

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE ZOOTECNIA



**“RELACIÓN ÓPTIMA DE AMINOÁCIDOS AZUFRADOS
A LISINA EN POLLOS DE CARNE EN LA ETAPA DE INICIO”**

Presentada por:

JORGE LUIS MEDRANO TINOCO

Tesis para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO ZOOTECNISTA

Lima – Perú

2021

**La UNALM es la titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación
(Art. 24. Reglamento de Propiedad Intelectual)**

Document Information

Analyzed document	TESIS - JORGE MEDRANO__FIN.docx (D143550030)
Submitted	2022-09-03 07:40:00
Submitted by	Victor Guevara
Submitter email	vguevara@lamolina.edu.pe
Similarity	9%
Analysis address	vguevara.unalm@analysis.arkund.com

Sources included in the report

SA	TESIS YOVANA CHOQUE AGUILAR.docx Document TESIS YOVANA CHOQUE AGUILAR.docx (D54657634)	 5
SA	Universidad Nacional Agraria La Molina / A Tesis Juan Gonzalo Retamozo.docx Document A Tesis Juan Gonzalo Retamozo.docx (D142557299) Submitted by: mcumpa@lamolina.edu.pe Receiver: mcumpa.unalm@analysis.arkund.com	 4
SA	KELVIN-DELGADO-APA-correccion-Final.pdf Document KELVIN-DELGADO-APA-correccion-Final.pdf (D111762615)	 3
SA	Efecto De La Harina De Residuos De Camaron En Pollos De Engorde.docx Document Efecto De La Harina De Residuos De Camaron En Pollos De Engorde.docx (D43719127)	 1
SA	TESIS EMPYREAL BROILERS 01-12-2017.docx Document TESIS EMPYREAL BROILERS 01-12-2017.docx (D33306494)	 2
W	URL: http://www.scielo.org.mx/pdf/ns/v12n25/2007-0705-ns-12-25-00029.pdf Fetched: 2021-12-01 08:12:32	 3
SA	PROYECTO DE TESIS XAVIER ALEJANDRO GUTIERREZ LOZADA.doc Document PROYECTO DE TESIS XAVIER ALEJANDRO GUTIERREZ LOZADA.doc (D63611338)	 2
SA	ANTEPROYECTO EMPYREAL BROILERS V0 11 04 2017.docx Document ANTEPROYECTO EMPYREAL BROILERS V0 11 04 2017.docx (D30047941)	 1
SA	Rojas - Efecto del consumo de proteína bruta, sobre el desempeño productivo y calidad del huevo en gallinas ponedoras.docx Document Rojas - Efecto del consumo de proteína bruta, sobre el desempeño productivo y calidad del huevo en gallinas ponedoras.docx (D137519944)	 1
SA	Sinchi - Suplementación de treonina en pollos de engorde.docx Document Sinchi - Suplementación de treonina en pollos de engorde.docx (D125553262)	 1
SA	Vanegas-Efecto de Lys-Met en el rendimiento de pollos broiler.docx Document Vanegas-Efecto de Lys-Met en el rendimiento de pollos broiler.docx (D142102724)	 1

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE ZOOTECNIA

**“RELACIÓN ÓPTIMA DE AMINOÁCIDOS AZUFRADOS
A LISINA EN POLLOS DE CARNE EN LA ETAPA DE INICIO”**

Presentada por:

JORGE LUIS MEDRANO TINOCO

Tesis para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO ZOOTECNISTA

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Mg.Sc. Víctor Vergara Rubín
Presidente

Mg.Sc. Marcial Cumpa Gavidia
Miembro

Mg.Sc. Pedro Ciriaco Castañeda
Miembro

Ph.D. Víctor Guevara Carrasco
Asesor

DEDICATORIA

A mi mamá Marcela por su apoyo incondicional, a mi hermano por siempre trabajar a mi lado y a mi enamorada Norah por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Guevara por la confianza depositada en mi persona y por la guía permanente durante el desarrollo del presente trabajo de investigación.

A mi enamorada Norah Gutiérrez y a su mamá Ana María por el apoyo incondicional.

A Enrique y Rony por su valioso apoyo durante la etapa experimental.

A Ericka Serrato, Fiorella, Carlos, Daniel, Erick Villegas por su apoyo durante la etapa experimental.

A Freddy Horna por su apoyo durante la etapa experimental.

Al Sr. Mario Vilca y su esposa por el apoyo en el beneficio de los pollos.

Al Ing. Marcial Cumpa, Ing. Pedro Ciriaco e Ing. Víctor Vergara por sus valiosas recomendaciones.

ÍNDICE

RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1 Rol de los aminoácidos en la nutrición de aves	2
2.2 Requerimiento de lisina	3
2.3 Requerimiento de metionina más cistina	6
2.4 Proteína ideal	8
2.5 Relación de aminoácidos azufrados a lisina (Met+Cis:Lis)	9
III. MATERIALES Y MÉTODOS	11
3.1 Lugar experimental	11
3.2 Instalaciones y equipos	3
3.3 Animales experimentales y manejo	11
3.4 Alimento	12
3.5 Tratamientos y dietas experimentales	12
3.6 Análisis Químicos de las Dietas Experimentales	13
3.7 Parámetros de evaluación	13
3.8 Diseño estadístico	20
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
4.1 Parámetros productivos de 1 – 21 días	21
4.2 Parámetros productivos de 22 – 42 días	23
4.3 Rendimiento de carcasa, porcentaje de pechuga y grasa abdominal	23
4.4 Máximo biológico y económico	24
V. CONCLUSIONES	26
VI. RECOMENDACIONES	27
VII. BIBLIOGRAFÍA	28
VIII. ANEXOS	34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:Valores de lisina y aminoácidos azufrados de tratamientos.	12
Tabla 2:Composición porcentual y valor nutricional calculado de dietas experimentales de inicio (1 - 21 días) y crecimiento (22 - 42 días).....	14
Tabla 3: Composición de premezcla de vitaminas y minerales.....	16
Tabla 4: Parámetros productivos de la variación de la relación de AAd/Lisd.	22
Tabla 5: Rendimiento de carcasa, pechuga y porcentaje de grasa abdominal de pollos de carne a los 42 días de edad con diferentes relaciones de AAd/Lisd.	24
Tabla 6: Parámetros óptimos para la relación Met+Cisd:Lisd para GP, CA y margen.	25

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Peso inicial y pesos semanales (g).....	35
Anexo 2: Ganancias de peso semanal (g).....	36
Anexo 3: Consumo de alimento semanal (g).	37
Anexo 4: Conversión alimenticia semanal (g:g).	38
Anexo 5: Rendimiento de carcasa, porcentaje de grasa y pechuga (%).	39
Anexo 6: Regresión cuadrática entre la relación Met+Cisd:Lisd y el margen, 1 – 21 días.	40
Anexo 7: Recomendaciones nutricionales para pollos Cobb 500 - 2015.....	41
Anexo 8: Relación de aminoácidos digestibles, COBB 500 - 2015.....	42
Anexo 9: Resultado del análisis proximal de dietas experimentales de las relaciones Met+Cisd:Lisd.....	42
Anexo 10: Procedimiento modelo lineal general (GLM) para el Peso Inicial.	42
Anexo 11: Procedimiento modelo lineal general (GLM) para el Peso Vivo a los 21 días.	43
Anexo 12: Procedimiento modelo lineal general (GLM) y prueba de Duncan para el Peso Vivo a los 42 días.	43
Anexo 13: Procedimiento modelo lineal general (GLM) para la ganancia de peso 1 – 21 días (g).....	44
Anexo 14: Procedimiento modelo lineal general (GLM) para la ganancia de peso de 22 – 42 días (g).	44
Anexo 15: Procedimiento modelo lineal general (GLM) y prueba de Duncan para la ganancia de peso 1 – 42 días (g).....	44
Anexo 16: Procedimiento modelo lineal general (GLM) para el consumo de alimento 1 – 21 días (g).....	45
Anexo 17: Procedimiento modelo lineal general (GLM) y prueba de Duncan para el consumo de alimento 22 – 42 días (g).	45

Anexo 18: Procedimiento modelo lineal general (GLM) y prueba de Duncan para el consumo de alimento de 1 – 42 días (g).....	46
Anexo 19: Procedimiento modelo lineal general (GLM) y prueba de Duncan para la CA de 1 – 21 días.....	47
Anexo 20: Procedimiento modelo lineal general (GLM) y prueba de Duncan para la CA de 22 – 42 días.....	47
Anexo 21: Procedimiento modelo lineal general (GLM) y prueba de Duncan para la CA de 1 – 42 días.....	48
Anexo 22: Procedimiento modelo lineal general (GLM) para la CA de 1 – 42 días.....	49
Anexo 23: Procedimiento modelo lineal general (GLM) para el rendimiento de carcasa, %.....	49
Anexo 24: Procedimiento modelo lineal general (GLM) para el rendimiento de pechuga, %.....	49
Anexo 25: Procedimiento modelo lineal general (GLM) para el porcentaje de grasa abdominal, %.....	50

RESUMEN

El estudio se llevó a cabo con 60 pollos machos Cobb 500 de un día de edad, con el objetivo de estudiar el efecto de la relación aminoácidos azufrados digestibles a lisina digestible (Met+Cisd:Lisd) en el periodo de 1 - 21 días. Las dietas se establecieron con las relaciones de 67, 71, 75 y 79 por ciento de Met+Cisd:Lisd, manteniendo constante el nivel de Met+Cisd en 0.87 por ciento y cuatro niveles de Lisd (1.295, 1.225, 1.166 y 1.106 por ciento); las cuales fueron isocalóricas e isoproteicas con 20.5 por ciento de proteína (PT) y 3072 kcal/kg de energía metabolizable (EM). Para el periodo de 22 - 42 días se brindó una dieta de crecimiento con los mismos valores nutricionales para todos los tratamientos (18.4 por ciento de PT y 3180 kcal EM). Los parámetros evaluados fueron peso vivo (PV), ganancia de peso (GP), consumo de alimento (CONS) y conversión alimenticia (CA) semanalmente, y a los 42 días se midió el rendimiento de carcasa, pechuga y el porcentaje de grasa. En el periodo de 1 - 21 días no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos para PV, GP, CONS, pero se encontró menores CA ($P < 0.05$) con las relaciones Met+Cisd:Lisd 75 y 79 por ciento. A los 42 días de edad, el rendimiento de carcasa, pechuga y el porcentaje de grasa no presentaron diferencias significativas. Con el análisis de regresión, se encontró que el máximo biológico es 72.5 y 75.8 por ciento para GP y CA respectivamente, mientras que la relación que optimiza el margen económico fue 74.0 por ciento.

Palabras clave: Proteína ideal, relación de aminoácidos, aminoácidos azufrados, lisina, relación óptima.

ABSTRACT

Sixty day-old male Cobb 500 chickens were used to assess the effect of the digestible sulfur amino acids to digestible lysine ratio (Met + Cisd: Lisd) to 3 weeks of age. Isocaloric Diets with ratios of 67, 71, 75 and 79 percent of Met + Cisd: Lisd and a constant 0.87 percent Met + Cisd level with four levels of Lisd (1,295, 1,225, 1,166 and 1,106 percent) were fed. Diets were formulated on an amino acid basis. For the period of 22 - 42 days, a standard grower diet was employed. Parameters evaluated were live weight (LW), weight gain (WG), feed intake (FI) feed conversion (FC), carcass yield, breast yield and abdominal fat were measured. In the period of 1 - 21 days, no significant differences were observed between the treatments for LW, WG, FI, but a significant lower FC ($P < 0.05$) was found for the Met + Cisd: Lisd ratios 75 and 79 percent. Carcass yield, breast yield and abdominal fat did not show significant differences at 42 days of age. Regression results showed that the biological maximum was 72.5 and 75.8 percent for WG and FC respectively, while the ratio that optimizes the economic margin was 74.0 percent.

Keywords: Ideal protein, amino acid ratio, sulfur amino acids, lysine, optimal ratio.

I. INTRODUCCIÓN

La proteína es el segundo nutriente más costoso dentro de la dieta y uno de los factores claves que determinará su uso eficiente es el balance óptimo de los aminoácidos de acuerdo con las necesidades fisiológicas que demande el metabolismo del ave. El concepto de proteína ideal se define como el balance exacto de aminoácidos capaces de proveer sin deficiencias ni excesos, las necesidades absolutas de todos los aminoácidos requeridos. Fisiológicamente, una deficiencia de aminoácidos, dependiendo del orden de limitancia, limitará la síntesis de proteína y un exceso se excretará, en el caso de las aves, como ácido úrico generando no solo pérdida de esqueletos nitrogenados, sino también incurrirán en un gasto energético para su excreción. El balance de aminoácidos tiene una importancia económica por su impacto directo en la ganancia de peso, conversión alimenticia y por otro lado, el exceso de nitrógeno en las heces provoca daños ambientales.

En una dieta en base a maíz y soya el primer aminoácido limitante es la metionina. En condiciones de déficit de cisteína, la metionina puede convertirse irreversiblemente en cisteína vía transulfuración, por ello, los requerimientos de ambos aminoácidos suelen considerarse en conjunto. Los aminoácidos azufrados son esenciales para el desarrollo de las plumas y donador de grupos metilo. La relación de aminoácidos azufrados a lisina ha sido ampliamente estudiada sobre todo después del desarrollo del concepto de proteína ideal. Cabe precisar, que dicha relación se ha obtenido empleando dietas purificadas o aplicando técnicas de dilución con dietas semipurificadas. No hay trabajos realizados con dietas prácticas y en los estudios al hallar la relación, se mantuvo el nivel de lisina constante y se modificaron los niveles de azufrados (metionina + cistina), siendo este último (metionina) el primer aminoácido limitante. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue hallar la relación óptima de aminoácidos azufrados a lisina en el periodo de 1 - 21 días, manteniendo el requerimiento de aminoácidos azufrados constante en dietas prácticas. Adicionalmente se evaluó el efecto de las dietas de inicio en el comportamiento productivo final a los 42 días medido a través de peso vivo final, ganancia de peso, conversión alimenticia, rendimiento de carcasa y rendimiento de carcasa.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Rol de los aminoácidos en la nutrición de aves

La principal función de los aminoácidos es estructural y de los 20 aminoácidos usualmente encontrados en las proteínas, en diferente combinación pueden formar diferentes proteínas (enzimas, hormonas, tejidos, etc.) (Ullah *et al.* 2015). Los aminoácidos representan la única forma de que el individuo tiene de restituir el nitrógeno que pierde (Pérez y Zamora, 2002). Por ello, todo animal debe de incluir una fuente adecuada de proteína, es decir, aminoácidos no solo para crecer sino para su propio mantenimiento (Pérez y Zamora, 2002). En este sentido, las dietas para aves deben incluir aminoácidos esenciales y no esenciales para poder satisfacer el requerimiento metabólico. Los aminoácidos esenciales son aquellos que no pueden ser sintetizados por el propio organismo del ave, por lo que, deben de estar incluidos en la dieta de forma obligatoria (Fernandez *et al.* 1994). Los aminoácidos no esenciales son necesarios para la síntesis de proteína en el organismo, sin embargo, no tienen un requerimiento mínimo en la ración, ya que, pueden sintetizarse por transferencia de grupos aminos a ciertos compuestos intermediarios del metabolismo hidrocarbonado o por conversión de algunos aminoácidos esenciales en otros no esenciales, por ejemplo, la conversión de metionina en cisteína o fenilalanina en tirosina (Bondi, 1989).

En una dieta en base a maíz - soya los aminoácidos limitantes usualmente son: Metionina, Lisina, Treonina, Arginina, Valina y triptófano y el resto de los aminoácidos generalmente están en exceso. Por ello, que en dietas comerciales se suplementan como aminoácidos sintéticos. Cada aminoácido esencial y no esencial juega un rol importante en el metabolismo del ave de acuerdo con el tipo de tejido. Por ejemplo, la lisina es el principal constituyente de la pechuga del ave y es por ello, que en los estudios de requerimiento o dosis respuesta se han observado que a mayor inclusión de lisina se observan incrementos en el porcentaje de pechuga (García y Batal 2005).

Otro aminoácido esencial es la metionina y sus funciones son, ser usualmente el primer aminoácido de iniciación en la síntesis de proteínas, además es el principal constituyente de las plumas. Huyghebaert y Pack (1996) reportaron que la suplementación con metionina sintética redujo la excreción de nitrógeno hasta en 30 por ciento. Por otro lado, la treonina es el principal componente de la mucina y este tiene la función de proteger el intestino contra la microflora luminal, además de prevenir patologías gastrointestinales y participar en los procesos de digestión y absorción de nutrientes (Smirnov *et al.* 2006). Páez *et al.* (2004) citado por Campos *et al.* (2008) reportaron que la mucina contiene 16,3 por ciento de treonina o sea 7 veces más que lisina (2,3 por ciento) y las inmunoglobulinas tienen en media 10,2 por ciento de treonina versus 6,2 por ciento de lisina; lo que muestra, que este aminoácido no solamente es importante para la deposición de musculo (ganancia de peso), sino que es extremadamente importante para el requerimiento de mantenimiento. El triptófano, otro aminoácido esencial, desempeña diversas funciones inmunes y neurológicas, especialmente regulando la ingesta de alimentos. El triptófano es un precursor de la serotonina, melatonina y niacina (Yildirim *et al.* 2020). La serotonina es un mediador entre el cerebro y el intestino y se ha reportado que el triptófano afecta el comportamiento de las aves a través de la síntesis de importantes neurotransmisores como la serotonina (Corzo *et al.* 2005).

2.2 Instalaciones y equipos

El sistema de crianza se realizó en jaulas experimentales, para ello se utilizó 1 batería con calefacción y jaulas metálicas en los periodos de 1 - 21 días y 22 – 42 respectivamente, las cuales estaban en ambientes distintos. La etapa de inicio (1 – 21 días) se realizó en una batería de fierro galvanizado que cuenta con 5 pisos y 2 jaulas por piso. Cada jaula se dividió en 2 para obtener 4 jaulas por piso. La batería contó con calefacción eléctrica controlada por un termostato, el piso fue de alambre galvanizado y cada jaula contó con dos comederos laterales y un bebedero frontal además de un estercolero de latón galvanizado. Las medidas de cada jaula en las baterías midieron 0.89 m x 0.42 m (densidad: 7.8 aves/m²). Además, cada jaula contó con comederos lineales de 0.58 m y bebederos lineales de 0.87 m cada uno (bebederos BB de 1 - 7 días).

La etapa de crecimiento (22 - 42 días) se realizó en jaulas metálicas de alambre galvanizado que contaron con un comedero frontal y un comedero lateral. Cada unidad experimental tuvo las siguientes dimensiones: 1.19 m x 0.86 m (densidad: 4.9 aves/m²). El comedero y

bebedero lineal midieron 1.19 m y un de 0.86 m respectivamente. El ambiente estuvo iluminado por tres focos tubulares fluorescentes durante las noches. Programa de luz, de 1-1 – 21d, 23 horas luz y de 22 – 42d 18 horas luz.

Se usaron los siguientes equipos y materiales durante la crianza:

- Balanza electrónica de 5 kg, sensibilidad de 1g (pesos de alimento y aves).
- Termohigrómetros.
- Malla galvanizada
- Cortinas de polipropileno
- Materiales de beneficio (cuchillos, ollas, conos de beneficio)
- Martillos, clavos, alicates, alambre.
- Materiales de limpieza (escoba, tacho, recogedor, detergentes, manguera, baldes.)
- Hojas de registros y materiales de escritorio.

Ambos ambientes, así como los equipos y baterías, fueron limpiados y desinfectados antes y después del experimento para mantener una bioseguridad adecuada.

2.3 Requerimiento de lisina

El requerimiento de lisina que se ha reportado depende del objetivo de producción, por ejemplo, ganancia de peso, conversión alimenticia o mayor rendimiento de pechuga. En la mayoría de los casos el requerimiento de lisina para ganancia de peso es inferior y el requerimiento para CA y rendimiento de pechuga usualmente es superior (Baker y Han, 1994). El NRC (1984) empezó recomendando para pollos de 0 - 21 días 1.2 por ciento de lisina total, luego en la siguiente edición (NRC, 1994) recomendó 1.1 por ciento de lisina total. Sin embargo, muchos autores han reportado valores superiores por lo que el valor podría ser superior (Kidd *et al.*, 1997; Baker y Han, 1994; Han y Baker, 1993). En este sentido, Han y Baker (1993) encontraron que el requerimiento de lisina para pollos de 0 - 3 semanas es de 1.2 por ciento total (1.01 por ciento digestible) y 1.41 por ciento total (1.21 por ciento digestible) para una menor conversión alimenticia. Abdel-Malksoud *et al.* (2010), en aves Cobb 500 de 1 - 18 días, encontraron que 1.25 y 1.30 por ciento de lisina total maximiza la ganancia de peso y la conversión alimenticia respectivamente. Rostagno *et al.* (2017) reportaron que el valor de lisina digestible para un rendimiento medio en la fase 1 - 21 días es 1.30 por ciento y para un rendimiento superior en la misma fase es 1.39 por ciento, siendo valores ampliamente superiores a lo reportado en años anteriores. Respecto a

ello, Cerrate y Corzo (2017) reportaron que en los últimos 16 años el requerimiento de lisina digestible se había incrementado en 0.009 por ciento por cada año en el periodo 2001 - 2017, es decir, en 0.15 por ciento durante 16 años todo ello acompañado de una reducción en la deposición de grasa abdominal y una mayor deposición de músculo. Respecto a ello, Cobb-Vantress (2018) en sus últimas recomendaciones nutricionales incrementó el requerimiento de lisina digestible entre 0.04 y 0.07 por ciento en todos los tipos de alimentos respecto a Cobb-Vantress (2015).

Por otro lado, el modelo que se emplea para interpretar los resultados ha sido una de las variables importantes. En este sentido, Pesti *et al.* (2009) probaron diferentes modelos estadísticos utilizando el mismo conjunto de datos provenientes de aves Cobb 500 de 8 -18 días y observaron que las estimaciones de lisina variaron de 0,90 a 1,28 por ciento según el modelo utilizado (línea quebrada cuadrática, polinomio cuadrático, línea quebrada lineal y exponencial). No obstante, Cemin *et al.* (2017) reportaron, en aves Cobb 500 de 1 - 12 días, una menor variación en requerimiento de lisina evaluando diferentes modelos (línea quebrada cuadrática, polinomio cuadrático, línea quebrada lineal y exponencial), de 1.04 - 1.21 por ciento para ganancia de peso y 1.03 - 1.20 por ciento para conversión alimenticia.

Bernal *et al.* (2014) estudiaron el requerimiento de lisina digestible de la línea Cobb 500 variando los niveles de lisina digestible y todos los aminoácidos, en el caso de aminoácidos azufrados mantuvo una relación de 72 por ciento, encontrando el requerimiento en 1.23 y 1.16 por ciento para 10 - 21 y 22 - 35 días de edad respectivamente. Considerando los parámetros de producción de pollos de engorde más relevantes, el requerimiento de lisina digestible para el rendimiento de carne magra (1,16 por ciento) fue mayor que para la conversión alimenticia (1,07 por ciento) y ganancia de peso (1,05 por ciento) en los machos de 22 a 35 días de edad.

Generalmente los estudios se han llevado por fases de producción y los requerimientos para cada fase están bien establecidas según los métodos de estudio. Sin embargo, García y Batal (2005) encontraron que los niveles Lisid de 7 - 21 parecen ser adecuados para la edad de 0 - 7 días. Mientras que Mohsen *et al.*, (2012) encontraron mejores ganancias de peso con 1.4 por ciento Lis de 1 - 10 días, pero con 1.3 por ciento de Lis obtuvo una mejor conversión alimenticia.

2.4 Requerimiento de metionina más cistina

La metionina es un aminoácido sumamente importante porque suele iniciar la síntesis de proteína, es precursora de la cisteína y además de donadora de grupos metilo (Warnick y Anderson, 1968). La metionina dona grupos metilo en procesos como la síntesis de creatina, colina, poliaminas y carnitina (Pacheco *et al.* 2018). En una dieta en base a maíz - soya el primer aminoácido limitante es la metionina. En condiciones de déficit de cisteína, la metionina puede convertirse irreversiblemente en cisteína vía transulfuración, por ello, los requerimientos de ambos aminoácidos suelen considerarse en conjunto (De Castro *et al.* 2011). Por otro lado, la cistina es un dímero de dos moléculas de cisteína y es la forma en que las casas genéticas y estudios de requerimientos lo consideran dado que la cisteína es una molécula inestable (NRC, 1994).

Cuando se empezaron los estudios de requerimiento de aminoácidos azufrados, se encontraron niveles de 0.52 por ciento de metionina y 0.39 por ciento de cisteína del total de la dieta maximizaban la performance, esto representaba el 4.5 por ciento del total de proteína total (Griss *et al.* 1942 citado por Almquist 1952). El NRC (1994) menciona que el requerimiento de aminoácidos azufrados totales es de 0.94 por ciento y 0.5 por ciento de metionina en pollos de 0 - 21 días. Schutte y Pack (1995) reportaron en ese mismo rango de edad, que el requerimiento de Aminoácidos azufrados, por lo menos es de 0.88 por ciento expresado como aminoácidos totales, 0.72 por ciento como digestibles (aparente) y 0.78 (verdadera). De Castro *et al.* (2011) encontraron para pollos Cobb 500 que el requerimiento de Met+Cis es 0.873, 0.755, 0.748 y 0.661 por ciento para Pre -Inicio (1 - 10 días), Inicio (11 - 21 días), Crecimiento (22 - 35 días) y Finalizador (36 - 42 días) respectivamente. Mohsen *et al.* (2012), evaluando la concentración proteica en el requerimiento de aminoácidos esenciales (metionina + cisteína y lisina), encontraron mejores resultados con 0.85 por ciento Met+Cis total con baja proteína y con alta proteína encuentra resultados parecidos con 0.9 y 1.0 por ciento de Met+Cis total.

Una de las desventajas de considerar los requerimientos de azufrados en conjunto es que se asume que el contenido de cisteína no está en exceso y por ello, solo se suplementa con metionina. Desafortunadamente, en la mayoría de los trabajos se considera el requerimiento de ambos en conjunto (NRC, 1994). NRC, (1994) sugiere que se deben de realizar más experimentos con dietas prácticas para eliminar el desacuerdo del requerimiento de aminoácidos azufrados.

Las fuentes de metionina sintética han estado disponibles por más de cuatro décadas: DL-metionina y DL-2-hydroxy-4-(methyl) ácido butanoico (DL-HMB) también conocido como hidroxi análogo de metionina, es adquirido como una sal de calcio (MHA-Ca) o como un ácido libre (MHA-FA). Mientras L-metionina y D-metionina son activamente absorbidos (transporte en contra de la gradiente de concentración) la MHA se absorbe por transporte pasivo, por difusión desde una mayor concentración a una menor concentración. Como resultado se espera una menor absorción intestinal de MHA comparado con la DL-metionina (Esteve-García *et al.* 1987).

En el mercado existen dos fuentes comerciales de metionina: DL-Meionina y metionina hidroxy análogo acido libre (MHA-FA: por sus siglas en ingles). Meirelles *et al.* (2003) comparando ambas fuentes, encontraron diferencias significativas en la fase de inicio (0 - 21 días) para ganancia de peso, diferencia numérica en consumo de alimento y una conversión alimenticia ligeramente superior suministrando DL-metionina. Sin embargo, en la etapa de crecimiento suministrando DL-metionina o MHA no se observaron mayor diferencia significativa tanto para ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia.

La diferencia entre la DL-metionina y MHA-FA es la pureza de la presentación, DL-Metionina viene al 99.9 por ciento de pureza y MHA-FA viene con 88 por ciento de pureza (Lemme *et al.* 2002; Pagliari *et al.* 2014; Thomas *et al.* 1991). Sin embargo, la diferencia no solo es en pureza sino en biodisponibilidad. Muchos autores afirman que la biodisponibilidad del MHA-FA es equivalente al 65 por ciento de DLM. En tanto Lemme *et al.* (2002) investigaron la biodisponibilidad de ambas fuentes de metionina, encontrando que MHA-FA tuvo un 57 por ciento de bioefectividad para conversión alimenticia comparado con el DL-metionina al 65 por ciento de pureza. Además, Pagliari *et al.* (2014) observaron resultados similares para MHA-FA, 52 por ciento de biodisponibilidad para ganancia de peso, 57 por ciento para conversión alimenticia y 65 por ciento para rendimiento de pechuga. Un estudio realizado en cerdos también revela una biodisponibilidad similar (62 por ciento) a la que ocurren en aves (Zimmermann *et al.* 2005).

Esta diferencia en cuanto a biodisponibilidad podría deberse a que existe una sustancial conversión de MHA-FA en el paso por el intestino delgado a compuestos que no suelen ser fuentes disponibles de metionina para el ave, lo cual podría ser debido a una degradación del análogo por fermentación microbiana (Lemme *et al.* 2001). Sin embargo, la mejor forma de suministrar metionina es bajo la forma de L-metionina, sobre todo en pollitos de 0 - 21 días

de edad. Debido a que la forma altamente biodisponible en el intestino delgado es bajo la forma de L-metionina y además la expresión de la enzima D - Amino oxidasa (responsable de la transformación de la forma D a L - metionina) es muy baja en pollos de primeros días de edad (Shen *et al.* 2015)

La respuesta de un animal a un nutriente limitante, tales como la metionina, en general, sigue la ley de los rendimientos decrecientes. Esto significa que el rendimiento de los animales mejora de forma no lineal con el aumento de la suplementación dietética de metionina hasta que se dé el máximo potencial de crecimiento del animal, bajo las condiciones de manejo al que esté sometido (Brugalli, 2003). Amarante *et al.* (2005) evaluaron seis niveles de metionina+ cisteína total (0.664 - 0.864 por ciento) en dietas para pollos Ross de 22 - 42 días de edad y mediante una regresión cuadrática determinaron que con 0.758 por ciento ($R^2=0.79$) de metionina+ cisteína total se obtiene la mayor ganancia de peso, 0.753 por ciento ($R^2=0.89$) para una mejor conversión alimenticia y el nivel de 0.823 por ciento ($R^2=0.91$) maximiza el rendimiento de pechuga.

2.5 Proteína ideal

El concepto fue inicialmente desarrollado por Mitchel y Scott en la Universidad de Illinois entre los años 1950 y 1960 (D'Mello 2003). De acuerdo con Emmert y Baker (1997), la proteína ideal se define como el equilibrio exacto de aminoácidos esenciales y no esenciales, capaces de proveer, sin deficiencia ni excesos, las necesidades absolutas de todos los aminoácidos exigidos para mantenimiento y para ganancia de peso. Este concepto en la formulación de alimentos permite reducir el contenido de proteínas de la dieta y al mismo tiempo proporciona las necesidades de todos los aminoácidos esenciales con un perfil óptimo (Han *et al.*, 1992). Un déficit limitará el uso del resto de aminoácidos para síntesis de proteína y el exceso originará la excreción de compuestos de nitrógeno que se transformarán en nitratos en el medio ambiente (Ajinomoto, 2010; Sakomura *et al.* 2015).

El concepto involucra que los aminoácidos esenciales se expresen como proporción de un aminoácido de referencia, en el caso de aves y porcinos es la lisina (D'Mello 2003). El fundamento de expresar los requerimientos de aminoácidos como proporción de un aminoácido de referencia es porque existe una gran cantidad de factores de la dieta (nivel de proteína, nivel de energía y nivel de consumo), factores ambientales (enfermedades, hacinamiento, estrés calórico) y factores genéticos (sexo, capacidad para deposición de músculo vs grasa corporal) que podrían afectar a los requerimientos individuales de

aminoácidos pero las proporciones ideales de los aminoácidos esenciales a un aminoácido de referencia deberían permanecer sin efecto por estas variables (Baker y Han, 1994).

Cabe precisar, para el caso de porcinos la lisina es el primer aminoácido limitante y también de referencia, sin embargo, para aves el primer aminoácido limitante es la metionina, pero se emplea a la lisina como aminoácido de referencia (Lemme 2003). Para aves, la lisina es considerado el aminoácido de referencia por cuatro razones: primero, que en las dietas prácticas para pollos de carne, la lisina es el segundo aminoácido limitante después de los aminoácidos azufrados y la suplementación es económicamente factible; segundo, el análisis de lisina en dietas es sencillo; tercero, la lisina se utiliza sólo para la deposición proteica y mantenimiento (no tiene precursores) y cuarto, existe abundante información de requerimiento de lisina para una variedad de ingredientes, factores ambientales, y composición corporal (Emmert y Baker, 1997; Ajinomoto 2012).

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

El NRC (1994) sugiere que la relación de Met+Cis:Lis debería ser 82 por ciento en la etapa de inicio (1 - 3 semanas) y 72 por ciento en la etapa de crecimiento (3 - 6 semanas) expresado como aminoácidos totales. Sin embargo, Rostagno *et al.* (2017) reportaron que la relación de Met+Cis:Lis es de 72 por ciento tanto para la etapa de inicio como en la etapa de crecimiento expresado como aminoácidos totales o digestibles. Del mismo modo, Baker y Han (1994) reportaron que la relación Met+Cis:Lis debería ser 72 por ciento. En tanto, Cobb-Vantress (2015) sugiere que la relación Met+Cis:Lis en la etapa de Inicio (1 - 10 días) debería ser 74 por ciento expresado como aminoácidos totales y 75 por ciento expresado como aminoácidos digestibles. En la última publicación, Cobb-Vantress (2018) incrementó el requerimiento de lisina y azufrados y varió ligeramente su programa de alimentación, sin embargo, mantuvo la relación Met+Cis:Lis 75 por ciento (Inicio: 1 - 8 días). En la etapa de Crecimiento (11 - 21 días) sugiere que la relación debería de ser 75 por ciento expresado como aminoácidos totales y 76 por ciento expresado como aminoácidos digestibles.

Los requerimientos de hace más de 50 años demuestran que la relación Met+Cis:Lis estuvieron alrededor de 85 a 86.6 por ciento con 21 y 20 por ciento de proteína respectivamente (Almquist 1952). Esta relación es bastante elevada a lo que ahora se encuentra, ello principalmente debido a que el requerimiento de lisina ha cambiado. Los requerimientos estaban alrededor de 0.9 -1 por ciento, actualmente gracias al progreso

genético estos valores se encuentran por encima de 1.2 por ciento de lisina del total de la dieta (Cobb-Vantress 2015).

Dozier y Mercier (2013), teniendo como criterio la eficiencia alimenticia y usando el modelo de la línea quebrada con la línea Hubbard x Cobb500, encontraron que la relación ideal Met+Cis:Lis para la etapa de 0 - 14 días es de 74 por ciento. De Castro *et al.* (2011), utilizando la técnica de dilución con dietas semi purificadas, encontraron que la relación ideal de Met+Cis:Lis expresado como aminoácidos digestibles es de 71, 70, 76, y 72 por ciento para la etapa de Pre - Inicio (1 - 10 días), Inicio (11 - 21 días), Crecimiento (22 - 35 días) y Finalizador (36 - 42 días).

Campos *et al.* (2008), manteniendo los niveles de lisina fijos en 1.098 por ciento de Lisd, encontraron que con la relación Met+Cis:Lis 72.7 por ciento se obtiene una mejor conversión alimenticia. En este sentido, Campos *et al.* (2008) sugieren hallar primero el requerimiento de lisina y luego hallar la relación de Met+Cis:Lis que maximice la performance. Sin embargo, Knowles y Southern (1998) reportaron que el estudio de la relación Met+Cis:Lis puede ser hallado con un nivel adecuado de Lisina o con un nivel inferior, ya que, se obtendrán los mismos resultados.

Vieira *et al.* (2004), reduciendo la relación de Met+Cis:Lisd de 77 a 50 por ciento en aves de 14 a 35 días, encontraron que la relación de 69 por ciento maximiza la ganancia de peso y con una relación de 77 por ciento se consigue una menor conversión alimenticia. Con un análisis de regresión entre la ganancia de peso y Met+Cis:Lisd obtuvieron un máximo biológico con 72.3 por ciento y para optimizar la conversión alimenticia el estudio muestra evidencias que fuese mayor a 77 por ciento (Vieira *et al.* 2004). Los requerimientos nutricionales para aves de engorde necesitan ser regularmente actualizados de modo que permitan una mejor performance de pollos modernos, dado que, la mejora genética en esta especie continúa a grandes pasos (Mendes *et al.* 2014).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar experimental

El presente trabajo se llevó a cabo en el Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación de Aves (LINAA) de la Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria La Molina y el análisis químico proximal de las dietas se realizó en el Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos (LENA) del Departamento de Nutrición de la Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

La preparación del alimento balanceado se realizó en la Planta de Alimentos Balanceados “La Molina” del Programa de Investigación y Proyección social en Alimentos de la Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

La duración del estudio comprendió los meses de septiembre a noviembre del 2015. Los pollos fueron evaluados en la fase de inicio en el periodo de 1 - 21 días y la fase de crecimiento desde 22 - 42 días de edad.

3.2 Animales experimentales y manejo

Se emplearon 60 pollos BB machos de la línea Cobb 500 de un día de edad. Las aves se obtuvieron de una planta de incubación privada, en donde recibieron las vacunas de Marek, Newcastle y Bronquitis Infecciosa. Se realizaron trabajos de limpieza y desinfección en las instalaciones para brindar las condiciones adecuadas de sanidad antes del ingreso de los pollos BB. Asimismo, previo a la recepción se identificaron las baterías por tratamiento y repetición mediante tarjetas colocadas afuera de cada unidad experimental. Las aves fueron pesadas individualmente y distribuidas al azar en función a los tratamientos, se colocaron 5 pollos por jaula (unidad experimental).

El manejo de las aves se realizó de acuerdo con las recomendaciones técnicas de la línea (Cobb-Vantress 2013), previo a la realización de la recepción se hizo un precalentamiento del ambiente, agua y alimento disponibles. Durante el estudio, el suministro de agua y alimento fue *ad libitum*, el cambio de agua y lavado de bebederos se realizó de manera diaria,

así como el retiro de las excretas. La fuente de calor se utilizó para cumplir el programa de temperaturas de acuerdo con las recomendaciones técnicas de la línea genética y se realizó un manejo de cortinas con el fin de regular la temperatura ambiental y eliminar el amoniaco.

3.3 Alimento

El alimento se manufacturó en la Planta de Alimentos Balanceados “La Molina”, empleando una mezcladora horizontal de 200 kg de capacidad. El programa de alimentación comprendió dos fases de alimentación: Inicio (1 - 21 días) y Crecimiento (22 - 42 días). La presentación del alimento en ambas fases de alimentación fue en harina. Las dietas experimentales fueron formuladas de acuerdo con las recomendaciones de la línea para la etapa (Anexo 7) y se empleó un programa de formulación lineal al mínimo costo. 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 (tabla 3).

3.4 Tratamientos y dietas experimentales

Los tratamientos se basaron en modificaciones de la relación de aminoácidos azufrados a lisina digestible en dietas de inicio (1 - 21 días), las cuales fueron formuladas a partir de los requerimientos de la línea Cobb 500 (Anexo 7). La relación 75 por ciento Met+Cisd:Lisd recomendado por Cobb-Vantress (2015) se tomó como referencia y se asumió como el 100% . Para generar las relaciones de los tratamientos se obtuvo el 90, 95, 100 y 105 por ciento de la relación de referencia. A partir de ello se generaron 4 relaciones Met+Cisd:Lisd: 67, 71, 75 y 79 por ciento, manteniendo constante el requerimiento de Met+Cisd, 0.87 por ciento en todos los tratamientos (Tabla 1). Teniendo en cuenta los tratamientos se generaron formularon las dietas descritas en la tabla 2.

Tabla 1: Valores de lisina y aminoácidos azufrados de tratamientos.

Tratamiento	T1	T2	T3	T4
Relación AAd/Lisd	67%	71%	75%	79%
Lisina d (%)	1.295	1.225	1.166	1.106
Met+Cisd (%)	0.870	0.870	0.870	0.870

3.5 Análisis Químicos de las Dietas Experimentales

Los análisis químicos proximales de las muestras se efectuaron en el Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos (LENA) del Departamento de Nutrición de la Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria La Molina de acuerdo con los métodos propuestos por la A.O.A.C (1984).

Se tomaron muestras representativas de cada una de las dietas experimentales y se realizaron un análisis proximal completo.

3.6 Parámetros de evaluación

El peso vivo se registró semanalmente y al inicio de la evaluación, y el consumo de alimento de forma semanal. Al final de la evaluación, 3 aves por tratamiento (20% de la población) fueron beneficiados, desangrados, escaldados y desplumados para obtener el rendimiento de la carcasa (omitiendo cabeza, cuello, patas y viseras), rendimiento de pechuga (pechuga con hueso y piel) y porcentaje de grasa abdominal (incluido la grasa alrededor del ventrículo).

El rendimiento de carcasa y porcentaje de grasa se calculó con relación al peso vivo justo antes del beneficio.

A continuación, detalles de los parámetros de evaluación.

a) **Peso vivo promedio**

Se tomaron los pesos vivos en forma individual al inicio y semanalmente.

Formula:

$$\text{Peso vivo promedio(g)} = \frac{\text{suma del peso vivo del total de aves (g)}}{\text{total de aves}}$$

Donde:

- Suma del peso vivo del total de aves (g): suma del peso vivo del total de aves de la unidad experimental.
- Total de aves: Total de aves de la unidad experimental.

Tabla 2: Composición porcentual y valor nutricional calculado de dietas experimentales de inicio (1 - 21 días) y crecimiento (22 - 42 días).

Alimento Tratamiento	Inicio				Crecimiento
	T1	T2	T3	T4	
Relación AAd/Lisd	67%	71%	75%	79%	
Ingredientes (%)					
Maíz amarillo, %	58.45	58.54	58.62	58.70	63.80
Torta de soya (48%)	34.20	34.19	34.18	34.16	28.95
Fosfato dicálcico	2.08	2.08	2.08	2.08	1.70
Aceite acidulado de soya	3.04	3.05	3.06	3.06	3.88
Carbonato de calcio	0.93	0.93	0.93	0.93	0.80
Sal común,	0.48	0.48	0.48	0.48	0.40
DL - Metionina	0.31	0.31	0.31	0.31	0.24
Lisina HCl	0.37	0.28	0.20	0.13	0.11
Premezcla de vitaminas y minerales	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
L-Treonina	0.05	0.05	0.05	0.05	0.02
Total, %	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Nutrientes					
Proteína, %	20.518	20.505	20.493	20.481	18.358
E.M., kcal/kg	3.072	3.072	3.072	3.072	3.180
Lisina, %	1.390	1.320	1.260	1.200	1.050
Lisina digestible, %	1.295	1.225	1.166	1.106	0.965
Met+Cis, %	0.940	0.940	0.940	0.940	0.820
Met+Cis digestible, %	0.870	0.870	0.870	0.870	0.756
Triptófano, %	0.250	0.250	0.250	0.250	0.220
Triptófano digestible, %	0.228	0.228	0.228	0.228	0.200
Treonina, %	0.820	0.820	0.820	0.820	0.710
Treonina digestible, %	0.723	0.723	0.723	0.723	0.622
Fósforo disponible, %	0.450	0.450	0.450	0.450	0.380
Calcio, %	0.900	0.900	0.900	0.900	0.760
Sodio, %	0.200	0.200	0.200	0.200	0.170
Costo, S/ kg	S/. 1.435	S/. 1.429	S/. 1.423	S/. 1.418	S/. 1.365

b) Ganancia de peso

Se determinó por la diferencia entre el peso vivo al inicio y el peso vivo al final de cada etapa (Inicio y Crecimiento).

Fórmula:

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

Donde:

- Peso vivo final (g): Peso vivo al final al final de la semana o periodo.
- Peso vivo inicial (g): Peso vivo al inicio de la semana o periodo.

c) Consumo de Alimento

Se determinó semanalmente por diferencia entre la cantidad del suministro y el residuo. Se determinó el consumo para cada etapa (Inicio y Crecimiento).

Fórmula:

$$\begin{aligned} \text{Consumo de alimento(g)} \\ &= \text{Peso comedero inicial} + \text{Suministro de alimento(g)} \\ &\quad - \text{Peso comedero final(g)} \end{aligned}$$

Donde:

- Peso comedero inicial (g): Peso de comedero inicial incluido el alimento.
- Suministro de alimento (g): Suministro de alimento.
- Residuo de alimento (g): Peso de comedero al final del periodo incluido el alimento.

Tabla 3: Composición de premezcla de vitaminas y minerales.

Compuesto	Contenido
Retinol (Vitamina A)	12 000 000 UI
Colecalciferol (Vitamina D3)	5 000 000 UI
DL Alfa Tocoferol Acetato (Vitamina E)	30 000 UI
Menadiona Bisulfito (Vitamina K3)	3 g
Tiamina (Vitamina B1)	2 g
Rivoflavina (Vitamina B2)	10 g
Piridoxina (Vitamina B6)	3 g
Cianocobalamina (Vitamina B12)	0.015 g
Ácido pantoténico (Vitamina B5)	11g
Ácido fólico (Vitamina B9)	2 g
Niacina (Vitamina B3)	30 g
Biotina (Vitamina B7)	0.15 g
Manganeso	80 g
Zinc	80 g
Hierro	50 g
Cobre	12 g
Yodo	1 g
Selenio	0.30 g
Excipientes c.s.p	1000 g

d) Conversión Alimenticia

Se determinó como resultado de la relación entre el consumo de alimento y la ganancia de peso durante cada etapa.

Fórmula:

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

Donde:

- Consumo de alimento (g): Consumo de alimento semanal y por periodo.
- Ganancia de peso (g): Ganancia de peso semanal y por periodo.

e) Rendimiento de carcasa

Se calculó de acuerdo con Rosa *et al* (2007) dividiendo el peso de la carcasa (omitiendo cabeza, cuello, patas y viseras) entre el peso vivo.

Fórmula:

$$\text{Rendimiento de carcasa (\%)} = \frac{\text{Carcasa (g)}}{\text{Peso vivo(g)}}$$

Donde:

- Peso vivo (g): Peso vivo justo antes del beneficio.
- Carcasa (g): Ave, sin plumas, sin patas y sin cuello.

f) Rendimiento de pechuga

Se obtuvo entre la relación entre el peso de pechuga, incluyendo el hueso de la quilla y piel, entre el peso de carcasa de acuerdo con Bernal *et al.* (2014).

Fórmula:

$$\% \text{Pechuga} = \frac{\text{Peso de pechuga (g)}}{\text{Carcasa (g)}}$$

Donde:

- Peso de pechuga (g): Peso de pechuga incluyendo quilla y piel.
- Carcasa (g): peso de la carcasa (omitiendo cabeza, cuello, patas y viseras).

g) Grasa abdominal

Se determinó el peso de la grasa abdominal, incluyendo la grasa que rodea el ventrículo, dividida entre el peso vivo justo antes del beneficio y expresado como porcentaje de acuerdo con Rosa *et al* (2007).

Fórmula:

$$\% \text{Grasa abdominal} = \frac{\text{Grasa abdominal (g)}}{\text{Peso vivo (g)}}$$

Donde:

Grasa abdominal (g): Contenido de la grasa abdominal incluido la grasa adherida al ventrículo.

Peso vivo (g): Peso vivo al justo antes del beneficio.

h) Máximo biológico

Se determinó a través del cálculo de la primera derivada de una regresión cuadrática entre los parámetros a los 21 días (ganancia de peso y conversión alimenticia) y la relación Met+Cisd:Lisd.

Fórmula:

$$\frac{d}{dx} f(x) = \frac{d}{dx} (ax^2) + \frac{d}{dx} (bx) + \frac{d}{dx} (c)$$

Donde:

- $d/dxf(x)$: Primera derivada de la función cuadrática
- $d/dx(ax^2)$: derivada del término cuadrático.
- $d/dx(bx)$: derivada del término lineal.
- $d/dx(c)$: derivada del término independiente.
- a: coeficiente de término cuadrático.
- b: coeficiente del término lineal.
- c: coeficiente independiente.

i) **Máximo económico**

Se determinó a través del cálculo de la primera derivada de una regresión cuadrática entre el margen a los 21 días y la relación Met+Cisd:Lisd.

Fórmula:

$$\frac{d}{dx}f(x) = \frac{d}{dx}(ax^2) + \frac{d}{dx}(bx) + \frac{d}{dx}(c)$$

Donde:

- $d/dxf(x)$: Primera derivada de la función cuadrática
- $d/dx(ax^2)$: derivada del término cuadrático.
- $d/dx(bx)$: derivada del término lineal.
- $d/dx(c)$: derivada del término independiente.
- a: coeficiente de término cuadrático.
- b: coeficiente del término lineal.
- c: coeficiente independiente.

3.7 Diseño estadístico

Los resultados obtenidos de pesos, ganancia de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia, rendimiento de carcasa, rendimiento de pechuga y grasa abdominal fueron analizados mediante el análisis de varianza (ANOVA), utilizando el diseño en bloques completamente al azar (DBCA) tomando como bloque los diferentes pisos de la batería. Se bloqueó considerando el efecto de la ubicación de las unidades experimentales dentro de las baterías metálicas.

$$Y_{ijk} = u + T_i + B_j + e_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk}	=	Respuesta observada
U	=	media experimental
T_i	=	efecto del i-ésimo tratamiento
B_j	=	efecto del j-ésimo bloque
E_{ijk}	=	error experimental

Se realizó el análisis de varianza para los parámetros a evaluar y la prueba de significación de Duncan para el análisis de las interacciones. Los datos se procesaron con el programa estadístico Statistical Analysis System (SAS).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos para las variables peso vivo (PV), ganancia de peso (GP), consumo de alimento y conversión alimenticia (CA) en los periodos de 1 - 21, 22 - 42 y 1 - 42 días para la relación aminoácidos azufrados a lisina digestibles (Met+Cisd:Lisd) se muestran en la Tabla 4 y los resultados del análisis estadístico se observan desde el Anexo 10 hasta el Anexo 22.

4.1 Parámetros productivos de 1 – 21 días.

Se encontró un mayor PV y GP a los 21 días con la relación de 71 por ciento de Met+Cisd:Lisd pero los análisis de variancia no mostraron diferencias significativas (tabla 4). El PV y GP se reducen a medida que se reduce la relación y ello también fue observado por Vieira *et al.* (2004) y ello puede ocurrir porque al reducir el aporte de un aminoácido esencial se perjudica la síntesis de proteína, por ende, se limita la ganancia de peso. El consumo de alimento para las relaciones 75 y 79 por ciento fue numéricamente menor comparado con las relaciones 67 y 71 por ciento, pero sin diferencias significativas ($P > 0.05$). Esta tendencia en la reducción en el consumo de alimento a medida que la relación Met+Cisd:Lisd se incrementa, es contrario a lo que reportaron Pereira *et al.* (2013).

Por otro lado, la CA en el periodo de 1 - 21 días mostró diferencias significativas ($P < 0.05$), obteniéndose la menor CA con la relación 75 por ciento. Numéricamente, la relación que reduce la CA es mayor a la relación que maximiza la GP. La misma tendencia en la respuesta productiva ha sido reportada por Vieira *et al.* (2004) y De Castro *et al.* (2011). La relación Met+Cisd:Lisd que reduce la CA está de acuerdo con la tabla de requerimientos de la línea genética Cobb 500 (Cobb-Vantress 2015). No obstante, el resultado obtenido en el presente estudio es inferior a lo reportado por NRC (1994). En tanto, De Castro *et al.* (2011), empleando dietas semi purificadas, reportaron que la relación Met+Cisd:Lisd que reduce la CA es 71 por ciento. En este mismo sentido, Rostagno *et al.* (2017) y Baker y Han (1994) reportaron que la relación Met+Cis:Lisd que

Tabla 4: Parámetros productivos de la variación de la relación de AAd/Lisd.

Periodo, días	1 - 21				<i>P</i> <i>value</i>	21 - 42				<i>P</i> <i>value</i>	1 - 42				<i>P</i> <i>value</i>
	T1	T2	T3	T4		T1	T2	T3	T4		T1	T2	T3	T4	
Relación AAd/Lisd	67%	71%	75%	79%		67%	71%	75%	79%		67%	71%	75%	79%	
PI, g	46.9	47.4	46.4	46.5	0.264	942.2	961.9	952.0	939.6	0.617	46.9	47.4	46.4	46.5	0.264
PF, g	942.2	961.9	952.0	939.6	0.617	2943.8 _a	3026.5 _{bc}	3038.5 _c	2989.8 _{ab}	0.009	2943.8 _a	3026.5 _{bc}	3038.5 _c	2989.8 _{ab}	0.009
GP, g	895.3	914.5	905.6	893.1	0.647	2001.6	2064.6	2086.5	2050.2	0.141	2896.9 _a	2979.1 _{bc}	2992.1 _b	2943.3 _{ac}	0.009
CONS, g	1190.7	1190.5	1141.9	1143.9	0.084	3785.6 _a	3780.4 _a	3582.6 _b	3612.3 _b	0.045	5035.5 _a	4956.3 _b	4787.2 _c	4762.7 _c	<0.001
CA g:g	1.330 _a	1.302 _b	1.261 _c	1.281 _c	0.001	1.891 _a	1.831 _b	1.717 _c	1.762 _c	0.001	1.738 _a	1.664 _b	1.600 _c	1.618 _c	0.000

Nota: Letras diferentes en el subíndice en una misma fila y en el mismo periodo de tiempo indica diferencias estadísticas significativas. PI: peso Inicial; PF: peso final del periodo; GP: ganancia de peso del periodo; CONS: consumo de alimento del periodo; CA: conversión alimenticia del mismo periodo.

maximiza la eficiencia es 72 por ciento. Por otro lado, Campos *et al.* (2008) reportaron la menor CA con la relación Met+Cis:Lisd de 72.7 por ciento y que la relación se obtiene mejor encontrando primero el requerimiento de lisina adecuada. No obstante, Knowles y Southern (1998) reportaron que el estudio de la relación Met+Cis:Lisd puede ser hallado con un nivel adecuado de Lisina o con un nivel inferior, ya que, se obtendrán los mismos resultados. Vieira *et al.*, (2004) reportaron que la relación Met+Cis:Lisd debería de estar por encima de 77 por ciento particularmente si se desea reducir la CA.

4.2 Parámetros productivos de 22 – 42 días.

La dieta fue la misma para todos los tratamientos en el periodo de alimentación de 22 - 42 días. El PV a los 42 días fue significativamente mayor para la relación 75 por ciento de Met+Cis:Lisd comparado con 67 por ciento pero similar a 71 por ciento y la GP fue mayor con la relación 75 por ciento de Met+Cis:Lisd pero sin diferencias significativas. Estos resultados se encuentran acorde a lo observado en el periodo de 1 - 21 días.

El consumo de alimento mostró diferencias significativas ($P < 0.05$). El consumo de los tratamientos 67 y 71 por ciento fue mayor que 75 y 79 por ciento de la relación Met+Cis:Lisd, pero la GP de ambos tratamientos fueron numéricamente menores de los tratamientos 75 y 79 por ciento. Aparentemente, el desbalance de aminoácidos en la etapa de inicio afectó el consumo en la etapa de crecimiento. Park (2006) menciona que un desbalance de aminoácidos incrementa la actividad enzimática de las enzimas involucradas en el catabolismo del aminoácido limitante.

4.3 Rendimiento de carcasa, porcentaje de pechuga y grasa abdominal

Los resultados del rendimiento de carcasa, porcentaje de pechuga y grasa abdominal se observan en la Tabla 5 y los resultados de los análisis estadísticos se detallan desde el Anexo 23 hasta el Anexo 25. Los resultados para los 3 parámetros no mostraron diferencias significativas ($P > 0.05$). Los valores para rendimiento de carcasa fueron bastante similares y numéricamente se observa un ligero incremento a medida que aumenta la relación Met+Cis:Lisd. En este sentido, para el rendimiento de pechuga también se observa la misma tendencia, pero para la relación 79 por ciento, el rendimiento decrece.

Respecto a la grasa abdominal, si bien no se observaron diferencias significativas, la relación de 75 por ciento obtuvo el menor porcentaje de grasa abdominal y además coincide con la relación que consigue la menor CA

Tabla 5: Rendimiento de carcasa, pechuga y porcentaje de grasa abdominal de pollos de carne a los 42 días de edad con diferentes relaciones de AAd/Lisd.

Tratamiento	T1	T2	T3	T4	<i>P value</i>
Relación AAd/Lisd	67%	71%	75%	79%	
RC, %	73.55	73.79	73.89	73.85	0.974
RP, %	40.41	41.23	41.13	39.57	0.595
G, %	1.93	1.97	1.22	1.54	0.057

Nota: Letras diferentes en una misma fila indican diferencias estadísticas significativas. RC: rendimiento de carcasa; RP: rendimiento de pechuga; G: grasa abdominal expresada como porcentaje del peso vivo.

4.4 Máximo biológico y económico

Las ecuaciones de regresión, coeficientes de determinación (R^2), máximo biológico y máximo económico se observan en la tabla 6 y los gráficos correspondientes se observan en los Anexos 6, 7 y 8. Los resultados de GP y CA se ajustaron a un modelo cuadrático con un R^2 que se encontraron entre 87 y 100 por ciento. En este sentido, De Castro *et al.* (2011) y Oliveira *et al.* (2007) también encontraron que la GP se ajusta adecuadamente a un modelo cuadrático. Si bien existen diversos modelos que sirven para estimar el óptimo biológico para los estudios de dosis respuesta, el modelo cuadrático es uno de los más empleados dado que asume rendimientos crecientes y decrecientes para una respuesta biológica (Pesti *et al.* 2009).

La relación Met+Cisd:Lisd que maximiza la GP y CA es 72.5 y 75.8 por ciento respectivamente (Tabla 6). La relación Met+Cisd:Lisd que maximiza la CA usualmente es mayor a la relación que maximiza la GP. Estos resultados están acordes a lo reportado por Vieira *et al.* (2004) y De Castro *et al.* (2011), donde reportaron que el requerimiento que optimiza la CA tiende a ser mayor que la relación que maximiza la GP. En tanto, la relación que optimiza la GP del presente estudio es superior a lo reportado por De Castro *et al.* (2011). La relación Met+Cisd:Lisd que optimiza la CA coincide numéricamente con Dozier y Mercier (2013) pero superior a lo reportado por Cobb-Vantress (2018), Baker y Han (1994) y Rostagno *et al.* (2017). Por otro lado, la relación Met+Cisd:Lisd que optimiza el margen económico es 74 por ciento. Este valor es dinámico y dependerá de los precios del ave y de los insumos en un momento determinado (Guevara 2004).

Tabla 6: Parámetros óptimos para la relación Met+Cisd:Lisd para GP, CA y margen.

Parámetro	Ecuación	R ²	Óptimo
Ganancia de Peso 1 - 21 días	$y = -5351.2*x^2 + 7758.6*x - 1853.6$	87%	72.5%
Conversión Alimenticia 1 - 21 días	$y = 8.4221*x^2 - 12.77*x + 6.1114$	89%	75.8%
Margen 1 - 21 días	$y = -30.294*x^2 + 44.833*x + 13.231$	100%	74.0%

Nota: Valor óptimo calculado a partir de la primera derivada de la ecuación de regresión e igualada a cero.

V. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en las que se realizó la investigación y en base a los resultados obtenidos, se pueden establecer las siguientes conclusiones:

- Al análisis de variancia en el periodo de 1- 21 días, las relaciones de 75 y 79 por ciento obtuvieron una CA significativamente menores comparadas con las de 67 y 71 por ciento.
- Al análisis de regresión, la relación Met+Cisd:Lisd que maximiza la ganancia de peso en el periodo de 1 - 21 días es 72.5 por ciento.
- Al análisis de regresión, la relación Met+Cisd:Lisd que resulta en una menor CA en el periodo de 1 - 21 días es 75.8 por ciento.
- Al análisis de regresión, la relación Met+Cisd:Lisd que optimiza el margen económico en el periodo de 1 - 21 días es 74 por ciento.

VI. RECOMENDACIONES

- Evaluar la relación de aminoácidos azufrados a lisina en base a digestibilidad ileal aparente.
- Evaluar la relación de aminoácidos azufrados a lisina con dietas peletizadas.
- Evaluar la relación de aminoácidos azufrados a lisina en la etapa de crecimiento con dietas prácticas.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Abdel-Malksoud, A., Yan, F., Cerrate, S., Coto, C., Wang, Z. & Waldroup P. (2010). Effect of Dietary Crude Protein, Lysine Level and Amino Acid Balance on Performance of Broilers 0 to 18 Days of Age. *Journal of Poultry Science*. 9(1): 21-27.
- Ajinomoto Animal Nutrition. Group Francia. (2012). Aminoácidos en la nutrición de pollos de engorde. Luciano Sá, Eduardo Nogueira, Cláudia Goulart, Fernando Perazzo Costa João Pessoa. Paraíba, Marzo.
- Ajinomoto Animal Nutrition Group. (2010). FRANCIA. Disponible en: <http://ajinomoto-eurolysine.com/ideal-protein.html>
- Almquist, H. (1952). Amino Acid Requirements of Chickens and Turkeys—A Review. *Oxford Journals*. 996 – 981.
- Amarante, V., Perazzo, F., Barros, L., Jerônimo, G., Brandão, P., Vilar, J., Pereira, W., Vianna, R. & Sena, J. (2005). Níveis de metionina + cistina para frangos de corte nos períodos de 22 a 42 e de 43 a 49 dias de idade. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 34(4):1195-1201.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (2005). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. The Association of Official Analytical Chemists.
- Baker, D. & Han, Y. (1994). Ideal amino acid profile for chicks during the first three weeks posthatching. *Poultry Science*. 73:1441-1447
- Bernal, L., Tavernari, F., Rostagno, H. & Albino, L. (2014). Digestible Lysine Requirements of Broilers. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 16(1) 49-55.
- Bondi, A. (1989). *Nutrición Animal*. Editorial Acribia, S. A. Zaragoza-España.
- Brugalli, I. (2003). Eficácia relativa das fontes de metionina. *Revista Ave World*. 1 (4):58-61.

- Campos, A., Salguero, S., Albino, L. & Rostagno, H. (2008). Aminoácidos en la Nutrición de Pollos de Engorde: Proteína Ideal. III CLANA - Congresso do Colégio Latino-Americano de Nutrição Animal, Cancún-México de 18 a 21 de novembro.
- Cemin, H., Vieira, S., Stefanello, C., Kipper, M., Kindlein, L. & Helmbrecht, A. (2017). Digestible lysine requirements of male broilers from 1 to 42 days of age reassessed. PLoS ONE 12(6): e0179665.
- Cerrate, S. & Corzo, A. (2017). Lysine and Energy Trends in Feeding Modern Commercial Broilers. Journal of Poultry Science. 18 (1): 28-38.
- Cobb-Vantress. (2013). Guía de manejo del pollo de engorde. L-1021-03 SP Recuperado de: <http://www.pronavicola.com/contenido/manuales/Cobb.pdf>
- COBB-VANTRESS. (2015). Suplemento informativo sobre rendimiento y nutrición de pollos de engorde. L-2114-07 SP. Recuperado de: www.cobb-vantress.com
- COBB-VANTRESS. (2018). Suplemento informativo sobre rendimiento y nutrición de pollos de engorde. L-2114-08 SP. Recuperado de: <https://www.cobb-vantress.com/assets/Cobb-Files/c8850fbe02/6998d7c0-12d1-11e9-9c88-c51e407c53ab.pdf>
- Corzo, A., Moran, E., Hoehler, D. & Lemmell, A. (2005). Dietary tryptophan need of 399 broiler males from forty-two to fifty-six days of age. Poultry Science. 84:226-231.
- De Castro, C., Guilherme, F., Vilar, J., Gouveia, J., Pereira, V. & Santos, C. (2011). Requirements of digestible methionine + cysteine for broiler chickens at 1 to 42 days of age. Revista Brasileira de Zootecnia. 40(4):797-803.
- D'mello. (2003). Amino Acids in Animal Nutrition. 2nd edition. 223-236.
- Dozier, W. & Mercier, Y. (2013). Ratio of digestible total sulfur amino acids to lysine of broiler chicks from 1 to 15 days of age. Journal of Applied Poultry Research; 22 (4): 862-871.
- 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. 6:462-470.
- Esteve-García, E. & Austic, R. (1987). Intestinal absorption of methionine(Met) and methionine hydroxy analogue(MHA) in broiler chicks. Poultry Science. 65: 40.

- Fernandez, S., Aoyagi, S., Han, Y., Parsons, C. & Baker D. (1994). Limiting order of amino acids in corn and soybean meal for growth of the chick. *Poultry Science*. 73:1887-1896.
- 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, Georgia 30602.
- Guevara, V. (2004). Use of Nonlinear programming to optimize performance response to Energy density in broiler feed formulation. *Journal of Poultry Science*. 83:147-151.
- Han, Y. & Baker, D. (1993). Effects of Sex, Heat Stress, Body Weight, and Genetic Strain on the Dietary Lysine Requirement of Broiler Chicks. *Poultry Science*. 72:701-708.
- Han, Y., Suzuki, H., Parsons, C. & Baker, D. (1992). Amino Acid Fortification of a Low-Protein Corn and Soybean Meal Diet for Chicks. *Poultry Science* 71:1168-1178.
- Huyghebaert, G. & Pack, M. (1996). Effects of dietary protein content, addition of nonessential amino acids and dietary methionine to cysteine balance on responses to dietary sulphur-containing amino acids in broilers. *British Poultry Science*. 37: 623-63.
- Kidd, M., Kerr, B. & Anthony, N. (1997). Dietary Interactions between Lysine and Threonine in Broilers. *Poultry Science*. 76:608–614.
- 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*. 77:564–569.
- Lemme, A. (2003). The “Ideal Protein Concept” in broiler nutrition 1. Methodological aspects – opportunities and limitations. *AMINONEWS DEGUSA*. 1(4): 1-9.
- Lemme, A., Cremers, S., Pallauf, J., Rostagno, H. S., Pack, M., & Petri, A. (2001, September). Apparent and true ileal amino acid digestibility of vegetable and animal protein of different origin in broilers. In 13th European Symposium on Poultry Nutrition (Vol. 30, pp. 169-170).
- Lemme, A., Hoehler, D., Brennan, J. & Mannion P. (2002). Relative Effectiveness of Methionine Hydroxy Analog Compared to DL-Methionine in Broiler Chickens. *Journal of Poultry Science*. 81: 838 – 845.

- Meirelles, H., Albuquerque, R., Borgatti, L., Souza, L., Meister, N. & Lima, F. (2003). Performance of broiler fed with different levels of methionine hydroxy analogue and DL-methionine. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 5(1):69-74.
- Mendes, A., Api, I., Silva, R., Sausen, L., Menezes, L., Morello, G. & Carvalho, E. (2014). Effects of dietary lysine on broiler performance and carcass yield-meta-analysis. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 94:2715–2721.
- Mohsen, F., Mehrdad M., Omid, G., Majid, S. & Sadegh, J. (2012). Evaluation of protein concentration and limiting amino acids including lysine and met + cys in prestarter diet on performance of broilers. Hindawi Publishing Corporation. Volume 2012, article ID 394189, 7 pages.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). (1984). *Nutrient Requirements of Poultry*. 8th Edition. Natl. Acad. Sci., Washington, DC.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). (1994). *Nutrient Requirements of Poultry*. 9th Edition. Natl Acad. Sci., Washington, DC.
- Oliveira Neto, A., Oliveira, R., Donzele, J., Toledo, S., Marçal, R. & Gasparino, E. (2007). Níveis de metionina + cistina total para frangos de corte de 22 a 42 dias de idade mantidos em ambiente termoneutro. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 36(5): 1359-1364.
- Pacheco, L., Sakomura, N., Suzuki, R., Dorigam, J., Viana, G., Van Milgen, J. & Denadai, J. (2018). Methionine to cystine ratio in the total sulfur amino acid requirements and sulfur amino acid metabolism using labelled amino acid approach for broilers. *BMC Veterinary Research*. 364(14): 1-11.
- Pagliari, C, Giusti, L, Vianna, R, Rodrigues, N., Pozza, P., Moraes, T., Rafael, F. & Schöne, R. (2014). Bioavailability of different methionine sources for growing broilers. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 43(3):140-145.
- Park, B. (2006). Amino acid imbalance-biochemical mechanism and nutritional aspects. *Asian-Australian Journal of Animal Science*. 19(9): 1361 – 1368.
- Pereira, W., Miranda, R., Lopes, J., Teixeira, L., Reis, P., Márcio, E., De Assis A. & Marques, S. (2013). Lysine levels in diets for broilers from 8 to 21 days of age. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 42(12): 869-878.

- Pérez, F. & Zamora, S. (2002). *Nutrición y alimentación humana*. Murcia – España. 1era Edición. Pág. 57.
- Pesti, G., Vedenov, D., Cason, J. & Billard L. (2009). A comparison of methods to estimate nutritional requirements from experimental data. *British Poultry Science*. 50:16–32.
- Petri, A. (2001). Apparent and true ileal amino acid digestibility of vegetable and animal protein of different origin in broilers. 13th European Symposium on Poultry Nutrition, 30 Sept - 4 Oct., Blankenberge, Belgium. pp.169-170.
- Rosa, P., Faria, D., Dahlke, F., Vieira, B., Macari, M., & Furlan, R. (2007). Effect of energy intake on performance and carcass composition of broiler chickens from two different genetic groups. *Revista Brasileira de Ciencia Avícola*. 9(2), 117–122.
- Rostagno, H., Teixeira, L., Hannas, M., Donzele, J., Sakomura, N., Perazzo, F., Saraiva, A., Texeira, M., Rodrigues, P., Oliveira, R., Toledo, S. & Oliveira, C. (2017). *Tablas brasileñas para aves y cerdos, composición de alimentos y requerimientos nutricionales*. 4ta edición. Universidad Federal de Viçosa. Departamento de Zootecnia.
- Sakomura, N., Ekmay, R., Mei, S. & Coon, C. (2015). Lysine, methionine, phenylalanine, arginine, valine, isoleucine, leucine, and threonine maintenance requirements of broiler breeders. *Poultry Science*. 6 (3): 241-246.
- Schutte, J. & Pack, M. (1995). Sulfur Amino Acid Requirement of Broiler Chicks from Fourteen to Thirty-Eight Days of Age. *Performance and Carcass Yield*. *Poultry Science*. 74:480-487.
- 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. *Journal of Animal Science*. 93: 2977–2986.
- Smirnov, A., Tako, E., Ferket, P. & Uni, Z. (2006). Mucin Gene Expression and Mucin Content in the Chicken Intestinal Goblet Cells Are Affected by In Ovo Feeding of Carbohydrates. *Poultry Science*. 85:669–673.

- Thomas, O., Tamplin, C., Crissey, S., Bossard, E. & Zuckerman, A. (1991). An evaluation of methionine hydroxy analog free acid using a nonlinear (exponential) bioassay. *Poultry Science*. 70:605–610.
- Ullah, Z., Ali, M., Nisa, M. & Sarwar, M. (2015). Digestible Amino Acids: Significance and Prospects in Poultry. *International Journal of Agriculture and Biology*. 17: 851–859.
- 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.
- Warnick R. & Anderson J. (1968). Limiting Essential Amino Acids in Soybean Meal for Growing Chickens and the Effects of Heat Up on Availability of the Essential Amino Acids. *Poultry Science*.47 (1): 281-287.
- Yildirim, A., Kraïmi, N., Constantin, P., Mercierand, F. & Leterrier, C. (2020). Effects of tryptophan and probiotic supplementation on growth and behavior in quail. *Poultry Science*. (1): 1-28.
- Zimmermann, B., Mosenthin, R., Rademacher, M., Lynch, P. & Esteve-Garcia, E. (2005). Comparative Studies on the Relative Efficacy of DL-methionine and Liquid Methionine Hydroxy Analogue in Growing Pigs. University of Hohenheim, Institute of Animal Nutrition, 70593 Stuttgart, Germany.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Peso inicial y pesos semanales (g).

Tratamiento	T1			T2			T3			T4		
Relación AAd/Lisd	67%			71%			75%			79%		
Bloque	I	II	III									
Peso 0 días, g	46.8	47.2	46.6	47.2	47.8	47.2	46.4	46.8	46.0	47.2	47.0	45.2
Peso 7 días, g	191.5	189.0	187.3	188.0	187.0	190.5	189.5	188.7	187.0	187.3	192.7	186.0
Peso 14 días, g	429.7	463.2	474.5	487.5	490.0	478.7	464.5	452.3	472.3	470.3	456.0	458.8
Peso 21 días, g	942.2	938.0	946.3	985.0	961.9	938.8	945.0	952.0	959.0	905.0	952.3	961.5
Peso 28 días, g	1358.3	1430.8	1499.3	1476.0	1627.7	1638.0	1510.3	1505.0	1501.8	1413.3	1511.5	1506.7
Peso 35 días, g	2188.5	2278.0	2206.7	2185.7	2284.5	2368.7	2251.0	2195.5	2243.0	2149.3	2324.7	2297.8
Peso 42 días, g	2943.0	2943.8	2944.5	3002.0	3024.0	3053.5	3074.0	3003.0	3038.5	2987.5	2989.8	2992.0

Anexo 2: Ganancias de peso semanal (g).

Tratamiento	T1			T2			T3			T4		
Relación AAd/Lisd	67%			71%			75%			79%		
Bloque	I	II	III									
0 - 7 días, g	144.7	141.8	140.7	140.8	139.2	143.3	143.1	141.9	141.0	140.1	145.7	140.8
0 - 14 días, g	382.9	416.0	427.9	440.3	442.2	431.5	418.1	405.5	426.3	423.1	409.0	413.6
0 - 21 días, g	895.4	890.8	899.7	937.8	914.1	891.6	898.6	905.2	913.0	857.8	905.3	916.3
0 - 28 días, g	1311.5	1383.6	1452.7	1428.8	1579.9	1590.8	1463.9	1458.2	1455.8	1366.1	1464.5	1461.5
0 - 35 días, g	2141.7	2230.8	2160.1	2138.5	2236.7	2321.5	2204.6	2148.7	2197.0	2102.1	2277.7	2252.6
0 - 42 días, g	2896.2	2896.6	2897.9	2954.8	2976.2	3006.3	3027.6	2956.2	2992.5	2940.3	2942.8	2946.8

Anexo 3: Consumo de alimento semanal (g).

Tratamiento	T1			T2			T3			T4		
Relación AAd/Lisd	67%			71%			75%			79%		
Bloque	I	II	III									
1 - 7 días, g	189.0	177.8	210.5	197.8	187.2	216.3	200.7	180.3	187.5	182.7	179.5	189.5
1 - 14 días, g	540.2	546.4	633.5	604.0	597.6	638.9	577.4	573.4	567.2	536.8	538.6	541.7
1 - 21 días, g	1198.6	1184.8	1188.8	1225.3	1188.3	1157.7	1150.6	1140.6	1134.5	1118.7	1140.2	1172.9
1 - 28 días, g	1938.9	1956.6	2114.3	2014.0	2214.9	2260.9	2017.4	2090.3	2014.6	1917.7	1991.7	2018.2
1 - 35 días, g	3573.2	3789.3	3396.4	3300.4	3534.9	3611.6	3374.4	3330.1	3453.8	3256.0	3526.8	3374.9
1 - 42 días, g	5053.7	5010.3	5042.3	4950.0	4937.0	4982.1	4775.8	4797.9	4788.0	4794.5	4767.3	4726.3
21 - 42 días, g	3874.6	3791.0	3691.1	3686.6	3773.6	3881.0	3628.9	3542.1	3576.7	3678.5	3585.9	3572.5

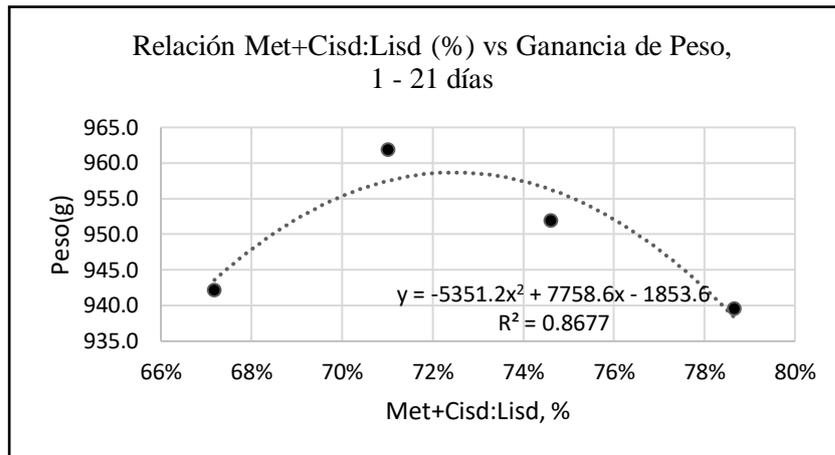
Anexo 4: Conversión alimenticia semanal (g:g).

Tratamiento	T1			T2			T3			T4		
Relación AAd/Lisd	67%			71%			75%			79%		
Bloque	I	II	III									
1 - 7 días	1.306	1.254	1.496	1.405	1.345	1.510	1.403	1.271	1.329	1.304	1.232	1.346
1 - 14 días	1.411	1.313	1.480	1.372	1.351	1.481	1.381	1.414	1.330	1.269	1.317	1.310
1 - 21 días	1.339	1.330	1.321	1.307	1.300	1.299	1.280	1.260	1.243	1.304	1.259	1.280
1 - 28 días	1.478	1.414	1.455	1.410	1.402	1.421	1.378	1.433	1.384	1.404	1.360	1.381
1 - 35 días	1.668	1.699	1.572	1.543	1.580	1.556	1.531	1.550	1.572	1.549	1.548	1.498
1 - 42 días	1.745	1.730	1.740	1.675	1.659	1.657	1.577	1.623	1.600	1.631	1.620	1.604
21 - 42 días	1.936	1.890	1.847	1.828	1.830	1.835	1.704	1.727	1.720	1.766	1.760	1.759

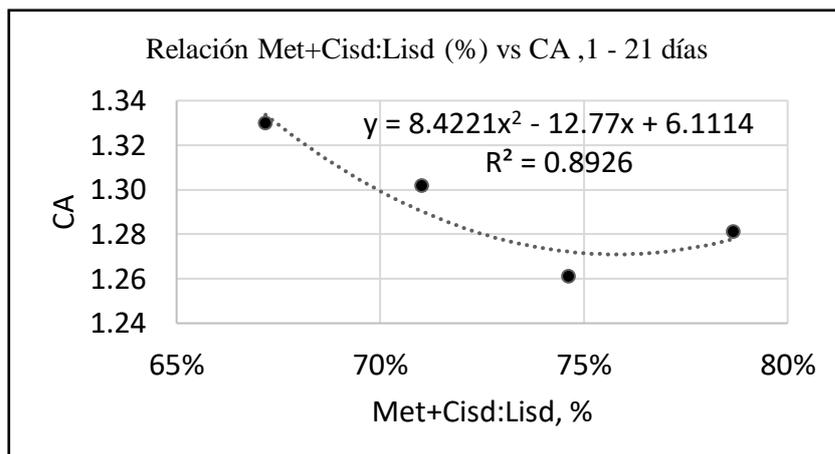
Anexo 5: Rendimiento de carcasa, porcentaje de grasa y pechuga (%).

Tratamiento	T1			T2			T3			T4		
Relación AAd/Lisd	67%			71%			75%			79%		
Bloque	I	II	III									
Peso Vivo (g)	2801.0	2608.0	2609.0	2950.0	2699.0	2808.0	2918.0	2908.0	2475.0	2306.0	3225.0	2857.0
Peso Carcasa (g)	2046.0	1950.0	1900.0	2214.0	2016.0	2011.0	2156.0	2159.0	1820.0	1680.0	2414.0	2110.0
Carcasa, %	73.0%	74.8%	72.8%	75.1%	74.7%	71.6%	73.9%	74.2%	73.5%	72.9%	74.9%	73.9%
Grasa, g	47.0	50.0	57.0	50.0	53.0	63.0	31.0	46.0	25.0	35.0	62.0	33.0
Grasa, %	1.7%	1.9%	2.2%	1.7%	2.0%	2.2%	1.1%	1.6%	1.0%	1.5%	1.9%	1.2%
Pechuga, g	822.0	817.0	744.0	929.0	856.0	790.0	848.0	879.0	789.0	687.0	924.0	834.0
Pechuga, %	40.2%	41.9%	39.2%	42.0%	42.5%	39.3%	39.3%	40.7%	43.4%	40.9%	38.3%	39.5%

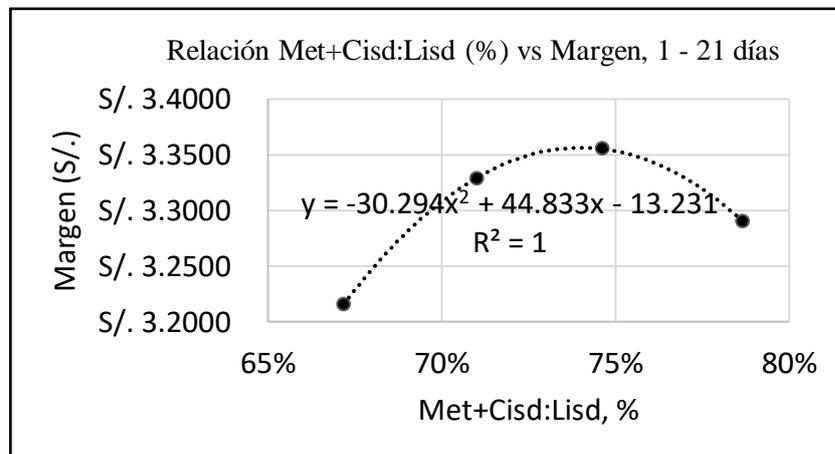
Anexo 6: Regresión cuadrática entre la relación Met+Cisd:Lisd y la ganancia de peso, 1 – 21 días



Anexo 7: Regresión cuadrática entre la relación Met+Cisd:Lisd y la CA, 1 – 21 días.



Anexo 8: Regresión cuadrática entre la relación Met+Cisd:Lisd y el margen, 1 – 21 días.



Anexo 9: Recomendaciones nutricionales para pollos Cobb 500 - 2015.

Tipo de alimento		Inicio	Crecimiento	Finalización 1	Finalización 2
Periodo de alimentación		0 - 10	11 - 22	23 - 42	43 +
Proteína bruta	%	21-22	19-20	18-19	17-18
Energía metabolizable	kcal/kg	3008	3086	3167	3191
Lisina	%	1.32	1.19	1.05	1.00
Lisina digestible	%	1.18	1.05	0.95	0.90
Metionina	%	0.50	0.48	0.43	0.41
Metionina digestible	%	0.45	0.42	0.39	0.37
Met + Cis	%	0.98	0.89	0.82	0.78
Met + Cis digestible	%	0.88	0.80	0.74	0.70
Triptófano	%	0.20	0.19	0.19	0.18
Triptófano digestible	%	0.18	0.17	0.17	0.16
Treonina	%	0.86	0.78	0.71	0.68
Treonina digestible	%	0.77	0.69	0.65	0.61
Arginina	%	1.38	1.25	1.13	1.08
Arginina digestible	%	1.24	1.10	1.03	0.97
Valina	%	1.00	0.91	0.81	0.77
Valina digestible	%	0.89	0.80	0.73	0.69
Isoleucina	%	0.88	0.80	0.71	0.68
Isoleucina digestible	%	0.79	0.70	0.65	0.61
Calcio	%	0.90	0.84	0.76	0.76
Fósforo disponible	%	0.45	0.42	0.38	0.38
Sodio	%	0.16 - 0.23	0.16 - 0.23	0.15 - 0.23	0.15 - 0.23
Cloruro	%	0.17 - 0.35	0.17 - 0.35	0.15 - 0.35	0.15 - 0.35
Potasio	%	0.60 - 0.95	0.60 - 0.85	0.60 - 0.80	0.60 - 0.80
Ácido linoleico	%	1.00	1.00	1.00	1.00

Anexo 10: Relación de aminoácidos digestibles, COBB 500 - 2015.

Aminoácido	Inicio 0 - 10d	Crecimiento 11 - 22d	Finalización 1 23 - 42	Finalización 2 43d +
Lisina*	100	100	100	100
Metionina	38	40	41	41
Metionina + Cistina	75	76	78	78
Triptófano	16	16	18	18
Treonina	65	66	68	68
Arginina	105	105	108	108
Valina	75	76	77	77
Isoleucina	67	67	68	68

*Aminoácido de referencia.

Anexo 11: Resultado del análisis proximal de dietas experimentales de las relaciones Met+Cisd:Lisd.

Componente	Relación de Met+Cisd:Lisd			
	67%	71%	75%	79%
Proteína cruda, %	21.5	20.6	20.1	21.5
Humedad, %	12.2	12.8	12.5	12.9
Extracto etéreo, %	5.2	4.9	5.5	5.7
Fibra cruda, %	2.4	2.6	2.5	2.3
Ceniza, %	2.8	3.1	3.3	2.6
Nifex, %	55.9	56	56.1	55
Total, %	100	100	100	100

Anexo 12: Procedimiento modelo lineal general (GLM) para el Peso Inicial.

Análisis de variancia para el Peso inicial

FV	GL	SC	CM	Fcal	P-value	Nivel Sig.
Met+Cisd:Lisd	3	1.903	0.6344	1.6	0.264	n.s.
Error	8	3.173	0.3967			
Total	11	5.077				

Met+Cisd:Lisd : Relación de aminoácidos azufrados a lisina digestibles.

Anexo 13: Procedimiento modelo lineal general (GLM) para el Peso Vivo a los 21 días.

Análisis de variancia para el PV 21 días

FV	GL	SC	CM	Fcal	P-value	Nivel Sig.
Met+Cisd:Lisd	3	931.31	310.43667	0.64	0.6165	n.s.
Bloque	2	128.12667	64.063333	0.13	0.8787	n.s.
Error	6	2909.6	484.93333			
Total	11	3969.0367	859.43333			

Met+Cisd:Lisd : Relación de aminoácidos azufrados a lisina digestibles.

Anexo 14: Procedimiento modelo lineal general (GLM) y prueba de Duncan para el Peso Vivo

Análisis de variancia para el PV 42 días

FV	GL	SC	CM	Fcal	P-value	Nivel Sig.
Met+Cisd:Lisd	3	16352.613	5450.8711	10.01	0.0094	***
Bloque	2	600.10167	300.05083	0.55	0.603	n.s.
Error	6	3267.1517	544.52528			
Total	11	20219.867	6295.4472			

Met+Cisd:Lisd : Relación de aminoácidos azufrados a lisina digestibles.

a los 42 días.

Prueba de Duncan para PV a los 42 días.

Tratamiento*	N	Media	Grupo Duncan
67	3	2943.8	A
71	3	3026.5	BC
75	3	3038.5	C
79	3	2989.8	AB

* Met+Cisd:Lisd : Relación de aminoácidos azufrados a lisina digestibles (%).

Anexo 15: Procedimiento modelo lineal general (GLM) para la ganancia de peso 1 – 21 días (g).

Análisis de variancia para la ganancia de peso de 1 – 21 días.

FV	GL	SC	CM	Fcal	P-value	Nivel Sig.
Met+Cisd:Lisd	3	877.94	292.64667	0.58	0.6471	n.s.
Bloque	2	137.80667	68.903333	0.14	0.8742	n.s.
Error	6	3006.36	501.06			
Total	11	4022.1067	862.61			

Met+Cisd:Lisd : Relación de aminoácidos azufrados a lisina digestibles.

Anexo 16: Procedimiento modelo lineal general (GLM) para la ganancia de peso de 22 – 42 días (g).

Análisis de variancia para la ganancia de peso de 22 – 42 días.

FV	GL	SC	CM	Fcal	P-value	Nivel Sig.
Met+Cisd:Lisd	3	11650.787	3883.5956	2.67	0.1409	n.s.
Bloque	2	817.12667	408.56333	0.28	0.7642	n.s.
Error	6	8712.7733	1452.1289			
Total	11	21180.687	5744.2878			

Met+Cisd:Lisd: Relación de aminoácidos azufrados a lisina digestibles.

Anexo 17: Procedimiento modelo lineal general (GLM) y prueba de Duncan para la ganancia de peso 1 – 42 días (g).

Análisis de variancia para la ganancia de peso de 1 – 42 días.

FV	GL	SC	CM	Fcal	P-value	Nivel Sig.
Met+Cisd:Lisd	3	16353.69	5451.23	10.07	0.0093	***
Bloque	2	663.705	331.8525	0.61	0.5724	n.s.
Error	6	8712.7733	1452.1289			
Total	11	25730.168	7235.2114			

Met+Cisd:Lisd : Relación de aminoácidos azufrados a lisina digestibles.

Prueba de Duncan para la ganancia de peso de 1 – 42 días.

Tratamiento*	N	Media	Grupo Duncan
67	3	2896.9	A
71	3	2979.1	BC
75	3	2992.1	B
79	3	2943.3	AC

* Met+Cisd:Lisd : Relación de aminoácidos azufrados a lisina digestibles (%).

Anexo 18: Procedimiento modelo lineal general (GLM) para el consumo de alimento 1–21 días (g).

Análisis de variancia para consumo de alimento de 1 – 21 días.

FV	GL	SC	CM	Fcal	P-value	Nivel Sig.
Met+Cisd:Lisd	3	6822.67	2274.2233	3.63	0.0838	n.s.
Bloque	2	257.415	128.7075	0.21	0.8197	n.s.
Error	6	3756.985	626.16417			
Total	11	10837.07	3029.095			

Met+Cisd:Lisd : Relación de aminoácidos azufrados a lisina digestibles.

Anexo 19: Procedimiento modelo lineal general (GLM) y prueba de Duncan para el consumo de alimento 22 – 42 días (g).

Análisis de variancia para consumo de alimento de 22 – 42 días.

FV	GL	SC	CM	Fcal	P-value	Nivel Sig.
Met+Cisd:Lisd	3	104652.56	34884.185	5	0.0452	***
Bloque	2	4458.0817	2229.0408	0.32	0.7382	n.s.
Error	6	41869.552	6978.2586			
Total	11	150980.19	44091.485			

Met+Cisd:Lisd : Relación de aminoácidos azufrados a lisina digestibles.

Prueba de Duncan para el consumo de alimento de 22 – 42 días.

Tratamiento*	N	Media	Grupo Duncan
67	3	3785.6	A
71	3	3780.4	A
75	3	3582.6	B
79	3	3612.3	B

* Met+Cisd:Lisd: Relación de aminoácidos azufrados a lisina digestibles (%).

Anexo 20: Procedimiento modelo lineal general (GLM) y prueba de Duncan para el consumo de alimento de 1 – 42 días (g).

Análisis de variancia para consumo de alimento de 1 – 42 días.

FV	GL	SC	CM	Fcal	P-value	Nivel Sig.
Met+Cisd:Lisd	3	156714.75	52238.249	74.33	<.0001	***
Bloque	2	476.2317	238.1158	0.34	0.7254	n.s.
Error	6	4216.5283	702.7547			
Total	11	161407.51	53179.119			

Met+Cisd:Lisd: Relación de aminoácidos azufrados a lisina digestibles.

Prueba de Duncan para el consumo de alimento de 1 – 42 días.

Tratamiento*	N	Media	Grupo Duncan
67	3	5035.5	A
71	3	4956.3	B
75	3	4787.2	C
79	3	4762.7	C

* Met+Cisd:Lisd: Relación de aminoácidos azufrados a lisina digestibles (%).

Anexo 21: Procedimiento modelo lineal general (GLM) y prueba de Duncan para la CA de 1 – 21 días.

Análisis de variancia para la CA de 1 – 21 días.

FV	GL	SC	CM	Fcal	P-value	Nivel Sig.
Met+Cisd:Lisd	3	0.0082	0.0027333	25.23	0.0008	***
Bloque	2	0.0012167	0.0006083	5.62	0.0422	***
Error	6	0.00065	0.0001083			
Total	11	0.0100667	0.00345			

Met+Cisd:Lisd: Relación de aminoácidos azufrados a lisina digestibles.

Prueba de Duncan para la CA de 1 – 21 días.

Tratamiento*	N	Media	Grupo Duncan
67	3	1.33	A
71	3	1.30	B
75	3	1.26	C
79	3	1.28	C

* Met+Cisd:Lisd: Relación de aminoácidos azufrados a lisina digestibles (%).

Anexo 22: Procedimiento modelo lineal general (GLM) y prueba de Duncan para la CA de 22 – 42 días.

Análisis de variancia para la CA de 22 – 42 días.

FV	GL	SC	CM	Fcal	P-value	Nivel Sig.
Met+Cisd:Lisd	3	0.0543	0.0181	26.81	0.0007	***
Bloque	2	0.0006167	0.0003083	0.46	0.6536	n.s.
Error	6	0.00405	0.000675			
Total	11	0.0589667	0.0190833			

Met+Cisd:Lisd : Relación de aminoácidos azufrados a lisina digestibles.

Prueba de Duncan para la CA de 22 – 42 días.

Tratamiento*	N	Media	Grupo Duncan
67	3	1.89	A
71	3	1.83	B
75	3	1.72	C
79	3	1.76	C

* Met+Cisd:Lisd: Relación de aminoácidos azufrados a lisina digestibles (%).

Anexo 23: Procedimiento modelo lineal general (GLM) y prueba de Duncan para la CA de 1 – 42 días.

Análisis de variancia para la CA de 1 – 42 días.

FV	GL	SC	CM	Fcal	P-value	Nivel Sig.
Met+Cisd:Lisd	3	0.0339	0.0113	46.76	0.0001	***
Bloque	2	0.00015	0.000075	0.31	0.7443	n.s.
Error	6	0.00145	0.0002417			
Total	11	0.0355	0.0116167			

Met+Cisd:Lisd: Relación de aminoácidos azufrados a lisina digestibles.

Prueba de Duncan para la CA de 1 – 42 días.

Tratamiento*	N	Media	Grupo Duncan
67	3	1.74	A
71	3	1.66	B
75	3	1.60	C
79	3	1.62	C

* Met+Cisd:Lisd: Relación de aminoácidos azufrados a lisina digestibles (%).

Anexo 24: Procedimiento modelo lineal general (GLM) para la CA de 1 – 42 días.

Análisis de variancia para la CA de 1 – 42 días.

FV	GL	SC	CM	Fcal	P-value	Nivel Sig.
Met+Cisd:Lisd	3	4.565E-05	1.522E-05	0.07	0.9735	n.s.
Bloque	2	0.0012425	0.0006212	2.89	0.1321	n.s.
Error	6	0.0012896	0.0002149			
Total	11	0.0025777	0.0008514			

Met+Cisd:Lisd: Relación de aminoácidos azufrados a lisina digestibles.

Anexo 25: Procedimiento modelo lineal general (GLM) para el rendimiento de carcasa, %.

Análisis de variancia para el rendimiento de carcasa, %.

FV	GL	SC	CM	Fcal	P-value	Nivel Sig.
Met+Cisd:Lisd	3	4.565E-05	1.522E-05	0.07	0.9735	n.s.
Bloque	2	0.0012425	0.0006212	2.89	0.1321	n.s.
Error	6	0.0012896	0.0002149			
Total	11	0.0025777	0.0008514			

Met+Cisd:Lisd : Relación de aminoácidos azufrados a lisina digestibles.

Anexo 26: Procedimiento modelo lineal general (GLM) para el rendimiento de pechuga, %.

Análisis de variancia para el rendimiento de pechuga, %.

FV	GL	SC	CM	Fcal	P-value	Nivel Sig.
Met+Cisd:Lisd	3	0.0008288	0.0002763	4.6	0.0535	n.s.
Bloque	2	2.758E-05	1.379E-05	0.23	0.8016	n.s.
Error	6	0.0003605	6.009E-05			
Total	11	0.0012169	0.0003501			

Met+Cisd:Lisd: Relación de aminoácidos azufrados a lisina digestibles.

Anexo 27: Procedimiento modelo lineal general (GLM) para el porcentaje de grasa abdominal, %.

Análisis de variancia para la grasa abdominal, %.

FV	GL	SC	CM	Fcal	P-value	Nivel Sig.
Met+Cisd:Lisd	3	0.0001134	3.778E-05	4.47	0.0566	n.s.
Bloque	2	2.571E-05	1.286E-05	1.52	0.2922	n.s.
Error	6	5.072E-05	8.45E-06			
Total	11	0.0001898	5.909E-05			

Met+Cisd:Lisd: Relación de aminoácidos azufrados a lisina digestibles.