



Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental

Escuela Profesional de Ingeniería Zootécnica

Influencia de la suplementación de L-metionina sobre el crecimiento del pato Muscovy

(Cairina moschata linnaeus, 1758)

Tesis

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Zootecnista

Autores

Edwin Maximino Llashag Loayza

Carmen Rosa Quispe Llanos

Asesor

Dr. Felix Esteban Airahuacho Bautista

Huacho - Perú

2024



Reconocimiento - No Comercial – Sin Derivadas - Sin restricciones adicionales

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

Reconocimiento: Debe otorgar el crédito correspondiente, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se realizaron cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de ninguna manera que sugiera que el licenciante lo respalda a usted o su uso. **No Comercial:** No puede utilizar el material con fines comerciales. **Sin Derivadas:** Si remezcla, transforma o construye sobre el material, no puede distribuir el material modificado. **Sin restricciones adicionales:** No puede aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros de hacer cualquier cosa que permita la licencia.



UNIVERSIDAD NACIONAL
JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN
LICENCIADA

Resolución de Concejo Directivo N° 012-2020-SUNEDU/CD de fecha 27/01/2020

“Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental
Escuela Profesional de Ingeniería Zootécnica

INFORMACION

DATOS DEL AUTOR (ES):		
NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	FECHA DE SUSTENTACIÓN
Edwin Maximino Llashag Loayza	71532590	12/01/2024
Carmen Rosa Quispe Llanos	76334329	12/01/2024
DATOS DEL ASESOR:		
NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	CÓDIGO ORCID
Dr. Feliz Esteban Airahuacho Bautista	40769786	0000-0001-7484-0449
DATOS DE LOS MIEMBROS DEL JURADO - PREGRADO/POSGRADO-MAESTRÍA-DOCTORADO:		
NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	CÓDIGO ORCID
M(o) Hilario Norberto Pujada Abad	15603577	0000-0003-4939-6774
Mg. Sc. Oscar Enrique Arbañil Huaman	06039757	0000-0003-2741-5938
Mg. Angel Gerardo Vasquez Requena	46579737	0000-0001-7034-5133

Influencia de la suplementación de l-metionina sobre el crecimiento del pato muscovy (*cairina moschata linnaeus*, 1758).

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

11%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

docplayer.es

Fuente de Internet

1%

2

Submitted to Universidad Fernando Pessoa
Canarias

Trabajo del estudiante

<1%

3

repositorio.unesp.br

Fuente de Internet

<1%

4

repositorio.uan.edu.co

Fuente de Internet

<1%

5

eprints.uanl.mx

Fuente de Internet

<1%

6

tede.unioeste.br

Fuente de Internet

<1%

7

www.scribd.com

Fuente de Internet

<1%

8

experts.umn.edu

Fuente de Internet

<1%

TÍTULO

**INFLUENCIA DE LA SUPLEMENTACIÓN DE L-METIONINA SOBRE EL
CRECIMIENTO DEL PATO MUSCOVY (*CAIRINA MOSCHATA* LINNAEUS,
1758).**

“

DEDICATORIA N.º 01

La presente investigación está dedicada a Dios y a todas las personas que fueron un apoyo tanto emocional como económicamente para que esta tesis pueda ser concluida.

DEDICATORIA N.º 02

A **Felicitas y Gloria**, mis madres, por dar cada minuto de esfuerzo, cada día de dedicación, ejemplo de perseverancia y entrega, ser un ejemplo a seguir.

A Toda mi familia, por estar presente en cada etapa de la realización de este proyecto, así como en toda mi vida, por cada enseñanza puesta en práctica.

AGRADECIMIENTO

- Agradecer en primer lugar a Dios por darnos vida, porque junto a todo el apoyo que tenemos detrás de nosotros, podemos poco a poco lograr nuestras metas en la vida.
- Queremos agradecer a nuestro asesor el Dr. Félix Esteban Airahuacho Bautista, por el tiempo, la paciencia, enseñanzas y dedicación puestas en el desarrollo de este proyecto de investigación.
- Este proyecto de investigación es el fruto de meses dedicados a la planeación, crianza y obtención de los resultados después de tanto trabajo, teniendo en la misma un apoyo teórico por parte de otros investigadores, así como la dedicación de nosotros mismos y confianza puesta por nuestro asesor.
- A todas aquellas personas que nos brindaron el apoyo económico y emocional, dándonos ánimos para no desistir: a María Encarnación y Zenaida Llanos mis dos queridas madres, a Teodoro Jauregui que es como un padre para mí, a Carmen Jauregui, Carlos Quispe y Jorge Palomino, que estuvieron día a día aconsejándome y apoyándome en todo este proceso, gracias infinitas.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA N.º 01.....	2
DEDICATORIA N.º 02.....	4
AGRADECIMIENTO.....	5
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	¡Error! Marcador no definido.
1.1. Descripción de la realidad problemática	12
1.2. Formulación del problema	¡Error! Marcador no definido.
1.2.1. Problema general.....	13
1.2.2. Problemas específicos	13
1.3. Objetivos de la investigación	13
1.3.1. Objetivo general.....	13
1.3.2. Objetivos específicos	13
1.4. Justificación de la investigación	14
1.5. Delimitaciones del estudio	14
CAPÍTULO II. MARCO TEORICO	¡Error! Marcador no definido.
2.1. Antecedentes de la investigación	15
2.2. Bases teóricas.....	16
2.2.1. Formas químicas de la metionina en el alimento.....	16
2.2.2. La metionina como aminoácido esencial para aves de corral.....	18
2.2.3. Absorción intestinal y metabolismo celular de la metionina	18
2.2.4. Fuentes comerciales de metionina	20
2.2.5. Efectividad de la metionina sobre el rendimiento de aves de engorde	21
2.2.6. Importancia de los aminoácidos en la nutrición del ave.....	22
2.3. Definición de términos básicos.....	24
2.4. Hipótesis de investigación.....	24
2.4.1. Hipótesis general.....	24
2.4.2. Hipótesis específicas	24
2.5. Operacionalización de variables	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO III. METODOLOGIA	26
3.1. Gestión del experimento.....	27
3.1.1. Ubicación.....	27

3.1.2.	Características del área experimental	27
3.1.3.	Tratamientos.....	27
3.1.4.	Diseño experimental	28
3.1.5.	VARIABLES EVALUADAS.....	29
3.1.6.	Conducción del experimento.....	30
3.2.	Técnicas para el procesamiento de la información.....	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO IV. RESULTADOS		¡Error! Marcador no definido.
4.1.	Peso corporal y ganancia de peso.....	32
4.2.	Consumo de alimento y conversión alimenticia	33
4.3.	Crecimiento de plumas	34
4.4.	Nivel óptimo de Met+Cist.....	36
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN		¡Error! Marcador no definido.
5.1.	Peso corporal y ganancia de peso.....	38
5.2.	Consumo de alimento y conversión alimenticia	38
5.3.	Crecimiento de plumas	39
5.4.	Nivel óptimo de Met+Cist.....	40
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		¡Error! Marcador no definido.
6.1.	Conclusiones:.....	41
6.2.	Recomendaciones:.....	41
CAPÍTULO VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS		41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Requerimientos de proteína total, metionina y metionina + cistina en patos según diferentes recomendaciones (%)</i>	234
Tabla 2. <i>Operacionalización de variables</i>	26
Tabla 3. <i>Ingredientes y contenido nutricional de las dietas experimentales</i>	28
Tabla 4. <i>Efecto de la suplementación dietaria de L-Met sobre el peso corporal y ganancia diaria de peso de patos Muscovy en crecimiento</i>	32
Tabla 5. <i>Efecto de la suplementación dietaria de L-Met sobre el consumo de alimento y conversión alimenticia de patos Muscovy en crecimiento</i>	34
Tabla 6. <i>Efecto de la suplementación dietaria de L-Met sobre el crecimiento de la 4ta pluma primaria de patos Muscovy a los 49 días de edad</i>	35
Tabla 7. <i>Concentración óptima de metionina y metionina más cisteína</i>	36

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Configuración de aminoácidos según el aminoácido patrón D-gliceraldehido. ...	17
<i>Figura 2.</i> Conversión del isómero D-metionina al isómero L-metionina.	17
<i>Figura 3.</i> Modelo de transporte esquemático de metionina en el intestino	20
<i>Figura 4.</i> Mapa de ubicación en el Centro Experimental (Barrio Amay)	20
<i>Figura 5.</i> Representación esquemática de las plumas del ala del ave con numeración de las plumas primarias (P1-10) y secundarias (S1-18)	30
<i>Figura 6.</i> Peso corporal de patos Muscovy de 22 a 49 días alimentados con dietas suplementadas con L-Met.	33
<i>Figura 7.</i> Consumo de alimento (6 ^a) y conversión alimenticia (6B) de patos Muscovy de 22 a 49 días alimentados con dietas suplementadas con L-Met.....	34
<i>Figura 8.</i> Crecimiento de la cuarta pluma (plumas primarias) de patos Muscovy de 22 a 49 días alimentados con dietas suplementadas con L-Met.C.....	36

RESUMEN

La DL-metionina era el principal aminoácido sintético para cubrir la deficiencia de aminoácidos en dietas en base maíz y soya. Actualmente, la L-metionina, el isómero listo para el metabolismo celular, está disponible comercialmente. **Objetivo:** Evaluar el efecto de la suplementación dietaria de diferentes niveles de L-Met sobre el rendimiento productivo de patos Muscovy en crecimiento (22 a 49 días de edad). **Metodología:** Los tratamientos estuvieron representados por la dieta basal (0.5% metionina más cisteína) y cuatro dietas suplementadas con 0.1, 0.2, 0.3 y 0.4 % L-Met. Cada tratamiento estuvo representado por cuatro o cinco replicas y cada replica estuvo formado por tres animales. **Resultados:** El análisis estadístico no encontró diferencias estadísticas para el peso corporal, la ganancia de peso total y conversión alimenticia ($p > 0.05$), pero si influyó positivamente sobre el consumo de alimento ($p = 0.002$) y longitud de la cuarta pluma primaria ($p = < 0.001$). **Conclusiones:** La suplementación con 0.1 hasta 0.3% L-Met mejoró el consumo de alimento y la longitud de plumas, con tendencias de mejorar el peso corporal, numéricamente. La suplementación con 0.4% L-Met disminuyó el consumo de alimento. La concentración de Metionina más cisteína para alcanzar el óptimo peso corporal y longitud de plumas fue estimado en 0.67 y 0.68%, respectivamente.

Palabras claves: Metionina, consumo de alimento, longitud de plumas.

ABSTRACT

DL-methionine was the main synthetic amino acid to fill the amino acid deficiency in corn- and soy-based diets. Currently, L-methionine, the isomer ready for cellular metabolism, is commercially available. **Objective:** To evaluate the effect of dietary supplementation of different levels of L-Met on the productive performance of growing Muscovy ducks (22 to 49 days of age). **Methodology:** The treatments were represented by the basal diet (0.5% methionine plus cysteine) and four diets supplemented with 0.1, 0.2, 0.3 and 0.4 % L-Met. Each treatment was represented by four or five replicates and each replicate consisted of three animals. **Results:** Statistical analysis found no statistical differences for body weight, total weight gain and feed conversion ($p > 0.05$), but positively influenced feed intake ($p = 0.002$) and length of the fourth primary feather ($p = < 0.001$). **Conclusions:** Supplementation with 0.1 to 0.3% L-Met improved feed intake and feather length, with tendencies to improve body weight, numerically. Supplementation with 0.4% L-Met decreased feed intake. The methionine plus cysteine concentration to achieve optimum body weight and feather length was estimated at 0.67 and 0.68%, respectively.

Key words: Methionine, feed intake, feather length.

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

La metionina (Met), es el primer aminoácido limitante de las dietas de aves de carne basados en el maíz y la soya. En el Perú, la metionina sintética comercial de mayor utilización, para solucionar el problema de aminoácido limitante por metionina, es la DL- metionina. Esta presentación comercial proporciona el aminoácido en isómeros D y L, en una proporción de 50% para ambos isómeros. El isómero L es utilizado como tal en los procesos de síntesis y otras funciones, mientras que el isómero D debe ser primero convertido al isómero.

En la actualidad, ya se consigue aminoácido comercial en la forma L-Met para ser incluida en las raciones de monogástrico. Una de las ventajas de su utilización sería su disponibilidad para ser utilizado a nivel intestinal. El isómero D-Met solo es convertida en el hígado y riñón, por lo que no estará disponible a nivel intestinal. La suplementación con Met en la dieta beneficia el desarrollo y el crecimiento de las vellosidades intestinales (Su et al., 2018), y su deficiencia provoca un aumento de la apoptosis de las células epiteliales intestinales (Tang et al., 2015). Según Wickramasuriya et al. (2018), el crecimiento y la integridad intestinal de los pollos de engorde alimentados con una dieta suplementada con L-Met deberían ser mejores que los alimentados con una dieta suplementada con D-Met.

En patos Pekín, la eficacia de L-Met comparada con DL-Met fue de hasta 140% para el rendimiento de crecimiento de los patos de 1 a 14 días, y de 153% para los rasgos de pluma de los patos a los 35 días (Zhang et al., 2019). La disponibilidad de investigaciones con enfoque en necesidades de aminoácidos es limitada para patos Muscovy de carne, una especie muy valorada por el consumidor peruano. La presente investigación evaluó el rendimiento productivo de patos Muscovy alimentados con dietas suplementadas con L-Met, y estimó concentraciones óptimas de Met+Cist para la etapa de 22 a 49 días de edad.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

- ¿La suplementación de diferentes niveles de L-Met en la dieta influye sobre el rendimiento productivo de patos Muscovy en crecimiento (22 a 49 días de edad)?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿La suplementación de diferentes niveles de L-Met en la dieta influye sobre el peso corporal de patos Muscovy en crecimiento?
- ¿La suplementación de diferentes niveles de L-Met en la dieta influye sobre el consumo de alimento de patos Muscovy en crecimiento?
- ¿La suplementación de diferentes niveles de L-Met en la dieta influye sobre la conversión alimenticia de patos Muscovy en crecimiento?
- ¿La suplementación de diferentes niveles de L-Met en la dieta influye sobre el crecimiento de plumas (cuarta pluma primaria) de patos Muscovy en crecimiento?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

- Evaluar el efecto de la suplementación dietaria de diferentes niveles de L-Met sobre el rendimiento productivo de patos Muscovy en crecimiento (22 a 49 días de edad).

1.3.2. Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de la suplementación dietaria de diferentes niveles de L-Met sobre el peso corporal de patos Muscovy en crecimiento.
- Evaluar el efecto de la suplementación dietaria de diferentes niveles de L-Met sobre el consumo de alimento de patos Muscovy en crecimiento.
- Evaluar el efecto de la suplementación dietaria de diferentes niveles de L-Met sobre la conversión alimenticia de patos Muscovy en crecimiento.
- Evaluar el efecto de la suplementación dietaria de diferentes niveles de L-Met sobre la longitud de pluma de patos Muscovy en crecimiento.

1.4. Justificación de la investigación

La metionina es un aminoácido esencial que contiene azufre y que las aves no lo pueden sintetizar. En dietas en base de maíz y soya, el contenido de metionina se muestra deficiente, y se comporta como un aminoácido limitante en los procesos de síntesis cárnica. Tradicionalmente se utiliza empleó la DL-Met (contiene 50% de ambos isómeros) donde el isómero D debe de ser primero convertido en L por las enzimas propias del ave para su utilización. Los requerimientos nutricionales de este aminoácido han sido calculados utilizando el producto DL-Met. La D-Met solo es convertida en el hígado y riñón, sin embargo, el isómero L es muy utilizado a nivel intestinal, por lo que la utilización del producto L-Met en la dieta, podría tener influencia sobre el rendimiento del pato Muscovy de 22 a 49 días de edad.

1.5. Delimitaciones del estudio

La investigación se realizó en una instalación experimental, utilizando patos Muscovy de 22 a 49 días de edad. La investigación tuvo una duración de 28 días, entre los meses de setiembre y octubre del 2022.

CAPÍTULO II. MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Wu et al. (2019) evaluaron la influencia de niveles de energía metabolizable (EM) y Met de la dieta sobre el rendimiento del crecimiento, las características de la canal y los parámetros bioquímicos plasmáticos de patos Pekín de 1 a 21 días de edad. Los niveles basales de Met en las dos dietas basales (2756 y 2990 kcal EM/kg) fueron de 0,31 y 0,29%, respectivamente. El aminoácido cristalino L-Met se complementó para producir seis dietas de acuerdo con diferentes niveles complementarios (0, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 y 0.25%). Los resultados mostraron que el peso corporal y el aumento de peso diario aumentaron con el aumento de los niveles de Met en la dieta. A medida que aumentaba el nivel de Met en la dieta, aumentaba el rendimiento muscular de la pierna. Por el contrario, el aumento del nivel de EM en la dieta disminuyó el rendimiento muscular de la pierna y aumentó la grasa abdominal. Los resultados sugieren que el requerimiento de Met de los patos Pekín en la etapa inicial se vio afectado por los niveles de EM en la dieta.

Zhang et al. (2019) evaluaron el efecto de la suplementación de L-Met sobre el crecimiento, la calidad de la canal, las características de las plumas y la morfología del intestino delgado de patos Pekín comparado con la suplementación convencional de DL-Met. Durante la fase inicial (1 a 14 días), los patos fueron alimentados con una dieta basal (0,30% Met) o dieta suplementada con DL-Met o L-Met (0,05; 0,10; 0,15 o 0,20%). Durante la fase de crecimiento (15 a 35 días), los patos fueron alimentados con una dieta basal (0,24% Met) o dieta suplementada con DL-Met o L-Met (0,04; 0,08; 0,12 o 0,16%). En comparación con los patos alimentados con la dieta basal, la suplementación con DL-Met o L-Met aumentó el peso corporal, la ganancia de peso e ingesta diaria de alimento, y disminuyó la conversión alimenticia en la fase inicial. Los patos alimentados con dietas suplementadas con L-Met tenían mayor proporción de musculo en las piernas comparado con DL-Met, mientras que la proporción de músculo de la pechuga se mejoró con la suplementación de DL-Met. La suplementación dietética de DL-Met o L-Met aumentó la altura de las vellosidades de la mucosa ileal de los patos en los días 14 y 35. En general, la suplementación dietética con L-Met o DL-Met afectó el rendimiento del crecimiento de los patos durante la fase inicial y mejoró los rasgos de las plumas y la morfología del intestino delgado.

Xue et al. (2018) realizaron un experimento de dosis – respuesta para investigar los efectos del exceso de DL-Met y L-Met sobre la respuesta de crecimiento de los patos Pekin en la fase de inicio de 7 a 21 días de edad. Sobre la dieta basal, que contenía 0.49% Met, se suplementaron con cinco niveles de DL-Met o L-Met (0,25, 0,50, 0,75, 1,0 y 1,25%). El aumento de peso y la ingesta de alimento no cambiaron notablemente y se mantuvieron en una meseta cuando la DL-Met o L-Met suplementaria estaba por debajo del 0,50%, pero la ganancia de peso y la ingesta de alimento disminuyeron a medida que la DL-Met o L-Met suplementaria aumentó de 0,50 a 1,25%. Tanto el exceso de DL-Met como el de L-Met redujeron la ganancia de peso y la ingesta de alimento, pero no hubo diferencias significativas en la ganancia de peso y la ingesta de alimento entre los patos alimentados con dietas suplementadas con DL-Met o L-Met.

Xie et al. (2007) evaluaron el efecto del exceso de DL-Met y ácido DL-2-hidroxi-4-metiltiobutanoico libre (dl-HMB-FA) en el crecimiento de los patos Pekín desde los 21 hasta los 42 días de edad. Hubo 5 tratamientos dietéticos, que incluían una dieta de control adecuada en Met y dietas de control suplementadas con 2 niveles de DL-Met seco (1 o 2%) o 2 niveles equimolares de dl-HMB-FA líquido (1,13 o 2,26%). En comparación con los patos alimentados con dietas de control, el exceso de DL-Met o la suplementación con DL-HMB-FA redujo significativamente el aumento de peso y la ingesta de alimento. Sin embargo, sobre una base equimolar, con una actividad suplementaria de metionina del 1 o el 2%, la dl-HMB-FA fue menos depresora del crecimiento que la DLM. Según la respuesta del crecimiento al exceso de metionina, el límite superior tolerable de metionina dietética para los patos en crecimiento puede ser inferior al 1,38% si se considera el nivel de metionina de la dieta de control (0,38%).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Formas químicas de la metionina en el alimento

La metionina es un aminoácido esencial aislada por primera vez de la proteína en 1922 (Gomes & Kumar, 2005). La Met (ácido γ -metiltiobutírico) contiene un grupo α -amino y una cadena lateral que no contiene carga, clasificándose en el grupo de aminoácidos neutros (Yang et al., 2020).

Todos los aminoácidos (AA) proteínogénicos tienen al menos un carbono asimétrico

(carbono enlazado con cuatro sustituyentes o elementos diferentes) que exhibe polarización rotatoria (Wu, 2013). La polarización rotatoria es un fenómeno de quiralidad o actividad óptica que significa que cuando un haz de luz polarizada en un plano pasa a través de una solución de un isómero óptico, la luz se rotará hacia la izquierda (levo- o L-) o hacia la derecha (dextro- o D-). Por lo tanto, la forma L y la forma D correspondientes a AA son simétricas como imágenes especulares (Yang et al., 2020). La configuración absoluta de un AA se define arbitrariamente con referencia al gliceraldehído (Wu, 2013; Figura 1).

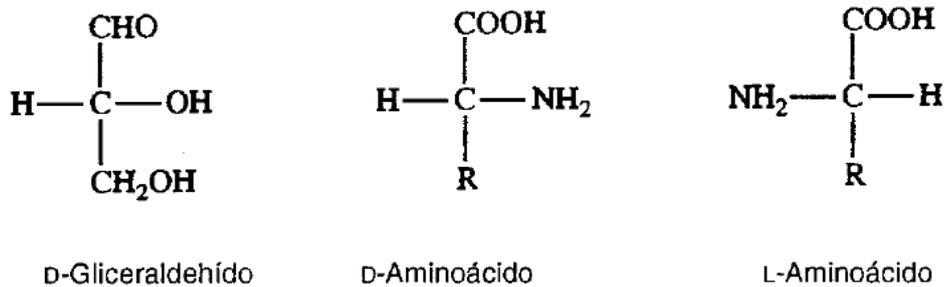


Figura 1. Configuración de aminoácidos según el aminoácido patrón D-gliceraldehído.

En la naturaleza, los L-AA son los isómeros predominantes; sin embargo, también existen algunos D-AA en animales, plantas y microorganismos (Wu, 2013). La utilización metabólica de D-AA por el animal depende de si el D-AA se puede transformar de manera eficiente en sus correspondientes isómeros L (Wu, 2013). Los animales pueden utilizar L-Met directamente para el metabolismo, incluida la síntesis de proteínas (Willke, 2014; Tian et al., 2016), mientras que D-Met necesita convertirse enzimáticamente en L-Met antes de ser utilizadas por el animal. El isómero D-Met se oxida a ceto-metionina, produciendo amoniaco como subproducto, seguido de una transaminación para convertirse en el isómero L-Met (Dilbner, 2023; Figura 2).

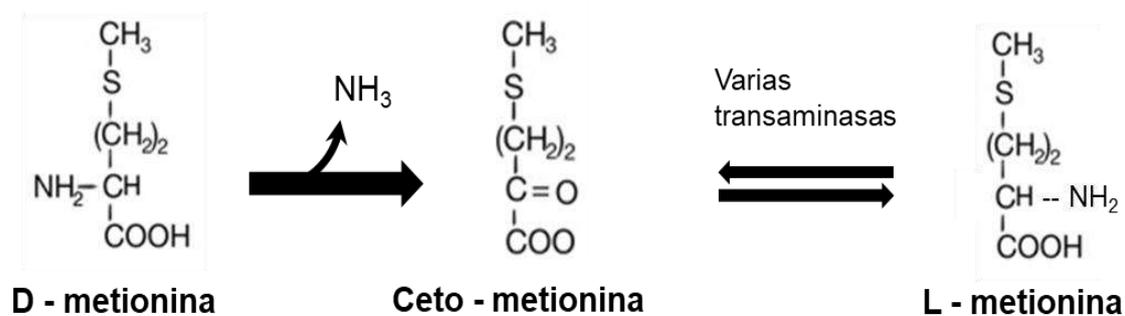


Figura 2. Conversión del isómero D-metionina al isómero L-metionina (Dilbner, 2003).

La enzima clave que convierte el isómero D en L es la D-aminoácido oxidasa y sólo existe en el hígado y el riñón (Bauriedel, 1963). Por lo tanto, las células del tracto gastrointestinal no utilizarían la D-Met directamente hasta que se convierte en L-Met en el hígado o en los riñones (Shen et al., 2015). D'Aniello et al. (1993) encontró que la expresión de la enzima D-aminoácido oxidasa es muy baja para los animales jóvenes, por lo que la L-Met sería la única forma biológicamente funcional de Met que las células intestinales de los animales jóvenes utilizan fácilmente. Curiosamente, Met tiende a tener una gran tasa de metabolismo de primer paso en el intestino (Stoll et al., 1998). El importante metabolismo esplácnico de Met indica que el tracto gastrointestinal podría tener un requisito funcional de Met (Shoveller et al., 2003).

2.2.2. La metionina como aminoácido esencial para aves de corral

Los aminoácidos esenciales deben proporcionarse en la dieta de las aves de corral, ya que las aves no pueden sintetizarlos en cantidades suficientes (Santomá et al., 2018). La Met es un aminoácido esencial importante en el crecimiento de las plumas, la síntesis y degradación de proteínas y la eficiencia alimentaria, e influye en el peso (tamaño) del huevo, la tasa de postura y la salud inmunológica (Bunchasak, 2009).

La deficiencia de Met en las aves de corral puede resultar en inhibición del crecimiento, canibalismo y mayor susceptibilidad a enfermedades (Burley et al., 2015). Como aminoácido limitante, la Met afecta los parámetros de producción avícola, como el aumento de peso corporal, el índice de conversión alimenticia y la calidad de la canal (Jankowski et al., 2014). Jankowski et al. (2014) sugiere que los requerimientos de Met son más altos para alcanzar una actividad estimuladora de inmunidad que para una producción óptima. El contenido de metionina de las dietas avícolas debe adaptarse a los requisitos específicos de las aves para mantener un equilibrio adecuado de aminoácidos en el cuerpo que estimula el crecimiento, maximiza el rendimiento de la canal, reduce la grasa de la canal y promueve una ingesta adecuada de alimento para minimizar las pérdidas y reducir los costos de producción (Bunchasak, 2009).

2.2.3. Absorción intestinal y metabolismo celular de la metionina

Las proteínas de la dieta se digieren primero mediante hidrólisis enzimática para generar productos finales absorbibles, incluidos aminoácidos y péptidos libres (Zhang et al., 2017). Estos nutrientes son absorbidos por las células epiteliales que recubren el intestino delgado

mediante una variedad de transportadores (Zhang et al., 2017). Una vez dentro de las células epiteliales, estos nutrientes se utilizan para el metabolismo celular o se transportan fuera de la célula y en la sangre para su entrega a otras células y tejidos (Gilbert et al., 2008).

Los isómeros D y L de la Met se absorben principalmente en el intestino delgado a través del transporte mediado por portadores (Soriano-García et al., 1998). Como aminoácido neutro, la Met podría transportarse por múltiples rutas, incluidas las vías dependientes e independientes del sodio (To et al., 2021). Según To et al. (2021) la absorción de la Met en el intestino animal sería de la siguiente manera (Figura 3):

La enzima Na^+/K^+ -ATPasa basolateral mantiene una concentración baja de Na^+ intracelular para crear un gradiente a través de la membrana apical que soporta el cotransporte de Na^+ -metionina. Múltiples transportadores participan en el transporte de metionina desde la membrana apical. A concentraciones bajas de metionina, la absorción de metionina puede facilitarse eficazmente mediante el transportador ASCT2 de alta afinidad dependiente de sodio y/o el transportador 4F2hc/LAT1 de alta/media afinidad independiente de sodio (To et al., 2021). Mientras tanto, el transportador rBAT/ $\text{b}^{0,+}$ AT de alta afinidad independiente de sodio es un importante antiportador que apoya la entrada de AA catiónicos a cambio de Met. A altas concentraciones, la entrada de Met está mediada principalmente por el transportador B^0 AT1 de baja afinidad dependiente de sodio. El transporte basolateral parece ser más simple que el transporte apical. El transportador LAT4 de baja afinidad independiente de sodio gobierna el flujo de Met hacia el torrente sanguíneo, mientras que el transportador 4F2hc / y^+ LAT1 de alta afinidad permite que Met vuelva a entrar para apoyar el metabolismo intracelular y / o permitir el flujo de AA catiónico. Las flechas azules indican los flujos de Met cuando la concentración de Met es alta en el lumen intestinal. Las flechas azules punteadas pueden desempeñar un papel menor. Una vez que DL-Met ingresa al grupo intracelular, una gran cantidad se reubicará en el lado basolateral para ingresar a la sangre y una pequeña cantidad se metabolizará o se someterá a conversión isomérica (p.3).

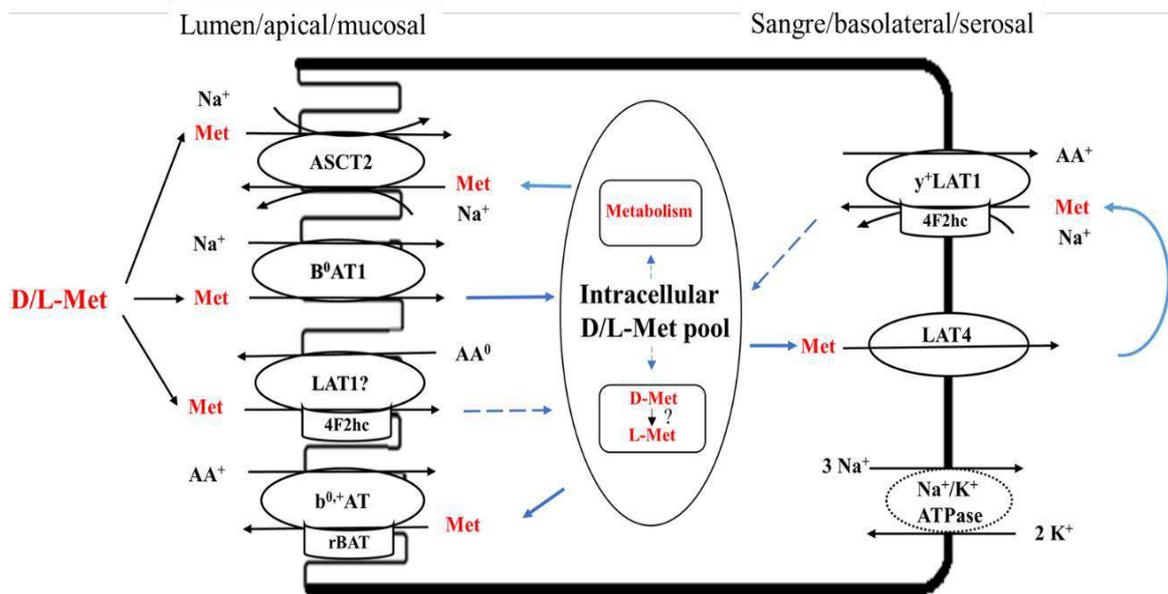


Figura 3. Modelo de transporte esquemático de metionina en el intestino (To et al., 2021).

2.2.4. Fuentes comerciales de metionina

Es difícil satisfacer las necesidades de Met sin un aumento excesivo de la proteína cruda de la dieta, lo que puede afectar negativamente a la salud de las aves debido al aumento de la excreción de nitrógeno y las emisiones de amoníaco (Burley et al., 2015). Por lo tanto, los AA se agregan en pequeñas cantidades en forma cristalina para suministrar los aminoácidos limitantes (Fanatico et al., 2018).

El producto metionina grado alimenticio comercial más utilizada es la DL-Met (99% puro), una mezcla 50:50 de D-Met y L-Met (Yang et al., 2020). La DL-Met fue sintetizado químicamente por primera vez en Francia por Alimentation Equilibrée, una empresa de aditivos para raciones, que luego se convirtió en Adisseo, en 1945 (Yang et al., 2020). En 1946, Werner Schwarze y sus colegas que trabajaban para Degussa, una empresa que luego compró Evonik, desarrollaron un método técnicamente factible para sintetizar DL-Met que llevó a la construcción de la primera planta DL-Met (360 toneladas / año) en el mundo en 1948 (Willke, 2014).

La L-Met es un producto comercial menos conocido como suplemento alimenticio (Yang et al., 2020). La L-Met se obtenía habitualmente mediante la purificación de L-Met a partir de productos DL-Met, tenía un coste de procesamiento bastante elevado y, por tanto, rara vez se utilizaba en la industria de piensos para animales. Recientemente, la L-Met de grado

alimenticio (99% de pureza) se ha vuelto comercialmente disponible. El L-Met de grado alimenticio se puede producir a partir de síntesis química, fermentación microbiana de materias primas de origen vegetal o una combinación de ambas (Willke, 2014).

La eficacia de L-Met en comparación con DL-Met se ha examinado recientemente en cerdos (Kong et al., 2016), pollos de engorde (Millecam et al., 2021), pavos (Park et al., 2018) y peces (Powell et al., 2015), y la mayoría de estos resultados muestran leves ventajas de L-Met en comparación con DL-Met, pero con algunas inconsistencias; que estarían relacionados con las diferencias en especies, edad y las variables de respuesta examinadas (Zhang et al., 2019).

2.2.5. Efectividad de la metionina sobre el rendimiento de aves de engorde

Zeng et al. (2015) observaron que dietas con 0.30% Met en la dieta para patos Pekín de 15 a 35 días de edad afectó negativamente el rendimiento productivo y el crecimiento de las plumas. A los 28 días de edad, según el modelo cuadrático de línea discontinua, el requerimiento óptimo para el peso corporal, el rendimiento de la carne de pechuga y la longitud de la cuarta pluma del ala primaria fueron 0,51, 0,44 y 0,40%, respectivamente; mientras que para los patos de hasta 35 días de edad, el requerimiento de Met fue de 0,47; 0,41 y 0,48%, respectivamente. El requisito de Met para una cobertura óptima de las plumas fue mayor que el requerimiento para el peso corporal, conversión alimenticia y rendimiento de carne de pechuga. El requisito de Met para los patos hasta los 28 d de edad fue mayor que para los patos de hasta los 35 d de edad según el rendimiento del crecimiento y las características de la canal.

Peng et al. (2018) observaron que la alimentación de pollos de engorde con una dieta alto en Met (0,58%) durante 21 días no produce acumulación de lípidos hepáticos o lesión de los hepatocitos. Alimentar a los pollos de engorde con una dieta deficiente en Met (0,27%) durante 21 días puede disminuir la exportación de lípidos hepáticos al disminuir la expresión de APOB (proteína implicada en el metabolismo de lípidos) y aumentar la expresión de citocinas inflamatorias que resulta en una acumulación de lípidos hepáticos y eventualmente lesión de los hepatocitos.

Wu et al. (2019) observaron que la deficiencia de Met resultó en una depresión del crecimiento y características deficientes de la canal de los patos Pekín en crecimiento (de 1 a 21 días de edad). Los requerimientos adecuados para la mejor eficiencia de conversión

alimenticia fueron de 0,41 a 0,50% Met a concentraciones energéticas de 2756 y 2990 kcal EM/kg, respectivamente.

2.2.6. Importancia de los aminoácidos en la nutrición del ave

Los patos pueden regular la cantidad de energía ingerida a través de la ingesta de alimento, y se considera que no responden a las variaciones del nivel de energía de la dieta (Baeza, 2016). El crecimiento será similar si se alimenta con niveles de energía dietaria que varían entre 2.5 y 3.0 Mcal EM/kg., pero el consumo de alimento y la conversión alimenticia serán más altos comparados con dietas bajas en energía (Baeza, 2016).

Las especies monogástricas no tienen necesidades específicas en proteína bruta, pero si en aminoácidos (Block y Dekker, 2017), sin embargo, el control de nivel máximo de proteína bruta en la dieta reduce problemas relacionados con la contaminación ambiental y la incidencia de camas húmedas (Santomá y Mateos, 2018). El nivel mínimo de un aminoácido esencial reduce la posibilidad de que un aminoácido esencial no contemplado en la formulación limite la productividad, mientras que el nivel máximo de un aminoácido evita problemas relacionados con la fisiología del tracto digestivo y sus efectos sobre el perfil y el crecimiento microbiano desordenado (Santomá y Mateos, 2018).

Los aminoácidos que normalmente limitan la producción en aves son la lisina y aminoácidos azufrados (metionina y cistina), seguidos de cerca por la treonina, mientras que el triptófano podría llegar a ser limitante en dietas con altos niveles de inclusión de maíz (Santomá y Mateos, 2018). La tabla 1 muestra los requerimientos de energía metabolizable, proteína y aminoácidos limitantes de varios autores.

La lisina juega un papel importante en el rendimiento del crecimiento y la utilización del alimento de las aves de corral (Siqueira et al., 2013). Como otros aminoácidos esenciales, la lisina participa principalmente en el metabolismo de las proteínas (Urdaneta-Rincon & Leeson, 2004). En las aves, la deficiencia de lisina reduce el crecimiento, el crecimiento muscular (Meloche et al., 2018), la deposición de proteínas (Urdaneta-Rincon & Leeson, 2004), y disminuye la conversión alimenticia, mientras aumenta la deposición de grasa (Grisoni et al., 1991).

Tabla 1.

Requerimientos de proteína total, metionina y metionina + cistina en patos según diferentes recomendaciones (%).

Autores	EM, kcal/kg	Proteína, %	Lisina, %	Metionina, %	Met+Cist, %	Treonina, %
Grimaud Freres Company, 2015						
0 a 3 semanas	2850	19	0.95	0.45	0.85	0.75
4 a 7 semanas	2900	17	0.85	0.40	0.65	0.60
8 a 12 semanas	3000	15	0.75	0.30	0.6	0.50
Scott & Dean, 1991						
0 a 3 semanas	2800	20	1.05	0.44	0.79	0.74
4 a 7 semanas	2900	18	0.88	0.40	0.59	-
INRA, 1989						
0 a 2/3 semanas	2900	18.4	0.88	0.35	0.73	0.62
3 a 6 semanas	3000	16	0.76	0.33	0.65	0.55
> 6 semanas	3000	15	0.72	0.30	0.62	0.52

La Met es el primer aminoácido limitante en las dietas convencionales para patos y la suplementación óptima de Met sintética en las dietas podría mejorar el rendimiento del crecimiento, los rasgos de la carcasa y el crecimiento de las plumas de los patos (Zeng et al., 2015). Sin embargo, el exceso de Met es tóxico y se observa una depresión en el crecimiento en patos Pekín en crecimiento (Xie et al., 2007). La Met es un precursor de la síntesis de proteínas y sirve como aminoácido predominante para el inicio de la traducción genética, participa en el metabolismo del grupo metilo y es un intermediario en la biosíntesis de otras moléculas importantes como la cisteína, el glutatión y la taurina (Zhang et al., 2018).

La treonina es el tercer aminoácido limitante en las dietas convencionales para aves (Ton et al., 2013). Las aves de corral no son capaces de sintetizar treonina de novo, lo que la convierte en un aminoácido nutricionalmente esencial. La treonina participa en la síntesis de proteínas y su catabolismo genera muchos productos importantes en el metabolismo como la glicina, acetil CoA y piruvato) (Kidd & Kerr, 1996); además de participar en la síntesis de colágeno, elastina y producción de anticuerpos (Ton et al., 2013).

El triptófano es un aminoácido esencial para las aves de corral, necesario para la síntesis de proteínas, afecta el apetito, regula el metabolismo de los lípidos y las respuestas inmunitarias, y juega un papel vital en la función intestinal (Emadi et al., 2010).

2.3. Definición de términos básicos

- LAT4: Proteína involucrada en la difusión facilitada de AA de cadena ramificada, metionina y fenilalanina, aunque se desconoce su función fisiológica y localización subcelular.
- B0AT1: Transportador de aminoácidos neutros dependientes de sodio.
- BAT: Transportador de aminoácidos, responsable de la cistinuria
- ASCT2: Es una proteína transportadora de aminoácidos localizado en la membrana plasmática de varias secciones corporales.
- Na⁺/K⁺-ATPasa: La bomba sodio-potasio es una enzima que realiza un transporte bombeando iones de sodio hacia fuera de la célula y al mismo tiempo bombea iones de potasio desde el exterior hacia el interior celular. Se encuentra en la membrana plasmática de todas las células animales.
- 4F2hc/LAT1: Son transportadores de aminoácidos heterodiméricos compuestos por una proteína de membrana.

2.4. Hipótesis de investigación

2.4.1. Hipótesis general

HGn: La suplementación dietaria de diferentes niveles de L-Met NO influye sobre el rendimiento productivo de patos Muscovy en crecimiento (22 a 49 días de edad).

Hga: La suplementación dietaria de diferentes niveles de L-Met SI influye sobre el rendimiento productivo de patos Muscovy en crecimiento (22 a 49 días de edad).

2.4.2. Hipótesis específicas

Hen1: La suplementación dietaria de diferentes niveles de L-Met NO influye sobre el peso corporal de patos Muscovy en crecimiento.

HEa1: La suplementación dietaria de diferentes niveles de L-Met SI influye sobre el peso corporal de patos Muscovy en crecimiento.

Hen2: La suplementación dietaria de diferentes niveles de L-Met NO influye sobre el consumo de alimento de patos Muscovy en crecimiento.

HEa2: La suplementación dietaria de diferentes niveles de L-Met SI influye sobre el consumo de alimento de patos Muscovy en crecimiento.

Hen3: La suplementación dietaria de diferentes niveles de L-Met NO influye sobre la conversión alimenticia de patos Muscovy en crecimiento.

HEa3: La suplementación dietaria de diferentes niveles de L-Met SI influye sobre la conversión alimenticia de patos Muscovy en crecimiento.

Hen4: La suplementación dietaria de diferentes niveles de L-Met NO influye sobre la longitud de pluma de patos Muscovy en crecimiento.

HEa4: La suplementación dietaria de diferentes niveles de L-Met SI influye sobre la longitud de pluma de patos Muscovy en crecimiento.

2.5. Operacionalización de variables

La operacionalización de las variables se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2.

Operacionalización de variables.

Variables	Tipo de variables	Indicador/Valoración
Variable independiente		
X₁: Patos bebes	Catagórica cuantitativa, patos de 22 a 49 días de edad.	N°
Variable dependiente		
Y₁: Peso corporal	Numérica cuantitativa	Gramos
Y₃: Consumo de alimento	Numérica cuantitativa	Gramos
Y₄: Conversión alimenticia	Numérica cuantitativa	Gramos/gramos
Y₅: Longitud de la pluma primaria del ala	Numérica cuantitativa	cm

CAPÍTULO III. METODOLOGIA

3.1. Gestión del experimento

3.1.1. Ubicación

La investigación fue realizada en un centro experimental, ubicado en la Calle Ciró Alegría (Barrio Amay), distrito de Huacho, provincia de Huaura, Región Lima. La investigación se realizó entre los meses de setiembre y octubre del 2022.



Figura 4. Mapa de ubicación en el Centro Experimental (Barrio Amay)

3.1.2. Características del área experimental

- La investigación se llevó a cabo en un galpón de techo doble agua, piso de tierra, enmallado, con 3.5 m de ancho y 14 m de largo, haciendo un área total aproximadamente de $49 m^2$.
- El galpón está ubicado de Norte a Sur con techo alto aproximadamente de 3.5 metros de altura en su parte más alta y de 2 metros en su parte más baja, con una ventilación adecuada, hechos con manta arpillera y cubierta con imprimante.
- Los corrales experimentales fueron construidos utilizando malla de metal y madera. Cada corral poseía un bebedero de botella (3 litros de capacidad) y un comedero lineal de metal (30 cm largo x 15 cm alto x 12 cm ancho).
- Para el manejo del ambiente, se trabajó con cortinas alrededor del galpón y driza para su manipulación.

3.1.3. Tratamientos

Los tratamientos evaluados fueron un tratamiento control (dieta basal) y cuatro tratamientos representados por la suplementación de niveles ascendentes de L-Met. Las dietas experimentales se muestran en la tabla 3.

Tabla 3.

Ingredientes y contenido nutricional de las dietas experimentales.

Ingredientes	Control	Suplementación con L-Metionina			
		0.10%	0.20%	0.30%	0.40%
Aceite de soya	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Maíz	62.74	62.74	62.74	62.74	62.74
Torta soya	23.61	23.61	23.61	23.61	23.61
Subproducto de trigo	8.84	8.84	8.84	8.84	8.84
L-metionina	0.00	0.10	0.20	0.30	0.40
Carbonato de calcio	0.991	0.991	0.991	0.991	0.991
Fosfato dicálcico	1.791	1.791	1.791	1.791	1.791
Sal	0.330	0.330	0.330	0.330	0.330
Premezcla	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150
Coccidiostato	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
Secuestrante	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
Cascara arroz	0.400	0.300	0.200	0.100	0.000
Contenido de nutrientes					
EM, kcal/kg	2900	2900	2900	2900	2900
Proteína cruda	17	17	17	17	17
Lisina, %	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86
Metionina, %	0.22	0.32	0.42	0.52	0.62
Met+Cist, %	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90
Treonina, %	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
Triptófano, %	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
Fibra cruda, %	3.04	3.04	3.04	3.04	3.04
Grasa cruda, %	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02
Calcio	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Fosforo Disponible, %	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
Sodio, %	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15

3.1.4. Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar, con cinco tratamientos y cinco replicas por tratamiento. Según Demétrio et al. (2013), la unidad experimental puede ser un pequeño grupo de aves (6 a 10 aves menores de 3 semanas y de 3 a 4 aves mayores de 3 semanas).

3.1.5. Variables evaluadas

Peso corporal: Se obtuvo dividiendo el peso total de los patos entre el número de patos por cada replicación de cada tratamiento.

$$\text{Peso corporal (g)} = \frac{\text{Peso total de patos}}{\text{Numero de patos}}$$

Consumo de alimento: Se midió restando el alimento ofrecido con el alimento residual, y luego dividiéndolo entre el número de patos viables para dicho momento. Esto de forma semanal y acumulada.

$$\text{Consumo de alimento semanal (g)} = \frac{\text{Alimento ofrecido} - \text{Alimento residual}}{\text{Numero de patos viables}}$$

Conversión alimenticia: Es el cociente entre el consumo de alimento y la ganancia de peso de la fase evaluada.

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

Longitud de cuarta pluma primaria del ala: La longitud de la pluma primaria del ala (Figura 4) se obtuvo tras la medición de la pluma con una escala mínima de 1mm., a partir de los 35 días de edad, según el método Zhang et al. (2019).

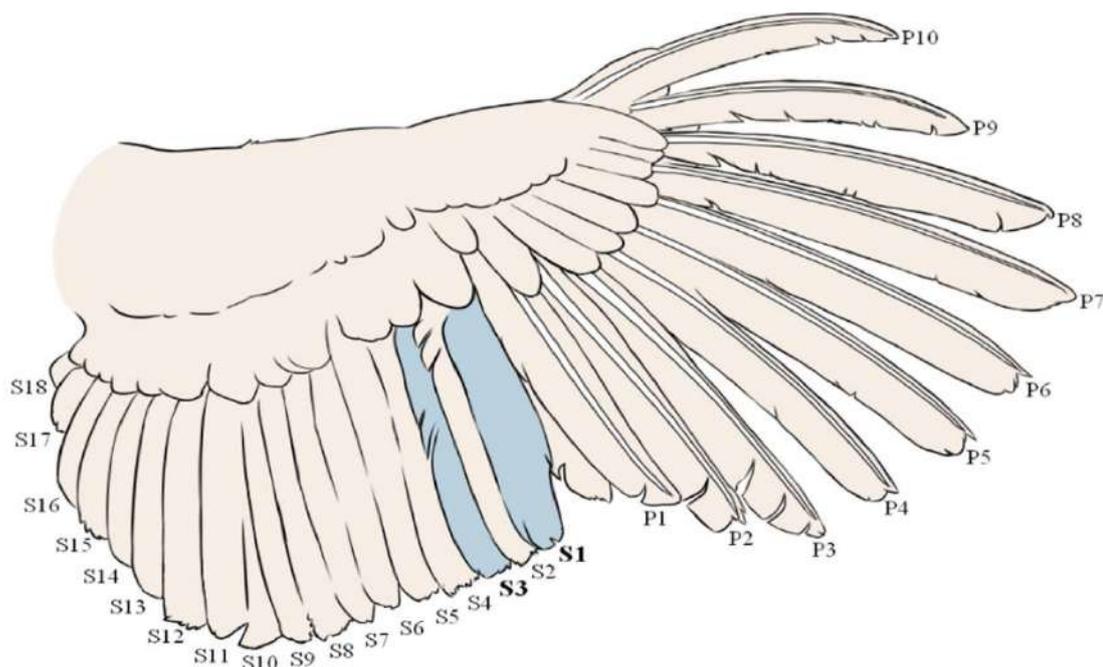


Figura 5. Representación esquemática de las plumas del ala del ave con numeración de las plumas primarias (P1-10) y secundarias (S1-18) (Fuente: Leishman et al., 2021).

3.1.6. Conducción del experimento

- El alimento peletizado y el agua fueron suministrado a voluntad.
- El pesaje de los residuos de la merma alimenticia se realizó a las 6:30 a.m. del día siguiente.
- El pesaje de los patos se realizó semanalmente, dos horas antes de suministrado el alimento.
- Se realizó la vacunación contra la parvovirus y refuerzo de parvovirus, los días 1 y 15, respectivamente, a través del método de vacunación subcutánea.

3.2. Técnicas para el procesamiento de la información

Se realizó el análisis de covarianza (ANCOVA) del peso corporal semanal, utilizando el peso corporal de los 21 días como covariable. El consumo de alimento, conversión alimenticia y longitud de plumas fueron analizadas con el análisis de variancia. Se empleó la prueba de medias de Tukey para determinar las diferencias específicas entre tratamientos.

El modelo lineal segmentado fue ejecutado para determinar el nivel de Met óptimo, según el procedimiento de la librería segmented (Adams, 2017). El modelo matemático del modelo fue el siguiente:

Modelo lineal segmentado: $Y = \alpha + \beta (X - \theta) + \text{error}$

Donde Y es la variable de resultado; X es la concentración medida del componente de la dieta; α es el rendimiento máximo estimado; β es el aumento estimado del rendimiento por concentración hasta el valor umbral a partir del cual el rendimiento ya no aumenta; θ = valor umbral de concentración estimado – (concentración-theta) = 0, para $x > \theta$; y error que es la diferencia entre el rendimiento estimado y el observado.

Los análisis estadísticos, figuras y modelos para determinar el nivel óptimo de Met fueron realizados utilizando el software libre R versión 4.0.3. (R Core Team, 2020).

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

4.1. Peso corporal y ganancia de peso

La Tabla 4 y Figura 5 muestran el peso corporal y la ganancia de peso de patos Muscovy en la etapa de crecimiento (22 a 49 días). El análisis de covariancia, tomando al peso inicial (21 días de edad) como covariable, no encontró diferencias estadísticas significativas para el peso corporal y la ganancia de peso ($p > 0.05$) por efecto de la suplementación con L-Met. Numéricamente, la no suplementación con L-Met influyó negativamente sobre el peso corporal y la ganancia diaria de peso.

Mayores detalles de los análisis estadísticos para el peso corporal y ganancia de peso se encuentran en los anexos I y V.

Tabla 4

Efecto de la suplementación dietaria de L-Met sobre el peso corporal y ganancia diaria de peso de patos Muscovy en crecimiento.

Tratamientos	Replicas	Peso corporal, kg		Ganancia diaria de peso, g
		21 d	49 d	
0.0% L-Met	4	0.602 ± 0.119	2.79 ± 0.09	76.3 ± 3.3
0.1% L-Met	5	0.668 ± 0.063	2.99 ± 0.08	83.2 ± 2.9
0.2% L-Met	4	0.680 ± 0.091	2.97 ± 0.09	82.8 ± 3.2
0.3% L-Met	5	0.706 ± 0.108	3.01 ± 0.08	83.9 ± 2.9
0.4% L-Met	5	0.636 ± 0.136	2.92 ± 0.08	80.7 ± 2.9
<i>p-valor (covariable)</i>			<i><0.001</i>	<i>0.004</i>
<i>p-valor (tratamientos)</i>			<i>0.49</i>	<i>0.49</i>

Los valores del ANCOVA se expresan como media ajustada ± EE (n = 4-5).

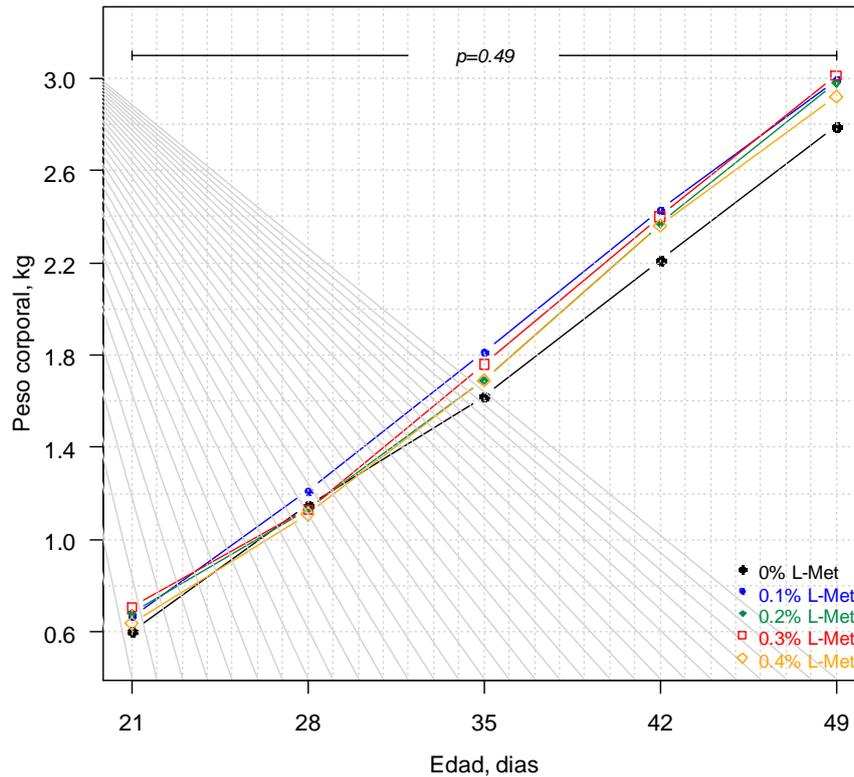


Figura 6. Peso corporal de patos Muscovy de 22 a 49 días alimentados con dietas suplementadas con L-Met.

4.2. Consumo de alimento y conversión alimenticia

La Tabla 5 y Figura 6 muestran el consumo de alimento y la conversión alimenticia de patos Muscovy en la etapa de crecimiento (22 a 49 días). El análisis de variancia encontró diferencias estadísticas altamente significativas para el consumo de alimento ($p = 0.01$) pero no para la conversión alimenticia ($p > 0.05$) cuando se suplementa L-metionina en la dieta de crecimiento. La suplementación con 0.4% L-Met disminuyó el consumo de alimento y fue similar al tratamiento control (0% L-Met). Numéricamente, conversiones más eficientes fueron observadas en los patos que consumieron la dieta con la menor y mayor concentración dietaria de Met+Cist (0 y 0.4% L-Met, respectivamente).

Mayores detalles de los análisis estadísticos para el consumo de alimento y conversión alimenticia se encuentran en los anexos II, III, VI y VII.

Tabla 5

Efecto de la suplementación dietaria de L-Met sobre el consumo de alimento y conversión alimenticia de patos Muscovy en crecimiento.

Tratamiento	Replicas	Consumo de alimento	Conversión alimenticia
0.0% L-Met	4	3.54 ± 0.17 ^b	1.69 ± 0.10
0.1% L-Met	5	4.37 ± 0.15 ^a	1.89 ± 0.09
0.2% L-Met	4	4.28 ± 0.17 ^a	1.85 ± 0.10
0.3% L-Met	5	4.46 ± 0.15 ^a	1.88 ± 0.09
0.4% L-Met	5	3.62 ± 0.15 ^b	1.62 ± 0.09
<i>p</i> -valor (covariable)		0.027	
<i>p</i> -valor (tratamientos)		0.002	0.161

Letras diferentes en columnas indican que existe diferencias significativas entre tratamientos. Los valores del ANOVA se expresan como media ± DS y los del ANCOVA se expresan como media ajustada ± EE (n = 4-5).

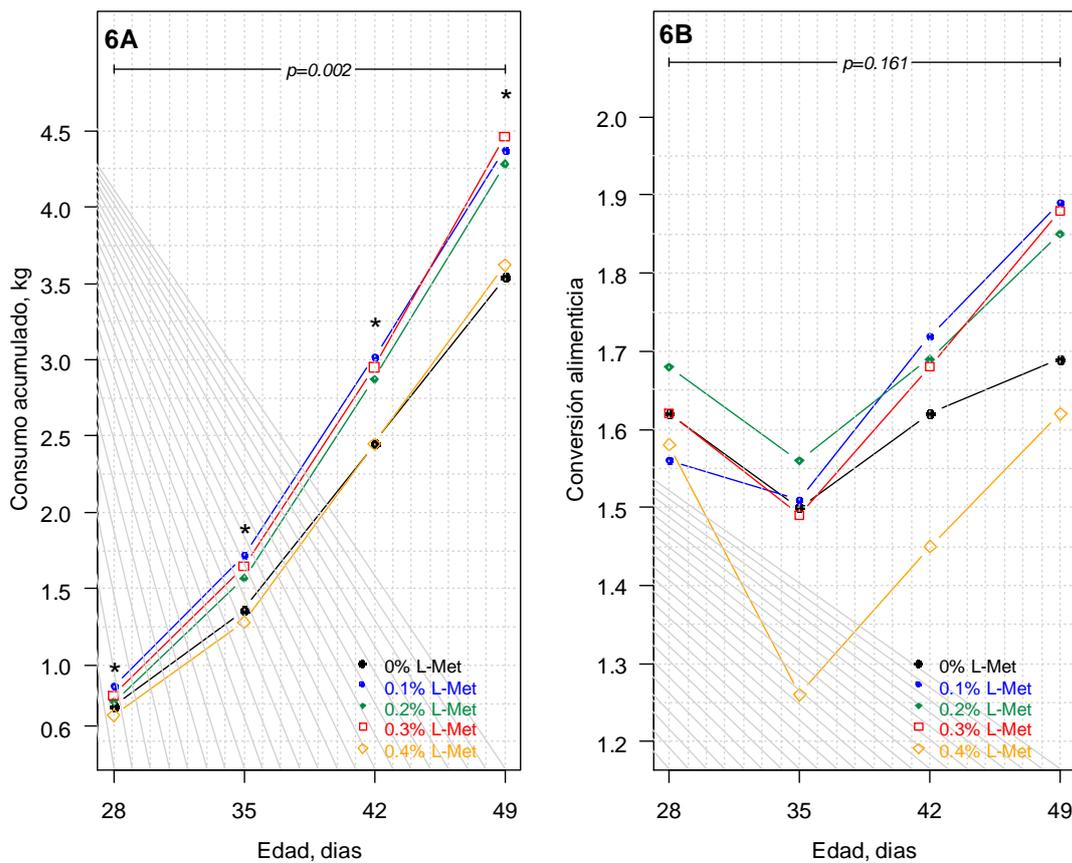


Figura 7. Consumo de alimento (6^a) y conversión alimenticia (6^B) de patos Muscovy de 22 a 49 días alimentados con dietas suplementadas con L-Met.

4.3. Crecimiento de plumas

La Tabla 6 y Figura 7 muestran el crecimiento de la pluma primaria del ala de patos Muscovy alimentados con dietas suplementadas con L-Met en la etapa de crecimiento (22 a 49 días). El análisis de variancia encontró diferencias estadísticas significativas para el crecimiento de la pluma ($p < 0.05$) cuando se suplementa L-Met en la dieta de crecimiento. Entre la sexta y séptima semana, los patos que consumieron dietas suplementadas con L-Met mostraron mayor crecimiento de la pluma.

Mayores detalles de los análisis estadísticos para el crecimiento de la pluma del ala se encuentran en los anexos VI y VIII.

Tabla 6.

Efecto de la suplementación dietaria de L-Met sobre el crecimiento de la 4ta pluma primaria de patos Muscovy a los 49 días de edad.

Tratamientos	Replicas	4ta Pluma primaria, cm
0.0% L-Met	4	3.23 ± 0.83^b
0.1% L-Met	5	4.58 ± 0.26^a
0.2% L-Met	4	4.31 ± 0.63^a
0.3% L-Met	5	4.73 ± 0.27^a
0.4% L-Met	5	4.58 ± 0.49^a
<i>p – valor</i>		<i>< 0.001</i>

Letras diferentes por columna indica diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Los valores se expresan como media \pm DS (n = 4-5).

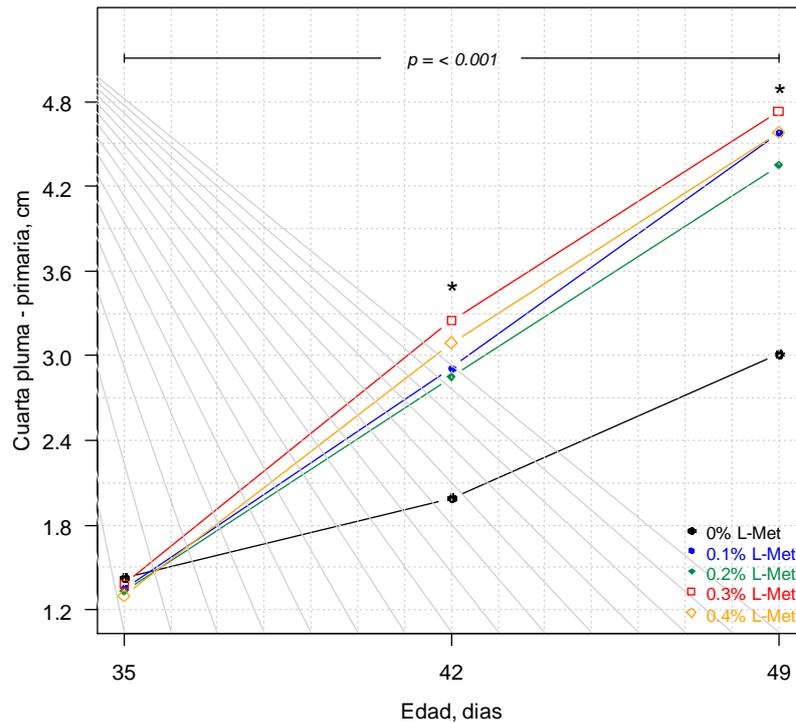


Figura 8. Crecimiento de la cuarta pluma (plumas primarias) de patos Muscovy de 22 a 49 días alimentados con dietas suplementadas con L-Met.Ç.

4.4. Nivel óptimo de Met+Cist

La Tabla 7 muestra el nivel óptimo de metionina más cisteína estimado por el modelo lineal de línea discontinua para patos Muscovy en crecimiento desde los 21 hasta los 49 días de edad. La concentración de metionina más cisteína para alcanzar el óptimo peso corporal y longitud de plumas fue estimado en 0.67 y 0.68%, respectivamente. La bondad de ajuste del modelo de regresión (R^2) muestran valores cercanos al 1 que sugieren que la variable dependiente es explicada adecuadamente por la variable independiente.

Mayores detalles de los análisis de regresión para estimar la concentración de metionina más cisteína para el óptimo peso corporal y longitud de plumas se encuentran en los anexos IX y X.

Tabla 7

Concentración óptima de metionina y metionina más cisteína.

Parámetros	Metionina más cisteína	
	%	R²
Peso corporal	0.67 ± 0.02	97
Longitud de plumas	0.68 ± 0.04	94

CAPÍTULO V. DISCUSIÓN

5.1. Peso corporal y ganancia de peso

La metionina suele ser el primer aminoácido limitante en la dieta de aves en base a maíz y soya. Este problema es solucionado adicionando DL-Met, donde los isómeros D deben de ser previamente convertidas en L para los procesos de síntesis proteica (Chung y Baker, 1992). Teóricamente, adicionar L-Met para solucionar el problema de metionina limitante, mejoraría el rendimiento animal, debido a su alta biodisponibilidad para ser incorporado directamente en los procesos de síntesis proteica (Wu et al., 2019), además de beneficiar en el desarrollo y crecimiento de las vellosidades intestinales (Su et al., 2018).

En el presente estudio, la incorporación de niveles incrementados de L-Met no mejoró el peso corporal y la ganancia de peso en patos de 22 a 49 días de edad, sin embargo, numéricamente, la no suplementación o la suplementación con 0.4% L-Met disminuyó la ganancia de peso. Estos resultados coinciden con lo reportado por Zhang et al., (2019), quienes al evaluar la suplementación dietaria desde 0.04 hasta 0.16% DL-Met o L-Met no observaron diferencias estadísticas para la ganancia de peso.

Altos niveles dietarios de aminoácidos esenciales afectan el crecimiento y el comportamiento (Han y Baker, 1993) y la Met es uno de los más tóxicos cuando se alimenta en exceso (Edmonds y Baker, 1987). En patos Pekín de 7 a 21 días de edad, la ganancia de peso no cambio de forma pronunciada y se mantuvo estable cuando el suplemento de DL-Met o L-Met fue inferior al 0,50%, pero si disminuyó a medida que los suplementos de Met aumentaba del 0,50 al 1,25%. La tendencia numérica de menor ganancia de peso en los animales que consumieron dietas suplementadas con 0.4% L-Met en el presente estudio, también se relacionaría en una posible deficiencia de vitamina B6. Para catabolizar el exceso de Met, el organismo requerirá mayores niveles de vitamina B6, debido a que esta vitamina participa en varios pasos de su catabolismo (Scherer y Baker, 2000).

5.2. Consumo de alimento y conversión alimenticia

En el presente estudio, los patos que consumieron dietas suplementadas con 0.1, 0.2 y 0.3% L-Met incrementaron el consumo de alimento comparado con el control (0% L-Met), mientras que los patos que consumieron dietas suplementadas con 0.4%-Met disminuyeron

el consumo. Xie et al. (2007) al evaluar el efecto del exceso de metionina en el crecimiento de patos Pekín (21 a 42 días de edad), sugieren que el límite superior tolerable de metionina alimentaria para los patos en crecimiento sería inferior al 1,38%.

La metionina es un aminoácido esencial, mientras que la cisteína puede sintetizarse in vivo a partir de Met, lo contrario no es posible; por lo que las dietas avícolas se suplementan con Met para cubrir las necesidades totales de aminoácidos azufrados, y el contenido de cisteína tiende a fluctuar en función de los ingredientes utilizados en la formulación de la dieta (Dilger y Baker, 2007). Katz y Baker (1975) observaron que la adición de Met en una dieta marcadamente deficiente en aminoácidos azufrados solo promueve el crecimiento en presencia de 0.2% L-cisteína. Algunos estudios sugieren que este efecto se debería a que la cisteína afectaría el transporte intestinal de Met (Lerner y Taylor, 1967; Sell et al., 1980). En condiciones de antagonismo de aminoácidos, el exceso de uno interfiere con la absorción de otro aminoácido estructuralmente similar, situación que estaría sucediendo en los patos que consumieron dietas con 0.4% L-Met, donde la metionina sería abundante en detrimento de la cisteína.

En el presente estudio, numéricamente, las conversiones alimenticias más eficientes fueron observadas en los patos que consumieron las dietas con la menor y mayor concentración de Met. Sin embargo, esta eficiencia está relacionado con el efecto negativo sobre el consumo de alimento en condiciones dietarias de deficiencia (0.22%) y exceso (0.62%) de metionina. Estos resultados se explican debido a que los patos mostraron disminución significativa en el consumo de alimento y a la vez tendencias numéricas de menor ganancia de peso. No existen estudios similares para el contraste de los resultados del presente estudio. Zhang et al., (2019) al evaluar la suplementación desde 0,04 hasta 0,16% L-Met con una dieta basal de 0.24% Met, pero en patos Pekín de 0 a 35 días de edad, observaron tendencias de mejoras de la conversión alimenticia conforme se incrementaba la suplementación.

5.3. Crecimiento de plumas

Los requerimientos nutricionales para el crecimiento de las plumas a menudo son ignorados debido a la falta de beneficios económicos directos, sin embargo, las plumas desempeñan un papel fundamental en la conservación del calor para ayudar a reducir los requerimientos de energía de mantenimiento y mejorar el rendimiento de la producción avícola (Clark et al., 2011). El mal emplume reducirán tanto la calidad de la canal al sacrificio de las aves así

como la ganancia neta (Zeng et al., 2015). La metionina se puede convertir mediante transulfuración en cistina, que participa en la síntesis de queratina de las plumas siendo el principal factor nutriente que afecta tanto la cobertura de las plumas como longitud (Zeng et al., 2015). En el presente estudio, la suplementación con L-Met en la dieta de patos Muscovy mejoró el crecimiento de la cuarta ala primaria a los 49 días de edad.

Zhang et al., (2019) al evaluar la suplementación con DL-Met y L-Met y una dieta basal en patos Pekín de 0 a 35 días de edad, observaron que la puntuación de las plumas traseras y la longitud de la cuarta pluma primaria del ala aumentaron con la suplementación con DL-Met o L-Met. Además, la puntuación de las plumas dorsales tendió a ser mayor en los patos alimentados con dietas suplementadas con L-Met en lugar de DL-Met.

5.4. Nivel óptimo de Met+Cist.

Es necesario realizar evaluaciones rutinarias de las necesidades nutricionales en aves de engorde, ya que la selección genética aporta cambios constantes en las proporciones de los componentes corporales (Pontin et al., 2018). En el presente estudio, el requerimiento de Met+Cist fue estimado en 0.67 y 0.68% como concentración para un peso corporal y longitud de plumas óptimas, respectivamente. Estos resultados son cercanos a los reportados por Grimaud-Freres Company (2015), quienes recomiendan niveles de 0.65% Met+Cist en la dieta de patos Muscovy.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones:

Bajo las condiciones en las que se realizó el presente estudio, se concluye lo siguiente:

- La suplementación dietaria de niveles entre 0.1 y 0.3% L-Met solo mostró tendencias numéricas de mejoras sobre el peso corporal de patos Muscovy en crecimiento.
- La suplementación dietaria de niveles entre 0.1 y 0.3% L-Met aumento significativamente el consumo de alimento de patos Muscovy en crecimiento.
- La no suplementación o la suplementación dietaria de 0.4% L-Met mostraron conversiones alimenticias eficientes debido al menor consumo de alimento.
- La suplementación dietaria de L-Met aumento significativamente la longitud de la cuarta ala primaria de patos Muscovy en crecimiento.
- La concentración de Met+Cist para un óptimo peso corporal y longitud de plumas de patos Muscovy en crecimiento fue estimada en 0.67 y 0.68%, respectivamente.

6.2. Recomendaciones:

- Realizar investigaciones comparativas de la eficiencia de suplementar DL-Met y L-Met sobre el rendimiento productivo de patos Muscovy en crecimiento.

CAPÍTULO VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abdel-Maksoud, A., Yan, F., Cerrate, S., Coto, C., Wang, Z., & Waldroup, P.W. (2010). Effect of dietary crude protein, lysine level and amino acid balance on performance of broilers 0 to 18 days of age. *International Journal of Poultry Science*, 9, 21-27. [10.3923/ijps.2010.21.27](https://doi.org/10.3923/ijps.2010.21.27)
- Baeza, E., & Leclercq, B. (1998). Use of industrial amino acids to allow low protein concentrations in finishing diets for growing Muscovy ducks. *British poultry science*, 39(1), 90-96. <https://doi.org/10.1080/00071669889448>
- Bauriedel, W.R. (1963). The Effect of Feeding d-Methionine on the d-Amino Acid Oxidase Activity of Chick Tissues. *Poultry Science*, 42(1), 214-217. <https://doi.org/10.3382/ps.0420214>.
- Block, M.C. & Dekker, R.A. (2017). Table standardized ileal digestibility of amino acids in feedstuffs for poultry. CVB Documentation report n° 761. Wageningen Livestock Research. Wageningen, Países Bajos.
- Boa-Amponsem, K., Dunnington, E. A., & Siegel, P. B. (1991). Genotype, Feeding Regimen, and Diet Interactions in Meat Chickens.: 2. Feeding Behavior. *Poultry science*, 70(4), 689-696.
- Brosnan, J. T., & Brosnan, M. E. (2006). The sulfur-containing amino acids: an overview. *The Journal of nutrition*, 136(6), 1636S-1640S.
- Bunchasak, C. (2009). Role of dietary methionine in poultry production. *Journal of Poultry Science*, 46, 169-179. <https://doi.org/10.2141/jpsa.46.169>
- Burley, H.K., Patterson, P.H., & Anderson, K.E. (2015) Alternative ingredients for providing adequate methionine in organic poultry diets in the United States with limited synthetic amino acid use, *World's Poultry Science Journal*, 71(3), 493-504. <https://doi.org/10.1017/S0043933915002196>
- Clark, C. J., Elias, D. O., & Prum, R. O. (2011). Aeroelastic flutter produces hummingbird feather songs. *Science (New York, N.Y.)*, 333(6048), 1430-1433.

<https://doi.org/10.1126/science.1205222>

D'Aniello, A., D'Onofrio, G., Pischetola, M., D'Aniello, G., Vetere, A., Petrucelli, L., & Fisher, G. H. (1993). Biological role of D-amino acid oxidase and D-aspartate oxidase. Effects of D-amino acids. *The Journal of biological chemistry*, 268(36), 26941-26949.

Demétrio, C.G.B., Menten, J.F.M., Leandro, R.A., & Brien, C. (2013). Experimental power considerations—Justifying replication for animal care and use committees. *Poultry Science*, 92(9), 2490-2497. <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02731>.

Dibner, J.J. (2003). Review of the metabolism of 2-hydroxy-4-(methylthio) butanoic acid. *World's Poultry Science Journal*, 59(1), 99-110. <https://doi.org/10.1079/WPS20030006>

Dilger, R. N., & Baker, D. H. (2007). DL-Methionine is as efficacious as L-methionine, but modest L-cystine excesses are anorexigenic in sulfur amino acid-deficient purified and practical-type diets fed to chicks. *Poultry science*, 86(11), 2367-2374.

Edmonds, M. S., & Baker, D. H. (1987). Comparative effects of individual amino acid excesses when added to a corn-soybean meal diet: effects on growth and dietary choice in the chick. *Journal of animal science*, 65(3), 699–705. <https://doi.org/10.2527/jas1987.653699x>

Emadi, M., Jahanshiri, F., Kaveh, K., Hair-Bejo, M., Ideris, A., & Alimon, R. (2010). Tryptophan stimulates immune response in broiler chickens challenged with infectious bursal disease vaccine. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 9 (3), 610-616. <https://medwelljournals.com/abstract/?doi=javaa.2010.610.616>

Fanatico, A.C., Arsi, K., Upadhyaya, I., Morales Ramos, J., Donoghue, D., & Donoghue, A.M. (2018). Sustainable Fish and Invertebrate Meals for Methionine and Protein Feeds in Organic Poultry Production, *Journal of Applied Poultry Research*, 27(4), 437-448. <https://doi.org/10.3382/japr/pfy037>.

Gilbert, E. R., Wong, E. A., & Webb, K. E., Jr (2008). Board-invited review: Peptide absorption and utilization: Implications for animal nutrition and health. *Journal of*

animal science, 86(9), 2135-2155. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0826>.

Gomes, J., & Kumar, D. (2005). Production of l-methionine by submerged fermentation: A review. *Enzyme and Microbial Technology*, 37(1), 3-18. doi:10.1016/j.enzmictec.2005.02.0

Grimaud Freres Company. (2015). Rearing Guide Roasting Canedins. GrimaudFrères Sélection (Ed.), Roussay (France).

Grisoni, M. L., Uzu, G., Larbier, M., & Geraert, P. A. (1991). Effect of dietary lysine level on lipogenesis in broilers. *Reproduction, nutrition, development*, 31(6), 683-690. <https://doi.org/10.1051/rnd:19910608>

Han, Y., & Baker, D. H. (1993). Effects of excess methionine or lysine for broilers fed a corn-soybean meal diet. *Poultry science*, 72(6), 1070–1074. <https://doi.org/10.3382/ps.0721070>

Jankowski, J., Kubińska, M., & Zduńczyk, Z. (2014). Nutritional and immunomodulatory function of methionine in poultry diets – a review. *Annals of Animal Science*, 14(1), 17-32. <https://doi.org/10.2478/aoas-2013-0081>

Kidd, M.T., & Kerr, B.J. (1996). L-Threonine for Poultry: A Review. *Journal of Applied Poultry Research*, 5(4), 358-367. <https://doi.org/10.1093/japr/5.4.358>.

Kong, C., Park, J.Y. Ahn, & B.G. Kim. (2016). Relative bioavailability of dl-methionine compared with l-methionine fed to nursery pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 215:181–185. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.03.011>.

LayWel. (2006). LAYWEL - Welfare implications of changes in production systems for laying hens (Deliverables D.3.1-D.3.3, WP3 - Health), 69. Consultado en abril del 2021. <http://www.laywel.eu/web/pdf/deliverables%2031-33%20health.pdf>.

Leishman, E. M., van Staaveren, N., Mohr, J., Wood, B. J., Freeman, N. E., Newman, A. E., ... & Baes, C. F. (2021). The effect of egg laying on feather and plasma corticosterone concentrations in Turkey (*Meleagris gallopavo*) Hens. *Animals*, 11(7), 1892.

Lerner, J., & Taylor, M. W. (1967). A common step in the intestinal absorption mechanisms

of D-and L-methionine. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)- Biomembranes*, 135(5), 991-999.

Meloche, K.J., Fancher, B.I., Emmerson, D.A., Bilgili, S.F., & Dozier, W.A. (2018). Effects of reduced digestible lysine density on myopathies of the Pectoralis major muscles in broiler chickens at 48 and 62 days of age. *Poultry Science*, 97(9), 3311-3324. <https://doi.org/10.3382/ps/pey171>.

Millecam, J., Khan, D.R., Dedeurwaerder, A., & Saremi, B. (2021). Optimal methionine plus cystine requirements in diets supplemented with L-methionine in starter, grower, and finisher broilers. *Poultry Science*, 100(2), 910-917. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.11.023>.

Park, I., Pasquetti, T., Malheiros, R.D., Ferket, P.R., & Kim, S.W. (2018). Effects of supplemental L-methionine on growth performance and redox status of turkey poults compared with the use of DL-methionine. *Poultry science*, 97(1), 102–109. <https://doi.org/10.3382/ps/pex259>

Peng, J.L., Bai, S.P., Wang, J.P, Ding, X.M., Zeng, Q.F., & Zhang, K.Y. (2018). Methionine deficiency decreases hepatic lipid exportation and induces liver lipid accumulation in broilers. *Poultry Science*, 97(12), 4315-4323. <https://doi.org/10.3382/ps/pey317>.

Ponce de Leon-Bedoya, C y Seminario-Murgia, M (2017). Revisión del sistema de costeo de la crianza del pollo carne en una empresa avícola. Tesis para optar el grado de Master en Direccion de empresas. PAD. Lima-Peru. <https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4277/MDE%201759.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

Pontin, C. A., Vieira, S. L., Stefanello, C., Kipper, M., Kindlein, L., Simões, C. T., & Gonzalez-Esquerria, R. (2018). Estimation of broiler responses to increased dietary methionine hydroxy analogue [DL-2-hydroxy-(4-methylthio) butanoic acid] using linear and nonlinear regression models. *Poultry science*, 97(3), 865-873.

Powell, C.D., Chowdhury, M.A.K., & Bureau, D.P. (2015). Assessing the bioavailability of L-methionine and a methionine hydroxy analogue (MHA-Ca) compared to DL-methionine in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture Research*, 48(1),

332–346. <https://doi.org/10.1111/are.12885>

Santomá, G., & Mateos, G.G. (2018). *Necesidades Nutricionales en Avicultura – Normas FEDNA*. (2da edición). Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal.

Savory, C. J. (1988). Rates of eating by domestic fowls in relation to changing food deficits. *Appetite*, 10(1), 57-65.

Scherer, C. S., & Baker, D. H. (2000). Excess dietary methionine markedly increases the vitamin B-6 requirement of young chicks. *The Journal of nutrition*, 130(12), 3055-3058.

Search Google maps. Huacho (2023). Your location Centro experimental Amay. <https://www.google.com/maps/search/Huacho+fiscalia+amay/@-11.114852,-77.6101846,16z?entry=ttu>

Sell, D. R., Featherston, W. R., & Rogler, J. C. (1980). Methionine-cystine interrelationships in chicks and rats fed diets containing suboptimal levels of methionine. *Poultry Science*, 59(8), 1878-1884.

Shen, Y. B., Ferket, P., Park, I., Malheiros, R. D., & Kim, S. W. (2015). Effects of feed grade L-methionine on intestinal redox status, intestinal development, and growth performance of young chickens compared with conventional DL-methionine. *Journal of animal science*, 93(6), 2977-2986. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-8898>

Shoveller, A. K., Brunton, J. A., House, J. D., Pencharz, P. B., & Ball, R. O. (2003). Dietary cysteine reduces the methionine requirement by an equal proportion in both parenterally and enterally fed piglets. *The Journal of nutrition*, 133(12), 4215-4224. <https://doi.org/10.1093/jn/133.12.4215>

Siqueira, J.C., Sakomura, N.K., Dourado, L.R.B., Ezequiel, J.M.B., Barbosa, N.A.A. & Fernandes, J.B.K. (2013). Diet formulation techniques and lysine requirements of 1- to 22-day-old broilers. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 15, 123-134. <https://dx.doi.org/10.1590/S1516-635X2013000200008>

Soriano-Garcia, J.F., Torras-Llort, M., Ferrer, R., & Moreto, M. (1998). Multiple pathways

for L-methionine transport in brush-border membrane vesicles from chicken jejunum. *The Journal of Physiology*, 509 (Pt 2), 527-539. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.1998.527bn.x>.

Stoll, B., Henry, J., Reeds, P.J., Yu, H., Jahoor, F., & Burrin, D.G. (1998). Catabolism dominates the first-pass intestinal metabolism of dietary essential amino acids in milk protein-fed piglets. *The Journal of nutrition*, 128(3), 606-614. <https://doi.org/10.1093/jn/128.3.606>

Su, W., Zhang, H., Ying, Z., Li, Y., Zhou, L., Wang, F., Zhang, L., & Wang, T. (2018). Effects of dietary L-methionine supplementation on intestinal integrity and oxidative status in intrauterine growth-retarded weanling piglets. *European journal of nutrition*, 57(8), 2735–2745. <https://doi.org/10.1007/s00394-017-1539-3>

Tang, Y., Tan, B., Xiong, X., Li, F., Ren, W., Kong, X., Qiu, W., Hardwidge, P. R., & Yin, Y. (2015). Methionine deficiency reduces autophagy and accelerates death in intestinal epithelial cells infected with enterotoxigenic *Escherichia coli*. *Amino acids*, 47(10), 2199-2204. <https://doi.org/10.1007/s00726-014-1781-4>

Tian, Q. Y., Zeng, Z. K., Zhang, Y. X., Long, S. F., & Piao, X. S. (2016). Effect of L- or DL-methionine Supplementation on Nitrogen Retention, Serum Amino Acid Concentrations and Blood Metabolites Profile in Starter Pigs. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 29(5), 689-694. <https://doi.org/10.5713/ajas.15.0730>

To, V., Masagounder, K., & Loewen, M.E. (2021). Critical transporters of methionine and methionine hydroxyl analogue supplements across the intestine: What we know so far and what can be learned to advance animal nutrition. *Comparative biochemistry and physiology. Part A, Molecular & integrative physiology*, 255, 110908. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2021.110908>

Ton, A.P.S., Furlan, A.C., Martins, E.N., Batista, E., Pasquetti, T.J., Scherer, C., Iwahashi, A.S., & Quadros, T.C.O.d. (2013). Nutritional requirements of digestible threonine for growing meat-type quails. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 42(7), 504-510. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982013000700007>

Tucker, C.B., MacNeil, M.D., Bruce, A. (Eds.). (2020). Guide for the Care and Use of

Agricultural Animals in Research and Teaching. American Dairy Science Association, American Society of Animal Science, and the Poultry Science Association. 4th edition. https://www.asas.org/docs/default-source/default-document-library/agguide_4th.pdf?sfvrsn=56b44ed1_2

Urdaneta-Rincon, M., & Leeson, S. (2004). Muscle (pectoralis major) protein turnover in young broiler chickens fed graded levels of lysine and crude protein. *Poultry science*, 83(11), 1897-1903. <https://doi.org/10.1093/ps/83.11.1897>

Voet, D., & Voet, J. G. (2006). *Bioquímica*. Ed. Médica Panamericana.

Wickramasuriya, S., Kim, E., Hyun M.C., Shin, T-K., Kim, B., Lee, M., Seo, S., Heo, J.M., & Choi, H. (2018). Differential Effects of Dietary Methionine Isomers on Broilers Challenged with Acute Heat Stress. *The Journal of Poultry Science*. doi: 56.10.2141/jpsa.0180072.

Willke T. (2014). Methionine production--a critical review. *Applied microbiology and biotechnology*, 98(24), 9893–9914. <https://doi.org/10.1007/s00253-014-6156-y>

Wu, G. (2013). *Amino Acids: Biochemistry and Nutrition*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.

Wu, Y.B, Tang, J., Xie, M., Zhao, R., Huang, W., Zhang, Q., & Hou, S.S. (2019). Effects of dietary energy and methionine on growth performance and carcass traits of growing Pekin ducks from 15 to 42 days of age. *Poultry Science*, 98(11), 5870-5875. <https://doi.org/10.3382/ps/pez332>.

Xie, M., Hou, S. S., Huang, W., & Fan, H. P. (2007). Effect of excess methionine and methionine hydroxy analogue on growth performance and plasma homocysteine of growing Pekin ducks. *Poultry Science*, 86(9), 1995-1999.

Xie, M., Hou, S. S., Huang, W., & Fan, H. P. (2007). Effect of excess methionine and methionine hydroxy analogue on growth performance and plasma homocysteine of growing Pekin ducks. *Poultry science*, 86(9), 1995–1999. <https://doi.org/10.1093/ps/86.9.1995>

Xue, J.J., Xie, M., Tang, J., Huang, W., Zhang, Q., & Hou S.S. (2018). Effects of excess

- DL- and L-methionine on growth performance of starter Pekin ducks. *Poultry Science*, 97(3), 946-950. <https://doi.org/10.3382/ps/pex380>.
- Yang, Z., Htoo, J.K., & Liao, S.F. (2020). Methionine nutrition in swine and related monogastric animals: Beyond protein biosynthesis. *Animal Feed Science and Technology*, 268, 114608. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114608>.
- Yoo, J., Yi, Y.J., Wickramasuriya, S.S., Kim, E., Shin, T.K., Kim, N.R., & Heo, J.M. (2017). Evaluation of dietary methionine requirement of male Korean native ducks for 3 weeks post-hatching. *Animal Science Journal*, 88, 1595-1600. <https://doi.org/10.1111/asj.12833>
- Zeng, Q. F., Zhang, Q., Chen, X., Doster, A., Murdoch, R., Makagon, M., Gardner, A., & Applegate, T. J. (2015). Effect of dietary methionine content on growth performance, carcass traits, and feather growth of Pekin duck from 15 to 35 days of age. *Poultry science*, 94(7), 1592-1599. <https://doi.org/10.3382/ps/pev117>
- Zhang, S., Gilbert, E.R., Noonan, K., Saremi, B., & Wong, E.A. (2018). Gene expression and activity of methionine converting enzymes in broiler chickens fed methionine isomers or precursors. *Poultry science*, 97(6), 2053–2063. <https://doi.org/10.3382/ps/pey037>.
- Zhang, S., Saremi, B., Gilbert, E.R., & Wong, E.A. (2017). Physiological and biochemical aspects of methionine isomers and a methionine analogue in broilers. *Poultry science*, 96(2), 425–439. <https://doi.org/10.3382/ps/pew253>.
- Zhang, Y.N., Xu, R.S., Min, L., Ruan, D., Kim, H.Y., Hong, Y.G., Chen, W., Wang, S., Xia, W.G., Luo, X., Xie, C.Y., Shang, X.G., & Zheng, C.T. (2019). Effects of L-methionine on growth performance, carcass quality, feather traits, and small intestinal morphology of Pekin ducks compared with conventional DL-methionine. *Poultry Science*, 98(12), 6866-6872. <https://doi.org/10.3382/ps/pez438>.

ANEXOS

ANEXO I: Análisis de covariancia, supuesto de normalidad y homogeneidad de varianzas para el peso corporal.

ANCOVA - SEMANA 7

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	p
TRATAMIENTO	0.115	4	0.0288	0.892	0.490
PESO INICIAL	1.491	1	1.4913	46.240	< .001
Residuos	0.548	17	0.0323		

Comprobaciones de Supuestos

Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas

F	gl1	gl2	p
1.40	4	18	0.273

Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk)

Estadístico	p
0.966	0.595

Anexo II: Análisis de covariancia, supuesto de normalidad y homogeneidad de varianzas para el consumo de alimento.

ANCOVA - SEMANA 7

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	p
TRATAMIENTO	3.170	4	0.792	6.98	0.002
PESO INICIAL	0.668	1	0.668	5.88	0.027
Residuos	1.929	17	0.113		

Comprobaciones de Supuestos

Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas

F	gl1	gl2	p
0.747	4	18	0.573

Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk)

Estadístico	p
0.936	0.151

Comparaciones Post Hoc - TRATAMIENTO

Comparación						
TRAT	TRAT	Diferencia de Medias	EE	gl	t	P _{Tukey}
T0	- T1	-0.8335	0.231	17.0	-3.609	0.016
	- T2	-0.7438	0.245	17.0	-3.038	0.050
	- T3	-0.9256	0.238	17.0	-3.888	0.009
	- T4	-0.0873	0.227	17.0	-0.384	0.995
T1	- T2	0.0897	0.226	17.0	0.396	0.994
	- T3	-0.0921	0.215	17.0	-0.429	0.992
	- T4	0.7462	0.214	17.0	3.481	0.021
T2	- T3	-0.1818	0.227	17.0	-0.802	0.926
	- T4	0.6565	0.228	17.0	2.876	0.069
T3	- T4	0.8383	0.219	17.0	3.828	0.010

Nota. Las comparaciones se basan en medias marginales estimadas

Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas

F	gl1	gl2	p
----------	------------	------------	----------

Anexo III: Análisis de covariancia, supuesto de normalidad y homogeneidad de varianzas para la conversión alimenticia

ANCOVA - SEMANA 7

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	p
TRATAMIENTO	0.289	4	0.0722	1.86	0.161
Residuos	0.698	18	0.0388		

Comprobaciones de Supuestos

Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas

F	gl1	gl2	p
3.54	4	18	0.027

Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk)

Estadístico	p
0.953	0.333

Anexo IV: Análisis de variancia, supuesto de normalidad y homogeneidad de varianzas para la longitud de plumas.

ANOVA - pluma pro 7s

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	p
Trat	8.41	4	2.102	7.85	<.001
Residuos	4.82	18	0.268		

Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas

F	gl1	gl2	p
1.02	4	18	0.423

Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk)

Estadístico	p
0.949	0.281

Comparaciones Post Hoc - Trat

Comparación		Diferencia de Medias	EE	gl	t	ptukey
Trat	Trat					
0% L-Met	- 0.1% L-Met	-1.571	0.347	18.0	-4.525	0.002
	- 0.2% L-Met	-1.345	0.366	18.0	-3.676	0.013
	- 0.3% L-Met	-1.727	0.347	18.0	-4.974	<.001
	- 0.4% L-Met	-1.571	0.347	18.0	-4.525	0.002
0.1% L-Met	- 0.2% L-Met	0.225	0.347	18.0	0.650	0.964
	- 0.3% L-Met	-0.156	0.327	18.0	-0.477	0.989
	- 0.4% L-Met	2.50e-16	0.327	18.0	7.63e-16	1.000
0.2% L-Met	- 0.3% L-Met	-0.382	0.347	18.0	-1.099	0.805
	- 0.4% L-Met	-0.225	0.347	18.0	-0.650	0.964
0.3% L-Met	- 0.4% L-Met	0.156	0.327	18.0	0.477	0.989

Nota. Las comparaciones se basan en medias marginales estimadas

Anexo V: Peso corporal semanal y ganancia de peso total de patos Muscovy por unidad experimental

Tratamientos	Replicas	Peso inicial	28 d	35 d	42 d	49 d	GP total
T0	R2	0.456	0.893	1.319	1.871	2.466	71.786
T0	R3	0.514	0.901	1.358	1.948	2.528	71.946
T0	R4	0.689	1.062	1.388	1.986	2.556	66.661
T0	R5	0.748	1.393	1.969	2.525	3.024	81.286
T1	R1	0.583	1.041	1.562	2.279	2.762	77.839
T1	R2	0.637	1.176	1.771	2.330	2.820	77.952
T1	R3	0.668	1.228	1.822	2.380	2.994	83.071
T1	R4	0.709	1.254	1.896	2.443	3.012	82.250
T1	R5	0.744	1.440	2.061	2.785	3.470	97.381
T2	R2	0.603	0.948	1.463	2.154	2.695	74.685
T2	R3	0.605	1.000	1.537	2.173	2.765	77.149
T2	R4	0.729	1.309	1.930	2.659	3.301	91.857
T2	R5	0.785	1.403	1.967	2.662	3.369	92.304
T3	R1	0.592	1.099	1.600	2.277	2.859	80.952
T3	R2	0.593	1.142	1.833	2.497	3.023	86.786
T3	R3	0.744	1.236	1.897	2.527	3.145	85.774
T3	R4	0.771	1.274	1.905	2.558	3.252	88.595
T3	R5	0.831	1.286	1.986	2.634	3.367	90.595
T4	R1	0.455	0.810	1.414	1.740	2.101	58.804
T4	R2	0.534	0.832	1.298	2.121	2.784	80.339
T4	R3	0.679	1.135	1.624	2.234	2.767	74.589
T4	R4	0.733	1.278	1.937	2.718	3.269	90.571
T4	R5	0.777	1.297	1.950	2.729	3.357	92.161

Anexo VI: Consumo de alimento semanal de patos Muscovy por unidad experimental

Tratamientos	Replicas	28 d	35 d	42 d	49 d
T0	R2	0.753	1.474	2.466	3.590
T0	R3	0.661	0.984	1.994	2.905
T0	R4	0.731	1.398	2.506	3.629
T0	R5	0.710	1.376	2.508	3.613
T1	R1	0.855	1.773	3.098	4.484
T1	R2	0.913	1.950	3.280	4.727
T1	R3	0.826	1.445	2.708	3.781
T1	R4	0.877	1.827	3.154	4.615
T1	R5	0.821	1.627	2.938	4.311
T2	R2	0.780	1.652	2.978	4.429
T2	R3	0.720	1.510	2.829	4.211
T2	R4	0.740	1.450	2.727	4.069
T2	R5	0.835	1.744	3.074	4.552
T3	R1	0.775	1.603	2.918	4.429
T3	R2	0.860	1.739	3.069	4.602
T3	R3	0.819	1.733	3.045	4.578
T3	R4	0.841	1.757	3.087	4.620
T3	R5	0.765	1.616	2.946	4.479
T4	R1	0.514	0.822	1.589	2.603
T4	R2	0.638	1.079	2.344	3.413
T4	R3	0.728	1.454	2.693	3.902
T4	R4	0.656	1.312	2.518	3.794
T4	R5	0.799	1.649	2.955	4.190

Anexo VII: Conversión alimenticia semanal de patos Muscovy por unidad experimental

Tratamientos	Replicas	28 d	35 d	42 d	49 d
T0	R2	1.724	1.708	1.743	1.786
T0	R3	1.706	1.165	1.390	1.442
T0	R4	1.959	2.000	1.932	1.944
T0	R5	1.102	1.127	1.411	1.588
T1	R1	1.866	1.811	1.826	2.057
T1	R2	1.695	1.720	1.938	2.166
T1	R3	1.475	1.252	1.582	1.626
T1	R4	1.609	1.539	1.819	2.004
T1	R5	1.179	1.235	1.439	1.581
T2	R2	2.264	1.922	1.921	2.118
T2	R3	1.820	1.620	1.804	1.949
T2	R4	1.275	1.207	1.413	1.582
T2	R5	1.349	1.474	1.637	1.761
T3	R1	1.529	1.590	1.732	1.954
T3	R2	1.568	1.402	1.612	1.894
T3	R3	1.664	1.503	1.708	1.906
T3	R4	1.672	1.549	1.728	1.862
T3	R5	1.679	1.398	1.633	1.766
T4	R1	1.445	0.856	1.236	1.581
T4	R2	2.140	1.412	1.478	1.517
T4	R3	1.596	1.537	1.732	1.868
T4	R4	1.204	1.090	1.268	1.496
T4	R5	1.535	1.405	1.514	1.624

Anexo VIII: Longitud de plumas semanal de patos Muscovy por unidad experimental

Tratamientos	Replicas	35 d	42 d	49 d
T0	R2	1.320	2.440	2.730
T0	R3	1.780	1.150	2.260
T0	R4	1.110	1.970	2.980
T0	R5	1.500	2.410	4.060
T1	R1	1.610	2.980	4.930
T1	R2	1.220	2.820	4.250
T1	R3	1.000	2.920	4.710
T1	R4	1.860	2.850	4.480
T1	R5	1.080	2.960	4.520
T2	R2	1.780	2.190	3.520
T2	R3	1.780	2.930	4.280
T2	R4	0.900	3.120	4.330
T2	R5	0.840	3.170	5.280
T3	R1	1.340	2.940	4.720
T3	R2	1.730	3.460	5.110
T3	R3	1.230	3.260	4.560
T3	R4	1.170	3.080	4.420
T3	R5	1.430	3.590	4.860
T4	R1	1.050	2.550	3.850
T4	R2	1.330	3.820	5.060
T4	R3	1.480	3.170	4.460
T4	R4	1.590	3.230	4.510
T4	R5	1.040	2.680	5.010

Anexo IX: Modelo de regresión segmentado para el peso corporal

```
modelo1 <- lm(peso3 ~ nivel_met, data = met_regresion)
```

```
modelo_seg1 <- segmented(modelo1,  
+ seg.Z = ~ nivel_met, psi = c(0.7), data=met_regresion)
```

```
summary(modelo_seg1)
```

```
***Regression Model with Segmented Relationship(s)***
```

```
Call:  
segmented.lm(obj = modelo1, seg.Z = ~nivel_met, psi = c(0.7),  
data = met_regresion)
```

```
Estimated Break-Point(s):  
Est. St.Err  
psi1.nivel_met 0.611 0.024
```

```
Meaningful coefficients of the linear terms:  
Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)  
(Intercept) 1.4000 0.2870 4.879 0.129  
nivel_met 2.6000 0.5196 5.004 0.126  
U1.nivel_met -2.8500 0.5809 -4.906 NA
```

```
Residual standard error: 0.03674 on 1 degrees of freedom  
Multiple R-Squared: 0.9735, Adjusted R-squared: 0.894
```

```
Convergence attained in 2 iter. (rel. change 3.9367e-16)
```

Anexo X: Modelo de regresión segmentado para la longitud de plumas

```
modelo5 <- lm(Pluma ~ nivel_met, data = met_regresion)
```

```
modelo_seg5 <- segmented(modelo5,  
+                          seg.Z = ~ nivel_met, psi = c(0.7), data=met_regresion)
```

```
summary(modelo_seg5)
```

Regression Model with Segmented Relationship(s)

```
Call:  
segmented.lm(obj = modelo5, seg.Z = ~nivel_met, psi = c(0.7),  
             data = met_regresion)
```

```
Estimated Break-Point(s):  
                Est. St.Err  
psi1.nivel_met 0.624   0.04
```

```
Meaningful coefficients of the linear terms:  
                Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)  
(Intercept)    -3.513      2.404  -1.461   0.382  
nivel_met       13.486      4.384   3.076   0.200  
U1.nivel_met   -13.066      4.898  -2.668    NA
```

```
Residual standard error: 0.2881 on 1 degrees of freedom  
Multiple R-Squared: 0.9441, Adjusted R-squared: 0.7766
```

```
Convergence attained in 2 iter. (rel. change 3.0337e-16)
```