor altura de vellosidades intestinales y una menor oxidación tisular, mejorando la salud intestinal en pollos jóvenes.

En el caso de aves criadas en ambientes de altitud o bajo estrés térmico, diversos estudios han documentado que niveles adecuados de metionina reducen la incidencia de enteritis, mejoran la integridad epitelial intestinal y modulan positivamente la expresión de genes antioxidantes, lo cual se traduce en una mejor conversión alimenticia y menor mortalidad (Beltran *et al.*, 2021).

La precisión en la suplementación de metionina + cistina es clave para reducir la dependencia de proteína bruta, minimizar la excreción de nitrógeno y reducir los costos de alimentación. Gracias a los avances en la producción de aminoácidos sintéticos de alta biodisponibilidad, es posible ajustar con precisión el perfil de Met + Cys sin elevar innecesariamente el contenido de ingredientes proteicos en la dieta (Sakomura *et al.*, 2015).

2.2.8. Relación de aminoácidos azufrados a lisina (Met+Cis:Lis)

La relación entre los aminoácidos azufrados totales (metionina + cistina) y la lisina digestible es uno de los aspectos clave en la formulación de dietas avícolas bajo el modelo de proteína ideal. Esta proporción determina la eficiencia de utilización de los aminoácidos, influye en el crecimiento muscular, la síntesis proteica, la conversión alimenticia y la expresión de parámetros fisiológicos relacionados con el sistema inmune, el metabolismo antioxidante y la integridad intestinal (Rostagno *et al.*, 2017; Sakomura *et al.*, 2015).

La metionina y la cistina participan en la síntesis de proteínas ricas en azufre, como la queratina y el glutatión. Sin embargo, su necesidad no es absoluta, sino relativa al nivel de lisina digestible, ya que ambos aminoácidos comparten rutas metabólicas complementarias en la síntesis de proteína corporal. De ahí que el enfoque nutricional actual no exprese requerimientos como valores absolutos, sino en términos relativos a la lisina, lo que permite ajustar los aportes según la fase fisiológica del ave y el sistema productivo (Gous *et al.*, 2018).

En líneas de crecimiento rápido, como Cobb o Ross, la literatura técnica y las tablas de requerimientos nutricionales coinciden en una relación óptima Met + Cys:Lys digestible de entre 72% y 76% para las fases iniciales (Rostagno *et al.*, 2017; FEDNA, 2018). Este rango ha demostrado maximizar la ganancia de peso, la eficiencia alimenticia y el rendimiento de pechuga, al tiempo que evita excesos que generan desaminación y excreción de nitrógeno.

En aves de crecimiento lento, esta relación puede requerir ajustes específicos debido a sus características fisiológicas: menor tasa de deposición proteica, mayor longevidad productiva, actividad locomotora elevada y mayor rusticidad. Estas condiciones implican una demanda mayor de aminoácidos para mantenimiento y estructuras funcionales (Grashorn, 2017; Borges, 2020).

Estudios experimentales recientes han explorado esta relación en genotipos de crecimiento rápido. Medrano (2021), en una investigación con pollos Cobb 500 en fase de inicio (0 a 21 días), evaluó cuatro relaciones crecientes de Met + Cys:Lys (69%; 72%; 75% y 78%), encontrando que una relación de 75% maximizó el peso vivo, el rendimiento de pechuga y la eficiencia alimenticia sin afectar negativamente el mérito económico ni la salud hepática. Estos resultados son coherentes con las recomendaciones de FEDNA (2018) para este tipo de líneas.

Asimismo, Belloir *et al.* (2017) reportaron que relaciones superiores al 76% no ofrecen beneficios adicionales en aves de crecimiento lento criadas en condiciones semi-intensivas, mientras que relaciones por debajo del 70% reducen la deposición proteica y afectan el desarrollo del plumaje.

Finalmente, el uso de aminoácidos sintéticos (DL-Metionina o L-Metionina) permite ajustar esta relación con alta precisión, reduciendo la dependencia de fuentes proteicas de alta inclusión y optimizando la rentabilidad del sistema productivo.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar del experimento

3.1.1. Ubicación política

Las instalaciones de la unidad de aves ubicada en el sector “Leticia”, del Centro Agronómico K’ayra, de la Escuela Profesional de Zootecnia, Facultad de Agronomía y Zootecnia de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco se encuentran en el Distrito de San Jerónimo, Provincia y Región de Cusco.

3.1.2. Ubicación geográfica (Coordenadas UTM)

- Altitud: 3 230 m
- Zona: 19 S
- Hemisferio: Sur
- Este (X): 189 283,45 m
- Norte (Y): 8 499 372,63 m (Google Earth Pro, 2025)

3.1.3. Condición climática

Según (SENAMHI, 2025); la Provincia de Cusco presenta un clima templado, moderadamente lluvioso y con alta amplitud térmica, con las siguientes variables meteorológicas

- Temperatura Máxima Media: 19,6°C
- Temperatura Mínima Media: 4,4°C
- Precipitación Anual: 731,8 mm aproximadamente

- Temporada de Lluvias: Noviembre a abril (siendo enero y febrero los meses más lluviosos).
- Temporada Seca: Mayo a septiembre (caracterizada por cielos despejados y noches con temperaturas cercanas a 0°C o menos en zonas altas).
- Humedad máxima: 75% a 85% (febrero a abril)
- Humedad mínima: 61% a 66% (agosto a septiembre)
- Intensidad de radiación UV: 16 a 17 (entre las 11:00 y las 15:00 horas)
- Periodo de Sol: La época con mayores periodos de luz y cielo despejado ("brillo solar") comprende los meses de abril a octubre; en cambio, de noviembre a marzo, la presencia de nubosidad es mayor, lo que reduce las horas de brillo solar (Menos luz).

Las variables meteorológicas durante el experimento se dieron a lo largo de la temporada seca entre los meses de mayo-agosto, donde los días suelen ser soleados con cielo despejado o con nubes dispersas, especialmente por las mañanas; mientras que las por las noches la temperatura puede llegar a 0°C o menos.

3.1.4. Variables Intervinientes

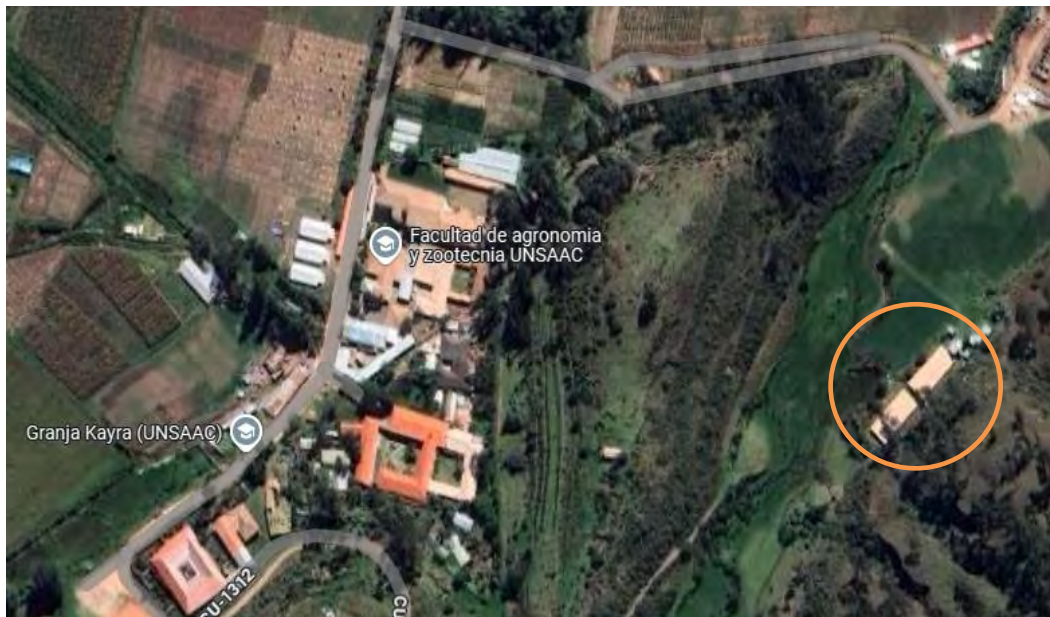
- Temperatura ambiental
- Humedad relativa

3.1.5. Duración de la investigación

La presente investigación tuvo una duración de tres meses, distribuyéndose en dos etapas, la primera etapa pre experimental duró dos meses (15 de mayo a 13 de julio de 2023) que consistió en la preparación del alimento y acondicionamiento del galpón, posterior a esta fase se realizó la etapa experimental con una duración de un mes (14 de julio a 11 de agosto de 2023) que se basó en el suministro de dietas y se evaluaron las variables de estudio.

Figura 1.

Ubicación geográfica de la instalación de la unidad de aves



Nota: Imagen tomada de Google Earth Pro (2025)

3.2. Material experimental

3.2.1. Aves

Para el desarrollo del presente estudio, se emplearon 192 pollos BB machos de un día de edad, pertenecientes a la línea genética SASSO, con un peso promedio inicial de 47 g. Los pollitos fueron adquiridos en la planta incubadora de la empresa GENÉTICA AVÍCOLA E.I.R.L., ubicada en la ciudad de Lima, garantizando así su procedencia y condiciones sanitarias. Previo al inicio del ensayo, cada ave fue pesada de manera individual donde los pollitos fueron distribuidos al azar en los diferentes tratamientos experimentales.

3.2.2. Alimento

El alimento se manufacturó en la Planta de Procesamiento de Alimentos Balanceados de la Escuela Profesional de Zootecnia, empleando una mezcladora horizontal de 500 kg de capacidad. El programa de alimentación comprendió la fase de inicio (1 a 28 días) y la presentación del alimento durante toda la etapa de evaluación fue en harina.

Las dietas experimentales fueron formuladas de acuerdo a las recomendaciones nutricionales para pollos de crecimiento lento propuestas por FEDNA (2 018) para la etapa. Los ingredientes empleados para la preparación de las dietas fueron los que se usan para dietas experimentales en nutrición como el maíz amarillo, torta de soya, aceite de soya, sal, aminoácidos sintéticos (DL-Metionina, L-Treonina y Lisina HCL) y premezclas de vitaminas y minerales.

3.3. Equipos

3.3.1. Equipo de protección personal

- Barbijo
- Cofia
- Mandil
- Guantes quirúrgicos
- Equipo de cirugía menor
- Alcohol de 96°
- Cloruro de sodio al 0.9%
- Papel absorbente estéril

3.3.2. Equipo auxiliar

- Comederos tipo tolva
- Bebederos automáticos tipo pendular
- Balanza digital de precisión 5 000g x 1g (marca UNIVEX)
- Balanza digital de precisión 250g x 0,01g (marca ARMOTEC)
- Termómetro digital (marca DALTECH)
- Campanas criadoras
- Ventiladores Industriales
- Mochila de desinfección
- Arpilleras
- Cinta métrica de 200 cm
- Lanza llamas
- Mameluco

3.3.3. Equipo de oficina

- Laptop
- USB
- Cámara fotográfica
- Fichas de registro

3.4. Instalaciones

El estudio se realizó en un galpón de 240 m² de área total, dentro del cual se acondicionó 40 m² para el desarrollo de los tratamientos experimentales. Se adecuaron 12 boxes de crianza, cada uno con las medidas de 2,0 m de largo x 1,0 m de ancho x 0,60 m de altura. Las divisiones entre los boxes se construyeron con listones de madera y malla galvanizada empotrados en el piso. Cada box contó con un comedero, un bebedero y una cama de cascarilla de arroz de un espesor de 10 cm, en el que se alojaron 16 pollos desde el primer día de crianza. Asimismo, se identificaron los boxes por tratamiento y repetición mediante tarjetas colocadas en cada unidad experimental.

La regulación de la temperatura se efectuó mediante campanas a gas, el manejo de arpilleras de forma manual y el monitoreo de la temperatura mediante termómetros. Al momento de la recepción de los pollitos BB la temperatura promedio fue de 31°C y una humedad relativa aproximada de 60%, estas condiciones se ajustaron progresivamente hasta la última semana de evaluación, ubicando las campanas de forma equidistante para asegurar una distribución uniforme del calor. De igual manera, para regular la humedad, se roció agua y desinfectante utilizando una mochila de fumigación, asegurando un ambiente libre de patógenos.

Durante la fase de evaluación, se proporcionó alimento y agua de forma libre (ad libitum). La renovación diaria del agua, la limpieza de los bebederos, así como la remoción de la cama, fueron parte de la rutina establecida. Además, para gestionar una ventilación adecuada, se utilizaron dos ventiladores estratégicamente ubicados en la entrada y salida del galpón, los cuales se emplearon para controlar la temperatura del ambiente y reducir la concentración de amoníaco.

3.5. Tratamientos y dietas experimentales

Los tratamientos se establecieron en función de variaciones en la relación de aminoácidos azufrados a lisina digestible (Met+Cisd:Lisd) en dietas destinadas a la etapa de inicio (1 a 28 días), formuladas en base al trabajo previo de Medrano (2021) y las recomendaciones nutricionales para pollos de crecimiento lento propuestas por FEDNA (2018). Se tomó como referencia la relación Met+Cisd:Lisd de 73% y fue considerada como el 100%, con un nivel constante de Met+Cisd de 0,80% y un nivel calculado de lisina digestible de 1,09%.

A partir de dicho valor, se generaron dos relaciones adicionales representando el 92% y el 105% de la relación de referencia, lo que permitió establecer tres tratamientos experimentales: 67%; 73% y 77% de Met+Cisd:Lisd, manteniendo constante el contenido de Met+Cisd (0,80%) en todos los tratamientos (Tabla 2). Las dietas correspondientes a cada tratamiento fueron formuladas de manera isocalórica e isoproteica, a fin de garantizar comparabilidad nutricional. Con base en estos tratamientos, se formularon las dietas experimentales utilizadas en el estudio, cuyas composiciones detalladas se describen en la Tabla 3 y 4.

Tabla 2.

Valores de lisina digestible y aminoácidos azufrados por tratamiento

Tratamiento	Relación Met+Cisd:Lisd (%)	Lisina digestible (%)	Met+Cisd (%)
T1	67%	1,19	0,80
T2	73%	1,09	0,80
T3	77%	1,04	0,80

Nota: Elaboración propia

Tabla 3.*Formulación de dietas experimentales para la etapa de inicio (1-28 días)*

Ingredientes (%)	T1-67%	T2-73%	T3-77%
Maíz amarillo duro	55,66	57,28	57,28
Torta de soya	33,00	32,00	32,00
Fosfato dicálcico	2,16	2,18	2,18
Aceite de soya	2,00	2,00	2,00
Harina integral de soya	2,08	1,18	1,46
Afrecho	1,62	1,90	1,72
Carbonato de Calcio	1,10	1,10	1,10
DL-Metionina	0,30	0,32	0,32
Bicarbonato de sodio	0,30	0,28	0,24
Lisina	0,38	0,30	0,22
Sal	0,22	0,22	0,26
Secuestrante de micotoxinas	0,20	0,20	0,20
Antifúngico (Micofung)	0,20	0,20	0,20
Colina 60%	0,20	0,20	0,20
L-Treonina	0,12	0,14	0,14
Valina	0,10	0,12	0,12
Promotor de crecimiento (Zinbax)	0,10	0,10	0,10
Complemento vitamínico (Premix)	0,10	0,10	0,10
Promotor de crecimiento (Gustor)	0,10	0,10	0,10
Coccidiostato (Maduramix)	0,08	0,08	0,08
Fitasa	0,02	0,02	0,02
Total	100,00	100,00	100,00

Nota: Elaboración propia

Tabla 4.*Contenido nutricional de las dietas experimentales*

	Tratamiento	T1 (67%)	T2 (73%)	T3 (77%)
Nutriente	Materia Seca (%)	89,46	89,40	89,41
	Extracto Libre de Nitrógeno (%)	53,27	54,09	54,06
	Proteína (%)	20,00	20,00	20,00
	Cenizas (%)	6,64	6,55	6,56
	Extracto Etéreo (%)	4,78	4,68	4,72
	Fibra Cruda (%)	3,50	3,50	3,50
	Energía Metabolizable (Mcal/kg)	2,90	2,90	2,90
Aminoácidos	Gli-ser (%)	1,85	1,85	1,85
	Fen-tir (%)	1,84	1,80	1,80
	Leucina (%)	1,65	1,62	1,62
	Arginina (%)	1,18	1,13	1,14
	Lisina (%)	1,19	1,09	1,03
	Fenilalanina (%)	0,92	0,89	0,89
	Met-cis (%)	0,80	0,80	0,80
	Isoleucina (%)	0,77	0,75	0,75
	Valina (%)	0,74	0,74	0,74
	Treonina (%)	0,72	0,72	0,72
	Metionina (%)	0,57	0,57	0,57
	Histidina (%)	0,47	0,47	0,47
	Triptófano (%)	0,19	0,18	0,18
Minerales	N+K-Cl (%)	246,9	240,63	241,43
	Calcio (%)	0,93	0,93	0,93
	Potasio (%)	0,93	0,90	0,90
	P.dis (%)	0,55	0,55	0,55
	Cloro (%)	0,25	0,23	0,24
	Sodio (%)	0,18	0,18	0,18

Nota: Elaboración propia

3.6. Evaluaciones

De acuerdo con los objetivos específicos planteados en la presente investigación, se llevaron a cabo evaluaciones zootécnicas, digestivas y económicas que permitieron analizar integralmente el efecto de las variaciones de la relación de aminoácidos azufrados a lisina digestible (Met+Cisd:Lisd) en pollos de crecimiento lento de la línea genética Sasso durante la etapa de inicio (1 a 28 días). Las variables fueron evaluadas siguiendo protocolos estandarizados, y los datos obtenidos fueron registrados para su análisis estadístico posterior.

3.6.1. Parámetros Productivos

- **Peso vivo**

El peso vivo fue registrado de manera semanal, cada 7 días, a una hora fija (8:30 a.m.) y en condiciones estandarizadas de manejo. Las aves fueron sometidas a un periodo de ayuno de 12 horas previas a la evaluación, con el objetivo de minimizar la variabilidad en la medición. Se utilizó una balanza digital de precisión (5 000 g x 1 g). Los datos se registraron individualmente y luego se agruparon por unidad experimental (repetición) para su análisis.

- **Ganancia de peso**

La ganancia de peso se calculó como la diferencia entre el peso final e inicial de cada semana, empleando la siguiente fórmula:

$$\text{Ganancia de peso (g)} = (\text{Peso final (período)}) - (\text{Peso inicial (período)})$$

Este indicador permitió evaluar el ritmo de crecimiento semanal de las aves y comparar la eficiencia de los tratamientos en términos de desarrollo corporal.

- **Consumo de alimento**

El consumo de alimento se determinó mediante la diferencia entre la cantidad de alimento ofrecido y el remanente no consumido, por cada unidad experimental. El valor fue ajustado según el número de aves vivas, y se calculó semanalmente según la fórmula:

$$\text{Consumo de alimento (g)} = \frac{\text{Alimento consumido}}{\text{Número de aves}}$$

- **Conversión alimenticia**

Este parámetro fue determinado como la relación entre el consumo acumulado de alimento y la ganancia acumulada de peso, según la siguiente expresión:

$$\text{Conversión alimenticia} = \frac{\text{Consumo de alimento (período)}}{\text{Ganancia de peso (período)}}$$

Una menor conversión alimenticia indica una mayor eficiencia en el uso del alimento.

- **Rendimiento de carcasa**

Para las evaluaciones del rendimiento de carcasa, se siguieron las recomendaciones de (Vásquez, 2020). Se seleccionaron 5 aves por tratamiento a los 28 días de edad, después se sometieron a un periodo de ayuno de 12 horas, luego los pollos se faenaron realizando una incisión convencional del cuello haciendo un corte en la vena yugular con un desangrado de 2 minutos, para finalmente ser escaldados en un baño de agua caliente a 60°C durante 45 segundos, las plumas se removieron manualmente antes de realizar el eviscerado.

El peso de la carcasa se determinó omitiendo la cabeza, cuello, patas, plumas, sangre y vísceras, luego se pasó a calcular el rendimiento utilizando la siguiente fórmula.

$$\text{Rendimiento de Carcasa (\%)} = \frac{\text{Peso de Carcasa}}{\text{Peso Vivo}} \times 100$$

- **Rendimiento de pechuga**

Para las evaluaciones de rendimiento de pechuga se tomaron las referencias metodológicas descritas por Vásquez (2020) y Dolz y Majó (2011). Se faenaron 5 aves por tratamiento a los 28 días. Posterior al desangrado y escaldado se realizó el desplume manual del ave, removiendo cabeza, patas, plumas, sangre y vísceras. A continuación, se extrajo cuidadosamente la pechuga mediante una incisión con tijera para su respectivo pesaje. El rendimiento de pechuga se obtuvo mediante la relación del peso de pechuga (incluyendo el hueso de la quilla y piel), y el peso de carcasa. como se muestra en la fórmula siguiente.

$$\text{(\%)Rendimiento de Pechuga} = \frac{\text{Peso de Pechuga}}{\text{Peso de Carcasa}} \times 100$$

3.6.2. Desarrollo morfoanatómico del sistema digestivo e inmunológico

Con la finalidad de evaluar el desarrollo digestivo de las aves, se analizaron parámetros anatómicos mediante la extracción y pesaje de órganos internos. Esta evaluación se realizó de forma semanal, sacrificando aleatoriamente cinco aves por tratamiento (n = 15 por semana), seleccionadas de cada repetición. Todas las aves se sometieron a un periodo de ayuno de 12 horas antes del procedimiento, para reducir el contenido gastrointestinal y facilitar la manipulación anatómica.

a) **Protocolo de sacrificio**

El método de sacrificio utilizado fue el descrito por Vásquez (2020) y Dolz y Majó (2011) reconocido por su eficacia y baja invasividad. Las aves fueron sujetadas firmemente por las patas, alas y cabeza, y se procedió a un corte horizontal profundo a nivel del cuello, seccionando la vena yugular y arteria carótida. Esta acción interrumpe el flujo sanguíneo cerebral, provocando una muerte rápida e indolora. Se dejó sangrar durante 2 a 3 minutos, y se confirmó la muerte antes de iniciar la disección.

b) **Procedimiento de disección y extracción de órganos**

- **Colocación del ave:** Luego del sacrificio, el animal fue colocado en posición de decúbito dorsal, con las extremidades extendidas y fijadas.
- **Incisión cutánea:** Con un bisturí estéril, se realizó una incisión longitudinal en la piel, desde la cloaca hasta la base del cuello, procurando no perforar la cavidad abdominal.
- **Acceso a cavidad abdominal:** Se practicó un corte transversal debajo de la quilla del esternón, seguido de dos cortes laterales hasta la base de las costillas, levantando el flap toracoabdominal para exponer completamente la cavidad visceral.
- **Identificación anatómica:** Se localizaron y liberaron cuidadosamente los órganos del sistema digestivo y anexos, asegurando que no se produjeran roturas ni pérdidas de contenido interno.
- **Extracción individual:** Se extrajeron uno por uno los siguientes órganos:
 - ❖ **Digestivos principales:** proventrículo, molleja, intestino delgado, intestino grueso, ciegos y bolsa de Fabricio.
 - ❖ **Anexos digestivos:** páncreas, hígado, bazo.
 - ❖ **Órgano cardiovascular relacionado:** corazón.

- **Preparación previa al pesaje:** Los órganos fueron limpiados con solución fisiológica para remover contenido residual externo (sangre o bilis), sin alteraciones estructurales, y secados con papel absorbente estéril.
- **Pesaje:** El pesaje individual de cada órgano se realizó inmediatamente posterior a la extracción, utilizando una balanza digital de precisión (250 g x 0,01 g).
- **Registro:** Los valores obtenidos se registraron en fichas técnicas individuales, identificando el tratamiento, la repetición y el número de ave, con fines de análisis estadístico posterior.

Este procedimiento permitió obtener información morfofisiológica confiable sobre el desarrollo del aparato digestivo bajo los diferentes niveles de variación de la relación de aminoácidos azufrados a lisina, en correspondencia con el segundo objetivo específico del estudio.

3.6.3. Mérito Económico

Como parte del análisis integral de la eficiencia de los tratamientos evaluados, se consideró el cálculo del mérito económico (M.E.), entendido como un indicador parcial de rentabilidad que refleja la relación entre los ingresos generados y los egresos de mayor importancia. Este análisis está alineado con el tercer objetivo específico del estudio (FAO, 2018).

Para su determinación se tomaron en cuenta los costos variables directos, como el precio del alimento consumido por ave y el costo del pollito BB, así como un componente de costos fijos indirectos, estimado como el 25% del total de los costos variables (incluye gastos operativos como mano de obra, energía, insumos sanitarios, entre otros).

El mérito económico se calculó aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Mérito económico} = \frac{VF - (VI + CA)}{(VI + CA)} \times 100$$

Donde:

- **Valor final (VF):** Precio estimado de venta por pollo.
- **Valor inicial (VI):** Costo del pollito BB.
- **Costo de alimentación (CA):** Precio total del alimento consumido por ave
- **Costos variables = VI + CA**
- **Costos fijos = 25% de los costos variables**
- **Costos totales = Costos variables + Costos fijos**

3.7. Porcentaje de mortalidad

Es la cantidad de aves que murieron en el proceso de crianza expresada como porcentaje se utilizó la siguiente fórmula.

$$\text{Porcentaje de mortalidad (\%)} = \frac{N^{\circ} \text{ de aves muertas}}{N^{\circ} \text{ de aves totales}} \times 100$$

3.8. Diseño estadístico

El diseño experimental empleado en la presente investigación fue un Diseño Completamente al Azar (DCA), considerando tres tratamientos (Variables Independientes) T1: 67%; T2: 73% y T3: 77% de Met+Cisd:Lisd y cuatro repeticiones (Variables Dependientes) por tratamiento, utilizando como unidad experimental a un grupo de 16 aves por repetición.

Este diseño fue elegido por su capacidad de controlar la variabilidad experimental bajo condiciones homogéneas y por su aplicabilidad en ensayos donde los tratamientos se asignan aleatoriamente a las unidades experimentales, sin estratificación previa.

La obtención de resultados de los parámetros productivos y el desarrollo morfoanatómico del sistema digestivo e inmunológico, se realizó mediante el análisis de varianza (ANOVA), con la finalidad de determinar la existencia de diferencias significativas entre tratamientos. Para el análisis estadístico se utilizó la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 5% ($\alpha = 0,05$) y para el respectivo análisis de interacciones se utilizó el siguiente modelo aditivo lineal:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ijk}$$

Donde:

Y_{ij} : Observación en el tratamiento k -ésimo de un Diseño Completo al Azar.

μ : Media general de las observaciones.

T_i : Efecto del i -ésimo tratamiento

e_{ijk} : Error aleatorio.

Para el procesamiento de los datos se empleó el software estadístico “INFOSTAT versión 2 020”.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Parámetros Productivos

4.1.1. Peso Vivo

Los resultados de peso vivo por efecto de la variación de la relación Met+Cis:Lisd, se presentan en la Tabla 5. No se observaron diferencias significativas entre tratamientos durante las tres primeras semanas de edad ($p > 0,05$); sin embargo, en la cuarta semana se evidenció una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$). El tratamiento T2, correspondiente a una relación Met+Cis:Lisd de 73 %, alcanzó el mayor peso vivo ($742,3 \pm 9,2$ g), siendo estadísticamente superior a T1 (67 %) y T3 (77 %) que registraron $710,2 \pm 4,1$ g y $721,1 \pm 6,4$ g, respectivamente. Este comportamiento se justifica principalmente por tres factores interrelacionados: la adecuación del perfil de aminoácidos, la eficiencia en la síntesis proteica y la fisiología digestiva de las aves en etapas tempranas.

Tabla 5.

Peso vivo promedio semanal por tratamiento de los pollos de la línea SASSO (g)

Tratamiento	Semana				
	Inicio	1. ^a	2. ^a	3. ^a	4. ^a
T2	47,6 \pm 0,5 a	119,8 \pm 1,3 a	249,3 \pm 2,2 a	464,8 \pm 10,0 a	742,3 \pm 9,2 a
T3	47,7 \pm 0,7 a	118,2 \pm 2,1 a	245,1 \pm 2,9 a	458,9 \pm 7,6 a	721,1 \pm 6,4 b
T1	47,6 \pm 0,8 a	117,2 \pm 1,9 a	244,9 \pm 5,1 a	454,2 \pm 10,8 a	710,2 \pm 4,1 b
C.V. (%)	1,740	1,750	1,700	2,410	1,110

Nota: Elaboración propia.

Letras distintas indican diferencia significativa.

T1: 67% Met+Cis:Lisd, T2: 73% Met+Cis:Lisd, T3: 77% Met+Cis:Lisd.

Estos resultados evidencian que el equilibrio entre los aminoácidos azufrados (metionina + cistina) y la lisina es crucial para una síntesis proteica eficiente, particularmente durante la fase inicial de crecimiento. Una relación adecuada de Met+Cisd:Lisd optimiza la utilización del nitrógeno dietario y previene tanto deficiencias como excesos, los cuales podrían alterar negativamente el metabolismo y el rendimiento productivo de las aves (Klasing, 2005).

En este contexto, una relación Met+Cisd:Lisd del 73 % parece haber proporcionado un equilibrio adecuado para satisfacer las demandas fisiológicas de los pollos de la línea Sasso, favoreciendo una mayor deposición de tejido magro sin inducir desequilibrios nutricionales. En contraste, una proporción inferior (67 %, T1) pudo haber limitado la eficiencia en la síntesis proteica debido a una insuficiencia relativa de metionina en relación con la lisina disponible. Por otro lado, una proporción superior (77 %, T3) probablemente generó un exceso de aminoácidos azufrados en relación con la lisina, lo que podría haber reducido la eficiencia en la utilización del nitrógeno y aumentado su excreción, afectando negativamente el crecimiento (Baker & Han, 1994).

Por otro lado, la ausencia de diferencias significativas entre tratamientos durante las tres primeras semanas de edad puede explicarse por el hecho de que, en etapas tempranas, las demandas nutricionales de las aves son relativamente bajas en términos absolutos, y el ritmo de crecimiento aún es limitado. Sin embargo, a medida que las aves se aproximan al primer mes de vida, el crecimiento corporal se acelera de forma considerable, lo que incrementa la sensibilidad del desempeño productivo al perfil de aminoácidos de la dieta. En este punto, un balance adecuado de nutrientes se vuelve crucial para sostener una óptima ganancia de peso (De Castro *et al.*, 2011).

En conjunto, los resultados obtenidos en este estudio se alinean con los fundamentos del concepto de proteína ideal, el cual plantea la necesidad de mantener un perfil balanceado de aminoácidos en proporción a la lisina, utilizada como aminoácido de referencia. Este enfoque permite optimizar el rendimiento productivo de las aves, al tiempo que reduce la carga metabólica y la excreción de nitrógeno, contribuyendo así a una producción avícola más eficiente y ambientalmente sostenible (Vieira *et al.*, 2004).

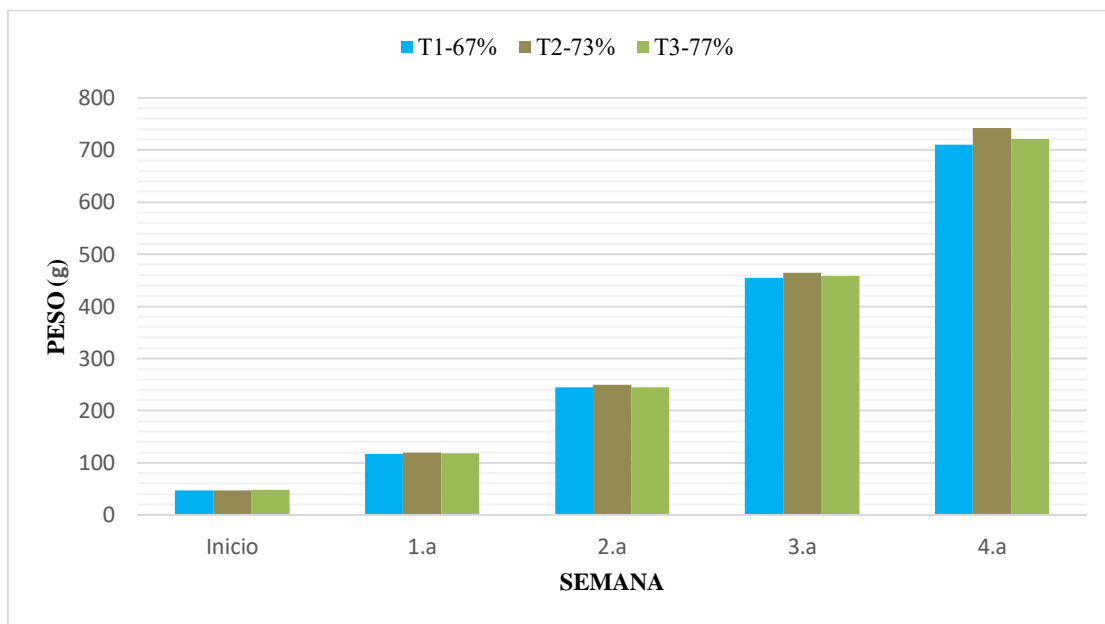
Los resultados obtenidos en el presente estudio coinciden con lo reportado por Medrano (2021), quien, en una investigación con pollos Cobb 500, determinó que una relación de Met+Cis:Lis del 71 % optimizó el peso vivo a los 21 días de edad, lo que respalda la eficacia de relaciones intermedias, en el rango de 71 a 75 %, para maximizar el crecimiento durante la etapa de inicio. De manera similar, Dozier y Mercier (2013) identificaron que la relación óptima de aminoácidos azufrados respecto a la lisina en pollos de engorde jóvenes se sitúa alrededor del 74 % en esta fase. Asimismo, Emmert y Baker (1997) destacaron que una proporción adecuada entre estos aminoácidos influye directamente en el rendimiento de la pechuga, al favorecer la síntesis proteica y la deposición eficiente de tejido magro.

En contraste, los presentes resultados difieren de los reportados por Sarsour y Percia (2021), quienes registraron un peso vivo de $103,0 \pm 0,53$ g a los cinco días de edad en pollitos de engorde alimentados con dietas que contenían 1,25 % de lisina y aminoácidos azufrados. En su estudio, los pollitos alcanzaron un peso de 260 g a los once días cuando se suministró 0,77 % de aminoácidos azufrados en la dieta, lo que sugiere una respuesta variable según la concentración y el momento de suministro. Por otro lado, los resultados obtenidos en esta investigación coinciden con lo señalado por Usman *et al.* (2020), quienes encontraron que la inclusión de una proteína estándar con un 85 % de aminoácidos azufrados totales tuvo un efecto significativo ($p < 0,05$) sobre el peso corporal durante la fase inicial.

Sin embargo, difieren de lo observado por Vieira *et al.* (2004), quienes indicaron que una proporción del 77 % de Met+Cis:Lis en la dieta no generó mejoras en el rendimiento productivo, lo cual fue atribuido al nivel de proteína presente en la ración, que pudo haber limitado la expresión del potencial productivo de las aves.

Figura 2.

Peso vivo semanal por tratamiento (g)



La Figura 2, muestra la evolución del peso vivo (g) en pollos de crecimiento lento de la línea genética Sasso, alimentados durante 28 días con tres dietas formuladas con diferentes relaciones de aminoácidos azufrados respecto a la lisina T1 (67 %); T2 (73 %) y T3 (77 %).

Durante las tres primeras semanas de evaluación, los pesos vivos entre tratamientos no mostraron diferencias significativas, manteniendo trayectorias de crecimiento similares. Esto sugiere que, en las fases iniciales, las variaciones en los niveles de lisina y aminoácidos azufrados no influyeron de manera determinante en el desarrollo corporal. Sin embargo, en la cuarta semana se evidenció una diferencia significativa en el tratamiento T2 (73 %), el cual alcanzó el mayor peso vivo promedio, superando estadísticamente a T1 (67 %) y a T3 (77 %), de acuerdo con el análisis de varianza ($p < 0.05$).

Este resultado sugiere que una relación equilibrada de 73 % de Met+Cis respecto a lisina favorece una utilización más eficiente de los aminoácidos esenciales, optimizando la síntesis proteica y promoviendo un mayor desarrollo de masa muscular, en comparación con proporciones menos balanceadas. En este contexto, niveles más elevados de lisina, como en el tratamiento T1 (1,19%), podrían generar un exceso relativo que no se traduce en mayor deposición proteica, mientras que niveles más bajos, como en T3 (1,04%), podrían limitar el crecimiento debido a una deficiencia relativa frente al nivel constante de aminoácidos azufrados.

En conclusión, el gráfico evidencia que la dieta formulada con una relación de 73 % de Met+Cisd respecto a Lisd (T2) resultó ser la más adecuada para estimular el crecimiento de pollos de la línea Sasso durante la etapa de inicio, bajo condiciones de altitud. Esta proporción promovió una respuesta productiva significativamente superior en comparación con los demás tratamientos, lo que sugiere que un equilibrio intermedio de aminoácidos azufrados y lisina optimiza el desempeño en sistemas de crianza en altura.

4.1.2. Ganancia de Peso

La ganancia de peso (GP) fue evaluada semanalmente durante los 28 días de crianza, obteniéndose los valores promedio por tratamiento en cada semana. Según los resultados presentados en la Tabla 6, no se detectaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos durante las cuatro semanas de evaluación ($p > 0,05$). No obstante, se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en la ganancia de peso total, destacando el tratamiento T2 con una relación Met+Cisd:Lisd del 73 %, el cual alcanzó la mayor ganancia de peso acumulada ($694,6 \pm 9,5$ g), en comparación con T1 ($662,5 \pm 3,7$ g) y T3 ($673,4 \pm 6,1$ g).

Tabla 6.

Ganancia de peso promedio semanal por tratamiento de los pollos de la línea SASSO (g).

Tratamiento	Semana				Total
	1. ^a	2. ^a	3. ^a	4. ^a	
T2	72,2 ± 1,1 a	129,5 ± 0,9 a	215,4 ± 7,9 a	277,5 ± 12,4 a	694,6 ± 9,5 a
T3	68,5 ± 1,7 a	128,9 ± 2,3 a	213,9 ± 6,4 a	262,1 ± 4,3 a	673,4 ± 6,1 b
T1	69,6 ± 2,6 a	127,7 ± 4,1 a	209,2 ± 11,0 a	256,0 ± 14,1 a	662,5 ± 3,7 b
C.V. (%)	3,120	2,480	4,700	4,850	1,170

Nota: Elaboración propia.

Letras distintas indican diferencia significativa.

T1: 67% Met+Cis:Lisd, T2: 73% Met+Cis:Lisd, T3: 77% Met+Cis:Lisd.

Estos resultados sugieren que una relación balanceada del 73 % de aminoácidos azufrados respecto a la lisina favorece una mayor eficiencia en la utilización de los nutrientes para la deposición de proteína corporal, lo que se refleja en una mayor tasa de crecimiento durante la fase de inicio en pollos de crecimiento lento. Esta proporción permitió mantener constante el nivel de Met+Cisid (0,80 %) y ajustar la concentración de Lisd a 1,09 %, logrando un equilibrio que optimiza la síntesis proteica sin generar excesos ni deficiencias.

Este comportamiento concuerda con los principios del concepto de proteína ideal, el cual establece que los aminoácidos deben ser suministrados en proporciones específicas respecto a la lisina, para maximizar la eficiencia productiva y minimizar el impacto metabólico (Baker & Han, 1994; González, 2006).

Estos hallazgos son concordantes con lo reportado por Medrano (2021), quien evaluó distintas relaciones de Met+Cisid:Lisd en pollos de la línea Cobb 500 durante la fase de inicio, observando que una proporción del 71 % mejoraba numéricamente la ganancia de peso, aunque sin alcanzar diferencias estadísticamente significativas. La coincidencia de estos resultados, a pesar de las diferencias en el tipo genético, sugiere la existencia de una zona óptima de balance

proteico en el rango del 70 a 75 %, en la cual se maximiza la retención de nitrógeno y la eficiencia del crecimiento. Este intervalo parece ser funcionalmente efectivo para favorecer el desarrollo en diversas líneas genéticas bajo condiciones de manejo similares.

Asimismo, García y Batal (2005) concluyeron que mantener proporciones óptimas entre los aminoácidos esenciales especialmente entre los azufrados y la lisina mejora significativamente el desempeño productivo de los pollos durante las primeras semanas de vida. Esto se debe a que dichos nutrientes desempeñan un papel fundamental en el crecimiento muscular y la formación de tejidos corporales. Este principio cobra particular relevancia en aves con un potencial genético diferenciado, como la línea Sasso, en las cuales un perfil de aminoácidos balanceado resulta clave para expresar su capacidad productiva bajo condiciones específicas de crianza.

Desde la perspectiva del concepto de proteína ideal, propuesto por Baker y Han (1994), cualquier exceso o deficiencia relativa de aminoácidos en relación con la lisina puede afectar negativamente el crecimiento de las aves.

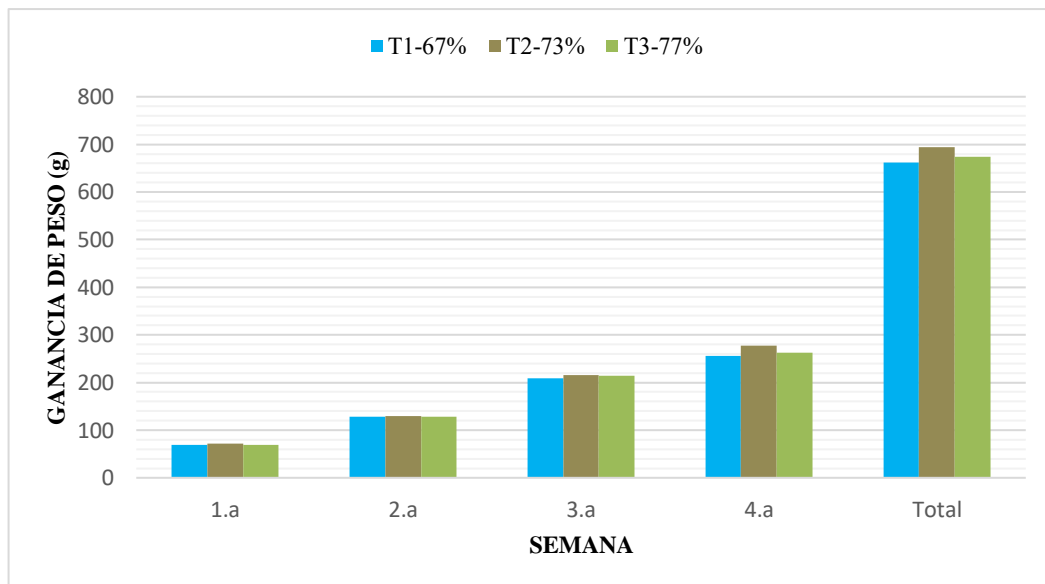
En el caso del tratamiento T1 (67%), la alta concentración de Lisd (1,19%) en combinación con un nivel constante de Met+Cisd (0,80%) generó una desproporción que probablemente limitó la eficiencia en la síntesis proteica, al no existir un equilibrio adecuado entre estos aminoácidos. Por su parte, en el tratamiento T3 (77%), el nivel más bajo de lisina (1,04%) no habría sido suficiente para cubrir los requerimientos necesarios para maximizar el desarrollo corporal, a pesar de mantener constante el nivel de Met+Cisd, lo cual se refleja en un rendimiento intermedio. Estos resultados refuerzan la importancia de mantener proporciones balanceadas para optimizar la utilización de los nutrientes y promover un crecimiento eficiente.

Estos resultados también son respaldados por Dozier y Mercier (2013), quienes señalaron que, en pollos de engorde, las relaciones digeribles de aminoácidos azufrados a lisina en el rango de 72 % a 74 % resultan óptimas para mejorar tanto la ganancia diaria de peso como la eficiencia en la conversión alimenticia durante la fase de inicio.

Finalmente, es importante destacar que las recomendaciones de los manuales técnicos, como los de FEDNA (2018) y Rostagno *et al.* (2017), se fundamentan principalmente en investigaciones realizadas con líneas genéticas comerciales de crecimiento rápido. Por tanto, su aplicación directa a líneas rústicas como la Sasso debe considerarse con precaución. En este sentido, el presente estudio aporta información empírica específica para esta línea genética, generando evidencia útil para contextos de producción alternativa y sistemas avícolas rurales, donde las condiciones de manejo, nutrición y objetivos productivos difieren sustancialmente de los sistemas industriales convencionales.

Figura 3.

Ganancia de peso semanal por tratamiento (g).



La Figura 3, muestra que las diferencias entre tratamientos fueron mínimas durante las cuatro semanas de evaluación, lo cual coincide con los resultados del análisis de varianza (ANOVA), que no evidenció diferencias significativas ($p > 0,05$).

Esta similitud en las fases iniciales del crecimiento sugiere que las aves presentan una cierta flexibilidad metabólica que les permite adaptarse a variaciones en el perfil de aminoácidos sin afectar de manera apreciable su desempeño productivo en esta etapa temprana.

No obstante, se observa una diferencia pronunciada en la ganancia de peso acumulada, donde el tratamiento T2 (73%) alcanzó el mayor peso, superando significativamente a T1 y T3. Este resultado respalda la hipótesis de que una relación equilibrada de metionina + cistina respecto a lisina favorece una mayor eficiencia en la síntesis y deposición de proteína corporal, especialmente en aves de crecimiento lento, como la línea genética Sasso.

4.1.3. Consumo de Alimento

Los resultados obtenidos en el presente estudio, presentados en la Tabla 7, indican que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) en el consumo de alimento entre los tratamientos evaluados (T1: 67%, T2: 73% y T3: 77% de la relación de aminoácidos azufrados a lisina) a lo largo de los 28 días del periodo experimental. Este comportamiento fue consistente en cada una de las semanas de evaluación, lo que evidencia una ingesta voluntaria uniforme entre las aves de los diferentes grupos experimentales.

Tabla 7.*Consumo de alimento promedio semanal por tratamiento de los pollos de la línea SASSO (g)*

Tratamiento	Semana				Total
	1. ^a	2. ^a	3. ^a	4. ^a	
T1	86,2 ± 1,2 a	197,1 ± 1,1 a	394,0 ± 7,3 a	579,2 ± 4,9 a	1256,5 ± 6,2 a
T3	86,8 ± 0,9 a	199,2 ± 2,3 a	394,3 ± 11,5 a	586,9 ± 13,5 a	1267,2 ± 18,5 a
T2	88,1 ± 0,2 a	201,1 ± 3,1 a	398,2 ± 18,4 a	587,4 ± 15,6 a	1274,7 ± 28,7 a
C.V. (%)	1,200	1,350	3,860	2,220	1,830

Nota: Elaboración propia.**Letras distintas indican diferencia significativa.****T1: 67% Met+Cis:Lisd, T2: 73% Met+Cis:Lisd, T3: 77% Met+Cis:Lisd.**

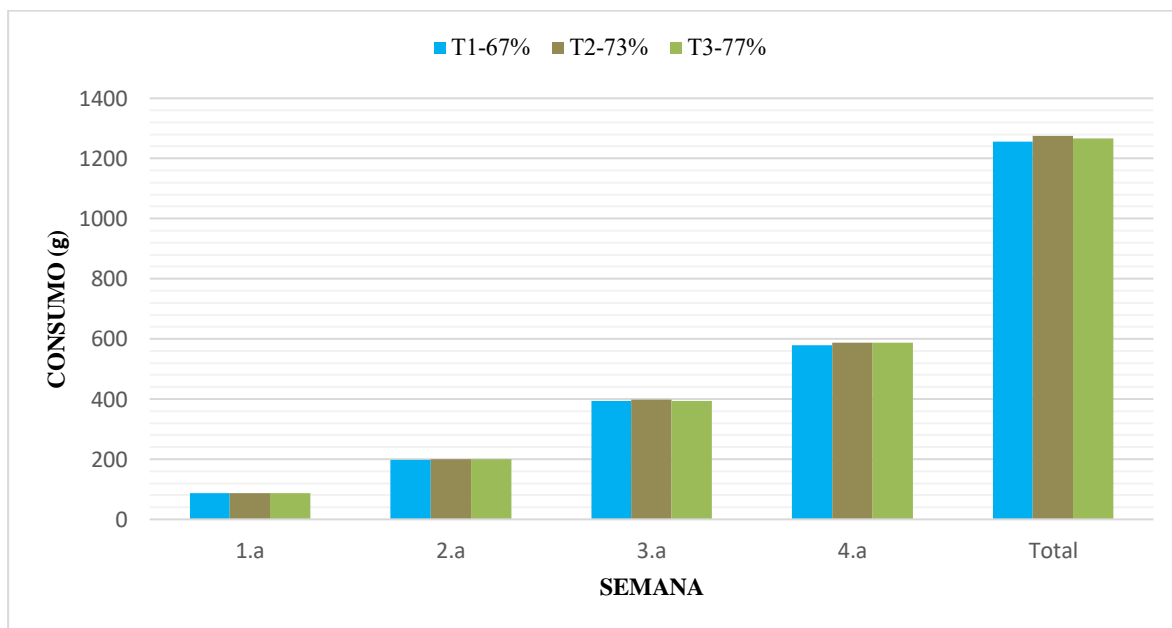
Esta ausencia de diferencias estadísticas sugiere que la relación entre aminoácidos azufrados y lisina digestible no influye de manera directa sobre el consumo voluntario cuando las dietas son isocalóricas e isoproteicas, como fue el caso en este estudio. Esto es coherente con lo señalado por González Esquerri y Leeson (2005), quienes establecieron que el consumo en aves está regulado principalmente por la densidad energética, el entorno térmico y la palatabilidad general del alimento, más que por variaciones específicas en aminoácidos, siempre y cuando estos no estén en niveles deficientes o tóxicos.

Asimismo, estudios previos como el de Barbosa *et al.* (2001), realizado con pollos de engorde en crecimiento, demostraron que la modificación de niveles de lisina y metionina + cistina digestible no afecta significativamente la ingesta de alimento, aunque sí puede modificar el aprovechamiento de los nutrientes, lo cual se refleja en parámetros como la ganancia de peso y la conversión alimenticia.

En el presente estudio, las dietas fueron formuladas siguiendo las recomendaciones de FEDNA (2018) para aves de crecimiento lento, asegurando que todos los tratamientos cumplieran con los requerimientos mínimos de nutrientes esenciales. Asimismo, se mantuvieron niveles energéticos constantes y contenidos proteicos adecuados, específicos para este tipo de línea genética. Esta formulación nutricional equilibrada permitió que el consumo de alimento estuviera principalmente regulado por las necesidades energéticas de las aves, y no por estímulos derivados de deficiencias nutricionales, lo que evidencia una respuesta fisiológica acorde al diseño experimental.

Figura 4.

Consumo de alimento semanal por tratamiento (g)



La Figura 4, muestra que el consumo de alimento no se vio influenciado significativamente por variaciones moderadas en el perfil de aminoácidos esenciales, siempre que se cumplieran los niveles mínimos nutricionales establecidos en la dieta. Desde una perspectiva zootécnica, este hallazgo resulta favorable, ya que permite mantener un control sobre los costos de alimentación sin afectar la ingesta voluntaria, lo que a su vez facilita la planificación económica en sistemas productivos.

En este contexto, el tratamiento T2 (73%) destacó por presentar una mayor eficiencia alimenticia sin requerir un mayor volumen de consumo, en concordancia con los principios del concepto de proteína ideal, que enfatiza la importancia del equilibrio entre aminoácidos esenciales para optimizar la utilización del alimento, más allá del incremento en su cantidad (Baker & Han, 1994; Rostagno *et al.*, 2017).

Este hallazgo coincide con lo observado por (Nieto, 2024) en la Universidad Nacional de Salamanca, quienes evaluaron la inclusión de harina de insecto como fuente proteica alternativa en pollos de crecimiento lento, sin encontrar diferencias en el consumo de alimento entre tratamientos. Por otro lado, en condiciones de altura como las del presente estudio, la presión de oxígeno reducida puede generar cierto estrés fisiológico que impacta sobre el metabolismo basal, como señalan (Wideman, 2007). Sin embargo, en este caso, la crianza en galpón cerrado con manejo térmico y nutricional controlado favoreció una ingesta regular, evitando la depresión del consumo común en sistemas no tecnificados a gran altitud.

4.1.4. Conversión alimenticia

En la Tabla 8, se presentan los resultados de conversión alimenticia en pollos de la línea genética Sasso durante la etapa de inicio. Durante las primeras tres semanas de evaluación no se identificaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ($p > 0,05$), lo que indica una respuesta homogénea en términos de eficiencia alimenticia en fases tempranas. No obstante, en la cuarta semana se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$), destacando el tratamiento T2 (relación Met+Cisd:Lisd de 73%) por presentar la mejor conversión alimenticia, en comparación con T1 (67%) y T3 (77%), lo cual sugiere una mayor eficiencia en la utilización del alimento cuando se emplea un perfil balanceado de aminoácidos azufrados respecto a la lisina.

Estos resultados indican que una relación de 73% de aminoácidos azufrados respecto a la lisina digestible favoreció una mayor eficiencia en la utilización del alimento, optimizando el aprovechamiento proteico y contribuyendo a una menor excreción de nitrógeno. Este hallazgo es coherente con el modelo de proteína ideal propuesto por Baker y Han (1994), el cual postula que los aminoácidos esenciales deben mantenerse en proporciones precisas en relación con la lisina, a fin de maximizar la eficiencia biológica y minimizar las pérdidas asociadas a desequilibrios nutricionales.

Tabla 8.

Conversión alimenticia promedio semanal por tratamiento de los pollos de la línea SASSO

Tratamiento	Semana			
	1. ^a	2. ^a	3. ^a	4. ^a
T2	1,22 ± 0,02 a	1,43 ± 0,01 a	1,65 ± 0,03 a	1,84 ± 0,03 b
T3	1,27 ± 0,02 a	1,45 ± 0,03 a	1,66 ± 0,04 a	1,88 ± 0,02 ab
T1	1,24 ± 0,03 a	1,44 ± 0,03 a	1,67 ± 0,03 a	1,90 ± 0,01 a
C.V. (%)	2,270	2,050	2,110	1,310

Nota: Elaboración propia.

Letras distintas indican diferencia significativa.

T1: 67% Met+Cis:Lisd, T2: 73% Met+Cis:Lisd, T3: 77% Met+Cis:Lisd.

La conversión alimenticia (CA) es uno de los indicadores más relevantes en la producción avícola, ya que expresa la eficiencia con la que los nutrientes ingeridos son transformados en biomasa comercializable, principalmente carne. En el presente estudio, se evidenció que el tratamiento T2 (73% Met+Cis:Lisd) presentó una conversión alimenticia acumulada significativamente mejor (1,84 : 1) respecto al T1 (1,90 : 1) y T3 (1,88 : 1), lo cual refleja una mayor eficiencia metabólica en la utilización del alimento. Esta mejora sugiere un balance óptimo entre lisina y aminoácidos azufrados, promoviendo una síntesis proteica más eficiente y reduciendo los costos de producción por unidad de ganancia de peso.

A pesar de que el consumo de alimento fue estadísticamente similar entre tratamientos, la diferencia en CA evidencia que la eficiencia del uso proteico y energético fue modulada por el perfil de aminoácidos esenciales, particularmente por la relación entre metionina + cistina y lisina. Esta respuesta confirma lo descrito por Baker y Han (1994) en su modelo de proteína ideal, que postula que el aprovechamiento óptimo de la proteína dietaria solo se logra cuando todos los aminoácidos esenciales están presentes en proporciones correctas respecto a la lisina.

En esta línea, el mejor resultado del tratamiento T2 puede deberse a que la relación Met+Cis:Lis del 73% coincide con el valor propuesto por Rostagno *et al.* (2017) para dietas de pollos en fase de inicio, lo cual reduce las pérdidas por catabolismo de aminoácidos y minimiza la excreción de nitrógeno, mejorando la eficiencia y sostenibilidad del sistema productivo.

Por otro lado, el tratamiento T1 (67%), aunque contaba con un nivel mayor de lisina digestible (1,19%), mostró una conversión alimenticia menos eficiente. Esto podría explicarse por un desbalance en la proporción de aminoácidos, lo que genera un aprovechamiento subóptimo y un posible aumento de los procesos de desaminación y excreción de compuestos nitrogenados, tal como lo reportan González (2006), Sakomura *et al.* (2015).

De igual manera, el tratamiento T3 (77%), caracterizado por un menor contenido de lisina digestible (1,04%), no logró mejorar la conversión alimenticia. Este resultado respalda el concepto de que un exceso relativo de un aminoácido esencial, aunque no sea tóxico, no se traduce en una mayor eficiencia productiva si existe una deficiencia de otro aminoácido limitante.

En este caso, la lisina, reconocida como el primer aminoácido limitante en aves (Emmert & Baker, 1997), se encontró en niveles insuficientes para sostener una síntesis proteica óptima, lo que posiblemente condicionó el rendimiento del tratamiento T3, a pesar del aporte constante de Met+Cis.

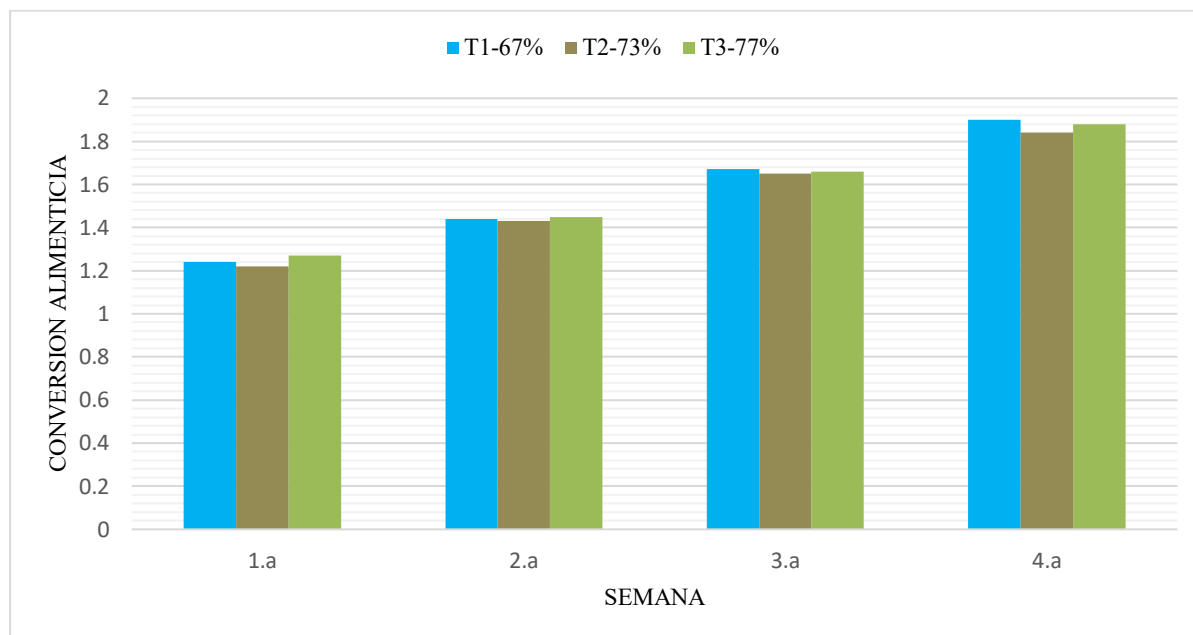
Los resultados obtenidos son similares a los reportados por Dozier y Mercier (2013), quienes concluyeron que relaciones de aminoácidos azufrados a lisina digestible entre 72% y 74% favorecen una mejor eficiencia alimenticia en broilers. A ello se suma lo reportado por González (2006), quien enfatiza que un desbalance entre lisina y metionina reduce la eficiencia de uso proteico y deteriora la conversión alimenticia, incluso sin afectar el consumo.

Del mismo modo, estudios recientes como el de Medrano (2021) y Loayza y Torres (2021) también demostraron que relaciones alrededor del 73% entre aminoácidos azufrados y lisina digestible optimizan la conversión alimenticia sin necesidad de incrementar el consumo. Esto respalda la validez del presente resultado y sugiere que este perfil puede ser recomendado para la formulación de dietas para aves de crecimiento lento en condiciones andinas.

Cabe destacar que esta diferencia de eficiencia cobra especial importancia en las condiciones de altura (3 230 msnm) donde fue desarrollado el estudio. En este tipo de ambiente, la presión de oxígeno reducida puede afectar el metabolismo energético, la termorregulación y la actividad digestiva, condiciones que exigen una formulación nutricional más precisa (Wideman, 2007). La mejora observada en T2 sugiere que un perfil adecuado de aminoácidos permite compensar las limitaciones metabólicas asociadas a la altitud, favoreciendo la deposición proteica y la eficiencia alimenticia.

Figura 5.

Conversión alimenticia semanal por tratamiento.



La Figura 5, muestra la evolución de la conversión alimenticia en pollos de la línea genética Sasso durante las cuatro semanas de evaluación. Se puede observar una tendencia ascendente conforme avanza la edad de las aves, independientemente de la variación en los niveles de la relación Met+Cisd:Lisd. Este patrón es consistente con el desarrollo fisiológico de los pollos, en el que el aumento del peso corporal conlleva un incremento en los requerimientos de mantenimiento, lo cual puede reducir la eficiencia de conversión a medida que avanza el tiempo.

En el tratamiento T1, los pollos presentaron una conversión alimenticia inicial de (1,24: 1) durante la primera semana. Esta eficiencia mostró un patrón de fluctuación a lo largo del periodo experimental, con valores de (1,44: 1) y (1,67: 1) en las semanas 2 y 3, respectivamente, lo que podría traducirse en ajustes metabólicos transitorios o una mayor demanda energética asociada al crecimiento. Finalmente, en la cuarta semana, la conversión alimenticia se incrementó hasta (1,90: 1), reflejando una disminución en la eficiencia de utilización del alimento.

Este comportamiento sugiere que una relación subóptima de Met+Cis:Lis, como la del T1 (67%), podría no satisfacer los requerimientos mínimos de metionina digestible, limitando la síntesis proteica y, por ende, el crecimiento eficiente en etapas avanzadas.

En el tratamiento T2, los pollos iniciaron con la conversión alimenticia más eficiente en comparación al resto de tratamientos, registrando un valor de (1,22: 1) en la primera semana, manteniendo esta tendencia de eficiencia de manera consistente durante las semanas 2; 3 y 4, con valores de (1,43: 1), (1,65: 1) y (1,84: 1), respectivamente. Estos resultados evidencian una elevada capacidad de transformación del alimento en tejido corporal durante las etapas tempranas de crecimiento, destacándose como el tratamiento con los valores de conversión alimenticia más bajos a lo largo del periodo evaluado.

Estos resultados indican que una relación de 73 % de Met+Cis respecto a lisina digestible proporciona un perfil de aminoácidos más cercano al modelo de proteína ideal, optimizando el aprovechamiento del nitrógeno dietario, disminuyendo el catabolismo de aminoácidos excedentes y favoreciendo una mayor eficiencia en la deposición de tejido corporal.

En contraste, los pollos del tratamiento T3. Aunque comenzaron con una conversión alimenticia menos eficaz en la semana 1, con un valor inicial de (1,27: 1), mostraron una fase intermedia de mayor eficiencia a lo largo del periodo experimental, con valores de (1,45: 1) en la semana 2; (1,66: 1) en la semana 3 y un máximo de (1,88: 1) en la semana 4. Esta evolución sugiere que una relación elevada de Met+Cis:Lis (77%) podría haber generado un desbalance nutricional, en el cual el exceso de aminoácidos azufrados, sin un nivel adecuado de lisina digestible, condujo a una utilización subóptima de la proteína dietaria.

Este desajuste promueve el catabolismo de aminoácidos no utilizados y una mayor excreción de nitrógeno, lo cual no solo reduce la eficiencia biológica, sino que también representa un riesgo potencial de impacto ambiental debido al aumento de compuestos nitrogenados en las excretas.

En resumen, los resultados obtenidos confirman que la relación de aminoácidos azufrados respecto a la lisina influye de manera directa en la eficiencia alimenticia de los pollos de crecimiento lento. En particular, la relación Met+Cis:Lis del 73 % permitió una utilización más eficiente de los nutrientes dietarios, lo que se atribuye a su mayor alineación con el concepto de proteína ideal. Esta proporción adecuada favorece un equilibrio entre los aminoácidos esenciales, evita acumulaciones de compuestos no utilizados y mejora el balance nitrogenado, optimizando la conversión del alimento en tejido corporal y reduciendo las pérdidas metabólicas.

4.1.5. Rendimiento de carcasa

El rendimiento de carcasa constituye un parámetro fundamental en la producción avícola, ya que refleja la proporción del cuerpo del ave que es comercialmente aprovechable. Este indicador puede verse influenciado por diversos factores, entre los que destacan el nivel proteico y energético de la dieta, la edad al sacrificio, la línea genética y, particularmente, el perfil de aminoácidos esenciales. Cuando la dieta es formulada bajo el enfoque del concepto de proteína ideal ajustando la proporción de Met+Cis:Lis se optimiza la eficiencia en la síntesis proteica, lo que favorece una mayor deposición de tejido magro y minimiza la acumulación de grasa o tejido conectivo innecesario (Rostagno *et al.*, 2017; Leeson & Summers, 2005).

En la Tabla 9, se presentan los valores promedio de peso vivo, peso de carcasa y rendimiento de carcasa, obtenidos para cada tratamiento. Los resultados muestran que no hubo diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los tratamientos T1, T2 y T3; sin embargo, se evidenció una tendencia de mayor rendimiento de carcasa en el tratamiento T2 (73 %) donde alcanzó el valor más alto (65,75 %) en comparación con T1 (64,81 %) y T3 (65,04 %).

Tabla 9.

Rendimiento de carcasa de los pollos de la línea SASSO a los 28 días.

Tratamiento	Peso vivo (g)	Peso carcasa (g)	Rendimiento de carcasa (%)
T2	783,00 ± 24,2 a	514,80 ± 16,5 a	65,75 ± 0,2 a
T3	779,20 ± 21,8 a	506,80 ± 16,2 a	65,04 ± 0,4 a
T1	772,60 ± 20,7 a	500,60 ± 14,8 a	64,81 ± 0,5 a
C.V. (%)	3,610	3,490	0,860

Nota: Elaboración propia.

Letras distintas indican diferencia significativa.

T1: 67% Met+Cis:Lisd, T2: 73% Met+Cis:Lisd, T3: 77% Met+Cis:Lisd.

Esta tendencia indica que, aunque el peso final y el rendimiento de carcasa de las aves no variaron significativamente, la eficiencia con la que se convierte el peso vivo en peso útil de canal fue superior en las aves alimentadas con la relación intermedia de Met+Cis:Lisd. Este resultado respalda la hipótesis de que un perfil aminoacídico balanceado no solo influye en la ganancia de peso, sino que también favorece la proporción de tejido magro respecto a componentes no comestibles.

Este resultado es consistente con lo señalado por Medrano (2021), quien reportó que no encontró diferencias significativas en el rendimiento de carcasa en pollos Cobb 500 alimentados con relaciones intermedias de Met+Cis:Lisd (71 a 75 %).

No obstante, en este estudio, la relación de 73 % parece haber proporcionado el nivel suficiente para maximizar la utilización de los aminoácidos, facilitando una mayor conversión del peso vivo en tejido útil de canal. Loayza y Torres (2021), observaron este mismo patrón en líneas de crecimiento lento como Sasso, donde la rusticidad y el metabolismo lento pueden amplificar los efectos de una dieta formulada bajo el concepto de proteína ideal. Por su parte, Vásquez (2020), concluyó que relaciones óptimas de Met+Cisd:Lisd mejoran el rendimiento de canal al favorecer el desarrollo de músculo y limitar la acumulación de tejido adiposo innecesario, lo cual es especialmente importante en aves de crecimiento diferenciado, donde el ritmo de deposición muscular es más pausado y sensible a la formulación nutricional.

Por otro lado, la menor eficiencia observada en T1 (67 %) se justifica porque un exceso de lisina, sin un ajuste proporcional del resto de aminoácidos, no necesariamente se traduce en una mayor deposición de tejido útil y puede inducir un gasto energético adicional para la desaminación y excreción de nitrógeno. A su vez, el rendimiento intermedio en T3 (77 %) puede atribuirse a que una proporción insuficiente de lisina, limita la síntesis de proteína muscular, obligando al ave a destinar parte del excedente energético a la formación de grasa, lo que reduce la proporción de músculo magro en la canal (Baker & Han, 1994).

En resumen, aunque no se observaron diferencias significativas, la tendencia observada indica que una relación Met+Cisd:Lisd del 73 % permite alcanzar un equilibrio nutricional que optimiza la deposición de tejido corporal útil para canal, en concordancia con los principios del concepto de proteína ideal. Esta proporción favorece un desempeño zootécnico superior y contribuye a una mayor eficiencia económica en el sistema de producción avícola.

4.1.6. Rendimiento de pechuga

El músculo pectoral es considerado el principal depósito proteico en pollos de carne y representa una fracción significativa del rendimiento comercial de la canal. El desarrollo de la pechuga depende no solo de factores genéticos, sino también de la calidad de la dieta, en especial del balance preciso entre aminoácidos esenciales, siendo la lisina y la metionina+cistina una de las relaciones más críticas para lograr un óptimo crecimiento muscular (Rostagno *et al.*, 2017; Baker & Han, 1994).

En el presente estudio, en la Tabla 10, se exponen los valores promedio de peso de carcasa, peso de pechuga y rendimiento de pechuga. Los resultados señalan que no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) en peso de carcasa ni peso de pechuga entre los tratamientos; sin embargo, sí se evidenció una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) en el rendimiento de pechuga (%), donde el tratamiento T2 (73 %) registró el mayor valor porcentual (30,28 %), seguido por el tratamiento T3 (77 %) con 29,71 % y finalmente el T1 (67 %) con 29,38 %. De manera similar, el peso de pechuga obtuvo un mejor resultado a favor del T2 con 155,88 g, que fue ligeramente superior al T3 con 150,62 g y al T1 con 147,14 g. Aunque estas diferencias no alcanzaron significancia estadística, se observa una tendencia favorable hacia la relación intermedia (T2), lo que sugiere que este perfil aminoacídico optimiza la eficiencia en la deposición muscular, particularmente en el músculo pectoral.

Los resultados obtenidos sugieren la existencia de un punto de equilibrio en la relación entre aminoácidos azufrados y lisina T2 (73 %), que favorece una síntesis proteica más eficiente y la formación de masa muscular magra, sin inducir acumulación excesiva de nitrógeno o generar desbalances metabólicos. En contraste, el tratamiento T3 (77 %) mostró un rendimiento intermedio, lo cual podría estar asociado a un exceso relativo de Met+Cis:Lis, que podrían no ser catabolizados, reduciendo así su aprovechamiento biológico neto (Sakomura *et al.*, 2015;

Rostagno *et al.*, 2017). Por otro lado, el tratamiento T1 (67 %) pudo haber generado una ligera deficiencia de aminoácidos azufrados a lisina, limitando la capacidad máxima de síntesis proteica, como lo plantean De Castro *et al.* (2014).

Tabla 10.

Rendimiento de pechuga de los pollos de la línea SASSO a los 28 días

Tratamiento	Peso carcasa (g)	Peso de pechuga (g)	Rendimiento de pechuga (%)
T2	514,80 ± 16,5 a	155,88 ± 5,8 a	30,28 ± 0,2 a
T3	506,80 ± 16,2 a	150,62 ± 6,9 a	29,71 ± 0,4 ab
T1	500,60 ± 14,8 a	147,14 ± 6,8 a	29,38 ± 0,6 b
C.V. (%)	3,49	4,83	1,57

Nota: Elaboración propia.

Letras distintas indican diferencia significativa.

T1: 67% Met+Cis:Lisd, T2: 73% Met+Cis:Lisd, T3: 77% Met+Cis:Lisd.

La relación aminoacídica ideal ha sido estudiada ampliamente como base para reducir los niveles de proteína bruta en dietas avícolas, manteniendo el rendimiento productivo y reduciendo el impacto ambiental. Emmert y Baker (1997) plantean que, bajo un perfil de proteína ideal, es posible maximizar el uso de cada aminoácido, favoreciendo la retención nitrogenada y minimizando la excreción, lo cual se traduce en un mayor crecimiento muscular neto.

Estos resultados se encuentran respaldados por estudios previos. Medrano (2021), al trabajar con pollos Cobb 500, demostró que relaciones Met+Cis:Lisd entre 71% y 75% optimizan la ganancia de peso y la deposición de pechuga, mejorando además la conversión alimenticia. De forma similar, Loayza y Torres (2021) identificaron en pollos Sasso una mayor respuesta productiva cuando se utilizaron dietas formuladas bajo criterios de proteína ideal, lo cual coincide con el tratamiento T2 del presente estudio.

Desde una perspectiva fisiológica, la lisina es el principal aminoácido estructural del músculo, y su disponibilidad relativa frente a los aminoácidos azufrados regula la tasa de síntesis proteica en tejidos de alto recambio, como el músculo pectoral González, G. (2006) A su vez, la metionina y la cistina intervienen en rutas metabólicas críticas asociadas al crecimiento celular, la síntesis de creatina y la regeneración de antioxidantes intracelulares como el glutatión (Sánchez G. , 1997).

Desde el punto de vista ambiental, este tipo de investigaciones también resulta relevante. El uso de dietas con aminoácidos formulados de forma precisa permite reducir el contenido de nitrógeno en las excretas, disminuyendo la carga contaminante de los sistemas de producción avícola intensiva, como señala (Belloir *et. al*, 2017) lo cual aporta sostenibilidad al modelo productivo.

Cabe resaltar que la evaluación se realizó en un sistema controlado en altitud (3 230 msnm), lo cual implica una menor presión parcial de oxígeno. A pesar de este desafío ambiental, el tratamiento T2 logró un desarrollo pectoral sobresaliente, lo que sugiere que la formulación adecuada en aminoácidos puede compensar las restricciones fisiológicas impuestas por la hipoxia leve, como ya se ha reportado en estudios de Wideman (2007) en condiciones similares.

En conjunto, los hallazgos obtenidos evidencian que una relación Met+Cisd:Lisd del 73% favorece el rendimiento en peso de pechuga sin afectar la salud hepática ni la inmunidad, lo cual tiene implicancias prácticas en la formulación de dietas optimizadas para sistemas productivos sostenibles y eficientes en zonas altoandinas.

4.2. Desarrollo morfoanatómico del sistema digestivo e inmunológico

El desarrollo morfoanatómico del sistema digestivo e inmunológico se evaluó mediante la medición del peso relativo y la longitud de órganos como hígado, molleja, intestino, páncreas, bazo y bolsa de Fabricio. Estos indicadores permiten interpretar el grado de maduración funcional, la adaptación fisiológica y la respuesta anatómica de las aves frente a las dietas experimentales.

En los resultados obtenidos no se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) entre los tratamientos con relaciones de aminoácidos azufrados respecto a la lisina de 67 %; 73 % y 77 %, en ninguna de las semanas evaluadas. Esto evidencia que las variaciones en la relación Met + Cis:Lisd no afectaron negativamente el crecimiento ni la estructura de los órganos del sistema digestivo ni de los órganos inmunológicos.

Desde una perspectiva fisiológica, todos los órganos mostraron un desarrollo proporcional al avance de la edad, manteniéndose dentro de los rangos considerados normales para aves de la línea Sasso en condiciones de altitud. Estos resultados confirman que las dietas evaluadas fueron nutricionalmente seguras, adecuadas y no provocaron hipertrofias compensatorias ni signos de estrés metabólico, lo que sugiere una correcta adaptación anatómica y funcional de las aves a los diferentes tratamientos experimentales.

Tabla 11.*Peso semanal de órganos internos por tratamiento de los pollos de la línea SASSO*

Trat.	Edad	Proventrículo y Molleja (g)	Hígado y vesícula biliar (g)	Bazo (g)	Páncreas (g)	Corazón (g)	Intestino Delgado y ciego (g)	Longitud intestinal (cm)	Bolsa de Fabricio (g)
T1	1. ^a semana	6,64 ± 0,7 a	4,55 ± 0,54 a	0,12 ± 0,023 a	0,58 ± 0,07 a	1,07 ± 0,12 a	11,60 ± 0,92 a	103,10 ± 8,8 a	0,27 ± 0,063 a
	2. ^a semana	12,39 ± 1,25 a	9,02 ± 0,92 a	0,25 ± 0,024 a	1,17 ± 0,12 a	2,34 ± 0,21 a	23,52 ± 2,32 a	119,20 ± 10,4 a	0,58 ± 0,046 a
	3. ^a semana	16,03 ± 1,84 a	13,48 ± 1,63 a	0,53 ± 0,085 a	1,40 ± 0,15 a	3,56 ± 0,27 a	34,36 ± 4,02 a	127,50 ± 11 a	0,72 ± 0,141 a
	4. ^a semana	22,27 ± 2,35 a	16,93 ± 1,91 a	0,98 ± 0,168 a	1,99 ± 0,16 a	4,88 ± 0,78 a	43,07 ± 10,32 a	132,50 ± 17 a	1,63 ± 0,198 a
T2	1. ^a semana	6,59 ± 0,7 a	4,58 ± 0,53 a	0,12 ± 0,019 a	0,58 ± 0,06 a	1,07 ± 0,12 a	11,96 ± 1,14 a	102,40 ± 9 a	0,27 ± 0,066 a
	2. ^a semana	11,49 ± 1,05 a	8,64 ± 0,92 a	0,25 ± 0,023 a	1,08 ± 0,11 a	2,12 ± 0,22 a	21,46 ± 1,88 a	118,50 ± 8,8 a	0,53 ± 0,045 a
	3. ^a semana	16,61 ± 1,68 a	14,13 ± 1,5 a	0,50 ± 0,115 a	1,39 ± 0,17 a	3,73 ± 0,27 a	35,40 ± 4,35 a	132,30 ± 17,1 a	0,96 ± 0,187 a
	4. ^a semana	22,57 ± 3,49 a	17,48 ± 1,51 a	0,93 ± 0,166 a	2,26 ± 0,17 a	4,21 ± 0,76 a	49,20 ± 5,18 a	135,10 ± 14,1 a	1,85 ± 0,317 a
T3	1. ^a semana	6,66 ± 0,51 a	4,32 ± 0,31 a	0,13 ± 0,021 a	0,55 ± 0,02 a	1,00 ± 0,08 a	11,84 ± 0,75 a	99,80 ± 8,2 a	0,28 ± 0,047 a
	2. ^a semana	12,01 ± 0,76 a	9,34 ± 0,45 a	0,25 ± 0,019 a	1,15 ± 0,1 a	2,21 ± 0,15 a	22,07 ± 1,39 a	118,00 ± 10,2 a	0,57 ± 0,029 a
	3. ^a semana	15,62 ± 1,3 a	14,16 ± 1,18 a	0,59 ± 0,049 a	1,32 ± 0,19 a	3,92 ± 0,3 a	32,14 ± 3,46 a	130,60 ± 12,7 a	0,67 ± 0,188 a
	4. ^a semana	21,77 ± 1,79 a	17,02 ± 1,16 a	0,92 ± 0,155 a	2,01 ± 0,2 a	5,26 ± 0,67 a	48,28 ± 5,07 a	133,75 ± 7,4 a	1,84 ± 0,472 a

Nota: Elaboración propia.

Los resultados mostrados en la tabla 11, nos indican que hubo adaptación fisiológica sin cambios morfológicos. Esto se demuestra en la estabilidad en el peso del proventrículo, molleja e intestino durante las cuatro semanas sugiere una adecuada adaptación morfofuncional de las aves a los perfiles proteicos utilizados. Dietas balanceadas en aminoácidos no necesariamente inducen cambios visibles en la morfología intestinal, sino que influyen más en la eficiencia enzimática y absorción de nutrientes. Además, según lo reportado por (Sánchez & Vargas, 2014), al evaluar dietas con distintos perfiles de aminoácidos digeribles en pollos de engorde, no encontraron diferencias significativas en el desarrollo del tracto gastrointestinal, lo cual concuerda con los hallazgos del presente estudio.

Del mismo modo, el hígado, como centro del metabolismo proteico, mostró un crecimiento progresivo en todos los tratamientos, sin indicios de hepatomegalia o estrés metabólico. Esto coincide con lo planteado por Sánchez, G. (1997) quien indica que un perfil aminoacídico balanceado evita la acumulación de amoníaco y nitrógeno residual, protegiendo la función hepática.

El páncreas, responsable de la producción y secreción de enzimas digestivas (amilasa, lipasa, tripsina, quimotripsina), presentó ausencia de diferencias significativas, aunque se observó una ligera tendencia a mayor peso promedio pancreático en el tratamiento T2, en la última semana. Esto puede explicarse por una mayor demanda enzimática inducida por una dieta con aminoácidos balanceados, lo que favorece la síntesis de proteínas específicas necesarias para la digestión eficiente. Según Brugaletta, G. (2023), dietas con niveles óptimos de metionina y lisina estimulan la síntesis de proteínas pancreáticas y mejoran el funcionamiento del sistema digestivo.

El peso del bazo y la bolsa de Fabricio, órganos inmunológicos clave, no lograron presentar diferencias. Este hallazgo sugiere que ninguno de los tratamientos comprometió el sistema inmune, resultado coincidente con lo reportado por Shen *et. al* (2015), quienes trabajaron con pollitos de engorde alimentados con diferentes niveles de proteína cruda sin afectar la salud inmunológica de las aves.

La longitud del intestino delgado fue consistente entre tratamientos y semanas, lo cual es un signo de desarrollo normal. Sin embargo, pese a que no se detectaron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) entre los tratamientos; se observó una tendencia favorable en el tratamiento T2 (73 %), que presentó valores numéricamente superiores de digestibilidad, especialmente de proteína cruda.

Este comportamiento puede explicarse porque un balance adecuado entre metionina+cistina y lisina favorece la síntesis eficiente de enzimas digestivas, optimizando la descomposición de nutrientes y su posterior absorción en el tracto gastrointestinal. Según Shen *et. al* (2015) y Millecam *et. al* (2021), la metionina y la lisina no solo son esenciales como bloques estructurales de proteína corporal, sino que también participan en la síntesis de enzimas pancreáticas, jugos gástricos y factores de absorción, como las proteínas transportadoras de aminoácidos.

El mayor valor numérico de digestibilidad de proteína cruda registrado en T2 coincide con el mejor desempeño productivo observado en peso vivo y ganancia de peso, sugiriendo que la proporción intermedia de aminoácidos azufrados permitió un aprovechamiento más eficiente de la proteína de la dieta, evitando pérdidas por excreción de nitrógeno.

En contraste, el tratamiento T1 (67 %) podría haber limitado la síntesis de enzimas y proteínas transportadoras debido a un exceso relativo de lisina, mientras que T3 (77 %) pudo generar un déficit de lisina que no fue adecuadamente equilibrado con otros nutrientes, reduciendo la eficiencia digestiva. Belloir *et al.* (2017) destacan que un perfil aminoacídico mal balanceado genera un gasto energético adicional para el metabolismo del exceso de nitrógeno, lo que reduce la digestibilidad neta y la eficiencia de utilización de la dieta. Además, (Peinado, 2015), quien evaluó parámetros digestivos en pollos alimentados con aditivos funcionales, encontró que la eficiencia digestiva puede mejorar significativamente incluso sin alteraciones en la estructura intestinal, siempre que la dieta esté bien formulada.

El crecimiento de órganos internos fue fisiológico y estable, lo cual resalta la capacidad adaptativa de los pollos Sasso y la idoneidad del perfil aminoacídico utilizado. Wideman (2007) señala que la altura puede afectar la fisiología aviar, pero un adecuado manejo nutricional mitiga estos efectos.

Los resultados del presente estudio evidencian que las relaciones de aminoácidos azufrados digestibles a lisina digestible evaluadas, no afectaron negativamente la anatomía ni el desarrollo funcional de los órganos digestivos e inmunológicos. Esto respalda la seguridad fisiológica de las dietas utilizadas y resalta que un diseño nutricional balanceado puede optimizar la eficiencia sin alterar estructuras internas, incluso en condiciones ambientales desafiantes como la altura.

4.3. Mérito económico

El análisis económico derivado del presente estudio revela diferencias modestas pero relevantes en la rentabilidad asociada a las distintas relaciones de aminoácidos azufrados a lisina (Met+Cisd:Lisd) evaluadas. A pesar de que el precio de venta del pollo se mantuvo constante en todos los tratamientos (S/. 9,00), la rentabilidad por ave y el mérito económico variaron en función del perfil aminoacídico de la dieta.

El Tratamiento T1 (67 %) mostró el mayor mérito económico con un 38,89%, seguido por T3 (77 %) con 38,46% y finalmente T2 (73 %) con 38,25 %. Este resultado puede parecer contraintuitivo dado que, desde el punto de vista productivo, T2 presentó mejores indicadores zootécnicos como eficiencia alimenticia y rendimiento de carcasa. Sin embargo, la diferencia observada en la rentabilidad no se relaciona únicamente con los parámetros productivos o el costo de alimentación, sino también con el modelo comercial utilizado en la etapa de crecimiento, donde la venta de pollos se realiza por unidades (en pares) y no por peso vivo, como ocurre en la etapa de acabado. Esta modalidad limita el impacto económico directo de mejoras en peso o eficiencia alimenticia, ya que el ingreso por ave es fijo, independientemente de su desempeño zootécnico. Por tanto, el tratamiento más rentable no necesariamente es el de mejor conversión alimenticia o mayor rendimiento de canal, sino aquel que minimiza los costos de producción por ave sin afectar los criterios comerciales establecidos para esta fase productiva.

Tabla 12.*Análisis comparativo del Mérito Económico entre tratamientos*

Tratamiento	T1 (67 %)	T2 (73 %)	T3 (77%)
Consumo de alimento (kg/pollo)	1,25	1,27	1,26
Precio de alimento (S/. / kg)	2,47	2,45	2,45
Costos de alimentación/pollo (S/) - CA	3,08	3,11	3,10
Costo pollo bebe (S/) - VI	3,40	3,40	3,40
Costos variables	6,48	6,51	6,50
Costos fijos (25% de costos variables)	1,62	1,63	1,62
Costos totales (S/.)	8,10	8,14	8,12
Precio venta pollo (S/) - VF	9,00	9,00	9,00
Rentabilidad (S/.)	0,90	0,86	0,88
MERITO ECONOMICO (%)	38,89	38,25	38,46

Nota: Elaboración propia.**T1: 67% Met+Cis:Lisd, T2: 73% Met+Cis:Lisd , T3: 77% Met+Cis:Lisd.**

La tabla 12 muestra que, el T2 con relación Met+Cis:Lisd (73%), presentó el mayor costo total por pollo (S/. 8,14), debido principalmente a un mayor consumo de alimento por ave (1,27 kg) y, por tanto, a un mayor costo de alimentación (S/. 3,11). Aunque el precio por kg de alimento fue ligeramente menor (S/. 2,45 frente a S/. 2,47 en T1), esto no compensó el incremento en el consumo. Generando una rentabilidad de (S/. 0,86).

En contraste, el tratamiento T1, con menor relación Met+Cis:Lisd (67%), tuvo un menor consumo de alimento (1,25 kg), lo cual redujo su costo total (S/. 8,10) y permitió una rentabilidad mayor (S/. 0,90), pese a una conversión alimenticia menos eficiente. Esta situación es económicamente ventajosa cuando el objetivo es pretender expender los pollos para la etapa de crecimiento.

Por su parte, el tratamiento T3 (77%), con una relación más alta de Met+Cis:Lisd, mostró un desempeño económico intermedio (rentabilidad S/. 0,88), evidenciando que un exceso de aminoácidos azufrados puede no mejorar sustancialmente el rendimiento zootécnico, pero sí aumentar el costo de alimentación sin un retorno proporcional en ingresos, disminuyendo así su rentabilidad marginal.

4.4. Mortalidad

En el presente estudio, se evaluó el porcentaje de mortalidad acumulado en pollos de la línea Sasso durante la etapa de inicio (1 a 28 días) para los tres tratamientos. Los resultados que se observan en la tabla 13, muestra 4 aves muertas (2 de ellas llegaron con problemas desde la incubadora y 2 murieron accidentalmente) estos datos indican niveles de mortalidad bajos y dentro de rangos aceptables para esta línea genética bajo condiciones de confinamiento.

Tabla 13.

Análisis de la mortalidad en pollos de la línea genética Sasso

Tratamiento	T1	T2	T3
N° de aves	64	64	64
N° de aves muertas	1	1	2
% Mortalidad	1,56	1,56	3,13

Nota: T1: 67% Met+Cis:Lisd, T2: 73% Met+Cis:Lisd , T3: 77% Met+Cis:Lisd.
Elaboración propia.

Este comportamiento refleja, en primer lugar, la buena adaptación de los pollos Sasso a las condiciones ambientales de altura, y su rusticidad natural, características propias de las líneas de crecimiento lento. De acuerdo con Asensio (2022) y Jaturasitha *et al.* (2008), las líneas de crecimiento lento presentan menor susceptibilidad a trastornos metabólicos y problemas de ascitis o síndrome de muerte súbita, condiciones que suelen ser más frecuentes en pollos de crecimiento rápido, especialmente en sistemas intensivos.

La mortalidad en pollos de engorde puede estar asociada a diversos factores, como enfermedades infecciosas, deficiencias nutricionales, estrés ambiental o desequilibrios en la dieta. En este estudio, el uso de dietas prácticas isocalóricas e isoproteicas, junto con el ajuste de la relación de aminoácidos esenciales, garantizó un aporte nutricional equilibrado para todos los tratamientos. La ausencia de diferencias significativas confirma que las variaciones en la relación Met+Cis:Lis evaluadas no afectaron negativamente la viabilidad de las aves, lo cual es consistente con lo reportado por Medrano (2021), quien tampoco observó diferencias significativas en la mortalidad de pollos Cobb 500 alimentados con diferentes relaciones de aminoácidos azufrados a lisina.

Asimismo, Baker y Han (1994) y Leeson y Summers (2005) destacan que formular dietas basadas en el concepto de proteína ideal no solo optimiza el rendimiento productivo, sino que también contribuye a mantener la salud y bienestar de las aves, reduciendo riesgos metabólicos asociados a excesos o deficiencias de nutrientes.

En conjunto, el bajo porcentaje de mortalidad registrado demuestra la viabilidad de utilizar una relación intermedia de aminoácidos (73 %) sin comprometer la salud de las aves, además de confirmar la adecuada implementación de las prácticas de manejo, bioseguridad y control sanitario durante el ensayo.

V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación, se concluye que:

- La relación Met+Cisd:Lisd del 73 % optimizó el desempeño productivo de pollos Sasso a los 28 días de edad. Las aves alimentadas con esta relación mostraron el mayor peso vivo promedio (742,3 g) y la mayor ganancia de peso, superando significativamente a los tratamientos con relaciones inferiores (67 %) y superiores (77 %). Esto confirma que un perfil aminoacídico balanceado favorece la deposición de tejido magro sin generar desequilibrios nutricionales. Así mismo, se confirmó un efecto positivo de la relación intermedia de 73 % que alcanzó el mayor rendimiento de carcasa (65,75 %) y de pechuga (30,28 %). Esto indica que un ajuste preciso en la proporción de metionina+cistina y lisina digestible mejora la conversión del peso vivo en cortes de alto valor comercial, especialmente bajo condiciones de altitud.
- El desarrollo morfoanatómico del sistema digestivo e inmunológico reflejó una tendencia favorable con la relación de 73 %, aunque sin diferencias significativas. Los valores más altos de digestibilidad de proteína cruda en el tratamiento T2 sugieren que el balance adecuado de aminoácidos promovió una mejor utilización de los nutrientes de la dieta, reduciendo pérdidas por excreción y mejorando la eficiencia metabólica.
- El análisis económico mostró que la relación Met+Cisd:Lisd del 73 % que a pesar que logró combinar un mejor desempeño productivo y de canal con una conversión alimenticia más eficiente, obtuvo un leve mayor costo adicional y menor ganancia frente al T1 (67 %) que alcanzó el mayor mérito económico (38,89 %) y una rentabilidad superior de S/.0,90.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda profundizar en futuras investigaciones evaluando nuevos niveles de relación entre aminoácidos azufrados y lisina digestible en la dieta de pollos de la línea genética Sasso (machos y hembras). Estos estudios contribuirán a maximizar el desempeño productivo, reducir costos de alimentación y mejorar la eficiencia en el uso del alimento, considerando las particularidades genéticas y las respuestas metabólicas propias de esta línea.
- Se sugiere extender la investigación hacia las etapas de crecimiento y acabado, analizando el impacto de distintos niveles de relación Met+Cisd:Lisd sobre el rendimiento biológico, eficiencia alimenticia y composición de la canal en aves Sasso.
- Se sugiere utilizar la relación Met + Cisd: Lisd del 73%, debido a que este nivel de relación resultó más eficiente, obteniéndose buenos resultados en peso, rendimiento de pechuga y carcasa durante la etapa de inicio; estos resultados podrían contribuir al desarrollo muscular óptimo durante las etapas posteriores del ciclo productivo.
- Se recomienda emplear la relación de Met+Cisd:Lisd del 67%, debido a que genera mayores ganancias por ave y el retorno económico es superior, lo que sugiere que sería una buena opción si se pretende expender los pollos para la etapa de crecimiento (recría).

VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Achio, H. (1992). Evaluación de la bioequivalencia del hidroxianálogo ácido libre de la metionina (MHA-FA) con respecto a la DL-Metionina en pollos de engorde. *Universidad de Costa Rica*. Obtenido de <https://catalogosiidca.csuca.org/Record/UCR.000019404>
- Adbalqdair, M., & Arabi, S. (2014). The effects of different lysine and methionine levels on broiler chickens performance. *International Journal of Innovative Agriculture & Biology Research*, 2(4), 46-52. Obtenido de https://www.academia.edu/71555072/The_Effects_of_Different_Lysine_and_Methionine_Levels_on_Broiler_Chickens_Performance
- Albino, L. T. (2009). Frangos de corte - maximizacao do uso de aminoácidos industriais. *Forum Internacional de Avicultura*.
- Albino, S. S. (1999). Níveis de metionina+ cistina para frangos de corte de 1 a 21 e 22 a 42 días de idade. *Revista brasileira de zootecnia*.
- Almeida, E. (2010). Níveis de lisina digestível e planos de nutrição para frangos de corte machos de 1 a 42 días de idade. . *Universidade de Vila Velha*.
- Alqaisi, O., Asaah, O., & Blake, R. (2017). Time series livestock diet optimization: cost-effective broiler feed substitution using the commodity price spread approach. *Agricultural and Food Economics*, 5(25). doi:<https://doi.org/10.1186/s40100-017-0094-9>
- Armas, J. (2021). Los aminoácidos en la nutrición animal. *Pronaca, Nutricion y Salus Animal*. Obtenido de <https://www.procampo.com.ec/index.php/blog/10-nutricion/212-aminoacidos-nutricion-animal#:~:text=Los%20amino%C3%A1cidos%20son%20las%20unidades,en%20la%20producci%C3%B3n%20de%20huevos>.
- Asensio, X. (2022). *Optimizing nutrition of modern broilers. Key considerations for diet formulation and feed manufacturing*. Obtenido de Aviagen Brief: https://aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Resources_Tools/AviagenBriefOptimizingNutritionOfModernBroilers-24-EN.pdf

- Aviagen. (2019). Ross 308/Ross 308 FF Broiler: Performance Objectives. *Google Academy*.
- Aviagen. (2022). *Ross 308, pollo de engorde. Objetivos de rendimiento* . Obtenido de https://aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Spanish_Tech_Docs/RossexRoss308-BroilerPerformanceObjectives2022-ESEU.pdf
- Baker, D., & Han, Y. (1994). Ideal amino acid profile for chicks during the first three weeks posthatching. *Poultry Science*.
- Barbosa, M., Junqueira, O., Andreotti, M., & Cancherini, L. (2001). Requerimientos de lisina digestible y metionina+cistina en dietas para pollos de engorde en fase de crecimiento. *Maringá*, 23(4), 909-915.
doi:<https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v23i0.2644>
- Belloir P., B. M. (2017). Reducción del contenido de PC en alimentos para pollos de engorde: impacto en el rendimiento animal, la calidad de la carne y la utilización del nitrógeno.
- Beltran, G. &. (2021). Influence of amino acids that come from the diet in the expression of genes.
- Bondi, A. (1989). *Nutrición Animal*. Acribia. Obtenido de https://books.google.com.pe/books/about/Nutricion_animal.html?hl=es&id=KDixAAACA AJ&redir_esc=y
- Borges, F. V. (2020). Reducción de la proteína bruta en la dieta de pollos criollos de engorde en un sistema semi-intensivo. *MVZ Córdoba*.
- Brugaletta, G. (2023). Feeding broiler chickens with arginine above recommended levels: effects on growth performance, metabolism, and intestinal microbiota. *Journal of Animal Science and Biotechnology*.
- Cámara de Comercio del Cusco. (2023). *Cámara de comercio, industria, servicios, turismo y de la producción del Cusco*. Obtenido de <https://www.camaracusco.org/>
- Campabadal, C. (2006). Conceptos importantes en la nutrición de aminoácidos. *USEEC*.
- Campabadal, C. (2006). Conceptos importantes en la nutrición de aminoácidos . *USEEC*.
- Castillo, H. (2015). *Concepto de proteína ideal: Broilers*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina. Obtenido de

- <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/1857/L02.C352-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- CCC. (2023). *Cámara de Comercio del Cusco*. Obtenido de Cámara de Comercio del Cusco: <https://www.camaracusco.org>
- Cisneros, E. (2019). *Evaluación comparativa de cinco perfiles de proteína ideal y dos programas de alimentación en pollos de carne*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina. Obtenido de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3839/cisneros-rodriguez-esteban-martin.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cobb500 Broiler. (2012). *Performance & Nutrition Supplement*. Cobb vantress. Obtenido de <https://www.cobbgenetics.com/assets/Cobb-Files/2022-Cobb500-Broiler-Performance-Nutrition-Supplement.pdf>
- Coon, C. (2004). The Ideal Amino Acid Requirements and Profile for Broilers, Layers, and Broiler Breeders. *The Poultry Site*.
- Corzo, A. D. (2009). Assessing the threonine to lysine ratio of female broilers from 14 to 28 days of age. *J. Appl. Poultry Science*.
- De Castro, F., Paez, L., Rostagno, H., Teixeira, L., & Alves, R. (2014). Relação metionina + cistina / lisina digestível para frangos de corte cobb. *Rev. Ceres, Viçosa*, 61(2), 193-201. doi:<https://doi.org/10.1590/S0034-737X2014000200006>
- Dolz, R., & Majó, N. (2011). Atlas de Necropsia Aviar. *Servet Zaragoza*.
- Dozier, W., & Mercier, Y. (2013). Ratio of digestible total sulfur amino acids to lysine of broiler chicks from 1 to 15 days of age. *J. Appl. Poultry*, 862-871. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1056617119304623>
- Emmert, J., & Baker, D. (1997). Use of the ideal protein concept for precision formulation of amino acid levels in broiler diets. *Journal of Applied Poultry Research*, 462-470. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1056617119307834>
- FAO. (2018). Enfoque económico general. *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*. (2018). *Poultry development review*.

- Faridi, A., Gitoee, A., Sakomura, N., Donato D., G. C., & Feire, M. (2016). Broiler responses to digestible total sulphur amino acids at different ages: a neural network approach. *J. Appl. Animal*.
- Faridi, A., Gitoee, A., Sakomura, N., Donato, D., Angela, C., & Feire, M. (2016). Broiler responses to digestible total sulphur amino acids at different ages: a neural network approach. *Journal of Applied Animal Research*, 44(1), 315-322.
doi:<https://doi.org/10.1080/09712119.2015.1031787>
- FEDNA. (2018). Necesidades nutricionales para avicultura. *Normas FEDNA 2º Edición*.
- Fernandez, S., Aoyagi, S., Han, Y., Parsons, & Baker, D. (1994). Limiting Order of Amino Acids in Corn and Soybean Meal for Growth of the Chick. *Poultry Science*, 73(12), 1887-1896. doi:<https://doi.org/10.3382/ps.0731887>
- Fernandez, S., Aoyagi, S., Han, Y., Parsons, C., & D., B. (1994). Limiting order of amino acids in corn and soybean meal for growth of the chick. *Poultry Science*, 1887-1896. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032579119521368>
- Fisher, T. (Febrero de 2019). *Selecciones avicolas.com*. Obtenido de <https://seleccionesavicolas.com/avicultura/2019/02/produccion-carne-manejo-broilers-crecimiento-lento/>
- Flores, E. &. (2019). Crianza de pollos con alimentos naturales en zonasperiurbanas como contribución al acceso a alimentos. *Revista de Ciencia y Agricultura*, 16(2), 93-104. <https://doi.org/10.19053/01228420.v16.n2.2019.9172>.
- Freire, M., & Berrones, A. (2008). *Efecto de diferentes relaciones lisina: Energía sobre parámetros zootécnicos de pollos de engorde en altura*. Sangolquí: Escuela politécnica del ejército. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2506/1/T-ESPE-IASA%20I-003423.pdf>
- Fuente, B., Díaz, A., López, J., & Ávila, E. (2005). Necesidades de lisina y aminoácidos azufrados digestibles en gallinas Leghorn Blancas. *Veterinaria México*, 135-145. Obtenido de <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=4543>
- García, A., & Batal, A. (2005). Changes in the digestible lysine and sulfur amino acid needs of broiler chicks during the first three weeks posthatching. *Poultry Science*, 84(9),

- 1350-1355. Obtenido de
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032579119446749>
- García, A., & Batal, A. (2005). Changes in the Digestible Lysine and Sulfur Amino Acid Needs of Broiler Chicks during the First Three Weeks Posthatching. *Department of Poultry Science, University of Georgia, Athens.*, 1350-1355. Obtenido de
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032579119446749>
- Garcia, E., & Khan, D. (2018). Relative bioavailability of DL and L-methionine in broilers. *Open J. Animal Science*.
- González Esquerro R., L. S. (2005). Efectos del estrés térmico agudo frente al crónico en la respuesta de los pollos de engorde a la proteína dietética. *Ciencia Avícola*.
- González, G. (2006). Rendimientos de pollos de engorde con dietas formuladas con valores de aminoácidos totales o digestibles estimados utilizando Espectrofotometría Infrarroja Cercana (NIRS). *Universidad de Costa Rica*.
- Google Earth Pro*. (2025). Obtenido de Google Earth Pro (versión de escritorio):
<https://www.google.com/earth/>
- Gous, A. S. (2018). El efecto de la relación energía:proteína de la dieta, la calidad de las proteínas y la asignación de alimentos en la eficiencia de utilización de proteínas por pollos de engorde. *British Poultry Science*, 100-109.
- Grashorn, M. (Mayo de 2017). *Requerimientos nutricionales de los pollos de engorde con diferente capacidad de crecimiento*. Obtenido de Selecciones Avícolas:
<https://seleccionesavicolas.com/avicultura/2017/09/requerimientos-nutricionales-de-los-pollos-de-engorde-con-diferente-capacidad-de-crecimiento>
- Grashorn, M. (2017). Requerimientos nutricionales de los pollos de engorde con diferente capacidad de crecimiento. *Selecciones Avícolas*, 24-28. Obtenido de
<https://seleccionesavicolas.com/wp-content/uploads/2017/09/24-28-requerimientos-nutricionales-pollos-engorde-diferente-capaciad-crecimiento-SA201709.pdf>
- Haunshi, S., Niranjan, M., Shanmugam, M., Padhi, M., Reddy, M., Sunitha, R., . . . A. (2011). Characterization of two Indian native chicken breeds for production, egg and semen quality, and welfare traits. *Journal of Poultry Science* 90, 314-320. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032579119316591>

- Huanshi, S., Niranjana, M., Shanmugam, M., Padhi, M., Reddy, M., Sunitha, R., . . . Panda, A. (2011). Characterization of two Indian native chicken breeds for production, egg and semen quality, and welfare traits. *Poultry Science*, *90*(2), 314-320.
doi:<https://doi.org/10.3382/ps.2010-01013>
- Jaturasitha, S., Srikanthai, T., Kreuzer, M., & Wicke, M. (2008). Differences in Carcass and Meat Characteristics Between Chicken Indigenous to Northern Thailand (Black-Boned and Thai Native) and Imported Extensive Breeds (Bresse and Rhode Island Red). *Poultry Science*, *87*(1), 160-169. doi:<https://doi.org/10.3382/ps.2006-00398>
- Jaturasitha, S., T, S., M, K., & M, W. (2008). Differences in carcass and Meat Characteristics between Chicken Indigenous to Northern Thailand (Black - Boned and Thai Native) and Imported Extensive Breeds (Bresse and Rhode Island Red). *Journal of Poultry Science*, 160-169. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003257911939100X>
- Jensen, L., Wyatt, C., & Fancher, B. (1989). Sulfur amino acid requirement of broiler chickens from 3 to 6 weeks of age. *Poult Sci*, *68*(1), 163.
doi:<https://doi.org/10.3382/ps.0680163>
- Jensen, L., Wyatt, C., & Fancher, B. (1989). Sulfur amino acid requirement of broiler chickens from 3 to 6 weeks of age. *Poultry Science*.
- Kalinowski, A. M. (2003). Methionine and cysteine requirements of slow- and fast-feathering broiler males from zero to three weeks of age. *Poultry Science*.
- Kjaer, J., Su, G., Nielsen, B., & Sorensen, P. (2006). Foot Pad Dermatitis and Hock Burn in Broiler Chickens and Degree of Inheritance. *Poultry Science*, *85*(8), 1342-1348.
doi:<https://doi.org/10.1093/ps/85.8.1342>
- kjaer, J., Su, G., Nielsen, B., & Sorensen, P. (2006). Foot pad dermatitis and hock burn in broiler chickens and degree of inheritance. *Poultry science*, 1342-1348. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032579119440108>
- Klasing, C. (2019). *Comparative Avian Nutrition*. Michigan: CABI International.
- Klasing, K. (2005). Productive evaluation of slow-growing Mexican turkeys with different diets in confinement. *A comparative approach. Journal of Applied Poultry Re-search*, *14*, 426-436.

- Knowles, T., & Southern, L. (1998). The lysine requirement and ratio of total sulfur amino acids to lysine for chicks fed adequate or inadequate lysine. *Poultry Science*.
- Leclerq, B. (1998). Specific Effects of Lysine on Broiler Production: Comparison with Threonine and Valine. . *Poultry Science*.
- Leeson, S., & Summers, D. (2005). *Commercial poultry nutrition* (Tercera edición ed.). Canadá: Department of Animal and Poultry Science University of Guelph.
- Loayza, R., & Torres, L. (2021). *Eficiencia de los pollos de engorde Sasso bajo diferentes requerimientos nutricionales*. Honduras: Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Obtenido de <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/8f063a89-254e-47b5-8a33-8c661e4dac91/content>
- Loayza, R., & Torres, L. (2021). *Eficiencia de los pollos de engorde Sasso bajo diferentes requerimientos nutricionales*. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Obtenido de <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/8f063a89-254e-47b5-8a33-8c661e4dac91/content>
- Lorenzo, J., Dois, D., Purriños, L., Rivero, C., Fernández, M., & Franco, D. (2011). *Efecto de la raza (Mos vs. Sasso T-44) sobre las características de la canal de gallos criados en libertad*. Santiago de Compostela-España: XLVIII Simposio Científico de Avicultura. Obtenido de https://www.wpsa-aeca.es/aeca_imgs_docs/efecto_de_la_raza__mos_vs_sasso_t-44_sobres_las_caracteristicas_de_la_canal_de_gallos_criad.pdf
- Lumpkins, B., Batal, A., & Baker, D. (2007). Variations in the digestible sulfur amino acid requirement of broiler chickens due to sex, growth criteria, rearing environment, and processing yield characteristics. *Poultry Science*.
- Mayorga, R. (2021). *Efecto de la inclusión de L-carnitina en rendimiento productivo y del canal en pollos SASSO*. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Obtenido de <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/7106/1/CPA-2021-T070.pdf>

- Medrano, J. (2021). *Relación Óptima de Aminoácidos Azufrados*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina . Obtenido de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/5515>
- MIDAGRI. (2025). Produccion y comercializacion de productos avicolas. *SIEA*. Obtenido de <https://repositorio.midagri.gob.pe/handle/20.500.13036/1186>
- Millecam, J. K. (2021). Optimal methionine plus cystine requirements in diets supplemented with L-methionine in starter, grower, and finisher broilers. *Poultry Science*.
- Moraes, L., Nogueira, E., Goulart, C., & F., P. (2013). Aminoácidos en la nutrición de las aves. *Engormix*. Obtenido de https://www.engormix.com/avicultura/aminoacidos-aves/aminoacidos-nutricion-pollos-engorde_a40165/
- Moraes, L., Nogueira, E., Goulart, C., & Perazzo, F. (2013). Aminoácidos en la nutrición de pollos de engorde. *Engormix*. Obtenido de https://www.engormix.com/avicultura/aminoacidos-aves/aminoacidos-nutricion-pollos-engorde_a40165/
- Morales, J. (1999). Evaluación en aminoácidos digeribles en ingredientes y el comportamiento productivo de pollos de engorda y gallinas de postura con dietas en base a aminoácidos totales, y aminoácidos digeribles mediante el concepto de proteína ideal. *Universidad de Colima*.
- Murakami, A. E.-R. (2012). Commercially available amino acid supplementation of low-protein diets for broiler chickens with different ratios of digestible glycine + serine:lysine. *Poultry Science*.
- Nahashon, S. (2006). Modelado de las características de crecimiento de las gallinas de Guinea de tipo carne. *Ciencia Avícola*, 943-946.
- National Research Council [NRC]. (1994). *Nutrient Requirements for Poultry* (Novena edición ed.). Washington: National Academies Press.
- National Research Council. (1994). Nutrient Requirements of Poultry. *Google Academy*.
- Nieto, J. (2024). Efecto de la harina de Tenebrio molitor y Acheta domesticus sobre los rendimientos productivos y la calidad de carne de pollos de engorde de crecimiento lento.

- Ospina, J. (2023). *Uso de aminoácidos para el desarrollo y crecimiento en pollos de engorde*. Ibagué: Universidad Cooperativa de Colombia. Obtenido de <https://repository.ucc.edu.co/entities/publication/6b372930-2d71-433b-afaa-68bc78d9af5e>
- Park, I., Pasquetti, T., Malheiros, R., Ferket, P., & Kim, S. (2018). Effects of supplemental L-methionine on growth performance and redox status of Turkey poults compared with the use of DL-methionine. *Poultry Science*.
- Parsons, C., & Baker, D. (1994). Simposio internacional de producción de rumiantes. *Anais da XXXI Reuniao Anual da SBZ*.
- Peinado, M. J. (2015). Efectos de nuevos aditivos alimentarios sobre la composición de la microbiota digestiva en pollos broiler.
- Reis, S., Guerrero, C., Aguilera, B., & Mariscal, L. (2005). Efecto de diferentes cereales sobre la morfología intestinal de lechones recién destetados. *Técnico Pecuário México*.
- Rostagno. (2017). Tablas Brasileñas para Aves y Cerdos. *Composición de Alimentos y Requerimientos Nutricionales 4a Edición*, 488.
- Rostagno, H., Albino, L., & Donzele, J. (2005). Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos: Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais. 2ª ed. UFV/DZO.
- Rostagno, H., Albino, L., & Donzele, J. (2011). Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos: Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais. 3ª ed. UFV/DZO.
- Rostagno, H., Albino, L., & Donzele, J. e. (2011). tabelas. 3ª ed. UFV/DZO.
- Rostagno, H., Teixeira, L., Hannas, M., Lopes, J., Sakomura, N., Perazzo, F., . . . Oliveira, C. (2005). *Tabelas Brasileiras para aves e suínos*. Viçosa: 4ta edición.
- Rostagno, S., Albino, T., Donzele, L., Gomes, C., Oliveira, F., Lopes, C., . . . Euclides, F. (2011). *Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais*. Brasil: Universidade Federal de Viçosa. Obtenido de <https://centrodepesquisasavcolas.files.wordpress.com/2011/02/tabelas-brasileiras-2011.pdf>

- Sakomura, N., Ekmay, R., Mei, S., & Coon, C. (2015). Lysine, methionine, phenylalanine, arginine, valine, isoleucine, leucine, and threonine maintenance requirements of broilers breeders. *Poultry Science*, 2715-2721. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032579119322874#:~:text=The%20maintenance%20requirements%20expressed%20on,Thr%2C%20and%20Val%2C%20respectively.>
- Sánchez, & Vargas. (2014). Utilización de aminoácidos sintéticos en la alimentación de pollos de engorde y gallinas ponedoras. *UDCA*.
- Sánchez, G. (1997). Alteraciones en el metabolismo de la metionina y sensibilidad al estrés oxidativo en células CHO que sobreexpresan el gen de la metionina adenosiltransferasa hepática.
- Sarsour, A., & Persia, M. (2021). Requerimiento de lisina y aminoácidos sulfurados en pollitos de engorde durante cortos periodos de tiempo en la fase de inicio. *The Journal of applied poultry research*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1056617121000647>
- SASSO. (2024). *Poultry.com*. Obtenido de <https://avicultura.poultry.com/productos/sasso/cobbsasso>
- SENAMHI. (2025). *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Portal institucional del SENAMHI*. Obtenido de <https://www.senamhi.gob.pe/>
- Shen, Y., Ferket, P., Park, I., Malheiros, R., Kim, & S. (2015). Effects of feed grade L-methionine on intestinal redox status, intestinal development, and growth performance of young chickens compared with conventional DL-methionine. *J. Animal Science*.
- Usman, J., You, S., Guang, Q., & Hai, Z. (2020). Respuesta de los pollos de engorde a la reducción de la harina de soja en la dieta con inclusión de glicina y cisteína. *Animals*, 1-26. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2076-2615/10/9/1686>
- Vásquez, M. B. (2020). Crecimiento, Rendimiento de carcasa y calidad de carne de tres genotipos de pollo no convencional. *Universidad Nacional de Cajamarca*.

- Vieira, S., Lemme, A., Goldenberg, D., & Brugalli, I. (2004). Responses of growing broilers to diets with increased sulfur amino acids to lysine ratios at two dietary protein levels. *Poultry Science*. Obtenido de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15339005/>
- Vieria, S., Lemme, A., Goldenberg, D., & Brugalli, I. (2004). Responses of growing broilers to diets with increased sulfur amino acids to lysine ratios at two dietary protein levels. *Poult Sci*, 83(8), 1307-13. doi:10.1093/ps/83.8.1307.
- Wideman, R. C. (2007). Capacidad vascular pulmonar inadecuada y susceptibilidad a la hipertensión arterial pulmonar en pollos de engorde. *Ciencia Avícola*, 984-998.
- Zhang, S., Saremi, B., Gilbert, E., & E., W. (2017). Physiological and biochemical aspects of methionine isomers and a methionine analogue in broilers. *Poultry Science*.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Pesos semanales promedio por tratamiento y repetición (g)

Tratamiento	Repetición	Inicio	1ª Semana	2ª Semana	3ª Semana	4ª Semana
T1-1,19	1	47,875	118,188	248,933	442,154	716,083
T1-1,19	2	48,250	114,500	236,333	446,357	707,917
T1-1,19	3	48,125	116,438	248,714	458,000	711,545
T1-1,19	4	46,250	119,563	245,667	470,071	705,077
T2-1,09	1	47,813	121,813	252,333	478,385	752,750
T2-1,09	2	48,438	120,063	250,133	470,214	729,154
T2-1,09	3	47,188	118,438	246,467	453,500	738,333
T2-1,09	4	47,125	119,000	248,385	456,917	748,818
T3-1,04	1	47,875	118,375	249,929	466,769	731,091
T3-1,04	2	48,750	118,250	243,533	466,385	721,500
T3-1,04	3	46,938	115,071	244,846	451,667	718,100
T3-1,04	4	47,125	120,938	242,133	451,143	713,615

Anexo 2. Ganancia de peso semanal promedio por tratamiento y repetición (g)

Tratamiento	Repetición	1ª Semana	2ª Semana	3ª Semana	4ª Semana	Total
T1-1,19	1	70,313	130,746	193,221	273,929	668,208
T1-1,19	2	66,250	121,833	210,024	261,560	659,667
T1-1,19	3	68,313	132,277	209,286	253,545	663,420
T1-1,19	4	73,313	126,104	224,405	235,005	658,827
T2-1,09	1	74,000	130,521	226,051	274,365	704,938
T2-1,09	2	71,625	130,071	220,081	258,940	680,716
T2-1,09	3	71,250	128,029	207,033	284,833	691,146
T2-1,09	4	71,875	129,385	208,532	291,902	701,693
T3-1,04	1	70,500	131,554	216,841	264,322	683,216
T3-1,04	2	69,500	125,283	222,851	255,115	672,750
T3-1,04	3	68,134	129,775	206,821	266,433	671,163
T3-1,04	4	66,000	129,008	209,010	262,473	666,490

Anexo 3. Consumo semanal promedio por tratamiento y repetición (g)

Tratamiento	Repetición	1ª Semana	2ª Semana	3ª Semana	4ª Semana	Total
T1-1,19	1	85,5882	197,973	388,598	585,556	1257,715
T1-1,19	2	84,6230	195,692	386,750	583,333	1250,398
T1-1,19	3	86,8130	196,548	395,243	573,212	1251,816
T1-1,19	4	87,7850	198,365	405,436	574,678	1266,264
T2-1,09	1	88,4081	204,964	428,909	595,250	1317,531
T2-1,09	2	87,974	196,431	393,273	560,556	1238,234
T2-1,09	3	88,112	200,321	390,435	600,265	1279,133
T2-1,09	4	87,890	202,668	380,124	593,382	1264,064
T3-1,04	1	87,947	195,962	408,000	604,250	1296,1590
T3-1,04	2	86,773	202,192	377,400	578,375	1244,7400
T3-1,04	3	87,143	198,445	390,875	585,107	1261,5700
T3-1,04	4	85,212	200,000	400,896	580,178	1266,2860

Anexo 4. Conversión semanal por tratamiento y repetición

Tratamiento	Repetición	1ª Semana	2ª Semana	3ª Semana	4ª Semana
T1-1,19	1	1,22	1,41	1,70	1,88
T1-1,19	2	1,28	1,49	1,68	1,90
T1-1,19	3	1,27	1,41	1,66	1,89
T1-1,19	4	1,20	1,43	1,63	1,92
T2-1,09	1	1,19	1,43	1,68	1,87
T2-1,09	2	1,23	1,41	1,61	1,82
T2-1,09	3	1,24	1,45	1,67	1,85
T2-1,09	4	1,22	1,44	1,64	1,80
T3-1,04	1	1,25	1,41	1,65	1,90
T3-1,04	2	1,25	1,48	1,60	1,85
T3-1,04	3	1,28	1,44	1,67	1,88
T3-1,04	4	1,29	1,46	1,70	1,90

Anexo 5. Peso de órganos semanal (g)

PRIMERA SEMANA									
Tratamiento	Peso vivo	Proventrículo y Molleja	Hígado y Vesícula	Intestino Delgado y Ciego	Páncreas	Corazón	Bazo	Bolsa de Fabricio	Longitud Intestinal (cm)
T1-1,19	135	7,59	5,31	12,87	0,68	1,25	0,16	0,39	114,00
T1-1,19	125	6,98	4,91	11,98	0,61	1,15	0,11	0,27	112,00
T1-1,19	108	6,15	3,98	12,07	0,52	0,96	0,10	0,22	100,00
T1-1,19	104	5,59	3,90	10,57	0,50	0,93	0,10	0,22	90,50
T1-1,19	118	6,89	4,65	10,50	0,60	1,07	0,13	0,25	99,00
T2-1,09	134	7,52	5,32	13,23	0,67	1,22	0,15	0,38	113,00
T2-1,09	105	5,46	3,95	10,00	0,51	0,92	0,11	0,21	90,00
T2-1,09	108	6,20	4,01	12,50	0,53	0,95	0,10	0,20	98,50
T2-1,09	127	6,90	4,94	12,67	0,62	1,18	0,14	0,30	112,50
T2-1,09	117	6,88	4,70	11,42	0,57	1,06	0,12	0,28	98,00
T3-1,04	129	7,31	4,30	12,67	0,58	1,15	0,16	0,36	110,00
T3-1,04	106	6,47	4,04	12,47	0,55	0,95	0,15	0,30	90,50
T3-1,04	116	6,82	4,51	10,64	0,56	0,97	0,11	0,27	99,50
T3-1,04	123	6,91	4,80	12,05	0,51	0,98	0,14	0,26	108,00
T3-1,04	102	5,78	3,95	11,35	0,53	0,94	0,11	0,22	91,00

SEGUNDA SEMANA									
Tratamiento	Peso vivo	Proventrículo y Molleja	Hígado y Vesícula	Intestino Delgado y Ciego	Páncreas	Corazón	Bazo	Bolsa de Fabricio	Longitud Intestinal (cm)
T1-1,19	221	10,30	7,50	19,62	0,98	1,96	0,21	0,50	102,00
T1-1,19	248	11,92	8,62	22,69	1,11	2,29	0,24	0,56	114,50
T1-1,19	263	12,64	9,14	24,01	1,22	2,41	0,26	0,58	121,00
T1-1,19	270	12,99	9,65	24,67	1,24	2,48	0,26	0,60	126,00
T1-1,19	280	14,08	10,19	26,61	1,31	2,54	0,28	0,64	132,50
T2-1,09	273	13,06	10,25	24,31	1,26	2,50	0,28	0,62	131,50
T2-1,09	252	12,01	8,85	22,36	1,12	2,16	0,26	0,52	122,00
T2-1,09	228	10,32	7,76	19,64	0,98	1,96	0,22	0,50	109,50
T2-1,09	246	11,73	8,59	21,83	1,10	2,11	0,25	0,53	117,00
T2-1,09	232	10,31	7,73	19,17	0,96	1,85	0,22	0,50	112,50
T3-1,04	219	11,21	8,88	20,70	1,10	2,10	0,24	0,56	110,00
T3-1,04	280	13,21	10,07	24,18	1,30	2,48	0,28	0,61	130,50
T3-1,04	270	12,53	9,64	23,18	1,23	2,13	0,27	0,60	128,00
T3-1,04	253	11,74	9,03	21,58	1,03	2,27	0,25	0,56	117,50
T3-1,04	235	11,34	9,07	20,73	1,07	2,08	0,23	0,53	104,00

TERCERA SEMANA									
Tratamiento	Peso vivo	Proventrículo y Molleja	Hígado y Vesícula	Intestino Delgado y Ciego	Páncreas	Corazón	Bazo	Bolsa de Fabricio	Longitud Intestinal (cm)
T1-1,19	494	17,16	14,56	32,09	1,31	3,97	0,54	0,61	130,00
T1-1,19	475	17,10	15,11	31,36	1,29	3,72	0,42	0,61	139,00
T1-1,19	432	14,11	11,31	30,69	1,24	3,15	0,52	0,60	106,50
T1-1,19	515	18,21	14,74	41,42	1,61	3,5	0,68	0,95	132,00
T1-1,19	413	13,57	11,70	36,22	1,54	3,46	0,49	0,81	130,00
T2-1,09	433	14,26	11,62	34,63	1,34	3,26	0,54	0,90	131,50
T2-1,09	520	18,81	15,61	42,64	1,71	4,00	0,70	1,09	145,50
T2-1,09	418	15,08	13,25	29,39	1,24	3,59	0,37	1,03	101,00
T2-1,09	477	17,22	14,90	33,56	1,36	3,95	0,44	0,63	140,00
T2-1,09	489	17,66	15,28	36,80	1,30	3,83	0,44	1,16	143,50
T3-1,04	420	14,25	12,21	31,02	1,11	3,45	0,56	0,52	112,00
T3-1,04	515	17,54	15,27	38,94	1,66	4,26	0,68	1,04	143,00
T3-1,04	476	15,15	14,53	30,66	1,26	3,94	0,58	0,61	141,50
T3-1,04	453	14,42	13,47	29,20	1,20	3,75	0,57	0,57	119,00
T3-1,04	468	16,75	15,33	30,86	1,39	4,21	0,54	0,61	137,50

CUARTA SEMANA									
Tratamiento	Peso vivo	Proventrículo y Molleja	Hígado y Vesícula	Intestino Delgado y Ciego	Páncreas	Corazón	Bazo	Bolsa de Fabricio	Longitud Intestinal (cm)
T1-1,19	758	22,86	15,75	40,76	2,02	5,17	0,93	1,48	119,00
T1-1,19	768	22,43	16,84	51,53	1,83	5,99	0,76	1,78	134,00
T1-1,19	730	18,20	14,04	23,83	1,93	3,58	0,86	1,31	118,00
T1-1,19	795	23,51	18,93	49,43	1,90	4,82	1,17	1,78	141,00
T1-1,19	812	24,34	19,07	49,80	2,28	4,86	1,18	1,79	150,50
T2-1,09	764	18,27	15,82	40,87	2,05	3,10	0,76	1,64	122,50
T2-1,09	816	24,88	19,74	55,31	2,50	4,90	1,20	1,85	151,50
T2-1,09	748	23,16	15,80	45,81	2,08	3,73	0,91	1,38	120,50
T2-1,09	787	22,68	18,20	51,97	2,34	4,12	1,01	2,19	139,00
T2-1,09	800	23,87	17,84	52,06	2,34	5,19	0,76	2,20	142,00
T3-1,04	769	23,92	16,28	53,17	2,12	6,22	0,98	2,44	125,50
T3-1,04	805	20,74	18,75	53,21	2,22	5,79	0,77	2,24	149,00
T3-1,04	796	23,85	18,00	50,40	2,18	5,15	1,19	1,93	141,50
T3-1,04	743	20,85	15,66	43,73	1,83	4,72	0,84	1,34	119,00
T3-1,04	783	19,49	16,43	40,87	1,72	4,41	0,8	1,26	139,00

Anexo 6. Peso vivo, peso de carcasa, peso de pechuga, rendimiento de carcasa y pechuga a los 28 días

Tratamiento	Repetición	Peso Vivo (g)	Peso de Carcasa (g)	Rendimiento de carcasa (%)	Peso de Pechuga (g)	Rendimiento de Pechuga (%)
T1-1,19	1	812	521	64,163	157,34	30,200
T1-1,19	2	795	511	64,277	152,29	29,802
T1-1,19	3	768	500	65,104	145,83	29,166
T1-1,19	4	758	493	65,040	140,91	28,582
T1-1,19	5	730	478	65,479	139,35	29,153
T2-1,09	1	816	537	65,809	163,86	30,514
T2-1,09	2	800	531	66,375	161,23	30,363
T2-1,09	3	787	510	64,803	154,72	30,337
T2-1,09	4	764	501	65,576	150,71	30,082
T2-1,09	5	748	495	66,176	148,89	30,079
T3-1,04	1	805	530	65,839	160,10	30,208
T3-1,04	2	796	518	65,075	155,93	30,102
T3-1,04	3	783	505	64,496	150,12	29,727
T3-1,04	4	769	498	64,759	146,65	29,448
T3-1,04	5	743	483	65,007	140,32	29,052

Anexo 7. Costo de la dieta

Costo del T1 (Relación Met+Cis:Lis del 67%)

T1: 67%			
Unidad	Cantidad (Peso kg)	Precio Unitario	Total
Maíz entero kg (molido)	27,83	1,60	44,53
Torta de soya	16,50	2,50	41,25
Harina integral de soya	1,04	2,50	2,60
Afrecho de trigo	0,81	1,30	1,05
Gustornrgyx1kilo	0,05	42,00	2,10
Aceite de soya inicio	1,00	8,50	8,50
Valina x1kg	0,05	28,00	1,40
Madumix (Maduramicina al 1%) x 1 kg	0,04	16,00	0,64
Toxisorb Classic x kg	0,10	7,00	0,70
Micofung x kg	0,10	16,00	1,60
Zinbax-10 Basitramicina x kg	0,05	16,00	0,80
Treonina xkilo	0,06	18,00	1,08
Carbonato de Calciox1kg	0,55	0,60	0,33
Fosfato Dicalcico al 18% fano x kilo	1,08	5,50	5,94
Sal x1kg	0,11	1,00	0,11
Metionina x1kg	0,15	23,00	3,45
Lisina x1kg	0,19	12,50	2,38
Bicarbonato de Sodio x1kg	0,15	7,50	1,13
Optiphos Plus 10000 x1kg (globalvet)	0,01	85,00	0,85
Pro Prevett 120 broilers especial x1kg (propremix)	0,05	42,00	2,10
Cloruro de Colina x kilo	0,10	9,00	0,90
TOTAL	50,02		123,431
Precio/Kg			2,47

Costo del T2 (Relación Met+Cis:Lis del 73%)

T2: 73%			
Unidad	Cantidad (Peso kg)	Precio Unitario	Total
Maíz entero kg (molido)	28,64	1,60	45,82
Torta de soya	16,00	2,50	40,00
Harina integral de soya	0,59	2,50	1,48
Afrecho de trigo	0,95	1,30	1,24
Gustornrgyx1kilo	0,05	42,00	2,10
Aceite de soya inicio	1,00	8,50	8,50
Valina x1kg	0,06	28,00	1,68
Madumix (Maduramicina al 1%) x 1 kg	0,04	16,00	0,64
Toxisorb classic x kg	0,10	7,00	0,70
Micofung x kl	0,10	16,00	1,60
Zinbax-10 Basitramicina x kg	0,05	16,00	0,80
Treonina xkilo	0,07	18,00	1,26
Carbonato de Calcio x1kg	0,55	0,60	0,33
Fosfato Dicalcicoal 18% fano x kilo	1,09	5,50	6,00
Sal x1kg	0,11	1,00	0,11
Metionina x1kg	0,16	23,00	3,68
Lisina x1kg	0,15	12,50	1,88
Bicarbonato de Sodio x1kg	0,14	7,50	1,05
Optiphos Plus 10000 x1kg (globalvet)	0,01	85,00	0,85
Pro Prevet 120 broilers especial x1kg (propremix)	0,05	42,00	2,10
Cloruro de Colina x kilo	0,10	9,00	0,90
TOTAL	50,01		122,704
Precio/Kg			2,45

Costo del T3 (Relación Met+Cis:Lisd del 77%)

T3: 77%			
Unidad	Cantidad (Peso kg)	Precio Unitario	Total
Maíz entero kg (molido)	28,64	1,60	45,82
torta de soya	16,00	2,50	40,00
Harina integral de soya	0,73	2,50	1,83
Afrecho de trigo	0,86	1,30	1,12
Gustornrgyx1kilo	0,05	42,00	2,10
Aceite de soya inicio	1,00	8,50	8,50
Valina x1kg	0,06	28,00	1,68
Madumix (Maduramicina al 1%) x 1 kg	0,04	16,00	0,64
Toxisorb Classic x kg	0,10	7,00	0,70
Micofung x kl	0,10	16,00	1,60
Zinbax-10 Basitramicina x kg	0,05	16,00	0,80
Treonina x kilo	0,07	18,00	1,26
Carbonato de Calcio x 1kg	0,55	0,60	0,33
Fosfato Dicalcicoal 18% fano x kilo	1,09	5,50	6,00
Sal x1kg	0,11	1,00	0,11
Metionina x1kg	0,16	23,00	3,68
Lisina x1kg	0,11	12,50	1,38
Bicarbonato de Sodio x1kg	0,12	7,50	0,90
Optiphos plus 10000 x1kg (globalvet)	0,01	85,00	0,85
Pro prevet 120 broilers especial x1kg (propremix)	0,05	42,00	2,10
Cloruro de Colina x kilo	0,10	9,00	0,90
TOTAL	50,01		122,70
Precio/Kg			2,45

Anexo 8. ANOVA de los parámetros productivos

PESO VIVO CUARTA SEMANA

Análisis de la varianza

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
4TA	12	0,79	0,74	1,10

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F,V,</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	2132,14	2	1066,07	16,74	0,0009
TRAT	2132,14	2	1066,07	16,74	0,0009
Error	573,11	9	63,68		
Total	2705,25	11			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=15,75426

Error: 63,6786 gl: 9

TRAT Medias n E,E,

T1-1,19 710,16 4 3,99 A

T3-1,04 721,08 4 3,99 A

T2-1,09 742,26 4 3,99 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

GANANCIA DE PESO TOTAL

Análisis de la varianza

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
TOTAL	12	0,79	0,74	1,17

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F,V,</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	2131,22	2	1065,61	16,93	0,0009
TRAT	2131,22	2	1065,61	16,93	0,0009
Error	566,35	9	62,93		
Total	2697,57	11			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=15,66107

Error: 62,9275 gl: 9

TRAT Medias n E,E,

T1-1,19 662,53 4 3,97 A

T3-1,04 673,40 4 3,97 A

T2-1,09 694,62 4 3,97 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

CONSUMO DE ALIMENTO TOTAL

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
TOTAL	12	0,12	0,00	1,83

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F,V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	668,28	2	334,14	0,62	0,5581
TRAT	668,28	2	334,14	0,62	0,5581
Error	4828,62	9	536,51		
Total	5496,89	11			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=45,72897

Error: 536,5130 gl: 9

TRAT	Medias	n	E,E
T1-1,19	1256,55	4	11,58 A
T3-1,04	1267,19	4	11,58 A
T2-1,09	1274,74	4	11,58 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

CONVERSION ALIMENTICIA CUARTA SEMANA

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
4TA	12	0,61	0,52	1,31

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F,V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,01	2	4,3E-03	7,03	0,0145
TRAT	0,01	2	4,3E-03	7,03	0,0145
Error	0,01	9	6,1E-04		
Total	0,01	11			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,04858

Error: 0,0006 gl: 9

TRAT	Medias	n	E,E
T2-1,09	1,84	4	0,01 A
T3-1,04	1,88	4	0,01 A B
T1-1,19	1,90	4	0,01 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 9. ANOVA del desarrollo morfoanatómico del sistema digestivo e inmunológico

PESO DEL PROVENTRICULO Y MOLLEJA SEMANA 4

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
PROV MOLL4	15	0,01	0,00	13,31

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F,V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,50	2	0,75	0,09	0,9181
trat	1,50	2	0,75	0,09	0,9181
Error	104,39	12	8,70		
Total	105,89	14			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=4,97664

Error: 8,6993 gl: 12

trat Medias n E,E,

T3-1,04 21,77 5 1,32 A

T2-1,09 22,57 5 1,32 A

T1-1,19 22,27 5 1,32 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

PESO DEL HIGADO Y VESICULA SEMANA 4

Análisis de la varianza

Variable N R² R² Aj CV

HIGADO VES,4 15 0,02 0,00 10,15

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F,V, SC gl CM F p-valor

Modelo 0,87 2 0,44 0,14 0,8672

trat 0,87 2 0,44 0,14 0,8672

Error 36,36 12 3,03

Total 37,24 14

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=2,93725

Error: 3,0304 gl: 12

trat Medias n E,E,

T1-1,19 16,93 5 0,78 A

T3-1,04 17,02 5 0,78 A

T2-1,09 17,48 5 0,78 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

PESO DEL INTESTINO DELGADO SEMANA 4

Análisis de la varianza

Variable N R² R² Aj CV

ID4 15 0,12 0,00 17,38

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F,V, SC gl CM F p-valor

Modelo 109,32 2 54,66 0,82 0,4617

trat 109,32 2 54,66 0,82 0,4617

Error 795,22 12 66,27

Total 904,53 14

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=13,73553

Error: 66,2679 gl: 12

trat Medias n E,E,

T1-1,19 43,07 5 3,64 A

T3-1,04 48,28 5 3,64 A

T2-1,09 49,20 5 3,64 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

PESO DEL PANCREAS SEMANA 4

Análisis de la varianza

Variable N R² R² Aj CV
PANCREAS4 15 0,32 0,21 9,48

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F,V, SC gl CM F p-valor
Modelo 0,22 2 0,11 2,87 0,0961
trat 0,22 2 0,11 2,87 0,0961
Error 0,47 12 0,04
Total 0,70 14

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,33417

Error: 0,0392 gl: 12

trat Medias n E,E,

T1-1,19 1,99 5 0,09 A

T3-1,04 2,01 5 0,09 A

T2-1,09 2,26 5 0,09 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

PESO DEL CORAZON SEMANA 4

Análisis de la varianza

Variable N R² R² Aj CV
CORAZON4 15 0,26 0,13 17,22

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F,V, SC gl CM F p-valor
Modelo 2,83 2 1,42 2,09 0,1669
trat 2,83 2 1,42 2,09 0,1669
Error 8,15 12 0,68
Total 10,98 14

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,39018

Error: 0,6788 gl: 12

trat Medias n E,E,

T2-1,09 4,21 5 0,37 A

T1-1,19 4,88 5 0,37 A

T3-1,04 5,26 5 0,37 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

PESO DEL BAZO SEMANA 4

Análisis de la varianza

Variable N R² R² Aj CV
BAZO4 15 0,03 0,00 19,36

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F,V, SC gl CM F p-valor
Modelo 0,01 2 0,01 0,17 0,8422
trat 0,01 2 0,01 0,17 0,8422
Error 0,40 12 0,03
Total 0,41 14

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,30752

Error: 0,0332 gl: 12

trat Medias n E,E,

T3-1,04 0,92 5 0,08 A

T2-1,09 0,93 5 0,08 A

T1-1,19 0,98 5 0,08 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

PESO DE LA BOLSA DE FABRICIO SEMANA 4

Análisis de la varianza

Variable N R² R² Aj CV

B, FABRICIO4 15 0,08 0,00 21,91

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F,V, SC gl CM F p-valor

Modelo 0,16 2 0,08 0,53 0,6018

trat 0,16 2 0,08 0,53 0,6018

Error 1,81 12 0,15

Total 1,97 14

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,65585

Error: 0,1511 gl: 12

trat Medias n E,E,

T1-1,19 1,63 5 0,17 A

T3-1,04 1,84 5 0,17 A

T2-1,09 1,85 5 0,17 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

LONGITUD DEL INTESTINO DELGADO SEMANA 4

Análisis de la varianza

Variable N R² R² Aj CV

LONG.ID(cm)4 15 0,03 0,00 11,85

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F,V, SC gl CM F p-valor

Modelo 78,70 2 39,35 0,16 0,8499

trat 78,70 2 39,35 0,16 0,8499

Error 2864,40 12 238,70

Total 2943,10 14

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=26,06873

Error: 238,7000 gl: 12

trat Medias n E,E,

T1-1,19 127,50 5 6,91 A

T3-1,04 130,60 5 6,91 A

T2-1,09 133,10 5 6,91 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 10. ANOVA de los parámetros productivos a los 28 días

PESO VIVO

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
PESO	15	0,03	0,00	3,61

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	276,93	2	138,47	0,18	0,8410
TRAT	276,93	2	138,47	0,18	0,8410
Error	9460,00	12	788,33		
Total	9736,93	14			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=47,37493

Error: 788,3333 gl: 12

TRAT Medias n E,E,

T1-1,19 772,60 5 12,56 A

T3-1,04 779,20 5 12,56 A

T2-1,09 783,00 5 12,56 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

PESO CARCASA

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
PESO	15	0,12	0,00	3,49

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	506,80	2	253,40	0,81	0,4687
TRAT	506,80	2	253,40	0,81	0,4687
Error	3764,80	12	313,73		
Total	4271,60	14			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=29,88642

Error: 313,7333 gl: 12

TRAT Medias n E,E,

T1-1,19 500,60 5 7,92 A

T3-1,04 506,80 5 7,92 A

T2-1,09 514,80 5 7,92 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

RENDIMIENTO DE CARCASA

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
REND,	15	0,39	0,28	0,86

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2,39	2	1,19	3,76	0,0540
TRAT	2,39	2	1,19	3,76	0,0540
Error	3,81	12	0,32		
Total	6,19	14			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,95046

Error: 0,3173 gl: 12

TRAT	Medias	n	E,E
T1-1,19	64,81	5	0,25 A
T3-1,04	65,04	5	0,25 A
T2-1,09	65,75	5	0,25 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

PESO DE PECHUGA

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
PESO	15	0,23	0,10	4,83

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F,V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	193,52	2	96,76	1,81	0,2055
TRAT	193,52	2	96,76	1,81	0,2055
Error	641,18	12	53,43		
Total	834,70	14			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=12,33369

Error: 53,4317 gl: 12

TRAT	Medias	n	E,E
T1-1,19	147,14	5	3,27 A
T3-1,04	150,62	5	3,27 A
T2-1,09	155,88	5	3,27 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

RENDIMIENTO DE PECHUGA

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
REND	15	0,44	0,34	1,57

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F,V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2,05	2	1,02	4,67	0,0316
TRAT	2,05	2	1,02	4,67	0,0316
Error	2,63	12	0,22		
Total	4,68	14			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,79029

Error: 0,2194 gl: 12

TRAT	Medias	n	E,E
T1-1,19	29,38	5	0,21 A
T3-1,04	29,71	5	0,21 A B
T2-1,09	30,28	5	0,21 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 11. Fotografías de la instalación del galpón



Desinfección del galpón usando una mochila de fumigación

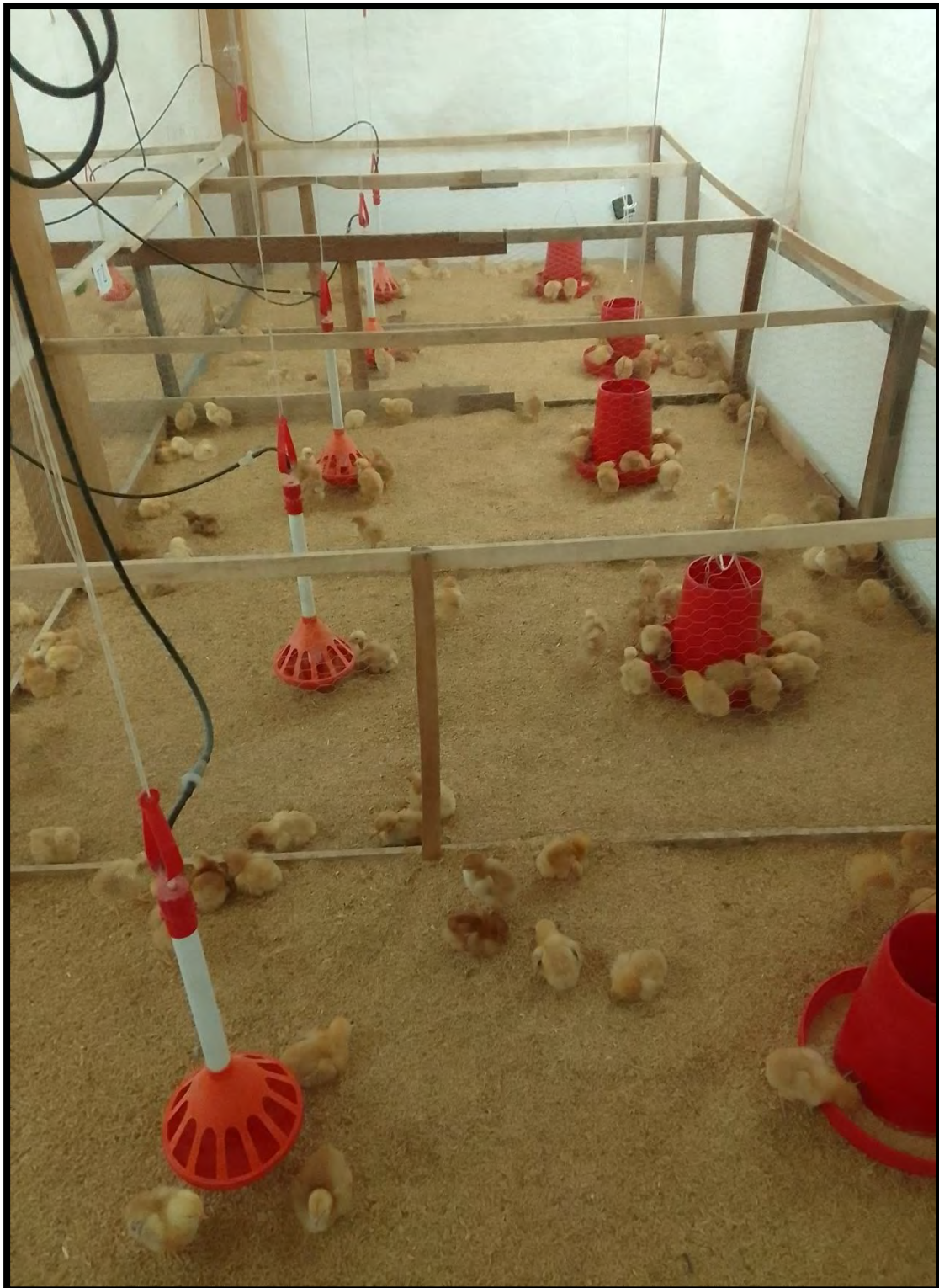


Desinfección del galpón usando un lanzallamas



Acondicionamiento de 40 m² para el desarrollo de los tratamientos experimentales

Anexo 12. Fotografía de la recepción de aves en el galpón



Recepción de los pollitos BB

Anexo 13. Fotografía de la determinación de peso vivo



Peso del pollito (primera semana)



Peso del pollo (cuarta semana)

Anexo 14. Fotografía del sacrificio de ave



Órganos extraídos (proventrículo y molleja, hígado, páncreas, bazo, corazón, intestino delgado, intestino grueso, ciegos y bolsa de Fabricio)

Anexo 15. Fotografías del peso de carcasa y pechuga



Peso de carcasa

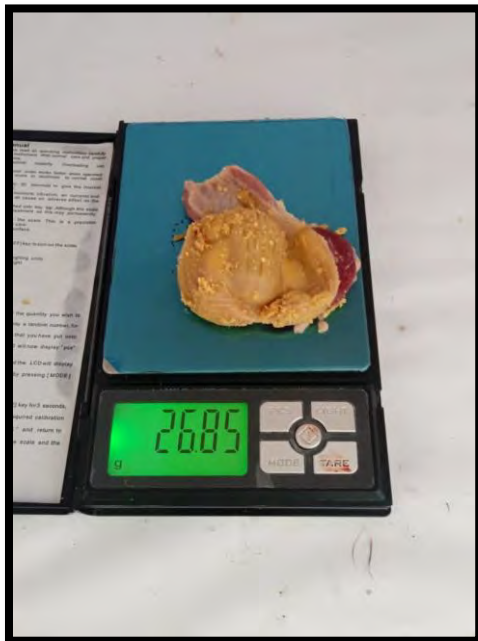


Peso de pechuga



Muestra de carcasa (omitiendo cabeza, cuello, patas y vísceras)

Anexo 16. Fotografías del peso de órganos



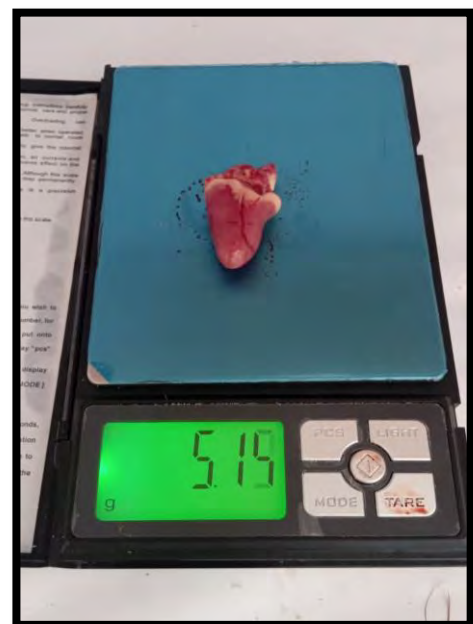
Peso del proventrículo y molleja



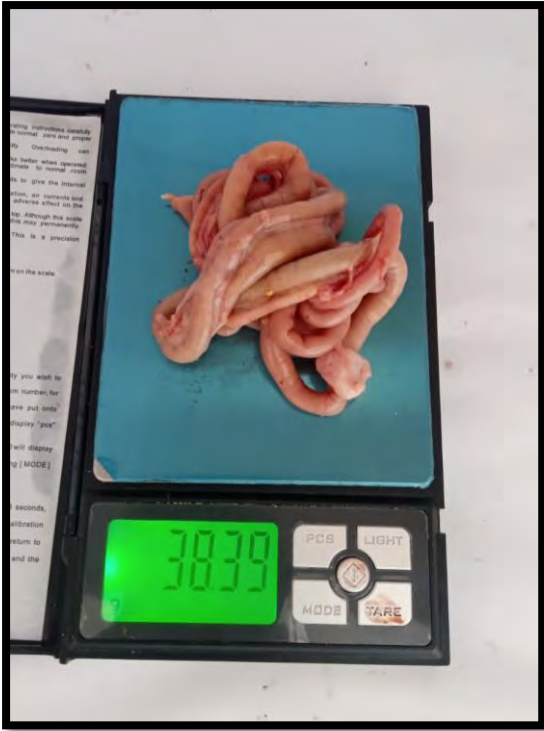
Peso del hígado



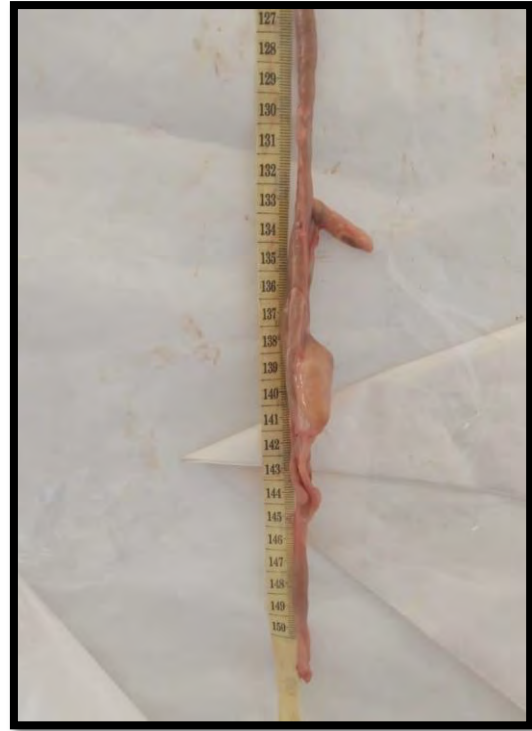
Peso del páncreas



Peso del corazón



Peso del intestino delgado, grueso y ciegos



Longitud del intestino



Peso del bazo



Peso de la bolsa de Fabricio