



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

**DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACIÓN
Y SERVICIO EN ZOOTECNIA**

POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

**EFFECTO DE LISINA DIETÉTICA EN EL COMPORTAMIENTO
PRODUCTIVO Y EL RENDIMIENTO DIFERENCIAL DE PIEZAS
EN POLLOS**

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

Presenta:

Juan Pablo Ríos Ramírez

Bajo la supervisión de: **Mariano Jesús González Alcorta, Ph.D.**



COORDINACIÓN GENERAL ACADÉMICA
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
DIRECCIÓN DE EDUCACIÓN PROFESIONAL



Mayo de 2018

Chapingo, Estado de México

EFFECTO DE LISINA DIETÉTICA EN EL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO
Y EL RENDIMIENTO DIFERENCIAL DE PIEZAS EN POLLOS

Tesis realizada por **JUAN PABLO RÍOS RAMÍREZ** bajo la supervisión del
Comité Asesor indicado, aprobado por el mismo y aceptada como requisito
parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

DIRECTOR:



Ph. D. MARIANO JESÚS GONZÁLEZ ALCORTA

ASESOR:



Ph. D. GILBERTO ARANDA OSORIO

ASESOR:



M.C. CONSTANTINO ROMERO MÁRQUEZ

CONTENIDO

CONTENIDO.....	iii
LISTA DE CUADROS.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE ABREVIATURAS.....	vii
DEDICATORIAS.....	viii
AGRADECIMIENTOS.....	ix
DATOS BIOGRÁFICOS.....	x
1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	11
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	13
2.1 Marco de Referencia.....	13
2.1.1 Situación actual de la producción de pollo de engorda.....	13
2.1.2 Situación mundial de la producción de alimentos balanceados para pollo de engorda.....	14
2.1.3 Precios de pollo entero, pechuga, pierna y muslo y alas en el Valle de México, 2017.....	16
2.2 Marco Conceptual.....	16
2.2.1 Importancia de las proteínas y aminoácidos.....	16
2.2.2 Aminoácidos esenciales y no esenciales en la nutrición del pollo de engorda.....	16
2.2.3 Función de los aminoácidos.....	18
2.2.4 Absorción y transporte de aminoácidos.....	18
2.2.5 Metabolismo de aminoácidos.....	19
2.2.6 Requisitos de aminoácidos en pollo de engorda.....	19
2.2.7 Metabolismo de lisina.....	20
2.2.8 Requisito nutrimental de lisina.....	20

2.2.9 Interacciones de lisina con otros aminoácidos.....	22
2.2.10 Deficiencia de lisina en dieta	23
2.2.11 El concepto de proteína ideal y el uso de aminoácidos sintéticos.....	23
2.2.12 Formulación de raciones para pollos de engorda	24
2.2.13 Efecto del nivel de proteína en dieta conjuntamente con aminoácidos en pollos	26
2.2.14 Aminoácidos limitantes para pollo de engorda	27
2.2.15 Requisitos de metionina + cisteína, treonina y triptófano y su efecto en el comportamiento productivo de pollos de engorda y síntesis de proteína.....	27
2.3 Efecto de lisina y selección en la pechuga de pollo de engorda.....	28
2.4 Efecto de lisina en la calidad de la canal del pollo de engorda.....	29
2.11 Literatura Citada	31
3. COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y RENDIMIENTO DIFERENCIAL DE PIEZAS EN POLLOS DE ENGORDA EN RESPUESTA A NIVELES DE LISINA DIETÉTICA.....	36
3.1 Resumen	36
3.2 Abstract.....	37
3.4 Materiales y Métodos	40
3.3 Tratamientos y rutina de alimentación.....	40
3.5 Resultados y discusión	44
3.7 Literatura Citada.....	57

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Principales países productores de alimento balanceado para pollo de engorda.....	13
Cuadro 2. Producción y productividad en la industria de los alimentos balanceados en 2016 en México.....	14
Cuadro 3. Producción de alimento balanceado por especie en México.....	14
Cuadro 4. Aminoácidos encontrados en las proteínas.....	16
Cuadro 5. Recomendaciones nutricionales para formulación de alimento para pollo de engorda mixto Aviagen, 2017.....	26
Cuadro 6. Recomendaciones nutricionales para formulación de alimento para pollo de engorda de rendimiento medio superior según Rostagno et al., 2017.....	26
Cuadro 7. Niveles de lisina en los tratamientos.....	37
Cuadro 8. Composición (%) y análisis nutrimental de dietas ofrecidas a pollos de 1 a 22 días de edad (fase 1).....	38
Cuadro 9. Composición (%) y análisis nutrimental dietas ofrecidas a pollos de 22 a 45 días de edad (fase 2).....	39
Cuadro 10. Consumo de alimento (C), ganancia de peso (GP), conversión alimenticia (CA) y peso vivo (PV) de pollos de 1 a 22 días de edad alimentados con dietas isoproteicas e isoenergéticas pero diferente nivel de lisina.....	42
Cuadro 11. Medias ^z para consumo de alimento (C), ganancia de peso (GP), conversión alimenticia (CA) y peso vivo (PV) en la fase 23-45 días de edad alimentados con dietas isoproteicas e isoenergéticas pero diferente nivel de lisina.....	44
Cuadro 12. Peso de sacrificio (PS), Peso de pechuga (Ppe), Peso de pierna y muslo (Ppm), Peso de alas (Pal).....	46
Cuadro 13. Medias ^z para Rendimiento de pechuga (Rpe), Rendimiento de pierna y muslo (Rpm), Rendimiento de alas (Ral).....	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura química de la lisina.....	19
Figura 2. Tendencia de la ganancia de peso en pollos de engorda de 23 a 45 días de edad a niveles incrementados de lisina en dietas isoproteicas e isoenergéticas.....	52
Figura 3. Tendencia del peso vivo en pollos de engorda de 23 a 45 días de edad a niveles incrementados de lisina en dietas isoproteicas e isoenergéticas.....	52
Figura 4. Tendencia de la conversión alimenticia en pollos de engorda de 23 a 45 días de edad a niveles incrementados de lisina en dietas isoproteicas e isoenergéticas.....	53
Figura 5. Tendencia del peso de pechuga en pollos de engorda de 45 días de edad a niveles incrementados de lisina en dietas isoproteicas e isoenergéticas.....	55
Figura 6. Tendencia del peso de pierna y muslo en pollos de engorda de 45 días de edad a niveles incrementados de lisina en dietas isoproteicas e isoenergéticas.....	55
Figura 7. Tendencia del rendimiento de pechuga en pollos de engorda de 45 días de edad a niveles incrementados de lisina en dietas isoproteicas e isoenergéticas.....	57
Figura 8. Tendencia del rendimiento de pierna y muslo en pollos de engorda de 45 días de edad a niveles incrementados de lisina en dietas isoproteicas e isoenergéticas.....	58
Figura 9. Tendencia del Rpe y Rpm en pollos de engorda de 45 días de edad a niveles incrementados de lisina en dietas isoproteicas e isoenergéticas.....	59

LISTA DE ABREVIATURAS

T	Tonelada
C	Consumo
PV	Peso vivo
GP	Ganancia de peso
CA	Conversión alimenticia
PS	Peso al sacrificio
Ppe	Peso de pechuga
Ppm	Peso de pierna y muslo
Pal	Peso de alas
Rpe	Rendimiento de pechuga
Rpm	Rendimiento de pierna y muslo
Ral	Rendimiento de alas

DEDICATORIAS

A Dios por guiarme a lo largo de mi vida y estar conmigo en los momentos más difíciles en ella.

A mi madre Elvia Ramírez Ramírez y padre Juan Ríos Durán por siempre haberme inculcado grandes valores para ser en todo momento una persona de bien. Mis logros son también suyos.

A mis hermanos José Gustavo, Daniel Esteban, Elías Guillermo, sobrino Jonathan Uriel y cuñadas Adriana y Emili por estar en los buenos y malos momentos.

A Sansusi por compartir grandes momentos, motivarme en el transcurso de la maestría, además del cariño brindado, te amo.

A mis amig@s del PPA por su amistad otorgada, ayuda y los momentos de alegrías y sonrisas que hicieron la maestría más amena.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo por brindarme la oportunidad de formarme como profesionista durante 10 años en sus aulas.

Al Posgrado en Producción Animal por darme la oportunidad de llevar a cabo mis estudios de maestría.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico brindado para desarrollar mis estudios de posgrado.

Al Ph. D. Mariano Jesús González Alcorta, por su apoyo incondicional, gran amistad y la formación personal, técnica y científica recibida paralelamente en mi estancia en el Posgrado en Producción Animal.

Al Ph. D. Gilberto Aranda Osorio por sus acertadas participaciones en la realización de este trabajo de investigación.

Al M.C. Constantino Romero Márquez por sus aportaciones en la realización de este trabajo de investigación.

A los Ph. D. José Guadalupe García Muñiz y Agustín Ruíz Flores por sus observaciones y gran aporte en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

A los Profesores del Posgrado en Producción Animal, por sus cátedras impartidas en mi formación académica.

A los compañeros Mario Martínez y Daniel Benavides por la ayuda en la fase experimental.

A la granja experimental y planta de alimentos balanceados de la UACH.

DATOS BIOGRÁFICOS

Nombre: Juan Pablo Ríos Ramírez

Fecha de Nacimiento: 23 de Julio de 1992

Lugar de nacimiento: Tepetlaoxtoc, Estado de México

CURP: RIRJ920723HMCMN07

Profesión: Ingeniero Agrónomo Zootecnista

Cédula Profesional: 9703808

Matrícula de Servicio Militar Nacional: D- 1283208

e-mail: b10riosramirez@hotmail.com



Formación Académica

2016-2018	Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera Posgrado en Producción Animal Universidad Autónoma Chapingo
2010-2015	Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia Departamento de Zootecnia Universidad Autónoma Chapingo
2007-2010	Preparatoria Agrícola Universidad Autónoma Chapingo

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

El conocimiento preciso de los requisitos de aminoácidos esenciales y de la composición de nutrimentos de los ingredientes es fundamental para balancear eficazmente las raciones para pollo de engorda, y obtener los productos en el tiempo y rendimiento deseados (Da Costa, Colson, Frost, Halley & Pesti, 2017). Por ello, las recomendaciones se deben actualizar constantemente. Existen varias fuentes de información donde se informan distintos niveles de inclusión de lisina en función al desempeño productivo, sexo, edad, peso al sacrificio, además de rendimiento de pechuga (Aviagen, 2017; Rostagno et al., 2017). Sin embargo, hay poca información acerca de las tendencias en el rendimiento de las piezas de pollo de engorda como respuesta al nivel de inclusión de lisina. Si la tendencia es incrementar el peso de la pechuga y el peso de la pierna y muslo se obtendría una respuesta con tendencia similar en ambas piezas. Si la tendencia es incrementar el peso de la pechuga y disminuir el peso de la pierna y muslo, se obtendría una tendencia diferencial.

Las empresas que producen líneas genéticas de pollo de engorda, han seleccionado aves para que expresen mayor rendimiento de carne de pechuga, aunado a ello el requisito de lisina es mayor para dicho fin, comparado con el requisito para aumentar la velocidad de crecimiento. Además de que la línea genética actual Ross 308 AP tiene menor conversión alimenticia, lo cual se traduce en un cálculo más preciso de requisitos de aminoácidos sintéticos (Dozier, Corzo, Kidd & Schilling, 2008). Por lo anterior, es necesario realizar estudios del peso y rendimiento de cada una de las piezas del pollo como una respuesta similar, o bien, diferencial, a los diferentes aminoácidos de la dieta.

La problemática que se aborda en esta investigación es pertinente desde los puntos de vista biológico y económico, ya que si se pudiese maximizar el rendimiento de pechuga como efecto del nivel de lisina dietética, entonces se

podría mejorar la relación beneficio:costo, ya que el precio de la pechuga impacta en el margen de rentabilidad, tal como lo expresan autores como Pesti (2009).

Se han evaluado distintos niveles de inclusión de lisina en dietas para pollos de engorda comercial, sin embargo, no existe concordancia entre los resultados. Algunos autores informan un incremento en el rendimiento del músculo pectoral (pechuga) y una disminución en el rendimiento de pierna y muslo cuando los niveles de lisina se incrementan en la dieta, en otras palabras, un rendimiento diferencial (Trevisan, Nakagi, Bravo & Faria 2014), mientras que otros encuentran mayor peso vivo final (Basurco et al., 2015). Sin embargo, otros no encuentran diferencias significativas ante la mayor inclusión de lisina en la dieta (Santiago-Gómez, Cortés-Cuevas, López-Coello & Ávila-González, 2011).

Las hipótesis de la presente investigación son que: a) los niveles dietéticos de lisina mejoran las variables del comportamiento productivo en las etapas iniciación-crecimiento y desarrollo-finalización; b) los niveles dietéticos de lisina incrementan el peso y el rendimiento de pechuga de pollo; y, c) además existe un rendimiento diferencial en las piezas de la canal de pollo de engorda en donde existe una tendencia de aumento en peso y rendimiento de pechuga a la vez que una tendencia de disminución en peso y rendimiento de pierna y muslo como respuesta a diferentes niveles dietéticos crecientes de lisina.

Los objetivos del presente estudio fueron: a) analizar el efecto de los niveles de inclusión de lisina dietética en el comportamiento productivo de pollo de engorda; b) estimar los niveles dietéticos de lisina que aumentan peso y rendimiento de pechuga; y, c) evaluar si existe rendimiento diferencial de las diferentes piezas de la canal de pollos como respuesta a diferentes niveles de lisina dietética.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Marco de Referencia

2.1.1 Situación actual de la producción de pollo de engorda.

La industria avícola en México representa el sector de producción de alimentos más importante del país. Las producciones de huevo, pollo y pavo en su conjunto en 2016 representaron 0.8, 19.7 y 63% del PIB total, agropecuario y pecuario, respectivamente. México ha logrado un nivel de producción de huevo, que cubre 100% de la demanda y en carne de pollo cubre 90% (Unión Nacional de Avicultores (UNA), 2017).

La producción nacional de pollo en 2017 fue 2.87 millones de T, esto representó un crecimiento de 1% con respecto al 2016 en términos de volumen. La perspectiva de crecimiento para 2018 es lograr un incremento de 1.2% para alcanzar una producción de poco más de 3 millones de T de carne de pollo (UNA, 2017). Así mismo, durante 2017 cerca del 50% de la producción de carne de pollo se concentró en Jalisco, Veracruz, Durango, Aguascalientes, Querétaro y Guanajuato (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2018).

El consumo per-cápita anual de pollo en México aumentó durante los cinco años más recientes a 32.1 kg, debido en gran parte, a que es una de las fuentes de proteína animal más accesible al consumidor, el precio promedio de este producto durante 2014 fue de 41 pesos por kilogramo (SIAP, 2018).

México es el séptimo y sexto productor mundial de pollo y huevo, respectivamente, en pollo después de Estados Unidos, China, Brasil, Unión Europea, India y Rusia; en huevo, detrás de China, Estados Unidos, India, Japón y Rusia (UNA, 2016).

2.1.2 Situación mundial de la producción de alimentos balanceados para pollo de engorda.

La avicultura usa casi 50% de la producción mundial de alimentos balanceados, seguida por la porcicultura y la producción de rumiantes. En el Cuadro 1 se pueden observar los principales países productores de alimento balanceado para pollo de engorda, así como las T producidas.

Cuadro 1. Principales países productores de alimento balanceado para pollo de engorda.

País	Millones de T producidas
Estados Unidos	59.9
China	49.0
Brasil	32.4
India	11.6
Rusia	10.5
México	6.4
Alemania	4.1
Japón	3.8
Francia	3.5
España	2.8

Fuente: Consejo Nacional de Fabricantes de Alimentos Balanceados (CONAFAB), 2017.

El número de fabricantes de alimento balanceado en México va en aumento y genera 255,000 empleos totales (Cuadro 2) . El costo de producción estimado, en términos del dólar estadounidense (solo materias primas utilizadas en la formulación) se redujo de \$ 388.00 a \$ 348.00 para 2016 comparado con 2015, (CONAFAB, 2017). De las 32021 T de alimento balanceado en México, 50% es para pollo de engorda y gallina de postura, se espera un aumento de estas cantidades en años siguientes (Cuadro 3).

Cuadro 2. Producción y productividad en la industria de los alimentos balanceados en 2016 en México.

Concepto	Integrados	Comerciales	Total
Capacidad Instalada (Número de plantas)	211	287	498
Capacidad de producción (Miles de T)	22 980	14 770	37 750
Producción Anual (Miles de T)	19 583	12 438	32 021
Capacidad Utilizada	85.2%	84.2%	84.8%
Costo de Producción ¹ (Millones de Pesos)	\$ 108 204	\$ 68 725	\$ 176 929
(Millones de dólares)	\$ 6 818	\$ 4 330	\$ 11 148
Empleos generados directos e indirectos	163 200	91 800	255 000

Fuente: (CONAFAB, 2017).

Cuadro 3. Producción de alimento balanceado por especie en México.

Especie	T producidas
Avicultura	16073
Cerdos	4971
Ganado de Engorda	3538
Ganado Lechero	4959
Acuacultura	302
Mascotas	920
Otros	1258
Total	32021

Fuente: (CONAFAB, 2017).

2.1.3 Precios de pollo entero, pechuga, pierna y muslo y alas en el Valle de México, 2017.

El Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI (2018) registró que el precio promedio en el Valle de México durante 2017 para pollo entero fue 41.9 pesos/kg; pechuga 64.8 pesos /kg; pierna y muslo 46 pesos/kg; y, alas 47 pesos /kg.

2.2 Marco Conceptual

2.2.1 Importancia de las proteínas y aminoácidos

La proteína de la dieta es importante para el metabolismo, porque supe aminoácidos esenciales, nitrógeno para la síntesis de aminoácidos no esenciales, y a través del metabolismo intermediario, puede dar lugar a glucosa, grasa, energía y algunas vitaminas (Klasing, 1998; Martínez, 2009).

Los aminoácidos se usan principalmente para la síntesis de proteínas. Además, los aminoácidos libres y pequeños péptidos ayudan a mantener la osmolaridad de los fluidos corporales, actúan como amortiguadores de pH, y sirven como neurotransmisores, antioxidantes, y transportadores en el metabolismo intermediario (Klasing, 1998; Martínez, 2009).

2.2.2 Aminoácidos esenciales y no esenciales en la nutrición del pollo de engorda

Las proteínas están constituidas por aminoácidos (AA), de los cuales 20 se encuentran en ellas. Los vegetales y la mayoría de los microorganismos sintetizan AA a partir de compuestos nitrogenados sencillos, como los nitratos, y de esqueletos carbonados. Los pollos no pueden sintetizar algunos aminoácidos, de modo que para sintetizar las proteínas deben recibir los AA que no pueden sintetizar o esenciales en el alimento que consumen. Con disponibilidad de los

aminoácidos sintéticos lisina, treonina, treonina y triptófano, los niveles de proteína en las dietas se han reducido sin afectar la productividad del pollo (Martínez, 2009).

Algunos AA se obtienen a partir de otros, mediante el proceso denominado transaminación. Pero los esqueletos carbonados de ciertos AA no pueden sintetizarse en el animal. Todos los AA que se hallan en la naturaleza se encuentran en la configuración levógira (L), que es, con pocas excepciones, la forma más activa desde el punto de vista biológico (McDonald, Edwards, Greenhalgh & Morgan, 2006).

Los AA sintéticos por lo común se presentan como una mezcla de los isómeros L y D (Church, Pond & Pond, 2002). Aunque hay 20 AA primarios que componen las proteínas, no todos ellos son componentes esenciales de la dieta, Rodwell (2015) ha añadido dos AA no esenciales más que participan en procesos de formación de proteína (Cuadro 4).

Cuadro 4. Aminoácidos encontrados en las proteínas

Esenciales	No esenciales
Arginina	Alanina
Histidina	Asparagina
Isoleucina	Cisteína
Leucina	Glutamato
Lisina	Glutamina
Metionina	Glicina
Fenilalanina	Aspartato
Treonina	Prolina
Triptófano	Serina
Valina	Tirosina
	Hidroxilisina
	Hidroxiprolina

Fuente: Rodwel, (2015).

2.2.3 Función de los aminoácidos

Los aminoácidos juegan un papel fundamental en muchos procesos, incluyendo la síntesis proteica, la regulación del metabolismo, el crecimiento celular, la regulación del volumen celular, la producción de energía metabólica y la transmisión nerviosa. Los transportadores de aminoácidos, situados en las membranas celulares, son proteínas de membrana responsables del transporte de estos aminoácidos al interior o exterior de la célula. La identificación de la mayoría de los transportadores de aminoácidos previamente caracterizados fisiológicamente, ha facilitado su análisis funcional (Jiménez, 2005).

2.2.4 Absorción y transporte de aminoácidos

Los aminoácidos se absorben del lumen intestinal en forma de AA libres y pequeños péptidos. En el enterocito los péptidos se hidrolizan y los AA libres se transportan a través de la membrana basal. Una considerable proporción de AA libres en la sangre se encuentran dentro de los glóbulos rojos, el resto se encuentran en el plasma como AA libres. Los AA son dirigidos al hígado vía porta, donde algunos se remueven para realizar las funciones hepáticas, incluyendo las síntesis de proteínas secretorias y hepatocitos, gluconeogénesis, y oxidación. Los AA remanentes pasan a través del hígado y se liberan en los tejidos para cubrir sus necesidades anabólicas (Klasing, 1998).

Algunos AA pueden competir entre sí por el transporte. Así un elevado nivel de leucina en la dieta aumenta las necesidades de isoleucina. La arginina, cistina y ornitina inhiben el transporte de lisina, a su vez la arginina, lisina y ornitina inhiben el transporte de cistina. Algunos AA neutros inhiben el transporte de aminoácidos básicos, por ejemplo, la metionina inhibe el transporte de lisina. Aparentemente los AA básicos: arginina y lisina comparten un sistema de transporte común con la cistina (Church, Pond & Pond, 2002).

2.2.5 Metabolismo de aminoácidos

Kwakkel y Schereurs, (2000) señalan que el metabolismo de los AA comprende, en resumen, cuatro procesos bioquímicos: 1) síntesis y degradación de proteínas; 2) incorporación de aminoácidos y nitrógeno dentro del ácido úrico; 3) conversión de esqueletos de carbono de aminoácidos a glucosa, grasa y energía, con la liberación de CO₂ y H₂O; y, 4) formación de derivados no proteicos.

Aunque cada aminoácido tiene un metabolismo diferente, por ejemplo, la lisina sólo se utiliza para la síntesis de proteína, mientras que otros AA esenciales, como la metionina, treonina y triptófano se utilizan para otras funciones en el organismo o dan lugar a otros compuestos importantes en el metabolismo (Baker & Han, 1994).

2.2.6 Requisitos de aminoácidos en pollo de engorda

El requisito total de aminoácidos de un pollo en crecimiento incluye dos componentes: para el mantenimiento y para la acumulación de proteína tisular. Hay evidencia de que el patrón de AA requerido para cada uno de estos dos componentes es distinto, y la necesidad total del ave debe depender de las contribuciones relativas de mantenimiento y de la acumulación de proteínas tisulares a su necesidad total (Fuller, 1994).

La exigencia nutrimental de aminoácidos esta influenciada por una serie de factores como edad y sexo de los animales, niveles de proteína, energía y lisina del alimento, densidad de la población, condiciones ambientales (principalmente temperatura), estado sanitario de los animales, digestibilidad de las materias primas usadas en la elaboración de los alimentos (Fuente-Martínez, Díaz-Cruz, Lecumberri-López & Ávila-González, 2005).

Las líneas genéticas también son factores importantes y variables que influyen en la exigencia nutrimental de aminoácidos, particularidades como el potencial

de ganancia de peso, el peso corporal, las características reproductivas y de comportamiento deben ser considerados en la formulación de alimentos balanceados asegurando que los animales puedan alcanzar su potencial genético (Francelino, Mack & Silva, 2004).

2.2.7 Metabolismo de lisina

La L- lisina se condensa con α -cetoglutarato, formándose una base de Schiff, la cual se reduce a sacaropina y luego oxidada por una segunda deshidrogenasa. La adición de agua forma L-glutamato y L- α -aminoadipato- δ -semialdehído. La lisina es un AA glucogénico y cetógeno, es decir, su catabolismo da lugar a glucosa y cuerpos cetónicos cuando no hay carbohidratos disponibles, y se libera por acción de la tripsina pancreática (Figura 1). Es precursor de la carnitina, compuesto importante en el metabolismo de lípidos, ya que contribuyen al transporte de ácidos grasos del citoplasma al interior de la mitocondria, en donde se libera energía de los mismos (Murray, Granner, Mayer & Rodwel 1997).

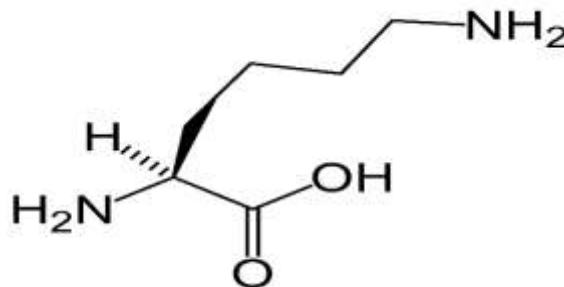


Figura 1. Estructura química de la Lisina

2.2.8 Requisito nutrimental de lisina

La lisina fue elegida como AA referencial para la formulación de alimento para pollo por varias razones: 1) en dietas prácticas (maíz-soya o sorgo-soya), la lisina es el segundo AA limitante después de la metionina, y la suplementación con lisina es económicamente factible; 2) el análisis de lisina en alimentos es sencillo; 3) la lisina dietética se utiliza para acumulación y mantenimiento de proteínas; 4)

los datos de requisitos de lisina acorde a dieta, ambiente, y cualidades de composición corporal son fácilmente disponibles (Emmert & Baker, 1997).

La lisina es un AA fisiológicamente esencial para mantenimiento, crecimiento y producción de las aves, su principal función es la síntesis de proteína muscular (Aftab, Afrab & Jiang, 2006). Bernal et al. (2014); Leclercq (1998); Sá, Nogueira, Goulart y Perazzo (2012) y Trevisan et al. (2014) afirman que la lisina ejerce efectos diferenciales en la composición corporal de los animales, y se considera que las exigencias de este AA obedecen a una jerarquía, en la que el requerimiento en orden descendente es: incremento en el rendimiento de carne de pechuga, disminución en el rendimiento de pierna y muslo, ganancia de peso, conversión alimenticia y acumulación de grasa abdominal.

El concepto del balance ideal generalmente se refiere a la relación de AA entre sí y a menudo se utilizan los niveles de lisina como la referencia. Los requisitos de AA esenciales se determinan en referencia a lisina sin tener en cuenta los requisitos de AA no esenciales o AA totales (Pesti, 2009).

La información exacta sobre exigencias de lisina digestible para pollos de engorda es la base inicial para la formulación de alimentos con balance adecuado de AA, ya que la lisina es utilizada como referencia para establecer las cantidades de los otros AA como una proporción a su exigencia. Cualquier error en la determinación de exigencia de lisina repercutirá en desequilibrios en las exigencias de los otros aminoácidos, e influirá en la caída del rendimiento y calidad de la canal (Sá et al., 2012).

La inclusión de lisina en las dietas para pollo de engorda es calculada mediante la recopilación de datos en experimentos dosis-respuesta con este AA, para posteriormente determinar el consumo diario de lisina digestible. Enseguida, es calculada la lisina para mantenimiento obteniendo así, la cantidad de lisina digestible/kg de ganancia de peso en las diferentes fases de crecimiento. Las

ecuaciones obtenidas, se utilizaron para estimar el requisito de lisina digestible para pollos de engorda de acuerdo con el sexo y a su desempeño productivo (Rostagno et al., 2017).

El desconocimiento de los valores exactos de AA digestibles en ingredientes del alimento o elegir valores inapropiados puede resultar (al menos) en ineficiencias promedio de 3 a 4 dólares por T⁻¹ de alimento producido para pollos de engorda. Las diferencias en los costos de alimentación a partir del uso de los diferentes valores de digestibilidad pueden dar una estimación de los ahorros bajo el uso de una u otra base de datos (Tahir & Pesti, 2013).

Si en la alimentación se experimentara con niveles graduales de lisina digestible resultaría en tendencias paralelas para la acumulación de proteínas, los valores medios darían como resultado una evaluación precisa de los datos. Sin embargo, las respuestas a la lisina digestible cambian durante el período de alimentación. Por tanto, el uso del peso corporal y las curvas de crecimiento del comportamiento productivo ofrece un enfoque para caracterizar con más precisión la respuesta creciente del pollo al aumento de la lisina digestible (Friesen et al., 2010). Se pueden desarrollar modelos estadísticos para determinar los requisitos de lisina dietética en pollos de engorda. La elección del modelo estadístico dependerá especialmente de las instalaciones de aplicación y el mejor ajuste de datos experimentales. Este ajuste puede producir distintas recomendaciones de inclusión de lisina dietética (Lelis et al., 2014).

2.2.9 Interacciones de lisina con otros aminoácidos

Austic (1995) encontró que las interacciones entre aminoácidos se pueden dar en general en procesos de transportación: absorción intestinal, reabsorción renal y transporte dentro del tejido celular. También existen otros lugares de interacción de AA: catabolismo de AA, síntesis de proteína, tasa de degradabilidad de proteína, síntesis de metabolitos esenciales y formación de metabolitos secundarios.

En el caso de lisina se ha encontrado un antagonismo con arginina, ya que al haber exceso de lisina aumentan las necesidades de arginina, o viceversa, como consecuencia de que comparten tres transportadores a nivel de membrana, 1) b_0^+ ; 2) y^+ 3) $y^+ L$, con lo que el exceso de uno de ellos suprime la unión del otro al transportador (D' Mello, 1998; Jiménez, 2005). El exceso de lisina en la dieta incrementa la actividad de la enzima arginasa ello aumenta la degradación de la arginina (D' Mello, 1998).

2.2.10 Deficiencia de lisina en dieta

En pollos jóvenes una deficiencia severa de un AA se manifiesta en menor velocidad de crecimiento y disminución en el consumo de alimento, por una distorsión en las concentraciones del AA en el plasma y en el tejido (Cuca, Ávila & Pró, 2012). Una deficiencia moderada de un AA esencial disminuye el consumo de alimento y causa una depositación de tejido adiposo desproporcional con relación al músculo esquelético. Si la deficiencia es muy marginal puede no causar disminución en el peso vivo, pero se puede identificar al observar un incremento en la proporción de tejido adiposo, ya que el pollo consume más alimento para compensar la deficiencia marginal del AA, que trae como resultado un exceso de consumo de energía (Klassing, 1998).

2.2.11 El concepto de proteína ideal y el uso de aminoácidos sintéticos

La proteína ideal es un concepto propuesto e iniciado por Mitchel (1965) para optimizar la utilización de la proteína de la dieta (relación entre absorción y consumo de proteína). Dean y Scott (1965) propusieron aplicar este concepto a pollos de engorda, por del daño al medio ambiente ocasionado por la excreción excesiva de nitrógeno con dietas altas en proteína. Se recobró interés en los involucrados en la producción de pollo y cerdos, ya que el precio de ingredientes proteicos aumenta día con día, también hay un incremento en la disponibilidad y

oferta de AA sintéticos (lisina, metionina, triptófano y treonina) (Emmert & Baker, 1997).

En la formulación bajo el concepto de proteína ideal ningún AA se suministra en exceso en relación con otro, lo que resulta en la retención máxima de proteína (ganancia diaria de peso respecto a consumo de proteína) y la excreción mínima de nitrógeno. Esto es posible a través de un adecuado balanceo de ingredientes proteicos y AA sintéticos suplementarios (Emmer & Baker, 1997).

2.2.12 Formulación de raciones para pollos de engorda

La formulación de alimentos, tomando como base un nivel mínimo de proteína bruta, normalmente resulta en valores de proteína muy altos, en función de adopción de márgenes de seguridad para garantizar el suministro de AA esenciales. Sin embargo, debe destacarse que las aves no tienen exigencias nutrimentales para proteína bruta en sí, pero sí para cada uno de los AA esenciales constituyentes de las proteínas y para una cantidad de nitrógeno amino suficiente para la biosíntesis de AA no esenciales (Costa & Goulart, 2010).

Las dietas para pollos en engorda pueden formularse a menor concentración de proteína si se incorporan AA cristalinos disponibles en el mercado, como lisina, metionina, treonina y triptófano, esta acción beneficia al medio en donde los animales están confinados, ya que se generan excretas con menor concentración de nitrógeno y menor producción de amoníaco, además de disminuir el costo de las raciones al incorporar menor contenido de proteína en las raciones balanceadas (Hussein, Cantor & Pescatore, 2001).

En la actualidad se pueden utilizar dos métodos de formulación de alimento para pollo de engorda: 1) estocástico ó 2) determinístico. Alhotan, Pesti y Colsan (2014) mencionan que el método estocástico aumentó el costo de la fórmula en 3.40 dólares por T lo que lo hace menos eficiente. Dentro de la misma

investigación, recomiendan tener equipos para la determinación exacta de valores de proteína en los ingredientes usados para facilitar la técnica de formulación, que podría ser rentable si los precios de los granos siguen a la alza.

En los Cuadros 5 y 6, se presentan dos diferentes recomendaciones para formulación de alimento de pollo de engorda publicadas en 2017.

Cuadro 5. Recomendaciones nutrimentales para formulación de alimento para pollo de engorda mixto Aviagen (2017).

Edad (días)	0-10	11-24	25-39	40-sacrificio
Energía				
Metabolizable (kcal kg ⁻¹)	3000	3100	3200	3200
Proteína cruda (%)	23	21.5	19.5	18.3
Lisina (%)	1.28	1.15	1.02	0.96
Metionina (%)	0.51	0.47	0.43	0.40
Metionina+Cisteína (%)	0.95	0.87	0.80	0.75
Treonina (%)	0.86	0.77	0.68	0.64
Triptófano (%)	0.20	0.18	0.16	0.15
Arginina (%)	1.37	1.23	1.09	1.03
Valina (%)	0.96	0.87	0.78	0.73
Isoleucina (%)	0.86	0.78	0.70	0.66
Leucina (%)	1.41	1.27	1.12	1.06

Cuadro 6. Recomendaciones nutrimentales para formulación de alimento para pollo de engorda de rendimiento medio superior según Rostagno et al. (2017).

Edad (días)	1-7	8-21	22-33	34-42
Energía				
Metabolizable (kcal kg ⁻¹)	3000	3100	3200	3250
Proteína cruda (%)	22.5	21.93	20.5	19.5
Lisina (%)	1.36	1.30	1.23	1.06
Metionina (%)	0.54	0.54	0.51	0.44
Metionina+Cisteína (%)	0.99	0.97	0.91	0.79
Treonina (%)	0.88	0.86	0.82	0.70
Triptófano (%)	0.24	0.24	0.22	0.19
Arginina (%)	1.43	1.39	1.32	1.14
Valina (%)	1.02	1.00	0.95	0.82
Isoleucina (%)	0.90	0.88	0.84	0.73
Leucina (%)	1.43	1.39	1.33	1.15

González-Alcorta (2009) menciona que además de los factores relacionados con los requisitos nutrimentales para pollo de engorda y la composición de los ingredientes, un aspecto de suma importancia a considerar, es el costo y disponibilidad de ingredientes, cuando se pretende preparar una dieta a mínimo costo y nutrimentalmente pertinente.

2.2.13 Efecto del nivel de proteína en dieta conjuntamente con aminoácidos en pollos

Pesti (2009) menciona que la suplementación o incremento de niveles de aminoácidos esenciales y no esenciales debe ir acompañada de un ajuste en el porcentaje de proteína en la dieta, con el fin de mejorar el crecimiento y ganancia de peso. Aves que consumen más bajo nivel de proteína sintetizan cantidades más pequeñas de proteína y por lo tanto necesitan menos de cada aminoácido,

y viceversa. Los aminoácidos son necesarios en proporción directa al nivel de proteína de la dieta (Almquist, 1952; Leclercq, 1983).

Con niveles de proteína más altos, algunos genes de las cepas mantienen los niveles de consumo pero crecen más, lo que resulta en una mejor eficiencia de utilización del alimento, mientras que otras cepas genéticas consumen menos alimento, para mantener la velocidad de crecimiento, lo que resulta en mejora de la eficiencia en conversión alimenticia (Leclercq & Guy 1991).

2.2.14 Aminoácidos limitantes para pollo de engorda

Los AA limitantes son aquellos que están presentes en el alimento, en una concentración inferior a la exigida por los animales para desarrollar su potencial productivo. El grado de limitación de los AA esenciales depende básicamente de la composición de ingredientes del alimento y de las exigencias nutrimentales aplicadas a la formulación. En América Latina, donde los alimentos para pollo de engorda tienen como bases el maíz y la pasta de soya, los tres primeros AA limitantes son metionina, lisina y treonina. La valina se presenta como cuarto AA limitante, seguido de isoleucina, arginina y triptófano (Sá et al., 2012).

2.2.15 Requisitos de metionina + cisteína, treonina y triptófano y su efecto en el comportamiento productivo de pollos de engorda y síntesis de proteína.

La metionina es típicamente el primer AA limitante entre los ingredientes de raciones comunes usados en las dietas de aves de corral. Además de ser un componente estructural de ácidos nucleicos y proteínas en el pollo, también se le reconoce como un precursor en la biosíntesis de diversos metabolitos (sarcosina, betaína y colina vía transmetilación) y como intermediario en la conversión a cistina o cisteína (vía homocisteína). Además, se destaca por participar en la síntesis de proteína, y ser precursora de la cisteína y donadora de radicales metil. Se clasifica como AA esencial nutricionalmente para el cuerpo (Zhai et al., 2012). La cisteína también se clasifica como aminoácido semi

esencial, debido a que el cuerpo es capaz de su producción de metionina (Abdalah, Zagarhi, Lotffollahian, Shivazad, & Morajav, 2012).

La treonina es un AA necesario para la formación de proteína y el mantenimiento de la acumulación de proteína corporal, además de ayuda a la formación de colágeno y elastina (Sá, Gomes & Cecon, 2007). La relación treonina-lisina que optimiza el rendimiento y crecimiento de pollos de engorda es 0.68 en la etapa de desarrollo y finalización. Aunque el peso y rendimiento de la canal se vean afectadas por variación en esta relación de aminoácidos limitantes (Dozier, Tillman & Jiang, 2016).

El triptófano se considera un AA esencial para pollos de engorda, requerido no sólo para la depositación de proteína, sino también para diversas funciones metabólicas como la regulación del apetito, la homeostasis de la glucosa y función inmune. Fatufe, Hirche y Rodehutschord (2005) demostraron que si se proporciona un nivel adecuado de triptófano en dieta podría mejorar la depositación de proteínas.

2.3 Efecto de lisina y selección en la pechuga de pollo de engorda

Existen trabajos donde se concluye que el músculo pectoral (pechuga) del pollo contiene niveles altos de lisina y que cuando existe una restricción de este AA, provoca una disminución en la depositación de carne en pechuga e incrementa la cantidad de grasa en pollos de engorda (Moran & Belgili 1990). Por tanto, conocer el nivel adecuado de lisina y los otros AA esenciales en dieta, es clave para obtener una mejor calidad de la canal en el pollo de engorda.

Los músculos pectoral mayor y menor de los pollos de engorda han sido sometidos a una selección genética intensiva para la máxima depositación de tejido de muscular en la pechuga (Zhai et al., 2012). Además, la carne de pechuga se ha proyectado como el tejido de mayor valor económico para la industria del pollo de engorda (INEGI, 2018).

Bernal et al. (2014) concluyen que los niveles óptimos de inclusión de lisina digestible en dieta para pollos de engorda son: 1.22 y 1.25% para machos y hembras en iniciación respectivamente , mientras que para la etapa de finalización es 1.16% de lisina digestible para ser eficiente en la unidad de producción. Dentro del mismo, los niveles de lisina experimentados no mostraron diferencias significativas en rendimiento de canal, pechuga y pierna.

2.4 Efecto de lisina en la calidad de la canal del pollo de engorda

La calidad de la canal de pollo de engorda debe juzgarse en términos del uso final del consumidor, dicha calidad depende de cualidades como la cantidad de carne y grasa, éstas no sólo varían con la edad, sexo, y la línea genética, sino del grado de expresión, y puede ser sustancialmente modificado por la alimentación y nutrimentos aportados, en particular por el porcentaje de lisina dietética y proteína (Moran & Belgili, 1990). La composición de la canal de pollo de engorda ha recibido una gran atención, como resultado del procesamiento industrial de las aves. Debido a la demanda de los consumidores y los valores agregados que se pagan por los distribuidores (Halping, 1992).

La tendencia de consumo de carne ha sido sustancialmente afectada por los cambios en la demanda, la mejoría en el ingreso per cápita, aumento de la tasa de participación laboral femenina, la urbanización, y los cambios de estilo de vida. Estos fenómenos predicen el aumento de la demanda de productos cárnicos de calidad en todo el mundo, y los consumidores están dispuestos a pagar un sobreprecio por atributos de calidad (Bodini, Ritchter & Felder, 2009).

Existen nueve factores que influyen en la percepción del consumidor en la calidad de la carne de pollo: el color, tamaño, elasticidad, aroma del pollo, sabor graso, dulzura, grasa visible, terneza y fibrosidad. Entre estos factores la terneza resultó ser el criterio más importantes que influye en la preferencia del consumidor en la calidad de carne de pollo (Nasihah, Hirawati, Latif, & Mohd 2014). Los AA

metionina y lisina en nivel alto provocan un mayor crecimiento muscular, por una mayor disponibilidad de nutrimentos a la células musculares. El aumento de músculo en pechuga causado por lisina y cisteína da origen a hipertrofia miofibrilar, que lleva a una disminución de la ternura de pechuga de pollo, por lo tanto podría afectar su calidad (Rehfeldt, Fiedler & Ender, 2000; Zhai et al., 2012).

2.11 Literatura Citada

- Abdollah, H., Zagarhi, S., Lotfollahian, M., Shivazad, H., & Morajav, M. (2012). Reevaluation of methionine Requirement Based on Performance and Immune Response in Broiler Breeder Hens. *Japan Poultry Science Association*, 49, 26-33.
- Aftab, U., Asraf, M., & Jiang, Z. (2006). Low protein diets for broilers. *World Poultry Science*, 62, 688-701.
- Alhotan, R., Pesti, M., & Colson, G. (2014). Reducing crude protein variability and maximizing savings when formulating corn-soybean meal-based feeds. *Journal of Applied Poultry Research*, 23, 456-469. doi:10.3382/japr.2013-00934
- Almquist, H. J. (1952). Amino acid requirements of chickens and turkeys—A review. *Poultry Science*, 33, 966-981.
- Austic, J. (1995). Amino acid Bioavailability. En C. Ammerman, D. Baker, & A. Lewis, *Bioavailability of nutrients for animals: Amino acid, Minerals and Vitamins* (págs. 35-65). USA: Academic Press.
- Aviagen. (2017). *Aviagen*. Recuperado el 21 de Abril de 2017, de Pollos de Enogorde Ross 308 AP: Especificaciones de Nutrición: <http://es.aviagen.com/brands/ross/products/ross-308-ap>
- Baker, D., & Han, Y. (1994). Ideal amino acid profile for chicks during the first three week posthatching. *Poultry Science*, 73, 1141-1147.
- Basurco, V., Santiago, O., Ángel, C., González-Esquerra, R., Vieira, L., & Serafini, N. (2015). Performance and economic evaluation of feeding programs varying in energy and protein densities for broiler growers. *Journal of Applied Poultry Research*, 24, 304-315.
- Bernal, L., Tavernari, F., Rostagno, H., & Albino, L. (2014). Digestible Lysine Requirements of Broilers. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 16(1), 49-55.
- Bodini, A., Richter, T., & Felder, R. (2009). Quality related communication. *Journal of Food Products Marketing*, 15, 364-377.
- Church, D., Pond, W., & Pond, K. (2002). Fundamentos de nutrición y alimentación de animales. Ciudad de México, México: Limusa-Wiley.
- CONAFAB. (2017). *Consejo Nacional de Fabricantes de Alimentos Balanceados y de la Nutrición Animal*. Recuperado el 10 de Octubre de 2017, de Anuario Estadístico: <http://www.conafab.org/informativos/anuarios-estadistico>
- Costa, F., & Goulart, C. (2010). Exigencias de aminoácidos para frangos de corte e poedeiras. *II Workshop de Nutrição de Aves* (págs. 12-21). Paraíba: UFPB.

- Cuca, J., Ávila, E., & Pró, A. M. (2012). *Alimentación de las aves*. México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Da Costa, M. J., Colson, G., Frost, T. J., Halley, J., & Pesti, G. M. (2017). Evaluation of starter dietary digestible lysine level on broilers raised under a sex-separated or straight-run housing regime, part 2: Economics of sex separation and digestible lysine level for maximum returns. *Poultry Science*, *92*, 3282-3290. doi:<http://dx.doi.org/10.3382/ps/pex128>
- Dean, W., & Scott, H. (1965). Needs of amino acids in chickens. *Poultry Science*, *44*, 803-808.
- D'Mello, J. (1988). Dietary interactions influencing amino acid utilization by poultry. *World's Poultry Science Journal*, *44*, 92-102.
- Dozier, W., Corzo, A., Kidd, M., & Schilling, M. (2008). Dietary Digestible Lysine Requirements of Male and Female Broilers from Forty-Nine to Sixty-Three Days of Age. *Poultry Science*, *87*, 1385-1391. doi:10.3382/ps.2007-00529
- Dozier, W., Tillman, P., & Jiang, Z. (2016). Growth performance and carcass characteristics of male broilers fed diets varying in digestible threonine to lysine ratio from 21 to 49 days of age. *Journal of Applied Poultry Research*, 1-10.
- Emmert, J., & Baker, D. (1997). Use of the ideal protein on concept for precision formulation of amino acid levels in broiler diets. *The Journal of Applied Poultry Research*, *6*, 462-470.
- Fatufe, A. A., Hirche, F., & Rodehutschord, M. (2005). Estimates of individual factors of the tryptophan requirement based on protein in and tryptophan accretion responses to increasing tryptophan supply in broiler chickens 8–21 days of age. *Archivos Animal Nutrition*, *59*, 181-190.
- FEDNA. (2017). *Federación Española de Nutrición Animal*. Recuperado el 1 de Noviembre de 2017, de FEDNA Ingredientes para piensos: <http://www.fundacionfedna.org/ingredientes-para-piensos>
- Francelino, A., Mack, J., & Silva, A. D. (2004). Redução do nível proteico da dieta, através da formulação baseada em aminoácidos digestíveis. *Ciência Rural, Santa María*, *34*(4), 1197-1201.
- Franco, S. M., Tavernari, F. D., Maia, R. C., M, V. R., Barros, L. F., Rostagno, H. S., . . . Dilger, R. N. (2017). Estimation of optimal ratios of digestible phenylalanine + tyrosine, histidine, and leucine to digestible lysine for performance and breast yield in broilers. *Poultry Science*, *96*, 829-837. doi:<http://dx.doi.org/10.3382/ps/pew305>
- Friesen, K., Nelsen, J., Goodban, R., Tokach, M., Schinckel, A., & Einstein, M. (2010). The use of compositional growth curves for assessing the response to dietary lysine by high-lean growth gilts. *Animal Science*, *62*(1), 159-169. doi:10.1017/S1357729800014430

- Fuente-Martínez, B., Díaz-Cruz, A., Lecumberri-López, J., & Ávila-González, E. (2005). Necesidades de lisina y aminoácidos azufrados digestibles en gallinas Leghorn Blancas. *Veterinaria México*, 36(2), 135-145.
- Fuller, M. (1994). Amino acid requerimientos for maintenance, body protein accretion and reproduction in pigs. En D´Mello, *Amino acid in Farm Animal Nutrition* (págs. 154-184). Wallingfor,UK: CAB International.
- García, A., Batal, A., & Baker, D. (2006). Variations in the Digestible Lysine Requirement of Broiler Chickens Due to Sex, Performance Parameters, Rearing Environment, and Processing Yield Characteristics. *Poultry Science*, 85, 498:504.
- González Alcorta, M. J. (2009). Formulación de Dietas. En M. C. García, E. Á. González, & A. P. Martínez, *Alimentación de las aves* (págs. 235-263). Departamento de Zootecnia, UACH: Universidad Autónoma Chapingo.
- Halpin, K. (1992). Requerimientos de lisina para un máximo rendimiento de carne de pechuga en pollos de engorda. *4º ciclo de conferencias FERMEC*, (págs. 1-12). Ciudad de México.
- Hussein, A., Cantor, A., & Pescatore, A. (2001). Effect of low protein diets with amino acid supplementation on broiler growht. *Journal of Applied Poultry Science*, 10, 354-362.
- INEGI. (9 de Febrero de 2018). *Índices de precios*. Recuperado el 9 de Febrero de 2018, de Instituto Nacional de Estadística y Geografía: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/inp/inpc.aspx>
- INIFAP. (2017). *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias*. Obtenido de Contenido de aminoácidos totales y digestibles verdaderos para pollos de los principales ingredientes utilizados en Latinoamérica: http://www.inifap.gob.mx/SitePages/inifap2015/Productos_Servicios/Productos_Servicios.aspx
- Jimenez, V. M. (2005). *"Transportadores Heteroméricos de Aminoácidos: Análisis mutacional de rBAT en cistinuria y estudios de relación estructura-función" Tesis Doctoral*. Barcelona, España: Departamento de Bioquímica y Biología Molecular, Universitat de Barcelona.
- Klasing, K. C. (1998). *Comparative Avian Nutrition*. Cambridge, UK: CAB International.
- Kwakkel, R., & Schreus, V. (2000). Diurnal feeding strategies to optimise amino acid utilisation. *World Poultry*, 16(4), 8-12.
- Leclercq, B. (1983). The influence of dietary protein content on the performance of genetically lean or fat growing chickens. *British Poultry Science*, 24, 581-587.
- Leclercq, B., & Guy., G. (1991). Further investigations on protein requirement of genetically lean and fat chickens. *British Poultry Science*, 32, 789-798.

- Leclerq, B. (1998). Specific effects of lysine broiler production: Comparison with threonina and valina. *Journal of Poultry Science*, 77, 118-123.
- Lelis, G. R., Albino, L. F., Tavernari, F. C., Calderano, A. A., Rostagno, H. S., Barros, V. R., & Maia, R. C. (2014). Digestible valine-to-digestible lysine ratios in brown commercial layer diets. *Journal of Applied Poultry Research*, 683–690, 683–690. doi:http://dx.doi.org/ 10.3382/japr.2014-00984
- Martinez Amezcua, C. (2009). Proteínas y aminoácidos. En M. C. García, E. Á. González, & A. P. Martínez, *Alimentación de las aves* (págs. 19-42). Chapingo, México: Universidad Autónoma Chapingo.
- McDonald, P., Edwards, R., Greenhalgh, J., & Morgan, C. (2006). *Nutrición Animal*. España: Acribia.
- Mitchel, H. (1965). *Comparative Nutrition of man and domestic animals*. USA: Academic Press.
- Moran, E., & Belgili, S. (1990). Processing losses, carcass quality and meat yield of broiler chicken as influenced by dietary lysine. *Poultry Science*, 69, 702-709.
- Murray, R., Granner, D., Mayes, P., & Rodwel, V. (1997). *Bioquímica de Harper* (14a ed.). México: Editorial Manual Moderno.
- Nasihah, S. I., Hirawati, N., Latif, I., & Mohd, N. (2014). Enhancing Poultry Industry Competitiveness: Consumer Perspective on Chicken Meat Quality. *Journal of Food Products Marketing*, 20, 102-121. doi:10.1080/10454446.2014.921878
- Pesti, G. (2009). Impact of dietary amino acid and crude protein levels in broilers feeds on biological performance. *The Journal of Applied of Poultry Research*, 18, 477-488.
- Rehfeldt, C., Fiedler, I., Dietl, G., & Ender, K. (2000). Myogenesis and postnatal skeletal muscle cell growth as influenced by selection. *Livestock Production Science*(66), 177–188.
- Rodwel W, V. (2015). Metabolismo de aminoácidos. En V. Rodwel W, B. A. David, B. J. Kathleen, K. J. Peter, & W. P. Anthony, *HARPER BIOQUÍMICA ILUSTRADA* (págs. 281-286). McGraw Hills Education.
- Rostagno, H. S., Albino, L. F., Hannas, M. I., Donzele, J. L., Sakomura, N. K., Perazzo, F. G., . . . Oliveria, R. F. (2017). *Tablas Brasileñas para Aves y Cerdos "Composición de Alimentos y Requerimientos Nutricionales"*. (S. C. Cruz, Trad.) Viçosa, Brasil: Departamento de Zootecnia, UFV.
- Sá, L., Gomes, P., & Cecon, P. (2007). Exigência nutricional de treonina digestível para galinhas poedeiras no período de 34 a 50 semanas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36(6), 1846-1853.
- Sá, L., Nogueira, E., Goulart, C., & Perazzo, F. C. (15 de Marzo de 2012). www.lisina.com.br. Recuperado el 23 de Abril de 2016, de Aminoácidos en

el pollo de engorde:
http://www.lisina.com.br/upload/Informativo_aminoacidos%20nutrici%C3%B3n%20de%20pollos_2012.pdf

- Santiago Gómez, R., Cortés Cuevas, A., López Coello, C., & Ávila González, E. (2011). Evaluación de tres programas de alimentación para pollos de engorda con base en dietas sorgo-soya con distintos porcentajes de proteína. *Veterinaria México*, 299-309.
- SAS. (2017). *Statistical Analysis System SAS/STAT User's guide (Release 9.4)*. Cary, NC, USA: SAS Institute Inc.
- SIAP. (2018). *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*. Recuperado el 23 de Abril de 2017, de SIAP: <https://www.gob.mx/siap>
- Tahir, M., & Pesti, G. (2013). Comparison of ingredient usage and formula costs. *Journal of Applied Poultry Research*, 21, 693-705. doi:10.3382/japr.2011-00515
- Trevisan, R. B., Nakagi, V. S., Bravo, P. T., & Faria, D. E. (2014). Feeding programs and their effects on broiler performance and economic indexes. *Journal of Applied Poultry Research*, 23, 593–604. doi:<http://dx.doi.org/10.3382/japr.2013-00884>
- UNA. (2017). *Unión Nacional de Avicultores*. Recuperado el 11 de Septiembre de 2017, de UNA: <http://una.org.mx/index.php/panorama/crecera-2-5-la-avicultura-mexicana-en-2015>
- Zhai, W., Araujo, L. F., Burgess, S. C., Cooksey, A. M., Pendarvis, K., Mercier, Y., & Corzo, A. (2012). Protein expression in pectoral skeletal muscle of chickens as influenced by dietary methionine. *Poultry Science*, 91, 2548-2555. doi:<http://dx.doi.org/10.3382/ps.2012-02213>

3. COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y RENDIMIENTO DIFERENCIAL DE PIEZAS EN POLLOS DE ENGORDA EN RESPUESTA A NIVELES DE LISINA DIETÉTICA

3.1 Resumen

Para evaluar el comportamiento productivo y rendimiento diferencial de pechuga, pierna y muslo de pollos de engorda por efecto de lisina dietética. Se establecieron cuatro tratamientos (T_i) con tres repeticiones, en un diseño completamente al azar ($Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$), con dos fases de alimentación (1-22 y 23-45 días de edad). Las dietas fueron isoenergéticas e isoproteicas y se formularon con cuatro niveles de lisina (1.10, 1.20, 1.30 y 1.40, y 0.95, 1.05, 1.15 y 1.25 %) para cada fase de alimentación, respectivamente. Las hipótesis principales son que el nivel dietético de lisina mejora las variables del comportamiento productivo, peso y rendimiento de piezas de pollo de engorda. Las variables analizadas fueron: consumo de alimento (C), ganancia de peso (GP), conversión alimenticia (CA); pesos vivo (PV), al sacrificio (PS), pechuga (Ppe), pierna y muslo (Ppm), y alas (Pal), y rendimientos de pechuga (Rpe), pierna y muslo (Rpm), y alas (Ral). Las variables de respuesta fueron similares entre tratamientos ($P > 0.05$) en la fase de 1 a 22 días. En la fase de 23 a 45 días, el C y CA fueron similares ($P > 0.05$); sin embargo, el PV (2822b, 2883ab, 2983ab, 3021a g) incrementó ($P \leq 0.05$) a partir del nivel 1.05% de lisina dietética, a su vez el RPe (27.41b, 28.18ab, 29.42a, 28.27ab %) incrementó mientras el Rpm (25.28a, 24.78ab, 23.79bc, 23.37c %) disminuyó ($P \leq 0.05$). En conclusión, los niveles de lisina en las dietas de pollos de engorda después de los 22 días mejoran algunas variables del comportamiento productivo, peso y rendimiento de piezas de la canal. Además los niveles crecientes de lisina afectan en forma inversa a los rendimientos de pechuga en relación a los de pierna y muslo.

Palabras clave: aves de corral, incremento, aminoácido, tendencia

Tesis de Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera, Universidad Autónoma Chapingo
Autor: Juan Pablo Ríos Ramírez Director de Tesis
Ph. D. Mariano Jesús González Alcorta

BROILER PRODUCTIVE PERFORMANCE AND CARCASS COMPOSITION AT DIFFERENT DIETARY LYSINE LEVELS

3.2 Abstract

To evaluate productive performance and differential breast, leg and thigh yield of broiler chickens as a response to dietary lysine levels, an experiment was conducted with 192 male chickens of the line Ross 308 from 1 to 45 days old. Four treatments (T_i) with three replicates were established, in a completely randomized model ($Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$), with two feeding phases (1-22 and 23-45 days old). Diets were isoenergetic and isoproteic, and they were formulated with four lysine levels (1.10, 1.20, 1.30 and 1.40, and 0.95, 1.05, 1.15 and 1.25 %) for each feeding phase, respectively. The main hypothesis is that lysine dietary level may improve productive performance as well as body weight and pieces yield of broiler chickens. The analyzed variables were: feed intake (FI), weight gain (WG), feed conversion (FC); and weights of body (BW), slaughter (SW), breast (BrW), leg and thigh (LtW), and wings (WW); and yields of breast (BY), leg and thigh (LtY), and wings (WY). Response variables were similar ($P > 0.05$) in phase of 1 to 22 days old. In phase of 23 to 45 days old, FI and FC were similar ($P > 0.05$); however, BW (2822b, 2883ab, 2983ab, 3021a g) increased ($P \leq 0.05$) from 1.05% lysine level, meanwhile BY (27.41b, 28.18ab, 29.42a, 28.27ab %) increased while LtY (25.28a, 24.78ab, 23.79bc, 23.37c %) decreased ($P \leq 0.05$). In conclusion, the dietary lysine levels in broiler diets after 22 days improve some variables of the productive performance, weight and performance of parts of the carcass. In addition, increasing lysine levels increase breast yield meanwhile diminish leg and thigh.

Key words: poultry, increase, amino acid, trend

Master of Science in Livestock Innovation Thesis, Universidad Autónoma Chapingo

Author: Juan Pablo Ríos Ramírez

Advisor: Ph. D. Mariano Jesús González Alcorta

3.3 Introducción

El incremento en el rendimiento de pechuga genera mayor ganancia económica en el pollo de engorda al mejorar la relación beneficio:costo cuando se comercializa la canal, principalmente la pechuga. Por ello, es necesario que en la formulación de una dieta para pollo de engorda se conozca el requisito nutrimental de lisina dietética que logre el máximo peso y rendimiento de carne de pechuga que es la de mayor precio (INEGI, 2018). La lisina dietética tiene efectos específicos en la composición corporal de los animales, y se considera que las exigencias de este aminoácido obedecen a variables como el rendimiento de carne en pechuga, ganancia de peso y conversión alimenticia (Leclercq, 1998).

Las empresas generadoras de líneas genéticas seleccionan a las aves para expresar mayor rendimiento cárnico de pechuga, por ello es que el requisito de lisina incrementa (Sterling, Pesti & Bakalli, 2006). Actualmente existen varias fuentes de información donde recomiendan distintos valores de inclusión de lisina en función de desempeño productivo, sexo, edad, peso al sacrificio, además de rendimiento de pechuga (Aviagen, 2017; Rostagno et al., 2017). Sin embargo, hay poca información acerca de las tendencias en el rendimiento de las piezas de pollo de engorda como respuesta al nivel de inclusión de lisina. Si la tendencia es incrementar el peso de la pechuga y el peso de la pierna y muslo se obtendría una respuesta con tendencia similar en ambas piezas. Si la tendencia es incrementar el peso de la pechuga y disminuir el peso de la pierna y muslo, se obtendría una tendencia diferencial.

El mercado para pollo de engorda ha abierto canales para diferentes pesos y rendimientos de canal, en estos canales el precio de carne de pechuga es el más alto (Sterling, Pesti & Bakalli, 2006). Por ello, si se logra obtener el máximo rendimiento de pechuga de pollo de engorda a través de la manipulación

nutrimental del nivel de lisina dietética podría aumentar los ingresos para el productor.

Existen estudios donde, se han evaluado distintos niveles de inclusión de lisina dietética en pollos de engorda, sin embargo no existe concordancia entre los resultados. Algunos autores informan mayor rendimiento del músculo pectoral (pechuga) y bajo rendimiento de pierna y muslo cuando los niveles de lisina y proteína se modifican (Trevisan, Nakagi, Bravo & Faria, 2014). Mientras que en otros estudios se encontró mayor peso vivo final (Basurco et al., 2015). Sin embargo, otros autores no encontraron diferencias ante la mayor inclusión de lisina (Santiago-Gómez, Córtes-Cuevas, López-Coello & Ávila-González, 2011).

En la presente investigación se plantea que niveles crecientes dietéticos de lisina influyen y mejoran las variables del comportamiento productivo, así como el peso y el rendimiento de piezas de pollo de engorda. Además, se plantea que existe un rendimiento diferencial en las piezas de la canal de pollo de engorda en respuesta a los niveles dietéticos de lisina, de tal manera que a medida que se incrementa el peso y rendimiento de pechuga, se disminuye el peso y rendimiento de la pierna y muslo.

El objetivo del presente estudio fue analizar el comportamiento productivo, peso y rendimiento total y diferencial de piezas de la canal de pollos de engorda al ofrecer niveles incrementados de lisina dietética.

3.4 Materiales y Métodos

El experimento se realizó en la Granja Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, a una altitud de 2260 m. Para realizar el experimento, se utilizaron 196 pollos machos de la línea Ross 308 por 45 días. Los pollos fueron distribuidos en cuatro tratamientos con tres repeticiones cada uno. Las unidades experimentales se conformaron con 16 pollos en corrales de 2 m².

3.3 Tratamientos y rutina de alimentación

Los tratamientos consistieron en la inclusión de diferentes niveles de lisina en la dieta de las aves (Cuadro 7).

Cuadro 7. Niveles de lisina en los tratamientos

Tratamiento	% lisina	
	Iniciación- Crecimiento	Desarrollo-Finalización
1	1.10	0.95
2	1.20	1.05
3	1.30	1.15
4	1.40	1.25

La alimentación de las aves se dividió en dos fases: fase uno iniciación-crecimiento (1-22 d) (Cuadro 8) y fase dos desarrollo-finalización (23-45 d) (Cuadro 9) la dieta para cada fase se balanceó de acuerdo a las recomendaciones publicadas por Aviagen (2017) y Rostagno et al. (2017).

El alimento se proporcionó a libre acceso durante las tres primeras semanas, después los animales se sometieron a una restricción alimentaria, que consistió en ofrecer alimento sólo 8 h en la cuarta semana y se disminuyó una hora en las semanas posteriores, para evitar el síndrome ascítico de los pollos de engorda

característico en explotaciones ubicadas a más de 1000 msnm (Wideman, Roadhs, Erf & Anthony, 2013). El agua se ofreció a libre acceso durante todo el experimento.

Cuadro 8. Composición (%) y análisis nutrimental de dietas ofrecidas a pollos de 1 a 22 días de edad (fase 1).

Ingrediente	Nivel de Lisina en la dieta (%)			
	1.10	1.20	1.30	1.40
Maíz molido	55.1	53.1	52.1	51.8
Pasta de Soya	33.1	38.1	39.8	39.9
Glutén de Maíz	4.5	1.1	0	0
Aceite Vegetal	3.1	3.7	4	4.1
Fosfato dicálcico	0.7	0.6	0.6	0.6
CaCO ₃	2.2	2.2	2.2	2.2
Sal	0.4	0.4	0.4	0.4
L-Lisina HCl 54.5%	0	0	0.120	0.301
DL-Metionina 98%	0.238	0.264	0.273	0.273
Premezcla de vitaminas y minerales ^z	0.25	0.25	0.25	0.25
Secuestrante de micotoxinas	0.25	0.25	0.25	0.25
Análisis calculado				
EM(kcal kg ⁻¹)	3000	3000	3000	3000
PC(%)	22.5	22.5	22.5	22.5
Lisina(%)	1.10	1.20	1.30	1.40

^zPremezcla de vitaminas y minerales (aporte por kg de dieta): Vit. A, 9999 UI; Vit. D₃, 2500.5 UI; Vit. E, 20 mg; Vit. K₃, 6 mg; Vit. B₁, 2 mg; Vit. B₂, 6 mg; Vit. B₆, 2 mg; Vit. B₁₂, 0.02 mg; Nicotinamida, 65 mg; Ácido pantoténico, 12 mg; Ácido fólico, 1 mg; Biotina, 0.1 mg; Colina, 420 mg; Cu, 6 mg; Fe, 60 mg; Mn, 65 mg; I, 0.2 mg; Zn, 60 mg; y Se, 0.15 mg.

Cuadro 9. Composición (%) y análisis nutrimental dietas ofrecidas a pollos de 23 a 45 días de edad (fase 2).

Ingrediente	Nivel de Lisina en la dieta (%)			
	.95	1.05	1.15	1.25
Maíz molido	62.1	62.1	62.2	62.4
Pasta de Soya	28.4	27.3	25.9	24.4
Glutén de Maíz	1.3	2	3.1	4.2
Aceite Vegetal	5	5	5	5
Fosfato dicálcico	0.4	0.4	0.5	0.5
CaCO3	1.8	1.8	1.8	1.7
Sal	0.4	0.4	0.4	0.4
L-Lisina HCl 54.5%	0	0.222	0.460	0.699
DL-Metionina 98%	0.16	0.156	0.151	0.145
Premezcla de	0.30	0.30	0.30	0.30
Vitaminas y Minerales ^z				
Secuestrante de micotoxinas	0.25	0.25	0.25	0.25
	Análisis calculado			
EM(kcal kg ⁻¹)	3200	3200	3200	3200
PC(%)	19	19	19	19
Lisina(%)	.95	1.05	1.15	1.25

^zPremezcla de vitaminas y minerales (aporte por kg de dieta): Vit. A, 9999 UI; Vit. D₃, 2500.5 UI; Vit. E, 20 mg; Vit. K₃, 6 mg; Vit. B₁, 2 mg; Vit. B₂, 6 mg; Vit. B₆, 2 mg; Vit. B₁₂, 0.02 mg; Nicotinamida, 65 mg; Ácido pantoténico, 12 mg; Ácido fólico, 1 mg; Biotina, 0.1 mg; Colina, 420 mg; Cu, 6 mg; Fe, 60 mg; Mn, 65 mg; I, 0.2 mg; Zn, 60 mg; y Se, 0.15 mg.

Variables medidas y calculadas

Para evaluar el comportamiento productivo de los pollos se analizaron como variables de respuesta los parámetros productivos de consumo de alimento (C), peso vivo (PV), ganancia de peso (GP) y conversión alimenticia (CA), en las dos fases de alimentación. Para la fase dos, los pollos del nivel más bajo también estuvieron en el tratamiento correspondiente al nivel más bajo y así respectivamente los demás tratamientos. Cada fase se analizó de manera independiente.

La medición de rendimiento de pechuga (Rpe), rendimiento de pierna y muslo (Rpm) y rendimiento de alas (Ral) se realizó mediante los valores de peso al sacrificio (PS), y pesos de la pechuga (Ppe), pierna y muslo (Ppm) y alas (Pal), mismos que se registraron de nueve pollos muestreados al azar por tratamiento. Posteriormente se calculó el porcentaje de cada pieza respecto al peso de sacrificio, dato que se transformó con la función arcoseno $\sqrt{\text{porcentaje}}$ para efecto del análisis estadístico.

Análisis estadístico

El análisis estadístico de las variables de comportamiento productivo, peso y rendimiento de piezas de los pollos se realizó a través de un diseño completamente al azar, el modelo estadístico fue:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

donde:

Y= valor de la variable de respuesta; μ = Media general; T_i = efecto del i-ésimo tratamiento y E_{ij} = error experimental. $i=1, 2, 3, 4$; $j= 1, 2, 3$.

El análisis estadístico se realizó con el procedimiento GLM del programa Statistical Analysis System 9.4 (SAS,2017), ante efecto significativo $P \leq 0.05$, la separación de medias fue por Tukey con $\alpha = 0.05$.

Mediante contrastes ortogonales se describió las tendencias posibles en algunas variables productivas a los cambios incrementados del aporte de lisina en la dieta.

3.5 Resultados y discusión

Fase Iniciación-Crecimiento (1 -22 días de edad de los pollos)

En este apartado se discuten los resultados del efecto del nivel de inclusión de lisina dietética en el comportamiento productivo de pollos de engorda Ross 308 en la fase uno (Cuadro 10).

Los niveles dietéticos de lisina no afectaron ($P > 0.05$) C, GP, CA ni PV de los pollos de entre 1 a 22 días de edad. De igual forma no se detectaron tendencias en el patrón de respuesta de estas variables a los niveles incrementados de lisina en la dieta ofrecida con base los contrastes ortogonales desarrollados (Cuadro 10).

García y Batal (2005) concluyen que el consumo de alimento en los primeros 21 días de edad de un pollo de engorda responde mayormente un proceso de adaptación del tracto gastrointestinal por lo que es difícil encontrar variaciones en el consumo por otros nutrimentos en la dieta.

La similitud en la ganancia de peso puede explicarse por ofrecer diferentes niveles de lisina en dietas isoproteicas. Pesti (2009), menciona que la suplementación o incremento de niveles de aminoácidos esenciales y no esenciales debe ir acompañada de un ajuste en el porcentaje de proteína en la dieta, con el fin de mejorar el crecimiento y ganancia de peso. La demanda por

lisina está en proporción directa al nivel de proteína de la dieta (Almquist, 1952; Leclercq, 1983).

Los niveles crecientes de lisina no afectaron ($P>0.05$) a la conversión alimenticia debido a que las dos variables (consumo y ganancia de peso) a partir de las cuales se calcula fueron semejantes ($P>0.05$).

Cuadro 10. Consumo de alimento (C), ganancia de peso (GP), conversión alimenticia (CA) y peso vivo (PV) de pollos de 1 a 22 días de edad alimentados con dietas isoproteicas e isoenergéticas pero diferente nivel de lisina.

Tratamiento	Lisina en dieta (%)	C, g	GP, g	CA	PV, g
1	1.10	853±22	705±22	1.20±0.01	812±17
2	1.20	809±29	745±12	1.11±0.07	837±16
3	1.30	798±25	770±11	1.10±0.06	838±17
4	1.40	849±13	767±43	1.11±0.05	836±45
EEM		23.65	29.09	0.056	26.93
Contrastes Ortogonales					
Lineal		NS	NS	NS	NS
Cuadrático		NS	NS	NS	NS
Cúbico		NS	NS	NS	NS

EEM: Error estándar de la media. * $p\leq 0.05$, ** $p\leq 0.01$, *** $p\leq 0.001$, NS: no significativo ($p>0.05$)

El comportamiento productivo de los pollos de 23 a 45 días de edad (fase 2, se muestra en el Cuadro 11).

El consumo, no mostró variación ($P>0.05$) por los niveles de lisina dietética. Bernal et al. (2014) mencionan que el nivel de lisina en dieta no influye sobre el consumo si las dietas son isoproteicas e isoenergéticas. No obstante, Dozier et

al. (2008) si registraron cambios en el consumo de alimento con niveles incrementados de lisina en dieta.

La ganancia de peso varió ($P \leq 0.05$) por el nivel de lisina dietética, la máxima ganancia de peso fue con 1.25% de lisina en dieta, de 1 a 7% por arriba de los otros niveles, a partir de los contrastes ortogonales se encontró que la ganancia de peso aumentó linealmente ($P = 0.04$) con el aumento de lisina en dieta (Figura 2).

Dozier et al. (2008) con pollos de engorda de 49 a 63 días de edad, encontraron una tendencia cuadrática entre ganancia de peso y aporte de lisina en dieta, con un máximo de ganancia de peso a 0.77% de lisina digestible en dieta.

La conversión alimenticia fue similar ($P > 0.05$) a través de los niveles de lisina en dieta; sin embargo, a partir de los contrastes ortogonales la conversión alimenticia mostró una tendencia cúbica ($P = 0.0396$) con respecto de los niveles incrementados de lisina en dieta (Figura 4).

Santiago-Gómez et al. (2011) indican que la conversión alimenticia fue sensible a cambios en dieta cuando la alimentación se organizó en cuatro fases con modificación de nivel de proteína y energía en cada fase, pero no cuando se organizó solamente en dos fases, como fue el caso del presente estudio.

El peso vivo de los pollos varió ($P \leq 0.05$) con el nivel de lisina en la dieta, la tendencia fue a un gradual aumento en el peso conforme el nivel de lisina en dieta fue mayor, así el máximo peso (3021 g) se registró al mayor nivel de lisina en dieta y el menor 7% por debajo del máximo se encontró con el menor nivel de lisina. Este gradual incremento en el peso al aumentar el nivel de lisina se confirma con la tendencia lineal ($P = 0.006$) validada mediante los contrastes ortogonales (Figura 3). La relación beneficio costo debe considerarse para definir el nivel de inclusión de lisina en la dieta que permita el máximo beneficio

económico y no tan solo basar la decisión en la máxima respuesta biológica (Pesti, 2009).

Cuadro 11. Medias^z para consumo de alimento (C), ganancia de peso (GP), conversión alimenticia (CA) y peso vivo (PV) en la fase 23-45 días de edad alimentados con dietas isoproteicas e isoenergéticas pero diferente nivel de lisina.

Tratamiento	Lisina en dieta (%)	C, g	GP, g	CA	PV, g
1	0.95	3692±83	2071±38	1.77±0.02	2822±19b
2	1.05	3842±183	2113±62	1.83±0.03	2883±45ab
3	1.15	3814±95	2196±52	1.73±0.02	2983±57ab
4	1.25	3842±31	2208±4	1.73±0.01	3021±40a
EEM		112.64	45.24	0.025	42.75
Contrastes Ortogonales					
Lineal		NS	*	NS	**
Cuadrático		NS	NS	NS	NS
Cúbico		NS	NS	*	NS

^zMedias sin una letra en común, dentro de la misma columna, son diferentes ($p \leq 0.05$)

EEM: Error Estándar de la Media. * $p \leq 0.05$, ** $p \leq 0.01$, *** $p \leq 0.001$, NS: no significativo ($p > 0.05$)

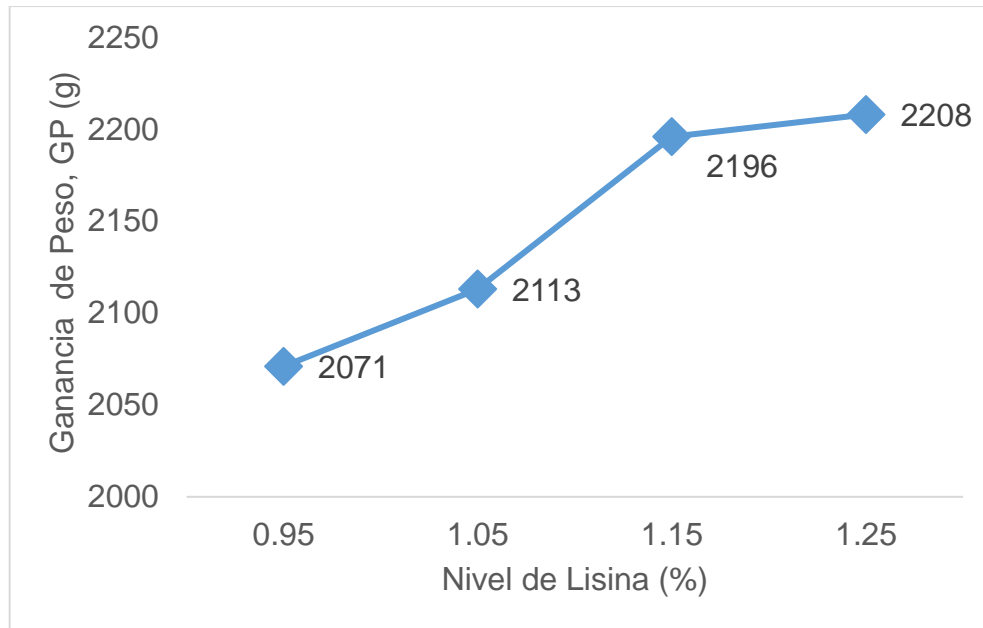


Figura 2. Tendencia de la ganancia de peso en pollos de engorda de 23 a 45 días de edad en respuesta a niveles incrementados de lisina en dietas isoproteicas e isoenergéticas.

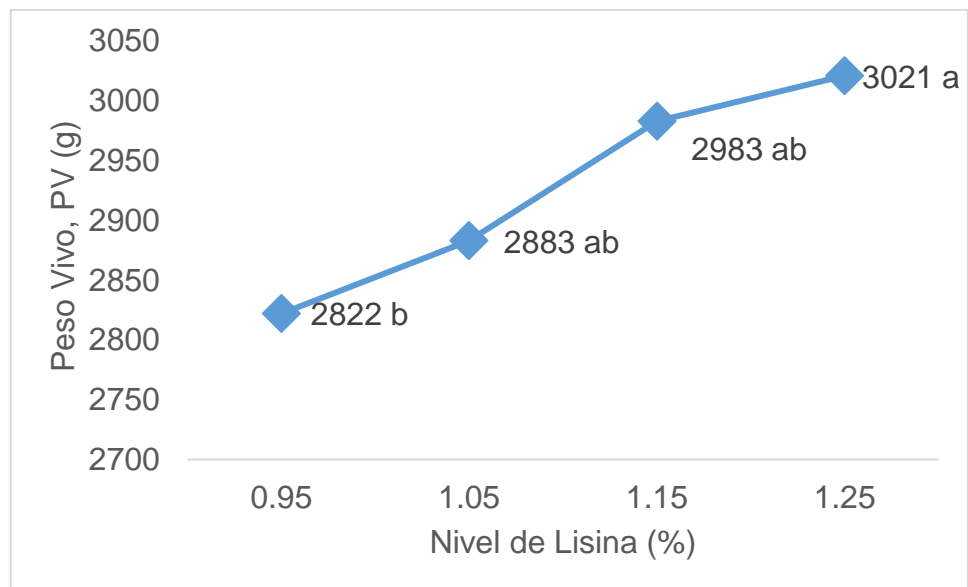


Figura 3. Tendencia del peso vivo en pollos de engorda de 23 a 45 días de edad en respuesta a niveles incrementados de lisina en dietas isoproteicas e isoenergéticas.

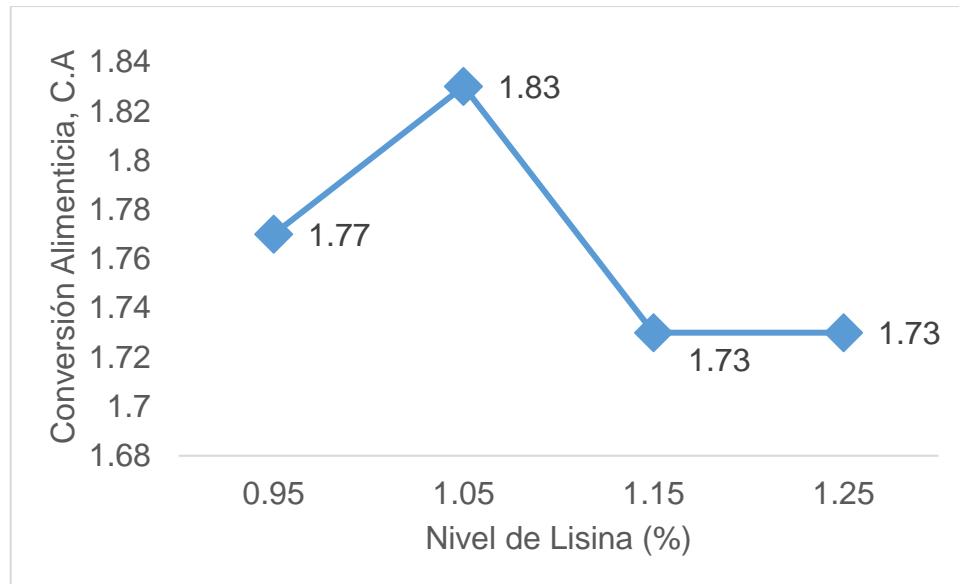


Figura 4. Tendencia de la conversión alimenticia en pollos de engorda de 23 a 45 días de edad a niveles incrementados de lisina en dietas isoproteicas e isoenergéticas.

Peso de sacrificio y los pesos y rendimientos de pechuga, pierna y muslo, y alas de pollos alimentados con diferente nivel de lisina en la dieta se muestran en los Cuadros 12 y 13.

Los pesos de sacrificio y de alas fueron constantes ($P > 0.05$) a través de los niveles de lisina en dieta; mientras que los pesos de pechuga y pierna y muslo mostraron influencia ($P \leq 0.05$) del nivel de lisina en la dieta, el peso de pechuga aumentó gradualmente con el nivel de lisina mientras que el de pierna y muslo disminuyó, así el máximo peso de pechuga (798 g) y el mínimo de pierna y muslo (645 g) se encontraron en el nivel 1.15% de lisina (Cuadro 12). Estos cambios graduales en los pesos de pechuga y pierna y muslo conforme se cambió el nivel de lisina en la dieta se confirman con la tendencia lineal ($P = 0.02$ y $P = 0.03$, para pechuga y pierna y muslo, respectivamente) encontrada mediante los contrastes ortogonales. Las Figuras 5 y 6 muestran gráficamente la tendencia en los cambios de los pesos de pechuga y pierna y muslo con los cambios crecientes en el nivel de lisina en la dieta.

Cuadro 12. Peso de sacrificio (PS), Peso de pechuga (Ppe), Peso de pierna y muslo (Ppm), Peso de alas (Pal) a los 45 días de edad.

Tratamiento	Porcentaje de Lisina	PS, g	Ppe, g	Ppm, g	Pal, g
1	0.95	2735±20	750±17	691±10	209±3
2	1.05	2673±42	753±18	662±11	209±4
3	1.15	2712±58	798±19	645±12	200±2
4	1.25	2760±56	780±24	647±24	205±2
EEM		46.80	20.26	15.74	3.53
Contrastes Ortogonales					
Lineal		NS	*	*	NS
Cuadrático		NS	NS	NS	NS
Cúbico		NS	NS	NS	NS

EEM: Error Estándar de la Media. * $p \leq 0.05$, ** $p \leq 0.01$, *** $p \leq 0.001$, NS: no significativo ($p > 0.05$).

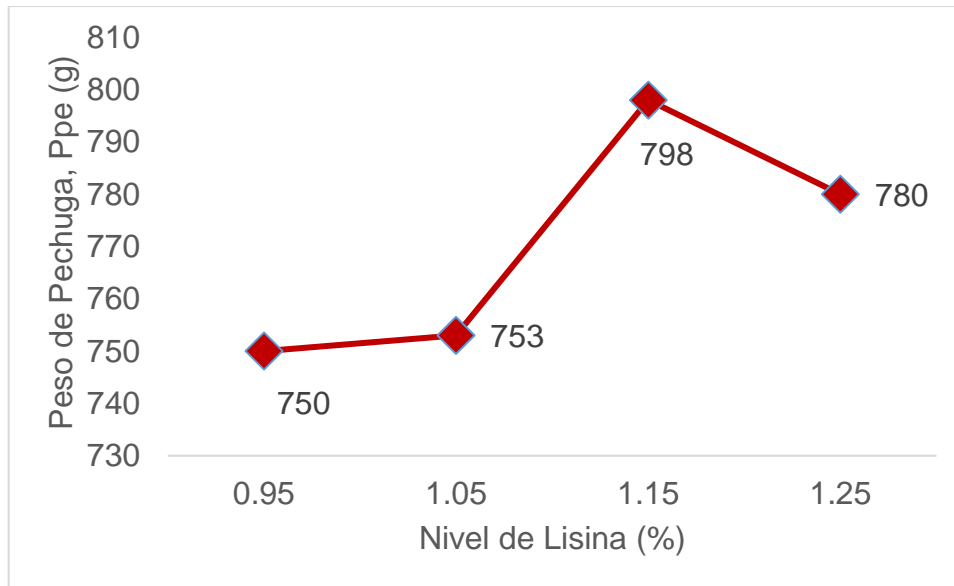


Figura 5. Tendencia del peso de pechuga en pollos de engorda de 45 días de edad a niveles incrementados de lisina en dietas isoproteicas e isoenergéticas.

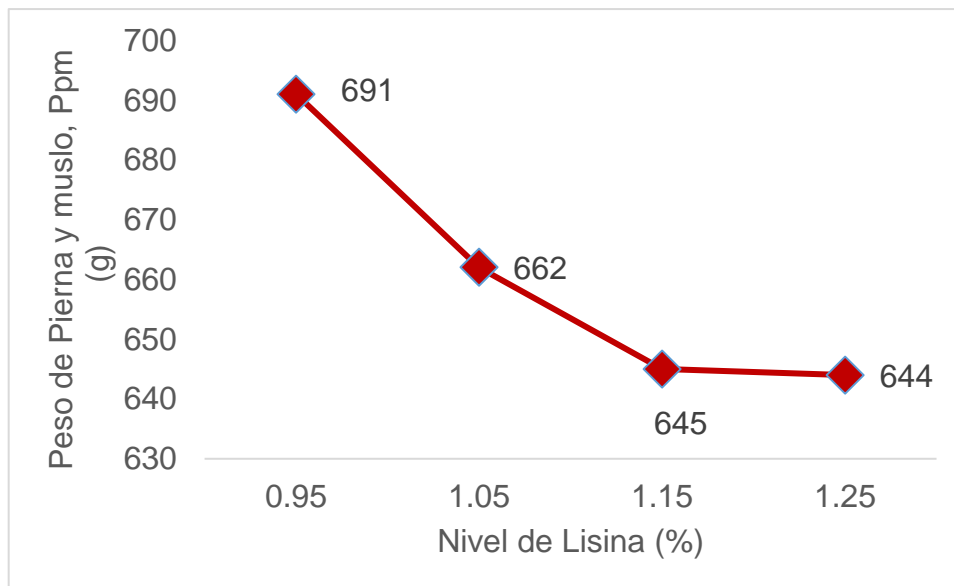


Figura 6. Tendencia del peso de pierna y muslo en pollos de engorda de 45 días de edad a niveles incrementados de lisina en dietas isoproteicas e isoenergéticas.

En el Rpe los pollos que recibieron el tratamiento con 1.15% de lisina en dieta presentaron el mayor ($P \leq 0.05$) rendimiento de pechuga (Cuadro 13), resultados similares obtuvieron Bernal et al. (2014) quienes encontraron que el requisito de

lisina dietética para maximizar rendimiento de pechuga es 1.16%. El Rpe mostró una tendencia lineal de aumento ($P \leq 0.0191$) con mayor inclusión de lisina dietética (Figuras 7 y 9) que comprueba una de las hipótesis planteadas. Dozier et al. (2008) y Trevisan et al. (2014) han informado resultados similares y explican que las líneas genéticas de pollo de engorda moderno crecen más rápido por unidad de consumo de alimento y acumulan más carne de pechuga que los pollos comerciales de la década anterior, lo cual se traduce en un mayor requisito nutricional de lisina para incrementar el Rpe. Existe un mayor rendimiento de canal en pollos alimentados con dietas altas y moderadas de inclusión de lisina dietética (Basurco et al., 2015).

Lisina y metionina dietética en nivel alto provocan un mayor crecimiento muscular, por una mayor disponibilidad de nutrimentos a la células musculares. El aumento de músculo en pechuga causado por lisina y cistina+metionina da origen a hipertrofia miofibrilar, que lleva a una disminución de la terneza de pechuga de pollo, por lo tanto podría afectar su calidad (Rehfeldt, Fiedler & Ender, 2000; Zhai et al., 2012). Lo anterior indica que si bien es posible incrementar el rendimiento de la pechuga, existe el riesgo de disminuirse su calidad.

Cuadro 13. Medias^z para Rendimiento de pechuga (Rpe), Rendimiento de pierna y muslo (Rpm), Rendimiento de alas (Ral).

Tratamiento	Porcentaje de Lisina	Rpe, %	Rpm, %	Ral, %
1	0.95	27.41 ± 0.58b	25.28 ± 0.31a	7.64 ± 0.11
2	1.05	28.18 ± 0.43ab	24.78 ± 0.15ab	7.82 ± 0.15
3	1.15	29.42 ± 0.43a	23.79 ± 0.22bc	7.39 ± 0.13
4	1.25	28.27 ± 0.58ab	23.37 ± 0.49c	7.45 ± 0.12
EEM		0.5143	0.3237	0.1360
Contrastes Ortogonales				
Lineal		*	***	NS
Cuadrático		NS	NS	NS
Cúbico		NS	NS	NS

^z Medias sin una letra en común, dentro de la misma columna, son diferentes (p≤0.05)
EEM: Error Estándar de la Media. *p≤0.05, **p≤0.01, ***p≤0.001, NS: no significativo (p>0.05)

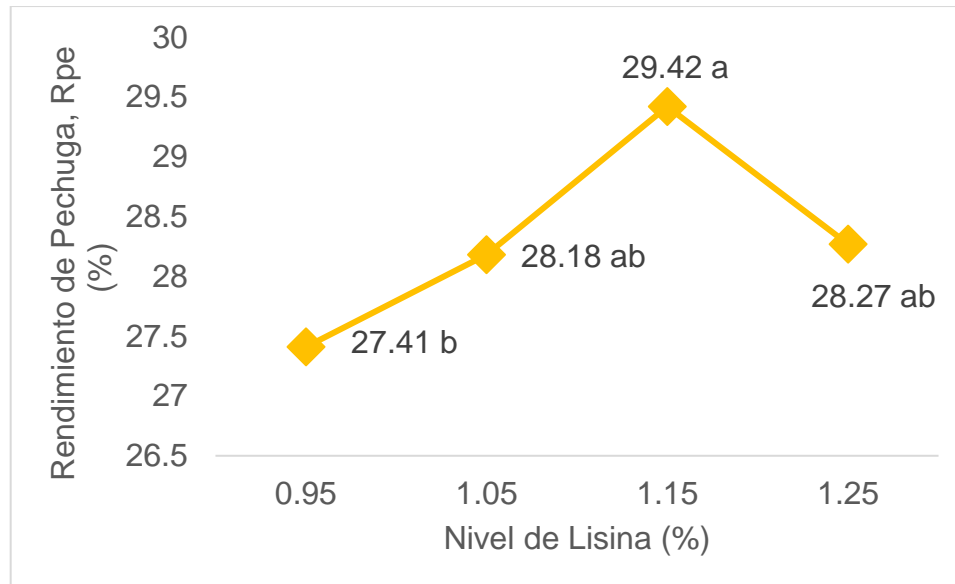


Figura 7. Tendencia del rendimiento de pechuga en pollos de engorda de 45 días de edad a niveles incrementados de lisina en dietas isoproteicas e isoenergéticas.

Diversos estudios de aminoácidos como la treonina y valina donde se modifica su relación de cada uno respecto a lisina en la formulación de dietas de pollos de engorda y no se observan diferencias significativas en el Rpe (Dozier, Tillman & Jiang, 2016; Tavernari et al., 2013). Con ello se concluye que la formulación con nivel alto de lisina dietética tiene efecto directo en el RPe en pollos de engorda.

El Rpm de los pollos varió ($P < 0.05$) con el nivel de lisina en la dieta, la tendencia fue a una gradual disminución conforme el nivel de lisina fue mayor. Esta disminución gradual se comprueba a través de los resultados de contrastes y su efecto lineal ($P \leq 0.0001$) como respuesta a lisina dietética en las aves. Resultados similares encontraron Bernal et al. (2014) y Trevisan et al. (2014) que publicaron que Rpm disminuye linealmente con la modificación de los niveles de lisina y proteína ($P \leq 0.01$) (Figura 8 y 9), ambos estudios concuerdan con los resultados de la presente investigación. Finalmente en el Ral bajo el efecto de nivel de lisina en dieta no se encontraron diferencias ($P > 0.05$).

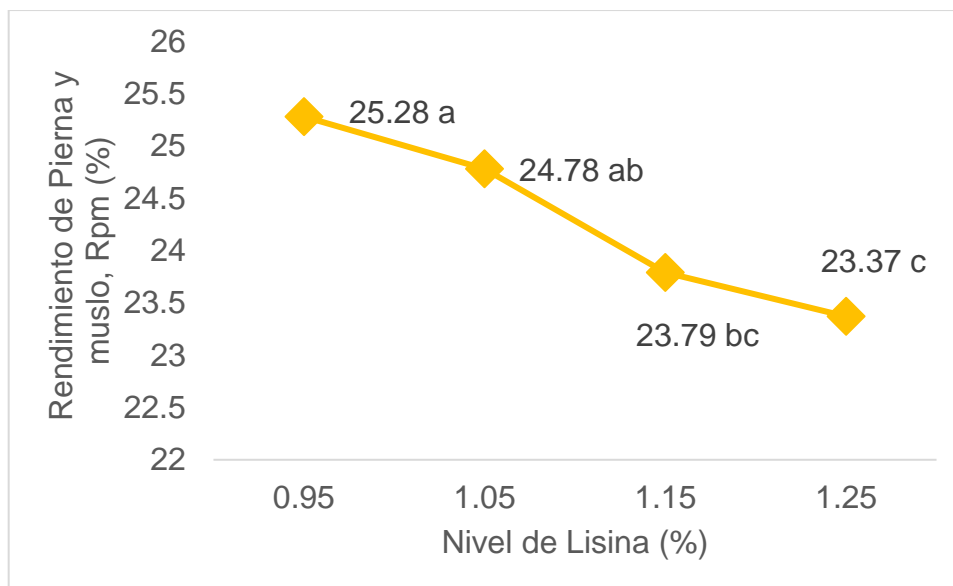


Figura 8. Tendencia del rendimiento de pierna y muslo en pollos de engorda de 45 días de edad a niveles incrementados de lisina en dietas isoproteicas e isoenergéticas.

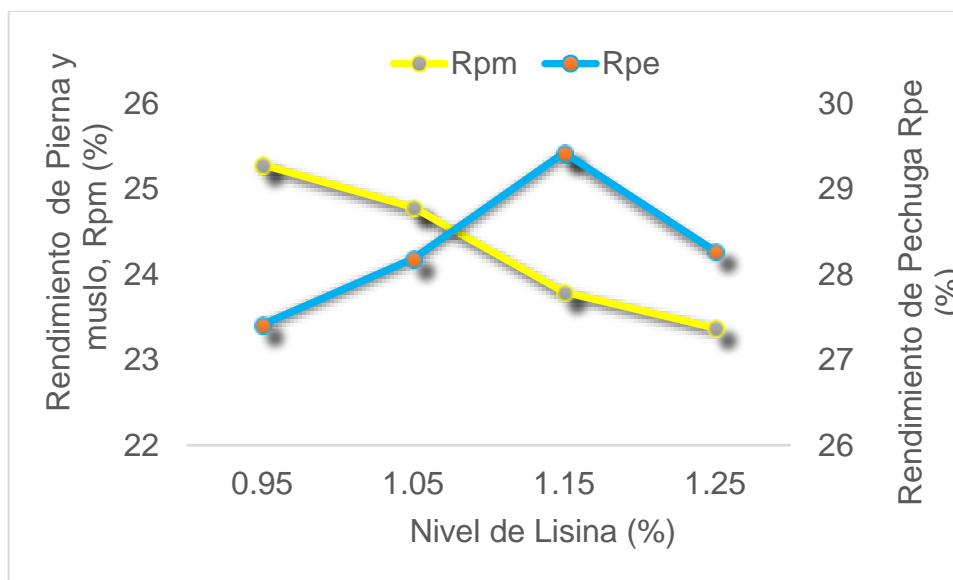


Figura 9. Tendencia del Rpe y Rpm en pollos de engorda de 45 días de edad a niveles incrementados de lisina en dietas isoproteicas e isoenergéticas.

3.6 Conclusiones

Conforme a las hipótesis planteadas en la presente investigación se concluye que niveles crecientes dietéticos de lisina influyen y mejoran las variables del comportamiento productivo, así como el peso y el rendimiento de piezas de pollo de engorda. Asimismo se concluye que existe un rendimiento diferencial en las piezas de la canal de pollo de engorda en respuesta a los niveles dietéticos de lisina, de tal manera que a medida que se incrementa rendimiento de pechuga, se disminuye el rendimiento de la pierna y muslo.

3.7 Literatura Citada

- Almquist, H. J. (1952). Amino acid requirements of chickens and turkeys A review. *Poultry Science*, 33, 966-981.
- AVIAGEN. (2017). AVIAGEN. Recuperado el 21 de Abril de 2017, de Pollos de Enogorde Ross 308 AP: Especificaciones de Nutrición: <http://es.aviagen.com/brands/ross/products/ross-308-ap>
- Basurco, V., Santiago, O., Ángel, C., González-Esquerra, R., Vieira, L., & Serafini, N. (2015). Performance and economic evaluation of feeding programs varying in energy and protein densities for broiler grillers. *Journal of Applied Poultry Reserch*, 24, 304-315.
- Bernal, L., Tavernari, F., Rostagno, H., & Albino, L. (2014). Digestible Lysine Requirements of Broilers. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 16(1), 49-55.
- Dozier, W., Corzo, A., Kidd, M., & Schilling, M. (2008). Dietary Digestible Lysine Requirements of Male and Female Broilers from Forty-Nine to Sixty-Three Days of Age. *Poultry Science*, 87, 1385-1391. doi:10.3382/ps.2007-00529.
- Dozier, W., Tillman, P., & Jiang, Z. (2016). Growth performance and carcass characteristics of male broilers fed diets varying in digestible threonine to lysine ratio from 21 to 49 days of age. *Journal of Applied Poultry Research*, 1-10.
- Garcia, A., & Batal, A. B. (2005). Changes in the Digestible Lysine and Sulfur Amino Acid Needs of Broiler Chicks during the First Three Weeks Posthatching. *Poultry Science*, 84, 1350–1355.
- INEGI. (9 de Febrero de 2018). *Índices de precios*. Recuperado el 9 de Febrero de 2018, de Instituto Nacional de Estadística y Geografía: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/inp/inpc.aspx>.
- Leclercq, B. (1983). The influence of dietary protein content on the performance of genetically lean or fat growing chickens. *British Poultry Science*, 24, 581-587.
- Leclercq, B. (1998). Specific effects of lysine broiler production: Comparison with threonina and valina. *Journal of Poultry Science*, 77, 118-123.
- Pesti, G. (2009). Impact of dietary amino acid and crude protein levels in broilers feeds on biological performance. *The Journal of Applied of Poultry Research*, 18, 477-488.
- Rehfeldt, C., Fiedler, I., Dietl, G., & Ender, K. (2000). Myogenesis and postatal skeletal muscle cell growth as influenced by selection. *Livestock Production Science*(66), 177–188.
- Rostagno, H. S., Albino, L. F., Hannas, M. I., Donzele, J. L., Sakomura, N. K., Perazzo, F. G., . . . Oliveria, R. F. (2017). *Tablas Brasileñas para Aves y*

- Cerdos "Composición de Alimentos y Requerimientos Nutricionales"*. (S. C. Cruz, Trad.) Viçosa, Brasil: Departamento de Zootecnia, UFV.
- Santiago Gómez, R., Cortés Cuevas, A., López Coello, C., & Ávila González, E. (2011). Evaluación de tres programas de alimentación para pollos de engorda con base en dietas sorgo-soya con distintos porcentajes de proteína. *Veterinaria México*, 299-309.
- SAS. (2017). *Statistical Analysis System SAS/STAT User's guide (Release 9.4)*. Cary, NC, USA: SAS Institute Inc.
- Sterling, K. G., Pesti, G. M., & Bakalli, R. I. (2006). Performance of different broiler genotypes fed diets with varying levels of dietary crude protein and lysine. *Poultry Science*, 85, 1045-1054.
- Tavernari, F. C., Lelis, G. R., Vieira, R. A., Rostagno, H. S., Albino, L. F., & Neto-Oliveira, A. R. (2013). Valine needs in starting and growing Cobb (500) broilers. *Poultry Science*, 92, 151-157. doi:<http://dx.doi.org/10.3382/ps.2012-02278>
- Trevisan, R. B., Nakagi, V. S., Bravo, P. T., & Faria, D. E. (2014). Feeding programs and their effects on broiler performance and economic indexes. *Journal of Applied Poultry Research*, 23, 593–604. doi:<http://dx.doi.org/10.3382/japr.2013-00884>
- Wideman, R., Roadhs, D., Erf, G., & Anthony, N. (2013). Pulmonary arterial hypertension (ascites syndrome) in broilers: a review. *Poultry Science*, 92, 64-83.
- Zhai, W., Araujo, L. F., Burgess, S. C., Cooksey, A. M., Pendarvis, K., Mercier, Y., & Corzo, A. (2012). Protein expression in pectoral skeletal muscle of chickens as influenced by dietary methionine. *Poultry Science*, 91, 2548-2555. doi:<http://dx.doi.org/10.3382/ps.2012-02213>.