



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN Y DE LA SALUD ANIMAL

RENDIMIENTO PRODUCTIVO Y DE LA CANAL EN DOS
ESTIRPES DE POLLO DE ENGORDA ALIMENTADOS CON
DIETAS SORGO-SOYA CON DIFERENTES PORCENTAJES
DE PROTEÍNA.

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRO EN CIENCIAS

P R E S E N T A:

ARMANDO GARCÍA REYNA

TUTOR: ARTURO CORTÉS CUEVAS

**COMITÉ TUTORAL: ERNESTO ÁVILA GONZÁLEZ
SERGIO GÓMEZ ROSALES**

MEXICO, D.F.

2012



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

A mi Madre por enseñarme a perseguir mis anhelos con denuedo para alcanzarlos.

A mi Padre de quien aprendí la ecuanimidad y diligencia, muy útiles en mi vida.

A mi Hermana y su Familia por su ejemplo de progreso personal y profesional.

A Graciela y Rodrigo por lo que hemos compartido juntos para estar mejor.

A mis Compañeros y Amigos por invertir su tiempo y amistad conmigo.

*“Las cosas son tan importantes como queramos que sean”
Armando GR*

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, donde tuve el privilegio de fortalecer mis conocimientos en Medicina Veterinaria y Zootecnia.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por la beca económica otorgada y por las facilidades que esta me permitieron.

Al Centro de Enseñanza, Producción, Investigación y Extensión en Producción Avícola por ser el espacio para desarrollar la investigación de mi proyecto de tesis.

Al Dr. Arturo Cortés Cuevas, por darme la confianza para desarrollar este proyecto y por su firme compromiso y dedicación para llevarlo a feliz término.

Al Dr. Ernesto Ávila González, por los grandes conocimientos compartidos sin menoscabar nunca mi trabajo y de quién me llevo un gran ejemplo y aprendizaje.

Al Dr. Sergio Gómez Rosales, por las recomendaciones atinadas en este proyecto de investigación y a quién ha sido grato conocerle.

Al honorable jurado por su contribución en la revisión de esta tesis:

Dr. Carlos López Coello
Dr. Arturo Cortés Cuevas
Dra. Gabriela Gómez Verduzco
Dr. Juan Carlos del Río
Dra. Irma Tejada Castañeda

Al personal académico del CEIEPAv, por el apoyo profesional y moral brindado para el desarrollo de esta investigación.

A compañeros, amigos y contemporáneos que participaron en este proyecto.

Armando García Reyna. Rendimiento productivo y de la canal en dos estirpes de pollo de engorda alimentados con dietas sorgo-soya con diferentes porcentajes de proteína.

RESUMEN

Se realizó el siguiente experimento con la finalidad de estudiar el rendimiento productivo y de la canal en dos estirpes de pollo de engorda alimentados con dietas sorgo-soya con dos diferentes porcentajes de proteína. Se utilizaron 600 pollitos de engorda de la estirpe Cobb 500 y 600 pollitos de la estirpe Ross 308, provenientes de una incubadora comercial y descendientes de reproductoras de edades similares. Se empleó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2x2x2, teniendo como factores: la estirpe (Cobb y Ross), el sexo (macho y hembra) y la dieta (con y sin reducción de dos unidades porcentuales de proteína). Se manejaron 4 fases de alimentación, siguiendo las recomendaciones nutricionales del manual de cada estirpe: Iniciación (1 a 10 d), Crecimiento (11 a 21 d), Finalización (22 a 42 d) y de Retiro (43 a 49 d). Se emplearon 8 tratamientos, con 6 repeticiones de 25 pollos cada una. Los tratamientos fueron: 1.- Cobb 500 ♂ dieta normal, 2.- Cobb 500 ♂ dieta reducida, 3.- Ross 308 ♂ dieta normal, 4.- Ross 308 ♂ dieta reducida, 5.- Cobb 500 ♀ dieta normal, 6.- Cobb 500 ♀ dieta reducida, 7.- Ross ♀ dieta normal y 8.- Ross ♀ dieta reducida. Se mantuvo la misma densidad de aminoácidos más limitantes en las dietas, mediante la suplementación de AA cristalinos (Metionina, Lisina y Treonina). A los 49 d, los resultados mostraron diferencias ($P < 0.01$) entre factores, para ganancia de peso e índice de conversión, siendo mejor en la estirpe Ross, sexo macho y dieta normal. Se encontró mayor ($P < 0.01$) porcentaje de mortalidad por síndrome ascítico en pollos machos y en pollos de la estirpe Cobb. En uniformidad del peso no hubo efecto ($P > 0.05$) a ningún factor. Por otra parte, la reducción de proteína afectó ($P < 0.01$) el rendimiento de la canal y carne de pechuga, sin embargo, el contenido de proteína y grasa, en músculos de la pechuga y de piernas con muslos, no presentaron diferencia ($P > 0.05$) entre dietas. Finalmente, bajo un esquema de alimentación similar en porcentaje de proteína dietética, Ross obtuvo mejor eficiencia productiva que Cobb, con menor mortalidad (%) y mayor margen de ganancia bruto (MGB) a los 42 y 49 d.

Palabras clave:

Pollos de engorda, reducción de proteína, aminoácidos, rendimiento productivo

Armando García Reyna. Performance and carcass characteristics in two broiler strains fed sorghum-soybean meal with different protein levels.

ABSTRACT

An experiment was conducted to evaluate live performance and carcass characteristics in two broiler strains fed sorghum-soybean meal diets with two percentages of dietary crude protein. Six-hundred Cobb 500 and six-hundred Ross308 one-day-old sexed broiler chicks were used. All chicks were obtained from a commercial hatchery and similar age breeder hens. A completely randomized design in a 2x2x2 factorial arrangement was applied, having as factors the following ones: strain (Cobb and Ross), sex (male and female) and diet (with and without reduction of two percentage units of crude protein). Broilers were provided a 4-phase feeding program according to nutrition supplement recommendations of each strain mentioned: Starter (1 to 10 d), Grower (11 to 21 d), Finisher (22 to 42 d) and Withdrawal (43 to 49 d). Birds were divided in eight treatments with six replicates (25 birds per floor pen). Treatments were: 1) Cobb 500 ♂ normal diet, 2) Cobb 500 ♂ reduced diet, 3) Ross 308 ♂ normal diet, 4) Ross 308 ♂ reduced diet 5) Cobb 500 ♀ normal diet, 6) Cobb 500 ♀ reduced diet, 7) Ross 308 ♀ normal diet and 8) Ross ♀ reduced diet. Density of most limiting amino acid in the diets was equal balanced by supplementation with crystalline amino acids (Methionine, Lysine and Threonine). At day 49, the results showed differences ($P<0.01$) for weight gain and feed conversion ratio, with better results in Ross strain, males and normal diet. Mortality caused by ascites syndrome was increased ($P<0.01$) in males and Cobb strain. Body weight uniformity was unaffected ($P>0.05$) by strain, sex or diet. Moreover, carcass and breast meat yield were affected ($P<0.05$) by the decrease in dietary crude protein, however, protein and fat content in both breast and whole leg muscle (including drumstick and thigh) had no differences ($P>0.05$) between diets. Finally, based on the use of a similar content of dietary crude protein, Ross strain obtained a better productive efficiency than Cobb strain, with lower mortality (%) and higher gross profit margin (GPM), at 42 and 49 d of age.

Key words:

Broiler chickens, protein reduction, amino acids, live performance

CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
CONTENIDO	vi
LISTA DE CUADROS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Las proteínas	3
2.1.1. Composición de las proteínas	3
2.1.2. Aminoácidos y calidad de las proteínas	3
2.1.3. Metabolismo proteico	4
2.2. Proteína ideal	6
2.2.1. Concepto	6
2.2.2. Implicaciones	7
2.3. Ingredientes y aspectos considerados en la formulación de dietas avícolas	
2.3.1. Fuentes energéticas (cereales) y proteicas	8
2.3.2. Digestibilidad y disponibilidad de aminoácidos en insumos alimenticios	9
2.3.3. Factores antinutricionales del sorgo y soya	10
2.3.4. Aminoácidos limitantes en dietas para pollo de engorda	12
2.3.5. Aminoácidos cristalinos disponibles en la industria avícola	13
2.3.6. Importancia de la suplementación de DL-Met, L-Lis y L-Tre	14
2.4. Productividad del pollo de engorda con diferentes porcentajes de proteína	16
2.4.1. Dietas altas y bajas en proteína	16
2.4.2. Dietas reducidas en proteína suplementadas con AA esenciales	19
2.4.3. Dietas reducidas en proteína suplementadas con AAE y AANE	27
3. JUSTIFICACIÓN	30
4. OBJETIVOS	31
4.1. Objetivo general	31
4.2. Objetivos específicos	31
5. HIPÓTESIS	32
6. MATERIAL Y MÉTODOS	33
6.1. Área de estudio	33
6.2. Población de estudio y manejo	33
6.3. Dietas experimentales	34
6.4. Medición del rendimiento productivo y composición de la canal	35
6.5. Análisis económico	37
6.6. Diseño experimental	37
6.7. Análisis estadístico	38
7. RESULTADOS	39
8. DISCUSIÓN	44
9. CONCLUSIONES	55
10. LITERATURA CITADA	56
CUADROS	62
FIGURAS	77
ANEXOS	83

LISTA DE CUADROS

1. Contenido de aminoácidos esenciales y no esenciales en la canal de pollos engorda machos y hembras.	62
2. Perfil ideal de aminoácidos para pollos de engorda machos y hembras en diferentes etapas productivas.	63
3. Concentración (g/kg) de aminoácidos y su digestibilidad ileal aparente (DIA) en maíz, sorgo, harina de soya y harina de canola.	64
4. Concentración (g/kg) de aminoácidos y su digestibilidad ileal aparente (DIA) en harinas de origen animal.	64
5. Recomendaciones nutricionales de las estirpes Cobb 500 y Ross 308 para pollo de engorda mixto.	65
6. Análisis químico proteico y de aminoácidos del sorgo y la soya.	66
7. Composición de las dietas experimentales normal y reducida en proteína cruda para la estirpe Cobb 500.	67
8. Composición de las dietas experimentales normal y reducida en proteína cruda para la estirpe Ross 308.	68
9. Datos promedio (\pm EEM) de los parámetros productivos de pollos de engorda criados hasta los 49 días.	69
10. Datos promedio (\pm EEM) de los parámetros productivos obtenidos en pollos de engorda mixtos al final de cada fase productiva.	70
11. Rendimiento promedio (\pm EEM) de la canal, pechuga y piernas con muslos de pollos de engorda sacrificados a los 45 d de edad.	71
12. Coloración amarilla promedio (\pm EEM) obtenida en zona apterica de la piel de pollos de engorda sacrificados a los 45 d de edad.	72
13. Rendimiento promedio (\pm EEM) de los músculos de la pechuga y de piernas con muslos respecto al peso de la canal.	73
14. Composición tisular promedio (\pm EEM) de piernas, muslos y la relación magra:hueso (M:H) de piernas con muslos.	74
15. Datos promedio (\pm EEM) del peso y rendimiento de órganos internos.	74
16. Resultados promedio (\pm EEM) del consumo de agua, consumo de proteína, contenido de humedad y nitrógeno (N) total en excretas.	75
17. Margen de ganancia bruto (MGB) por kg de producto (pollo en pie, pollo en canal y carne de pechuga).	76

LISTA DE FIGURAS

1. Relación teórica entre fase de alimentación y aporte de AAE. _____	77
2. Mercado global de aditivos alimenticios. _____	77
3. Curva de crecimiento de pollos de engorda Cobb y Ross, alimentados con dietas normales y reducidas en proteína de 0 a 49 días. _____	78
4. Relación EM:PC formulada para cada fase de alimentación e índice de conversión acumulado en pollos de engorda Cobb y Ross, alimentados con dietas normales y reducidas en proteína. _____	79
5. Rendimiento de los músculos de la pechuga, piernas y muslos respecto a la canal. _____	80
6. Rendimiento del hueso, grasa visible y músculo, en piernas y muslos. _____	81
7. Análisis químico proximal de los músculos de la pechuga y músculos de piernas con muslos. _____	81
8. Consumo de proteína (a) y lisina (b) en pollos de engorda Cobb y Ross, alimentados con dietas normales y reducidas en proteína. _____	82

ANEXOS

ANDEVA factorial:

Parámetros productivos (cuadro 9). _____	83
Rendimiento de la canal (cuadro 11). _____	83
Coloración amarilla (cuadro 12). _____	84
Consumo de proteína, contenido de humedad y N en excretas (cuadro 16). _____	84

ANDEVA de 1 sólo factor:

Parámetros productivos (cuadro 10). _____	85
Rendimiento de la canal y músculos (cuadro 13). _____	86
Composición tisular y relación M:H (cuadro 14). _____	86
Peso y rendimiento de órganos (cuadro 15) _____	87
Proteína en muestras de carne (figura 7) _____	87

3. INTRODUCCIÓN

Con el objetivo de cubrir la gran demanda de proteína de origen animal a nivel mundial, la industria del pollo de engorda ha recurrido al establecimiento de mayor número de unidades de producción, más especializadas y con mayor densidad de aves por metro cuadrado. Además mediante la selección genética se han desarrollado estirpes de aves con un mayor potencial productivo, que se ve reflejado en su composición corporal, sobretodo en el rendimiento de pechuga, piernas y muslos^{1,2}. Estas características, al igual que los parámetros productivos, pueden estar influenciados por la estirpe^{1,2}, el sexo^{2,3}, la edad^{2,4} y procedimientos de manejo, uno de ellos, la alimentación⁵.

Esta última representa más del 60% de los costos de producción, y es un tema que actualmente preocupa al sector avícola mundial por el incremento y la variación constante en los costos de granos forrajeros y semillas oleaginosas^{6,7}. México ha sido y es un país dependiente de las importaciones de estos insumos dado que el consumo de estos supera la producción nacional^{8,9}. Es por ello que la utilización de estas fuentes de energía y proteína deben optimizarse para reducir su inclusión en las dietas, e influir positivamente sobre los costos de alimentación. Para esto, se requiere mayor precisión al momento de formular raciones alimenticias, sin dejar de proveer el aporte de energía y proteína requerido para el crecimiento acelerado del pollo de engorda¹⁰.

En ese sentido, desde hace años se ha utilizado el concepto de proteína ideal, propuesto por Mitchell hacia 1960, que tiene como objetivo cubrir el balance exacto de los aminoácidos esenciales, sin un requerimiento mínimo de proteína, por lo que representa la mejor estrategia para reducir el porcentaje de proteína en la dieta y por ende, menor inclusión de ingredientes clasificados como proteicos^{11,12}. Esto implica mayor estudio de los ingredientes en cuanto a su contenido de aminoácidos, así como su digestibilidad en cada uno de ellos, para

cubrir de forma ideal los requerimientos de aminoácidos, lo cual no es tarea fácil dadas las diferencias en el pollo de engorda, dependiendo su edad, el sexo y la estirpe, aunado al mejoramiento genético continuo^{13,14}.

Según lo señalado en diversos experimentos, la formulación de dietas con base en la digestibilidad de los aminoácidos, debe contemplar la adición de aminoácidos esenciales y no esenciales, para evitar que se afecte el comportamiento productivo ante la reducción de proteína en la dieta¹⁵; sin embargo, por el momento, comercialmente sólo se utilizan la DL-Metionina, la L-Lisina y la L-Treonina, mismos que gracias a la biotecnología, se han logrado producir a precios accesibles y en cantidades disponibles para la industria avícola¹⁶. La información existente, sobre el uso exclusivo de estos tres aminoácidos para reducir la proteína en la dieta, no es concluyente para afirmar que no se afecta la productividad, más aún cuando se habla de una reducción de dos unidades porcentuales de proteína por debajo de lo recomendado, lo cual motiva a continuar investigando, en lo que representa además una oportunidad para disminuir costos de producción¹⁷, al igual que la excreción de nitrógeno. Esto último, relacionado con el ahorro de la energía dietética y con la emisión de amoníaco (NH₃) que afecta de directamente a las aves y que está vinculado al deterioro ambiental¹⁸.

Considerando lo anterior, fue necesario establecer un proyecto de investigación para comprobar si la suplementación de DL-Met, L-Lis y L-Tre puede sostener la producción en pollos de engorda alimentados con dietas reducidas en proteína con base en soya y sorgo. Se incluyeron dos de las tres estirpes más utilizadas en México¹⁹, Cobb500 y Ross308, siguiendo las recomendaciones nutricionales del manual de cada una de ellas. Al final, se evaluó el rendimiento productivo, características cárnicas y bromatológicas de la canal, la pigmentación cutánea y el peso de órganos, así como la liberación del nitrógeno en excretas.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Las proteínas

2.1.1 Composición de las proteínas

Las proteínas son polímeros de aminoácidos (AA) unidos covalentemente y son la concentración y distribución de estos últimos, los que determinan la función y localización de cada proteína. En su estructura química las proteínas contienen carbono (51-55%), hidrógeno (6.5-7.3%), oxígeno (21.5-23.5%) y nitrógeno (15.5-18%); y pueden contener otros elementos como el azufre y el fósforo. Para la determinación de la proteína cruda (PC) en ingredientes y dietas se multiplica el contenido de nitrógeno (N) total por el factor convencional de 6.25²⁰.

Las proteínas como constituyentes orgánicos esenciales de los organismos vivos, representan del 10 al 20% del peso vivo del animal, alrededor del 50% del tejido muscular y el 30% del tejido conectivo y la piel. A pesar de ello, no existe ningún órgano o tejido especializado para el almacenamiento de proteínas o AA^{21,22}. Asimismo, elementos del plasma sanguíneo, enzimas, hormonas y anticuerpos, todos de origen proteico, realizan funciones especializadas aun cuando no contribuyen de forma significativa al contenido proteínico total del cuerpo²².

2.1.2 Aminoácidos y calidad de las proteínas

Existen alrededor de 20 diferentes L- α -aminoácidos, que se encuentran en la mayoría de las proteínas y hasta 10 se requieren en las dietas de los animales^{20,22}.

Los aminoácidos son derivados de los ácidos grasos de cadena corta y contienen un grupo básico amino (-NH₂) y un grupo carboxilo ácido (-COOH) unidos a un mismo átomo de carbono²³. En un contexto nutricional los aminoácidos, se clasifican en esenciales (indispensables) y no esenciales (dispensables)^{20,24}.

Los aminoácidos esenciales (AAE), son aquellos que no se pueden sintetizar en el organismo adecuadamente para satisfacer las necesidades metabólicas, por lo cual deben incluirse en la dieta, estos son: Metionina, Lisina, Treonina, Triptófano, Valina, Isoleucina, Leucina, Arginina, Fenilalanina e Histidina^{20,24}.

A diferencia de los primeros, los aminoácidos no esenciales (AANE), pueden ser sintetizados por el organismo y en este grupo se incluyen a la alanina, glicina, serina, tirosina, ácido aspártico, ácido glutámico, cistina, glutamina, prolina e hidroxiprolina^{20,24}. Dentro de este grupo se reconocen a la glicina y a la glutamina como aminoácidos condicionalmente esenciales ya que pueden transformarse en esenciales bajo condiciones específicas como el estrés²⁴.

Todavía existe un tercer grupo, denominados semiindispensables, que son aquellos que sólo se pueden sintetizar a partir de aminoácidos esenciales. Es el caso de la cistina y tirosina, que únicamente se sintetizan a partir de los esenciales metionina y fenilalanina, respectivamente²³.

El valor biológico o calidad de una proteína depende fundamentalmente de su composición en aminoácidos esenciales²³ y es aplicable a los ingredientes, conforme estos cubren las necesidades de los aminoácidos para la elaboración de proteínas corporales que conforman el tejido muscular, que para el caso del pollo, sin considerar su dinamismo y costo biológico de mantenimiento¹⁴, se detalla en el **Cuadro 1**.

2.1.3 Metabolismo proteico

El metabolismo de las proteínas se considera en dos fases; catabolismo (degradación) y anabolismo (síntesis), ambos procesos se efectúan de modo simultáneo en los tejidos animales²².

Los aminoácidos de la dieta como constituyentes de proteínas intactas son absorbidos vía intestinal posterior a la hidrólisis enzimática de las proteínas, de la cual derivan también péptidos y polipéptidos. Esta absorción permite que los aminoácidos alcancen vía porta, al hígado, donde algunos son retenidos y otros liberados a la circulación para utilizarse primordialmente como componentes de proteínas tisulares. Una segunda forma, se da por la utilización de aminoácidos para formar sustancias no energéticas como las hormonas, enzimas, mediadores químicos y distintos compuestos nitrogenados con actividad biológica^{21,22,23}.

El metabolismo de las proteínas corporales implica además que éstas se renueven constantemente dentro del organismo, mediante procesos continuos de síntesis y degradación. Los órganos con mayor tasa de recambio de proteína, son aquellos en los que la actividad o rearreglo estructural es mayor^{20,21,23}. Por ejemplo, en la mayoría de las especies la renovación de la mucosa intestinal es muy rápida, variando de 1 a 3 días. La proteína soluble del hígado tiene una vida media de 0.9 días, mientras que la proteína muscular es de 10.7 días²⁰.

Durante estos procesos, la vía de eliminación directa del N se produce cuando el aporte de proteína es excesivo o existe un desequilibrio en las concentraciones de AA en sangre. El excedente pasa por un proceso de transaminación, donde el N del grupo α -amino ($-\text{NH}_2$) de los aminoácidos se libera o se transfiere a otra molécula para su reutilización en la síntesis de AANE^{21,23,25}. Esta reacción va acoplada al proceso de desaminación, de la cual resultan los esqueletos de carbono que pueden volver a ser aminados, para reconvertirse en AA, o bien ser oxidados a CO_2 , y formar glucosa o cuerpos cetónicos, con la subsecuente liberación de energía^{20,21,23}. El camino transaminativo y desaminativo termina en la liberación de NH_3 , el cual interviene en la formación de glutamina y ácido úrico. Este último requiere agua para ser excretado (0.5-1 ml agua por cada 370 g de N-úrico) y constituye junto a las proteínas no digeridas las dos formas principales de N liberado en las excretas y representan el 70 y 30 % respectivamente^{21,25,26}.

2.2 Proteína ideal

2.2.1 Concepto

En un principio, las aves fueron alimentadas con base a la proteína cruda total, lo cual no consideraba sus necesidades de aminoácidos. Posteriormente se basó la formulación, en el requerimiento de aminoácidos, que más tarde se acompañó del análisis de laboratorio para determinar el contenido de estos en los ingredientes. Esto ha progresado hasta la formulación de dietas considerando los valores de digestibilidad de los aminoácidos en diferentes ingredientes^{12,27}.

De esta forma el concepto de proteína, se describe como el balance exacto de aminoácidos que deben cubrir el requerimiento de aminoácidos para el máximo crecimiento, basado en la digestibilidad de cada aminoácido²⁷. A esto se ha añadido que los pollos de engorda alimentados bajo este concepto requieren cubrir no solamente sus necesidades de aminoácidos esenciales, sino también una fracción de nitrógeno no específico, por lo que debe existir una relación de AANE y AAE, que algunos han estandarizado en 55:45¹⁸.

El concepto de proteína ideal, utiliza a la lisina como aminoácido de referencia para expresar en porcentaje los niveles de todos los aminoácidos indispensables en relación al 100% de lisina. Esto debido a las siguientes razones; 1) su análisis en el alimento es relativamente rápido y sencillo; 2) es el segundo aminoácido limitante en dietas para aves; 3) existe gran investigación que ofrece datos confiables sobre los requerimientos de lisina en aves; 4) la lisina cumple funciones que se reducen a la retención de proteína^{11,24,28}.

Al respecto se han establecido tablas de requerimientos nutricionales, de las cuales son muy reconocidas las publicadas por el National Research Council de Estados Unidos (NRC, 1994)²⁹, a partir de las cuales se han ajustado los requerimientos, tal como lo hicieron en su momento, Baker y Han (1994)²⁸ quienes

encontraron que las relaciones de los aminoácidos respecto a lisina según el NRC²⁹, fueron iguales o mayores (15 %) al perfil de aminoácidos desarrollado por ellos en la Universidad de Illinois, conocido como “Illinois Ideal Chick Protein” (IICP), logrando parámetros productivos muy similares. Actualmente existen tablas que diferencian los requerimientos por edad, sexo y desempeño productivo (**Cuadro 2**), según lo estudiado por Rostagno *et al.* (2011)³⁰.

2.2.2 Implicaciones

Para la aplicación correcta de proteína ideal, el nutricionista tiene que establecer estrategias alimenticias para poder influir positivamente sobre características deseables de crianza y producción del pollo de engorda³¹, dirigido hacia la tasa de crecimiento y el rendimiento cárnico^{5,32}. Una de las estrategias alimenticias que ha ido cambiando en los procesos de producción, es conocida como alimentación por fases o alimentación multifases (**Figura 1**), que busca aproximar la composición bromatológica del alimento a los requerimientos nutricionales, durante los periodos sucesivos de crecimiento del pollo de engorda³³.

Actualmente es un aspecto muy importante, sabiendo que las necesidades del pollo de engorda han ido aumentando conforme se han desarrollado estirpes con una mayor tasa de crecimiento, por lo que las diferencias en el requerimiento de proteína según la fase productiva de las aves, también han aumentado, pese al corto tiempo que dura el ciclo productivo, entre 6 y 8 semanas, no obstante, la proteína dietética no debe dejar de satisfacer los requerimientos de aminoácidos para la formación de todos los componentes del cuerpo incluyendo las plumas^{20,31}.

Por otra parte el metabolismo proteico tiene un costo energético y según los modelos matemáticos aplicados al crecimiento del pollo de engorda, se ha determinado que el requerimiento de aminoácidos en el pollo de engorda ha aumentado más que el requerimiento de energía, aunque este último puede verse

alterado cuando existe un exceso de proteína en la dieta que implica una mayor excreción de nitrógeno a partir de los aminoácidos, lo que se traduce en un mayor gasto energético que el ave deberá compensar³¹. Además la energía incluida en la dieta influye en el consumo de alimento en el pollo de engorda, por lo que sí existe un desequilibrio no se aprovechará adecuadamente la proteína de la dieta. Esto ha conducido a realizar diversos experimentos para fijar una relación óptima entre energía y proteína, con la finalidad de aprovechar de forma más eficiente los nutrientes de la dieta para lograr un peso y una composición corporal deseados⁵. Por ello es tan importante ajustar los requerimientos de aminoácidos al tipo de ave, sexo, estirpe y a las condiciones medio ambientales, así como algún manejo específico que pueda modificar las necesidades nutricionales²⁸.

2.3 Ingredientes y aspectos considerados en la formulación de dietas avícolas

2.3.1 Fuentes energéticas (cereales) y proteicas

Las dietas que las aves consumen están formadas principalmente por granos y son complementadas con fuentes proteínicas de origen animal y vegetal, aunque pueden ser exclusivamente vegetales²⁴.

Los principales granos utilizados como fuentes de energía metabolizable en dietas para aves incluyen al maíz amarillo y sorgo²⁴. El maíz amarillo también se destina al procesamiento industrial, para la obtención de biocombustible³⁴, por lo que los nutricionistas han tenido que buscar alternativas al uso de este grano, además del sorgo, como es el trigo⁸. En México, normalmente, el grano de sorgo es considerado como un sustituto del maíz en la preparación de alimentos balanceados para consumo mayoritariamente en aves³⁵. Aunque el valor forrajero (nutricional) del sorgo en grano es en promedio de 3 a 7% inferior al del maíz, su costo también lo es, hasta en 10 o 15% inferior al del maíz, y puede ser producido económicamente en climas secos y calurosos^{35,36}.

En cuanto a las fuentes proteicas, las proteínas de origen animal, como son las harinas de pescado y carne son las más empleadas en la elaboración de alimentos balanceados para aves, sin embargo son ingredientes caros o bien no se encuentran disponibles en cantidades suficientes. En México, la producción de harina de pescado es muy limitada y con una gran variación en su contenido de proteína. Otras fuentes de este tipo, son la harina de pluma y harina de subproductos avícolas²⁴. Respecto a las proteínas vegetales, en México en el 2006, el 91% correspondió a soya y canola³⁷. La pasta de soya es una de las mejores fuentes de proteína de origen vegetal, debido a su alto contenido de lisina en relación con otras del mismo origen como algodón, ajonjolí, girasol y cártamo²⁴.

2.3.2 Digestibilidad y disponibilidad de los AA en insumos alimenticios

La digestibilidad de los aminoácidos, es un buen indicador para estimar la disponibilidad de estos en los ingredientes utilizados para formular dietas comerciales para pollo de engorda^{13,38}. Mientras que la digestibilidad de un aminoácido, sólo se refiere a la desaparición del aminoácido del tubo gastrointestinal y representa la diferencia entre la cantidad de aminoácido consumido menos el excretado, la disponibilidad incluye la digestión, la absorción y utilización del aminoácido que se absorbe en el organismo²⁴.

Se ha demostrado que al comparar dietas en pollos de engorda utilizando ingredientes con diferente digestibilidad, pese a tener el mismo contenido de proteína cruda, se ve afectado el rendimiento productivo y de la canal de los pollos³⁸. La diferencia en la digestibilidad depende entonces de los ingredientes utilizados al formular dietas, pero también de otros factores como los relacionados al proceso industrial de estos insumos alimenticios, la presencia de factores antinutricionales así como la cantidad del “ingrediente problema” mezclado en el alimento y otros como la edad de las aves²⁴.

Una forma para determinar la digestibilidad es una prueba biológica, que mide la digestibilidad a nivel ileal en forma directa. Esta prueba suele ser más sensible, que la digestibilidad determinada en excretas^{13,24}. En los **cuadros 3 y 4** se muestran datos sobre la concentración y la digestibilidad de los aminoácidos en diferentes ingredientes alimenticios usados en la formulación de dietas para aves¹³.

2.3.3 Factores anti-nutricionales del sorgo y soya

Sorgo. Hasta hace un par de décadas, el sorgo no era considerado un ingrediente interesante en la alimentación debido a sus características bromatológicas heterogéneas y su alto contenido de factores anti-nutricionales en las variedades que contienen taninos, asociándolo con un inconsistente y sub-óptimo crecimiento en pollos de engorda^{36,39}. A diferencia del maíz, el sorgo contiene en su estructura un grupo de compuestos fenólicos, los cuales influyen sobre el color, la apariencia y el valor nutritivo del grano. Estos compuestos pueden dividirse en tres grupos; ácidos fenólicos, flavanoides y taninos⁴⁰. Los taninos (condensados), tienen la capacidad de formar complejos con las proteínas en el intestino y disminuir la digestibilidad proteica con menor absorción de aminoácidos dietéticos y endógenos^{36,39}. Garcia *et al.* (2004)⁴⁰ observaron que el coeficiente de digestibilidad de la proteína fue mayor en una dieta con base en maíz –soya comparado con dietas que contenían sorgo bajo y alto en taninos. En estas últimas, no revelaron diferencias entre dietas por contenido de sorgo; sin embargo, recientemente se ha hecho énfasis sobre sorgos bajos en taninos y con un valor nutricional similar al del maíz, tan adecuado como para ser incluido como único cereal en dietas de aves comerciales³⁹, además representa una alternativa capaz de reducir los costos de alimentación en producción de pollo de engorda⁴⁰, con mayor oportunidad considerando la inclusión de aminoácidos cristalinos disponibles en el mercado³⁸.

Soya. También la mayoría de las semillas oleaginosas, contienen factores antinutricionales y la soya no es la excepción⁴¹.

Varios de estos factores son conocidos por afectar el crecimiento en las aves y entre ellos destacan los inhibidores de la tripsina, hemoaglutinina, saponinas, metales con efecto quelante (Mn, Zn, Cu, Fe), presencia de oligosacáridos y otros. Todos estos factores antinutricionales, pueden ser inactivados durante el procesamiento^{24,41}.

Las lectinas son glicoproteína presentes principalmente en las leguminosas, tienen funciones de protección de la semilla hacia artrópodos, mamíferos, aves y hongos. La toxicidad de estas sustancias radica en su unión con receptores específicos de las membranas celulares del intestino, provocando una interferencia no específica en la absorción o transporte de nutrientes a través de la pared intestinal. Las lectinas son resistentes a la digestión proteolítica de las enzimas endógenas de los monogástricos, debido a que estas especies solamente pueden hidrolizar enlaces específicos de tipo –COH como el de los almidones y no sintetizan α -galactosidasa, enzima que hidroliza los oligosacáridos como la α -D-N acetil galactosamina⁴¹. Las proteasas son inhibidoras de la tripsina y afectan el crecimiento, principalmente en aves jóvenes; otra enzima presente en la soya, es la ureasa con poca importancia en las aves, pero es un excelente indicativo de la calidad del procesamiento térmico^{24,41}.

La pasta de soya representa una fuente importante de proteína vegetal por el perfil de aminoácidos; sin embargo, algunos carbohidratos (polisacáridos no amiláceos y oligosacáridos) presentes, no tienen el mismo grado de digestión y en consecuencia la utilización de energía está disminuida, motivo por el cual las medidas que se implementen para mejorar su disponibilidad como es la adición de enzimas exógenas, serán de beneficio directo a la eficiencia de la dieta⁴¹.

2.3.4 Aminoácidos limitantes en dietas para pollo de engorda

Aunque todos los aminoácidos son importantes, sólo algunos son considerados más indispensables que otros y son conocidos como aminoácidos limitantes⁴². Esta limitación está sujeta al tipo de ingrediente empleado en una ración alimenticia para aves. Para el caso del maíz, la lisina, la treonina y el triptófano corresponden al primer, segundo y tercer aminoácido limitante, seguidos por la arginina, valina e isoleucina, que son considerados por igual como el cuarto AA limitante. Para la pasta de soya, los aminoácidos limitantes siguen un orden diferente; aminoácidos azufrados (primero), treonina (segundo), lisina y valina (tercero) y nitrógeno no específico (cuarto). Al utilizar estos dos ingredientes en una misma dieta, los AA azufrados, lisina y treonina son considerados como el primero, segundo y tercero aminoácido limitante respectivamente, aunque comúnmente, son los primeros tres aminoácidos limitantes en dietas avícolas¹².

El siguiente AA limitante, dependerá del tipo de dieta formulada, pudiendo ser completamente vegetal, animal o una combinación de ambas. En ese contexto, Corzo *et al.* (2007)⁴² señalaron que la valina es probablemente el cuarto aminoácido limitante en dietas basadas en maíz-soya y maíz-harina de cacahuate. Estos mismos autores, un año más tarde, explicaron que cuando a las dietas elaboradas con maíz-soya, se le incluía 2% de harina de carne y hueso, la isoleucina es el cuarto AA limitante. Dicha información, fue obtenida al observar que el incremento de este AA desde un nivel marginal de 0.58 a 0.66 %, provocó mayor peso vivo, menor índice de conversión, menor porcentaje de grasa abdominal y mayor rendimiento de pechuga en pollos de engorda de 35 a 54 d⁴³. Como puede verse, dentro de los aminoácidos limitantes después de la treonina, suelen seguirle los aminoácidos ramificados y esto es importante debido a la interacción existente entre estos aminoácidos: Valina, Isoleucina y Leucina. Estos AA participan en rutas enzimáticas en común; sin embargo, el exceso de leucina merma la utilización de isoleucina y valina, sobre todo si son limitantes en la

dieta^{44,45}. Al respecto, Corzo *et al.* (2009)¹⁰ especifican que la valina e isoleucina son el cuarto aminoácido limitante en una dieta maíz-soya complementada con 5% de harina de ave, lo que concuerda en cierta forma con un estudio previo⁴⁶. Las dietas se hicieron deficientes en estos AA y sólo hubo recuperación de peso, cuando se suplementó de forma individual con L-valina, no así, al suplementar sólo L-Isoleucina. Se encontraron también, valores más bajos de albúmina en plasma y proteína total en aquellas aves alimentadas con dietas deficientes en valina e isoleucina¹⁰. Se sabe además, que el uso de harina de gluten de maíz y harina de sangre, incrementa marcadamente los niveles de leucina en relación a la isoleucina y valina⁴⁴, lo mismo que puede suceder al reducir la proteína en dietas maíz-soya, donde implica aumentar el porcentaje de maíz y disminuir el de soya⁴⁶.

De los aminoácidos no esenciales, se ha catalogado a la glicina, como el cuarto aminoácido limitante en dietas vegetales, en donde además se mencionan a la arginina y a la valina como quinto limitante en el mismo grado, seguidos por isoleucina como sexto limitante⁴⁷.

2.3.5 Aminoácidos cristalinos disponibles en la industria avícola

Por casi 50 años, la biotecnología ha sido utilizada para la producción industrial de aminoácidos sintéticos y ocupan el segundo lugar después de los antibióticos en ser comercializados (**Figura 2**). Estos al igual que otros aditivos usados en la alimentación animal, son resultado de diferentes procesos como la fermentación y la síntesis química¹⁶.

En aves, la forma de suministrar aminoácidos es exclusivamente a través de una fuente proteica dietética, o bien en forma de aminoácidos sintéticos aportados a la ración⁴⁸. El 46% del mercado mundial de aminoácidos cristalinos utilizados en la alimentación está cubierto por L-Lisina. DL-Metionina, L-Treonina y L-Triptófano¹⁶ y otros precursores como el Hidroxianálogo de Metionina. De estos, sólo la DL-

metionina y la L-lisina se producen en grandes volúmenes. El 90% de ambos productos es utilizado para suplementar raciones de pollos y cerdos^{26,49}. Recientemente, están disponibles de forma industrial la L-Valina y L-Glutamina⁵⁰.

2.3.6 Importancia de la suplementación de DL-Met, L-Lis y L-Tre

La carencia de aminoácidos conduce a un retardo en el crecimiento, mal emplume y mayor grasa en la canal. Esto dependerá de la magnitud de la deficiencia entre el requerimiento del ave y la concentración de aminoácidos en la dieta²⁴, sobretodo tratándose de los primeros tres aminoácidos limitantes.

Metionina. Es conocido que la lisina y los AA azufrados poseen efectos específicos sobre la composición de la canal⁵¹. También se ha demostrado que la adición de metionina sintética, puede cubrir deficiencias causadas por la presencia de factores antinutricionales, tal como lo demostraron Rostagno *et al.* (1995)³⁸ al comparar tres dietas con diferente digestibilidad, utilizando maíz y soya en la primera, formulada con base a AA totales; la segunda y la tercera, de menor digestibilidad, incluyeron sorgo y fueron formuladas con base a AA totales y digestibles respectivamente. Estas últimas, de menor digestibilidad fueron suplementadas en otro experimento con DL-Met, y reportaron recuperación de las variables productivas que fueron similares a las obtenidas con la dieta altamente digestible. Más adelante, en dietas sorgo-soya, Reyes *et al.* (2000)⁵² al adicionar 0.08 % de DL-Met al señalado por las tablas del NRC (1994)²⁹, en dietas con sorgo alto en taninos, fue posible igualar la ganancia de peso y la conversión alimenticia obtenidos en pollos alimentados con dietas con sorgo bajo en taninos. Es preciso mencionar que la suplementación de metionina, no obstante, que no modifica el contenido proteico y graso de la pechuga, si puede mejorar su rendimiento y disminuir la grasa abdominal, debido a que este AA contribuye al incremento de la actividad de hormona sensible a lipasa colateral al aumento de ácidos grasos libres encontrados en suero⁵³.

Lisina. Para el caso de lisina se comprobó que el requerimiento de este AA es menor de acuerdo al criterio siguiente; ganancia de peso < rendimiento de pechuga < índice de conversión < menor % de grasa abdominal⁵¹. Esto también se experimentó con la treonina y la valina; sin embargo, se detectaron pocos o nulos efectos sobre estas características al incrementar su nivel de inclusión en la dieta⁵¹. Kidd *et al.* (1998)¹, demostraron que al incluir niveles de lisina por arriba de lo señalado por el NRC (1994)²⁹, se mejoraron el desempeño productivo así como las características de la carne de pechuga, con menor grasa abdominal, aunque también, destacaron que puede incrementarse la mortalidad. Por el contrario, utilizando niveles subóptimos de lisina en iniciación puede resultar en menor carne de pechuga, independiente de los niveles de lisina en crecimiento y finalización¹.

Treonina. Este AA como se mencionó anteriormente, es típicamente el tercer AA limitante en dietas maíz-soya tanto en pollos de engorda como en pavos. El catabolismo de la treonina es precursor de glucosa y glicina, necesarios para la síntesis proteica⁴⁵. Los requerimientos de treonina se reportaron muy similares para estirpes, con rendimiento clásico y alto, así como para machos y hembras en pollo de engorda. Este requerimiento es menor o igual a 0.72 %⁵⁴. Otros autores señalan que el requerimiento de treonina es menor en hembras (0.63 %) en relación al de los machos (0.74 %), para lograr el óptimo crecimiento y desarrollo de pechuga de 42 a 56 días, aunque hacen énfasis que la concentración de treonina en cada caso no afectó el rendimiento de la grasa abdominal⁵⁵. Corzo *et al.* (2009)⁵⁶, comprobaron que la mortalidad no es diferente al suplementar valores de treonina digestible en un rango de 0.57 % a 0.65 % en pollos Ross308 de 21 a 42 d; sin embargo, determinaron que la deficiencia de glicina+serina puede ser compensada con la suplementación de treonina, por lo que concluyeron que hipóticamente la treonina dietética, puede ser usada para el anabolismo de la glicina bajo condiciones de marginalidad de este aminoácido.

2.4 Productividad del pollo de engorda con diferentes porcentajes de proteína

2.4.1 Dietas altas y bajas en proteína

Tradicionalmente el mayor criterio para evaluar la productividad del pollo de engorda es por medio de la tasa de crecimiento, el índice de conversión y menos frecuente la composición de la canal⁵⁷. El índice de conversión es un indicador de productividad en el pollo de engorda y sin embargo, el que su valor sea bajo, no siempre es sinónimo de eficiencia productiva. Esto se debe a su relación con el consumo de alimento, el cual puede ser mayor debido a un consumo compensatorio por dietas con porcentajes marginales de proteína y por el crecimiento acelerado propio en el pollo de engorda. Por otra parte, este consumo puede reducir como respuesta a dietas muy deficientes en proteína o por exceso de energía⁵⁸. Dietas con altos y bajos porcentajes de proteína, muestran muy claramente estas diferencias. En esta etapa de iniciación, se ha visto que pollos de engorda alimentados con dietas con un contenido inferior al 23 %PC recomendado por las tablas nutricionales del NRC (1994)²⁹, disminuyeron la ganancia de peso y aumentaron el índice de conversión. Además se indicó que al reducirse el porcentaje de proteína se incrementó el nivel de engrasamiento, por lo que manteniendo el contenido de proteína de 23 % en etapa de iniciación, fue posible obtener menor concentración de grasa corporal, con una mayor deposición de proteína, atribuida a la mayor retención de nitrógeno corporal⁵⁹.

Yang *et al.* (2009)⁶⁰ evaluaron efectos del nivel de proteína en pollos Ross de 8 a 14 d sobre el crecimiento, peso de órganos, perfiles hematológicos y expresión de genes relacionados al metabolismo de proteína y lípidos. Dentro de los resultados esperados, reportaron 12% menor en ganancia de peso con el 20% de reducción de proteína, de 23.0 a 18.4%. En cuanto al efecto sobre órganos, se encontró un menor peso relativo en corazón (4.15 vs 4.55 g) y menor peso del músculo de la pechuga (111.4 vs 114.5 g) en dietas reducidas

en proteína, mientras que la reducción de energía disminuyó el peso relativo del intestino y la grasa abdominal. El contenido de proteína cruda, también fue menor en las pechugas de pollos alimentados con dietas reducidas en proteína. La reducción de proteína también se reflejó en una menor concentración de N-ureico en plasma así como aumento en la expresión genética de la miostatina y una disminución en la expresión genética de la leptina, lo cual concordó con lo encontrado en ganancia de peso y en pechuga, aunque no encontraron diferencias en grasa abdominal y triglicéridos en plasma. Es necesario mencionar que después de los 14 días, las aves recibieron un mismo alimento, sin embargo no hubo una recuperación del peso de la pechuga a los 42 días.

En etapa de crecimiento, Kita y Okumura (1997)⁶¹, observaron que conforme se aumentaba el porcentaje de proteína (0, 10, 20, 40 y 60 % PC) en dietas para aves, mostraron una disminución en la concentración de glucosa en plasma en el rango de 10 a 40 % PC. Cuando este porcentaje se aumentó de 0 a 60 % PC, la concentración de colesterol disminuyó significativamente, junto con la concentración de triglicéridos y la de ácidos grasos libres, aunque la disminución de estos dos últimos sólo fue numéricamente.

Otros estudios hacen referencia al efecto por contenido de proteína, genotipo y sexo. Los autores señalan no haber encontrado efecto por genotipo y sexo sobre las características de la canal; sin embargo, si reportaron resultados favorables atribuidos al contenido de PC en la dieta, para el rendimiento de pechuga y muslos. Asimismo, indicaron que hubo mayor variación en peso corporal en dietas bajas en proteína cruda que en dietas altas en proteína³.

Berhe y Gous (2008)⁵⁷, probaron 6 porcentajes de proteína en dietas de pollos Cobb500 y Ross788 de 0 a 21 días y de 0 a 42 días. Comprobaron que la estirpe Ross en etapa de finalización, presentó una disminución en el consumo de alimento cuando el contenido de proteína en la dieta se redujo cerca del

16%, explicando que la estirpe puede ser sensible a los cambios marginales en cuanto al contenido de proteína. Los resultados mostraron una mayor uniformidad en porcentajes bajos (12-15 %PC) y porcentajes altos (24-27 %PC) de proteína dietética de 0 a 21 d, con coeficientes de variación de 11 y 9% respectivamente, sin embargo en el segundo experimento, encontraron que la uniformidad fue menor en cuanto el porcentaje de proteína era reducido de 22 a 17 %, con valores similares entre 18 y 19 % PC y entre 20 y 22% de proteína. Además reportaron mayor mortalidad en los pollos Cobb500, sobre todo con dietas bajas en proteína (12-15 %) en el primer experimento y mayor con dietas altas en proteína en el segundo experimento.

En otro experimento con pollos de engorda de 18 a 53 días, se concluyó que el índice de conversión fue indirectamente proporcional al nivel de proteína dietética. Lo anterior al comparar el rendimiento productivo, utilizando porcentajes de 16, 20 y 24 % PC, en dietas isocalóricas (3200 kcal EM/kg). Se informó, que el comportamiento productivo fue inferior al 2 y 8 % entre las dietas que contenían 16 vs 20 % PC y entre 20 y 24 % PC respectivamente, con un menor porcentaje de grasa abdominal y un mayor rendimiento en canal con el aumento en el porcentaje de proteína³². En un periodo parecido, pero de 7 a 56 días, Rahman *et al.* (2002)⁶², condujeron un experimento en pollos, en el que establecieron 4 dietas con 23, 21, 19 y 17 % de proteína cruda. Al final observaron que los pollos alimentados con 23 y 21% de proteína en la dieta obtuvieron similares resultados en peso e índice de conversión, notándose afectados los parámetros productivos y características de la canal cuando utilizaron dietas con 19 y 17 % PC. También fue mostrado que la proporción del peso del corazón respecto al peso vivo fue mayor en los pollos alimentados con 23 y 21 % PC.

Nagaraj *et al.* (2007)⁶³ compararon dietas altas y bajas en proteína, en las distintas fases productivas: 25 vs 22 % PC en etapa iniciación (0-14 d), 22 vs 20 % PC en crecimiento (15-29 d); 20 vs 16 % PC en finalización (30-43 d) y 19.6 vs 18.6 %

PC en la fase de retiro (44-54 d). En cuanto al contenido de lisina, la densidad fue proporcional al aumento de proteína dietética. Al día 53, se encontró un mayor peso vivo en pollos alimentados con mayor porcentaje de proteína, sin diferencia en rendimiento de la canal. Aunque, se encontró mayor excreción de N (base seca) en dietas altas en proteína a los 29 y 43 d (2.3 vs 1.7 %) y con mayor liberación de amoníaco ($\text{NH}_3\text{-N}$) a los 29 d (1.15 vs 0.7 mg NH_3/kg excreta fresca), sin diferencia entre dietas a los 54 d. Incluso al evaluar la incidencia de pododermatitis en pollos de engorda, se encontraron hasta 2 veces más el número de lesiones en el cojinete plantar en pollos alimentados con dietas altas en proteína, y mayor en machos que en hembras. Los machos obtuvieron un mayor peso y menor porcentaje de grasa abdominal que las hembras (2.1 vs 2.7 %).

2.4.2 Dietas reducidas en proteína suplementadas con AA esenciales

Para comprender mejor la suplementación de aminoácidos en dietas reducidas en proteína cruda, es fundamental observar el efecto de la adición de los aminoácidos conforme aumenta su requerimiento para compensar la disminución de proteína en la dieta, así como los resultados encontrados al suplementar aminoácidos esenciales y no esenciales. Bajo esas condicionantes, la metionina es el primer aminoácido susceptible de ser añadido en dietas con menor porcentaje de proteína.

Metionina, Lisina y Treonina. Vieira *et al.* (2004)⁶⁴, realizaron un experimento para evaluar el efecto de 4 niveles de metionina+cistina (50, 62, 69 y 77 %) sobre parámetros productivos en dos estirpes (Cobb500 y Ross308) de 14 a 35 días, alimentados con 2 porcentajes de proteína (20.5 y 26 % PC), lo cual indujo una variación entre el resto de los aminoácidos del 20%. Las dietas se formularon con maíz, soya, harina de carne y harina de ave, con 3,060 kcal EM/kg. Las aves que recibieron la dieta alta en proteína demostraron 14 % más de ganancia de peso y 5 % más en consumo de alimento, lo que se reflejó en 8 % menos en índice de

conversión. Además mostraron un mayor rendimiento de pechuga deshuesada (21.19 vs 20.13 %) y menor porcentaje de grasa abdominal (1.19 vs 1.53 %). En cuanto a las estirpes, dado que el consumo de alimento y la ganancia de peso fueron mayores en Ross308 (1346 g vs 1288 g y 2286 g vs 2179 g), no se encontraron diferencias aparentes en índice de conversión (1.71 vs 1.70). En Cobb500, se encontró menor porcentaje de grasa en canal (1.27 vs 1.45 %).

Otros autores utilizaron dietas con una diferencia de 1.5 unidades porcentuales de proteína, utilizando pollos Ross508 criados con una densidad de 14 aves por m². La densidad de los aminoácidos en dichas dietas varió entre 6 y 8% una vez formuladas, no obstante se suplementaron las dietas con metionina y lisina cristalina, para asegurar el aporte adecuado de estos aminoácidos. Las dietas caracterizadas como altas, fueron de 23.6 %, 21.5 % y 19.8 % PC en un ciclo productivo de 3 fases. Esto mismo se comparó en un mismo experimento con 4 fases alimenticias, teniendo dividida la fase de finalización de 36 a 46 días con 20.8 % PC y de 47 a 56 días con 18.7 % PC. Los resultados mostraron en todas las fases una diferencia entre el 2 y el 3 % en ganancia de peso a favor de las dietas con mayor porcentaje de proteína y aminoácidos, siendo los resultados más consistentes en el programa alimenticio de 4 fases. La diferencia en índice de conversión fue menor al 2 % y no se observaron diferencias en consumo de alimento y mortalidad general. En el programa de 3 fases, se determinó además un mayor peso pero mismo rendimiento en *Pectoralis major* y *Pectoralis minor* con diferencias del 5%. También se observó este comportamiento en peso y rendimiento total de pechuga deshuesada y sin piel. En el programa de 4 fases no hubieron diferencias significativas sin embargo los valores muestran las mismas tendencias⁶⁵.

La deficiencia y suplementación de treonina ha sido analizada también al reducir la proteína en 1.2 y 2.5 unidades porcentuales disminuido de la dieta control en dos experimentos; en etapa de crecimiento con 19.4 % y en etapa de finalización con

17.2 % PC. Ambos experimentos, contemplaron el requerimiento adecuado de metionina y lisina. Se observó que la suplementación de treonina, tuvo una mejor respuesta productiva cuando la reducción de proteína fue sólo de 1.2 unidades porcentuales⁶⁶. Morales *et al.* (2001)⁶⁷ pusieron en prueba el porcentaje de inclusión de treonina utilizando dietas para pollo (Arbor Acres) formuladas a partir de los requerimientos de los primeros tres aminoácidos más limitantes (Lis, Met+Cis y Tre), según lo señalado por el NRC (1994)²⁹, y se midieron los parámetros productivos así como la inmunidad humoral, variando el nivel de treonina 5% abajo y 5% arriba de los que marca el mismo NRC²⁹ en etapa de iniciación y crecimiento. Aunque en este caso el porcentaje de proteína fue el mismo, la variación del 10% en el requerimiento de treonina, no afectó el comportamiento productivo e inmunidad en los pollos a los 42 días.

Dari *et al.* (2005)⁶⁸ comprobaron que la reducción de proteína de 20 a 18.2% con dietas maíz-soya, no afectó significativamente el rendimiento productivo de pollos hubbard machos de 21 a 42 días, cuando las dietas de 18.2% fueron suplementadas con DL-Met, L-Lis y L-Tre, tanto en base digestible (AAD) como en base total (AAT) para mantener constantes los niveles de aminoácidos azufrados, lisina y metionina, sin embargo las dietas calculadas con 18.2 %PC y aminoácidos digestibles obtuvieron una mayor ganancia de peso (1544vs1507; 2.8% mayor) y un menor índice de conversión comparado con la dieta de 18.2 % PC calculada con aminoácidos totales, pese a que al contenido de metionina, lisina y treonina digestible fue mayor al obtenido con las dietas formuladas en base digestible, lo cual sugirió un desbalance entre aminoácidos. El rendimiento de la canal no se vio influenciado por la reducción de proteína aunque sí el porcentaje de humedad en esta. También se redujo significativamente el rendimiento de la pechuga deshuesada (2 a 4% menos) y aumentó la grasa abdominal (10% más) Este mismo experimento lo probaron añadiendo además de maíz y soya, 6.5 % de trigo, 5 % de harina de pluma y 5 % de harina de carne. Al comparar estas dietas con menor digestibilidad con 18.2% de proteína, concluyeron que las dietas con

base en maíz y soya con 20% PC, obtuvieron un mejor rendimiento productivo (3% más en peso vivo y 2.3% menos en índice de conversión) y que el uso de aminoácidos digestibles para las dietas con menor digestibilidad puede acercar el rendimiento a las dietas con 20% PC.

Las investigaciones respecto a la reducción de más de 3 unidades porcentuales de proteína en dietas suplementadas únicamente con metionina, lisina y treonina han sido poco convincentes, aunque según lo reportado por Kamran *et al.* (2004)⁶⁹ al utilizar 4 dietas con diferentes porcentajes de proteína (23, 22, 21 y 20 % PC) y elaboradas con cereales, harinas vegetales y harinas animales, fue posible sostener la producción y mejorarla aunque verificaron que las fórmulas alimenticias mantuvieran la misma densidad de aminoácidos, a pesar de que sólo fueron suplementadas con estos tres aminoácidos. También reportaron un mismo comportamiento en las características de la canal, no obstante que los costos de formulación fueron menores a partir de las dietas con 21 y 20 % PC.

Corzo *et al.* (2010)⁷⁰, evaluaron la respuesta de pollos de engorda machos, Cobb500 con diferentes regímenes de densidad de aminoácidos, experimento que también requirió la utilización de metionina, lisina y treonina. Esto implicó aumentar o disminuir el porcentaje de proteína proporcionalmente al de los aminoácidos, aunque formularon para satisfacer o exceder el requerimiento indicado por el NRC (1994)²⁹. Las dietas fueron elaboradas con base en maíz y soya bajo tres densidades de aminoácidos, alto, moderado y bajo: el régimen moderado fue formulado para contener en la fase iniciación (0-14 d), 3100 kcal EM/kg, 21.84 %PC y 1.22 % lisina (5.7% respecto a la proteína); en la fase de crecimiento (14-28 d), 3125 kcal EM/kg, 19.77 %PC y 1.09 % lisina (5.5 % respecto a la proteína); y en la fase de finalización (28-42 d), 3150 kcal EM/kg, 18.65 %PC y 1.06 % lisina (5.7 % respecto a la proteína). En todas las fase la diferencia entre el régimen alto y moderado, no superó 1.6 unidades porcentuales de proteína cruda y entre el régimen alto y bajo no fue mayor a 3 unidades

porcentuales de proteína, al mismo tiempo que todos los aminoácidos por fase guardaron la misma relación respecto a lisina. A los 14 días, se observó que conforme aumentaban la densidad de aminoácidos, se mejoraron la ganancia de peso, el consumo de alimento y el índice de conversión (1.11c, 1.14b y 1.18a), sin embargo el costo del alimento por kg de peso ganado, fue menor con densidades bajas de aminoácidos. A los 28 días las dietas con mayor proteína y aminoácidos fueron superiores en peso y en consumo de alimento, pero con menor índice de conversión, aunque en este caso el costo del kg de alimento por kg de peso vivo ganado fue similar en todas las dietas. A los 42 días, se observó un comportamiento similar entre el régimen moderado y régimen alto en cuanto a la ganancia de peso y el consumo de alimento con 2613 g vs 2665 g y con 4322 g vs 4397 g, respectivamente, con una diferencia sólo del 2% en rendimiento productivo. Respecto al índice de conversión, los datos obtenidos fueron 1.721, 1.656 y 1.629 para régimen bajo, moderado y alto, con diferencias significativas entre sí, aunque el régimen bajo resultó mayormente afectado; 5% menos eficiente respecto al régimen alto. Sin diferencias en porcentaje de mortalidad y uniformidad, aunque en términos generales se apreció menor mortalidad y mayor uniformidad en el régimen moderado, cuya dieta es ligeramente mayor al requerimiento de aminoácidos recomendado por el manual de la estirpe Cobb500⁷⁹. Los pesos y rendimientos de la canal y pechuga no se vieron afectados por las dietas, excepto el rendimiento de pechuga que fue sensible al cambio de régimen, incrementando su valor conforme el porcentaje de proteína y aminoácidos era mayor (20.94, 22.08 y 22.90 %). El efecto fue contrario en peso y grasa abdominal, valores que aumentaron del régimen alto al bajo (1.18, 1.27 y 1.76 %) aunque sin diferencias entre el alto y el moderado. La carne de pechuga y del muslo no mostraron diferencias, pese a que el muslo es reconocido por su mayor contenido de grasa, sin embargo la diferencia entre el régimen alto y el bajo fue del 3% en contenido proteico. Se encontró, mayor porcentaje de colágeno en las dietas de moderado y bajo régimen comparado al alto. El costo del alimento asociado con la producción de kg de pollo en pie y pollo en canal, disminuyó al

mismo tiempo que se redujo la densidad de aminoácidos y fue inverso para el caso del costo de alimento por kg de carne de pechuga. Cobb500 respondió bien al mayor contenido de aminoácidos, sobre todo durante las últimas fases del ciclo productivo, por lo que utilizar alta densidad de aminoácidos en etapa temprana puede no ser justificado. La tendencia de mayor contenido de proteína en el muslo con régimen alto, sugirió una buena respuesta a expensas del contenido de grasa. El mejor escenario económico resultó con dietas con moderado y bajo régimen de densidad.

Algo similar, realizó Woyengo *et al.* (2010)⁷¹ quienes compararon dietas con 18.7%PC vs 22.1%PC de 1 a 16 d, 17%PC vs 20%PC de 16 a 30 d y con un mismo porcentaje (17%) de proteína para ambos grupos de 30 a 63 d. La diferencia en contenido proteico fue del 15% en las dos primeras fases, con una reducción proporcional a partir del 19% en aminoácidos azufrados, lisina y treonina. Esto lo realizaron en estirpe moderna (Ross308) y antigua (líneas 1 y 2). Reportaron mayor humedad en la cama de los pollos alimentados con dietas normales, obteniendo en Ross308, 35.6 vs 19.1% bajo el bebedero y 16.9 vs 12.7 % en medio de la jaula. Asimismo el peso fue mayor en dietas normales, a los 16, 30 y 63 d, registrando en Ross308, 460 vs 370 g, 1030 vs 982 g y 3992 vs 3771 g respectivamente y lo mismo para índice de conversión. Respecto a la mortalidad, sin significancia entre dietas, pero con mayor tendencia en dietas reducidas, tampoco se detectaron diferencias entre estirpes, aunque Ross308 tuvo numéricamente una mayor mortalidad y finalmente sin diferencias entre dietas y estirpes para síndrome ascítico, aunque ligeramente mayor en Ross308 (1.7 vs 0.6 %). Tampoco hubo diferencias al evaluar la mortalidad por muerte súbita, aunque fue mayor, en dietas normales.

Recientemente, se evaluaron tres programas de alimentación para pollos de engorda con base en dietas sorgo-soya, al mismo tiempo que se compararon 2 porcentajes de proteína en la dieta, difiriendo en 2 unidades porcentuales. Se

emplearon pollos Ross308 y se midió el rendimiento productivo y de la canal de 1 a 49 d, divididos en 2, 3 y 4 fases de alimentación. Las dietas fueron adicionadas con los aminoácidos lisina, metionina y treonina. La conversión resultó mejor en el programa de 4 fases. Los autores concluyeron que al emplear dietas altas y bajas en proteína, no se encontraron diferencias, indicando que el empleo de los primeros tres aminoácidos sintéticos permite reducir los niveles de proteína en las dietas hasta en 2 unidades porcentuales de proteína⁷².

Arginina, triptófano y aminoácidos ramificados. Cubiertos los primeros tres aminoácidos limitantes, varios investigadores han hecho estudios sobre la reducción de proteína y la suplementación del cuarto, quinto y sexto aminoácido limitante. Al respecto, Ferguson *et al.* (1998ab)⁷³ experimentaron con dietas control formuladas con maíz, harina de soya, harina de carne y hueso en pollos de engorda 1 a 21 días, y de 22 a 42 días de edad. Estas dietas fueron reducidas en proteína, partiendo de 22 % y 20 % de acuerdo a los periodos mencionados. En las dietas control sólo utilizaron lisina, metionina y triptófano. En las dietas reducidas, adicionaron treonina, pero no incluyeron la harina de carne y hueso. Los aminoácidos fueron incluidos con base a los requerimientos marcados por el NRC (1994)²⁹, no obstante el nivel de lisina y de isoleucina quedó ligeramente debajo de la dieta control. Los resultados mostraron un comportamiento productivo inferior al 4 % en dietas reducidas, sin cambios en consumo de alimento e índice de conversión. Demostraron 6.5 % menos en el consumo de nitrógeno y 8.8 % menos en la excreción del mismo por cada unidad porcentual reducida. También demostraron 2 % menos de humedad en cama y 10 % menos en emisión de amoníaco (ppm), aunque estos resultados no fueron significativos. Esto mismo fue repetido en otro estudio⁷⁴, pero utilizando dietas altas y bajas en 2 a 3 unidades porcentuales de proteína respecto a la dieta control que en la fase de iniciación fue de 24.1 % PC y en la fase de crecimiento fue de 19.6 % PC. A los 43 días, las dietas control y altas en proteína tuvieron la misma ganancia de peso con 4 % mayor sobre la dieta baja en proteína. En cuanto al índice de conversión este se

incrementó conforme se redujo la proteína, encontrando además que la reducción de 4 unidades porcentuales de proteína disminuyeron 31 % la emisión de amoníaco (ppm), 2.3 % el pH de la cama, 16.5 % la excreción de N y 5.6 % menos de humedad en la cama.

Sterling *et al.* (2006)⁷⁵, utilizaron una dieta normal en proteína con 23%, en dos estirpes (Ross308 y Cobb) y evaluaron el efecto del contenido de 0.6, 0.7 y 0.8% de lisina, valores debajo del requerimiento. Además compararon las mismas dietas, pero reduciendo la proteína a 17% PC y con 0.7, 0.8 y 0.9% de lisina. Los parámetros productivos fueron medidos de 7 a 21 días. Para cada caso significó una reducción de 6 puntos porcentuales de proteína equivalente al 25%. También realizaron un segundo experimento para comparar las estirpes Ross508 y Arbor Acres, con dietas peletizadas. Ambos experimentos consideraron la adición de arginina, aunque no de treonina, en dietas maíz, soya y gluten de maíz. Las dietas con menor porcentaje de proteína resultaron con 10 % menor en densidad de aminoácidos. El aumento en proteína y lisina significaron mejor ganancia de peso e índice de conversión. Los pollos Cobb mostraron un menor requerimiento de lisina dado que la ganancia de peso e índice de conversión fueron mejores para esta estirpe en niveles bajos de lisina, no obstante, parece que Ross 308 puede sostener la producción a pesar de la reducción de 6 unidades porcentuales en la dieta a cierta inclusión de lisina, lo que no ocurrió con Cobb. Al comparar Ross 508 con Arbor Acres, los resultados (17-42 d) nuevamente mostraron una mayor necesidad de lisina en la estirpe Ross 508, cercano a su requerimiento normal para ser más eficiente. En cuanto al peso de la canal, cortes primarios y su rendimiento, las diferencias significativas se debieron al incremento de lisina y no a proteína, aunque los autores concluyeron que esto se pudo deber a la participación de otros aminoácidos. La reducción en proteína aumentó el peso y rendimiento de la grasa abdominal, más aún en la estirpe Ross 508. El peso relativo del hígado no fue afectado por el nivel de lisina ni tampoco por el de proteína.

En otro experimento, al evaluar el efecto de tres programas de alimentación y dos porcentajes de proteína en la dieta, Santiago *et al.* (2011)⁷² demostraron que la adición de aminoácidos sintéticos, lisina, metionina, treonina, triptófano y arginina, permitieron mantener la producción con la reducción de 2 unidades porcentuales de proteína en la dieta, sin cambios en las variables productivas y de rendimiento de la canal. Además, esto lo comprobaron en dos experimentos; en el primero las dietas fueron formuladas con sorgo y soya; en el segundo contemplaron sorgo y soya, así como harina de carne y gluten de maíz, comprobando que la formulación con proteína ideal permitió emplear ingredientes de menor calidad, sin detrimento en sus variables productivas. Concluyeron que la adición de aminoácidos sintéticos, en dietas en cada fase permite reducir el porcentaje de proteína en los programas de 2, 3 y 4 fases de alimentación y reducir los costos de formulación.

2.4.3 Dietas reducidas en proteína suplementadas con AAE y AANE

Las dietas reducidas en proteína resultan en un crecimiento y retención de nitrógeno inferiores y una mayor retención de grasa corporal comparado con las dietas estándar en proteína. Así lo indicaron, Bregendahl *et al.* (2002)⁵⁹, quienes además concluyeron que los efectos adversos pueden presentarse aun cuando dietas bajas en proteína, cubran los requerimientos de aminoácidos esenciales y no esenciales, aunque esto lo determinaron en dietas con reducción de 4.5 unidades porcentuales en etapa de iniciación, en el que en ningún caso pudieron igualar el comportamiento productivo de los pollos alimentados con 23 % PC. Esto ha sido anteriormente demostrado en dietas reducidas en proteína por más de 4 puntos porcentuales, donde los parámetros productivos y las características de la canal se vieron seriamente afectados. Cabe mencionar, que estas mismas dietas con reducción de proteína tuvieron el mismo rendimiento en partes de la canal, sin embargo el peso final no fue compensado del todo. Ciertamente los pollos que fueron alimentados con dietas suplementadas con treonina, arginina, valina,

isoleucina, triptófano y ácido glutámico, tuvieron un mejor rendimiento productivo que cuando únicamente fue incluido el ácido glutámico⁶⁶.

Holsheimer *et al.* (1994)⁷⁶ determinaron en pollos de engorda Hybro en etapa de crecimiento un requerimiento mínimo de treonina de 0.725% en dietas maíz-soya con reducción de 20 a 16% de proteína cruda, utilizando concentraciones similares de aminoácidos esenciales y no esenciales (glutamato y glicina), con lo cual obtuvieron valores equiparables en ganancia de peso, consumo de alimento e índice de conversión.

Por su parte, Corzo *et al.* (2005)¹⁵ observaron que una óptima proporción de aminoácidos esenciales (L-Lis, DL-Met, L-Tre, L-Tri, L-Val, L-Iso, L-Leu) y no esenciales (Gli, L-Ala, L-Asp, L-Glu, L-Pro) pudo resolver una reducción de 4 puntos porcentuales de proteína en la dieta, de 22 % a 18 % PC para lograr la misma ganancia de peso e índice de conversión en pollos de 13 y 21 d de edad. A pesar de ello, el consumo de alimento fue el mismo. Por otra parte, aunque no se reportaron cambios en la concentración de proteína en plasma, encontraron una mayor concentración de ácido úrico en plasma; en dietas estándar de proteína (22%), dietas reducidas en proteína suplementadas con aminoácidos esenciales y no esenciales (19%) y dietas reducidas en proteína suplementadas con L-leu (18%). En contraparte, reportaron un mayor porcentaje de retención de N con el menor consumo y menor excreción del mismo, en las aves que recibieron dietas reducidas en proteína suplementadas únicamente con aminoácidos esenciales.

Estos mismos resultados fueron obtenidos por Berres *et al.* (2010)⁷⁷, que realizaron un experimento con dietas basales cubriendo el requerimiento de metionina, lisina y treonina en 4 fases : 1-7 d, 8-21 d, 22-35 d y 36-42 d, conteniendo 26.2%, 22.7%, 21.7% y 20.6% de proteína cruda, respectivamente. La comparó con 7 dietas, a las que suplemento en cada caso con Val, Val+Gli, Val+Glu, Val+Gli+Glu, Val+Iso, Val+Iso+Gli y Val+Iso+Gli+Glu. Las dietas control

suplementadas con Val y Val+Gli resultaron con una unidad porcentual de proteína menor al control (dieta basal) en cada fase; las dietas control suplementadas con Val+Iso y Val+Iso+Gli resultaron con 2 unidades porcentuales de proteína menor al grupo control; el resto se mantuvo con el mismo porcentaje de proteína cruda. Los resultados indicaron que el rendimiento productivo y de la canal fue similar, demostrando confiabilidad para mantener la producción mediante la adición de aminoácidos esenciales y no esenciales.

Waguespack *et al.* (2009)⁴⁷ previamente comprobaron en pollos Ross708 de 0 a 18 d, que la suplementación de 0.25 % de L-Lis a dietas con 20.4 % de proteína cruda, para satisfacer un requerimiento mínimo de 1.26 % de lisina total, sostuvo el crecimiento y comportamiento productivo de las aves equivalente al obtenido con dietas con 22 % de proteína cruda. Esto sólo fue observado cuando la dieta fue suplementada con glicina.

3. JUSTIFICACION

La reducción de proteína en la dieta de pollos de engorda es viable, cuando se contempla la adición de aminoácidos sintéticos, combinación que resulta atractiva si se puede sostener la productividad de las aves, formulando a un menor costo económico y ambiental, lo que además favorece la calidad del aire dentro de las casetas. Esto se ha demostrado muy claramente en diversos estudios, aunque pocos son los trabajos que se circunscriben a la reducción de dos unidades porcentuales de proteína en la dieta con la suplementación de aminoácidos (DL-Met, L-Lis y L-Tre) comúnmente utilizados en la industria avícola. Bajo estas consideraciones, se realizó la presente investigación, empleando las estirpes de mayor producción en México (Cobb500 y Ross308), utilizando dietas formuladas con base en sorgo-pasta de soya; el sorgo es utilizado con más frecuencia como sustituto del maíz en dietas para aves. Así mismo, conociendo los problemas metabólicos del pollo de engorda actual, resultó interesante comparar el comportamiento de ambas estirpes bajo las mismas condiciones de altura (2250 msnm) y la respuesta a la reducción de proteína en la dieta como estrategia nutricional para mejorar la uniformidad, reducir la mortalidad por síndrome ascítico, así como la liberación de nitrógeno, relacionada a la emisión de amoníaco. Lo anterior atendiendo las recomendaciones nutricionales del manual de cada estirpe, utilizando los aminoácidos ya mencionados de uso comercial en la industria avícola así como por su disponibilidad y precio accesible. La investigación, ha sido fortalecida con la evaluación de variables poco consideradas como son las características cárnicas y bromatológicas de cortes comerciales, así como la pigmentación y el peso de órganos internos. Esto permitirá evaluar posibles ventajas y desventajas del uso de dietas con menor porcentaje de proteína pero a la vez cumpliendo con lo establecido en el concepto de proteína ideal.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Evaluar el rendimiento productivo y de la canal, en dos estirpes de pollos de engorda (Cobb 500 y Ross 308) alimentados con dietas con base en sorgo-pasta de soya reducidas en proteína en las etapas productivas de iniciación, crecimiento, finalización y de retiro.

4.2 Objetivos específicos

- 1) Medir semanalmente el peso, el consumo de alimento así como el porcentaje de mortalidad por síndrome ascítico y determinar ganancia de peso, índice de conversión y uniformidad de las aves criadas de 1 a 49 días.
- 2) Registrar el consumo de agua en la primera semana de crianza.
- 3) Obtener el peso vivo al sacrificio, peso y rendimiento de la canal en pollos de engorda criados y sacrificados a los 45 días de edad.
- 4) Determinar el grado de amarillamiento en la zona apterica de la piel de las aves a los 45 días de edad, *in vivo* y posterior al sacrificio en canal caliente y canal fría.
- 5) Evaluar el rendimiento de grasa abdominal y de órganos internos (corazón, hígado y molleja) en pollos de engorda sacrificados a los 45 días de edad.
- 6) Obtener el peso y rendimiento de pechuga (sin piel y sin hueso) y piernas con muslos (con hueso y piel) a partir de las canales obtenidas en rastro.
- 7) Determinar el rendimiento por tejido (músculo, grasa y hueso) en piernas y muslos, así como la relación hueso:carne en piernas con muslos.
- 8) Realizar el análisis bromatológico de la masa muscular de la pechuga y de piernas con muslos de pollos obtenidos de canales en rastro.
- 9) Analizar el contenido de humedad y nitrógeno en las excretas de pollos de 49 días de edad.

5. HIPÓTESIS

La reducción de dos unidades porcentuales de proteína en dietas sorgo-pasta de soya, cubriendo los requerimientos de los aminoácidos más limitantes (lisina, metionina y treonina) para pollos de engorda de las estirpes Cobb 500 y Ross 308, en las diferentes etapas productivas (iniciación, crecimiento, finalización y de retiro), no afectará el rendimiento productivo y de la canal, así como las características de amarillamiento, rendimiento de carne y calidad alimenticia.

6. MATERIAL Y MÉTODOS

6.1 Área de estudio

La investigación se realizó en el Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola (C.E.I.E.P.Av.) de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México; el cual se localiza en la calle Salvador Díaz Mirón Núm. 89 en la Colonia Santiago Zapotitlán, Delegación Tláhuac, Distrito Federal a una altura de 2250 msnm, en el paralelo 19°17' latitud norte y el meridiano 99°02'30" longitud oeste. Bajo condiciones de clima templado subhúmedo (Cw), siendo enero el mes más frío y mayo el más caluroso, con una temperatura promedio anual de 16°C y con una precipitación pluvial anual media de 747 mm⁷⁸. El sacrificio de las aves se llevó a cabo en el rastro tipo comercial perteneciente a dicho Centro.

6.2 Población de estudio y manejo

Se utilizaron 600 pollitos de engorda de la estirpe Cobb500 y 600 pollitos de la estirpe Ross308, provenientes de una incubadora comercial, y descendientes de reproductoras de edades similares (48 semanas-Cobb500 y 46 semanas-Ross308). Todos los pollitos se recibieron de un día de edad, con un peso promedio de 44 g, sexados (machos y hembras), vacunados contra la enfermedad de Gumboro y Marek.

Las aves fueron distribuidas en 48 lotes (24 de machos y 24 de hembras) de 25 pollos cada uno; se alojaron durante 7 semanas en una caseta de ambiente natural con corrales de piso de cemento, cama de viruta, con una densidad de población de 10 aves/m² y crianza en túnel. Se mantuvieron bajo un programa de luz natural, con un promedio de 11 horas diarias de luz y recibieron calor por medio de criadoras catalíticas durante las primeras cuatro semanas de vida y el periodo restante únicamente con temperatura ambiente. La ventilación se manejó

con cortinas laterales y se registraron las temperaturas mínimas y máximas (mañana y tarde) dentro de la caseta. Al día 10, las aves se vacunaron contra la enfermedad de Newcastle por el método simultáneo, empleando virus vivo Cepa La Sota vía ocular y virus muerto Cepa La Sota vía subcutánea.

6.3 Dietas experimentales

Las dietas fueron elaboradas con base en sorgo-pasta de soya y formuladas conforme a lo recomendado por los manuales de cada estirpe (**Cuadro 5**)^{79,80}, en cada una de las cuatro fases productivas, tanto en dietas normales como reducidas: Iniciación (1-10 días de edad), Crecimiento (11-21 días de edad), Finalización (22-42 días de edad) y de Retiro (43-49 días de edad).

Para ello se realizó previamente el análisis químico proximal del sorgo y de la pasta de soya (**Cuadro 6**); para la estimación del contenido de aminoácidos se empleó el método de espectroscopía NIR (*Near Infrared Reflectance*)*. Esta información se introdujo al programa de formulación al mínimo costo de ALLIX A-SYSTEM, y se obtuvieron las dietas para cada una de las fases con reducción de 2 unidades porcentuales de proteína.

El déficit de los aminoácidos fue cubierto con aminoácidos cristalinos (DL-Metionina, L-Lisina y L-Treonina) para mantener la misma densidad de estos aminoácidos entre dietas normales y reducidas para cada fase de alimentación (**Cuadros 7 y 8**).

El alimento se ofreció al libre acceso, lo mismo que el agua, utilizando un bebedero automático y un comedero manual respectivamente, por cada lote. La presentación del alimento fue en forma de harina en todas las fases.

* Gentilmente realizado por Evonik-Degussa

6.4 Medición del rendimiento productivo y composición de la canal

Semanalmente se obtuvo el peso de cada tratamiento, grupal e individualmente (10 aves por lote), así como el consumo de alimento y la mortalidad diaria. Con los datos obtenidos, se determinaron la ganancia de peso, consumo de alimento corregido a mortalidad, índice de conversión, coeficientes de variación para uniformidad y mortalidad por síndrome ascítico. Lo anterior se realizó por semana y fase productiva (iniciación, crecimiento, finalización y fase de retiro).

A los 45 días de crianza, se recogieron 20 aves por tratamiento, se identificaron, se pesaron y fueron sacrificados, dichas aves recibieron previo ayuno de 8 h. Cada ave se sometió al protocolo de la sala de sacrificio; primero se colgaron en los ganchos de la cadena transportadora, se insensibilizaron, por medio de un aturdidor comercial bajo los parámetros de 25 V, 0.25 A y 460 Hz de corriente directa del tipo pulsátil. Posteriormente se realizó corte unilateral en cuello para ser desangradas. Luego pasaron al tanque de escaldado con agua a 53°C durante un minuto y por último fueron desplumadas mecánicamente. La evisceración, fue el siguiente paso y se realizó manualmente haciendo un corte circular de la cloaca y haciendo un segundo corte perpendicular a dicho corte para facilitar la extracción de las vísceras (molleja, intestinos, hígado, pulmones, corazón, bazo y buche). Al instante se recolectó y pesó la grasa abdominal, localizada cerca de la cloaca. Enseguida se obtuvieron los pesos de la canal caliente eviscerada (sin cabeza y sin patas) y del paquete de vísceras, del cual se recuperaron el corazón, el hígado y la molleja (sin grasa y sin cutícula)⁸¹.

Todas las canales se enfriaron en recipientes con hielo para su posterior manejo, que consistió en obtener los cortes de mayor valor comercial y sus pesos en el siguiente orden: pechuga deshuesada y desollada (10 piezas por tratamiento), músculos pectorales superficial y profundo de la pechuga, piernas, muslos y piernas con muslos (10 piezas por tratamiento).

Previo al sacrificio, se midió el amarillamiento en el pollo vivo, después en la canal caliente y en la canal fría, mediante un fotocolorímetro de reflectancia Minolta CR-400. La lectura se tomó en la zona apterica lateral izquierda (región de la vena de la grasa de la pechuga)⁸² sobre la piel en 20 aves por tratamiento.

El rendimiento de la canal, paquete visceral y grasa abdominal se determinaron con base al peso vivo al igual que los rendimientos de la pechuga (sin piel y sin hueso) y piernas con muslos. Los rendimientos de los músculos, pectorales (superficiales y profundos) y de piernas con muslos, se calcularon respecto al peso de la canal tipo roscicero. El rendimiento de las vísceras recuperadas se obtuvo en función al peso del paquete visceral y al peso vivo previo al sacrificio. También se determinó el rendimiento magro de piernas con muslos (3 piezas por tratamiento), respecto al peso vivo y peso de la pieza, mediante la separación de sus componentes cárnicos (magra) y no cárnicos (hueso, grasa visible), aunque la grasa visible sólo fue evaluada en muslos. Con esto último se obtuvo la relación carne:hueso en piernas unidas a los muslos.

De la carne magra, se tomaron tres muestras de 200 g, a partir de la pechuga y tres muestras de 200 g, a partir de piernas con muslos por cada tratamiento, utilizando para ello un molino de carne tipo semi-industrial con bandeja recolectora. Las muestras de carne molida fueron refrigeradas por 24 h y se realizó el análisis químico proximal de la carne, según a lo señalado por la Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2002)⁸³, mediante el método Kjeldahl para proteína bruta y grasa con éter dietílico como disolvente.

Finalmente al día 49, se recolectaron tres muestras de excretas (100 g por muestra) por tratamiento para determinar el contenido de nitrógeno y humedad, mediante el método señalado por la AOAC⁸³. Tanto las muestras de carne como las de excretas fueron analizadas por triplicado. Los análisis fueron realizados en el laboratorio de bromatología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM.

6.5 Análisis económico

Se estimó el margen de ganancia bruto (MGB)⁸⁴, como indicador de rentabilidad para determinar el porcentaje de cada peso de venta ganado una vez cubiertos los costos de alimentación, de gran utilidad en la toma de decisiones relacionadas a la forma de comercialización del producto (pollo vivo, entero o procesado) de acuerdo a la edad, la estirpe, el sexo y precios de venta del pollo de engorda.

La fórmula^{65,84} que se utilizó fue la siguiente:

$$\text{MGB (\%)} = [(\text{Precio de venta} - \text{Costo de alimentación}) \div \text{Precio de venta}] \times 100$$

6.6 Diseño experimental

Las aves se mantuvieron en producción hasta los 49 días de edad, utilizando un diseño experimental completamente al azar, con arreglo factorial 2x2x2; donde un factor fue la estirpe (Cobb500 y Ross308), otro el sexo (macho y hembra), y el tercero, con y sin reducción de 2 unidades porcentuales de proteína en las etapas de iniciación, crecimiento, finalización y en la etapa de retiro. Cada uno de los 8 tratamientos, tuvo 6 repeticiones de 25 pollos cada una, teniendo un total de 150 pollos en cada tratamiento, quedando conformados de la siguiente manera:

Tratamiento 1. Cobb500, macho, dieta normal

Tratamiento 2. Cobb500, macho, dieta reducida

Tratamiento 3. Ross308, macho, dieta normal

Tratamiento 4. Ross308, macho, dieta reducida

Tratamiento 5. Cobb500, hembra, dieta normal

Tratamiento 6. Cobb500 hembra, dieta reducida

Tratamiento 7. Ross308, hembra, dieta normal

Tratamiento 8. Ross308, hembra, dieta reducida

6.7 Análisis estadístico

Los datos de las variables en estudio se sometieron a un ANDEVA con arreglo factorial, para evaluar efectos principales y posibles interacciones entre factores. También se realizó el ANDEVA de un solo factor, para evaluar el efecto de reducción de proteína en cada estirpe. Se consideró una significancia del 5% y se hizo la comparación de medias a través de la prueba de Duncan, cuando se encontraron diferencias significativas. Para la construcción de gráficos se usaron los programas Microsoft Excel (2010) y Curveexpert v. 1.4 (2009) para Windows.

Las variables expresadas en porcentaje (mortalidad, CV para uniformidad en peso, rendimientos de la canal y sus componentes, así como las fracciones del análisis proximal de carne, humedad y nitrógeno en excretas), se transformaron previo al análisis, a una expresión angular mediante la fórmula $\text{arcoseno}\sqrt{\text{proporción}}$. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el programa SPSS v. 16.0 (SPSS Inc, Chicago, IL)⁸⁵ y de acuerdo al siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + P_j + S_k + (GP)_{ij} + (PS)_{jk} + (GPS)_{ijk} + E_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Valor de la variable respuesta (parámetros productivos, rendimiento y composición de la canal); μ = Media general poblacional para parámetros productivos, rendimiento y composición de la canal; G_i = Efecto del i-ésimo genotipo; P_j = Efecto del j-ésimo porcentaje de proteína; S_k = Efecto del k-ésimo sexo; $(GP)_{ij}$ = Efecto de interacción del i-ésimo genotipo y del j-ésimo porcentaje de proteína; $(PS)_{jk}$ = Efecto de interacción del j-ésimo porcentaje de proteína y del k-ésimo sexo; $(GPS)_{ijk}$ = Efecto de interacción del i-ésimo genotipo, j-ésimo porcentaje de proteína y del k-ésimo sexo; E_{ijk} = Error experimental, asociado a cada una de las observaciones.

7. RESULTADOS

Rendimiento productivo. Los datos de los parámetros productivos de 1 a 49 días se encuentran en el **Cuadro 9**. Se pueden observar las variables ganancia diaria de peso (GDP), ganancia de peso final, consumo de alimento, índice de conversión (I.C.), % de uniformidad y % de mortalidad (total y por síndrome ascítico). Se encontraron diferencias ($P < 0.01$) al factor estirpe donde la estirpe Ross 308 registró una mayor ganancia de peso (2916g vs 2780g), menor ($P < 0.01$) índice de conversión (1.91 vs 2.03) y menor ($P < 0.01$) % de mortalidad por síndrome ascítico (4.16% vs 10.33%) respecto a la estirpe Cobb 500. También se detectó efecto al sexo, en el cual los machos tuvieron mejores ($P < 0.01$) ganancia diaria de peso, ganancia de peso e índice de conversión respecto a las hembras. En cuanto al porcentaje de mortalidad por SA, también se observaron diferencias ($P < 0.01$) entre sexos, con mayor mortalidad en los machos que las hembras (11.33% vs 3.16%). Para el factor dieta, la dieta normal obtuvo una mayor ($P < 0.01$) tasa de crecimiento (g/día) y mayor ($P < 0.01$) ganancia de peso final en comparación a las dietas reducidas en proteína. La dieta no influyó ($P > 0.05$) sobre la mortalidad por síndrome ascítico así como en la uniformidad, que no se vio afectada ($P > 0.05$) por ninguno de los factores.

A continuación se describen los datos acumulados de los parámetros productivos obtenidos en los pollos de engorda mixtos de la estirpe Ross 308 y Cobb 500, con dieta normal y reducida, al final de cada fase productiva.

Consumo de alimento acumulado. En la etapa de iniciación y crecimiento la estirpe Cobb 500, mostró un mayor ($P < 0.01$) consumo de alimento que la estirpe Ross 308. Sin embargo, en la etapa de finalización y de retiro, el consumo de alimento resultó en apariencia similar ($P > 0.05$) entre estirpes. Por otra parte, el consumo de alimento no se vio afectado ($p > 0.05$) por el factor dieta en las diferentes etapas productivas (**cuadro 10**).

Ganancia de peso acumulada. Se detectó una mayor ($P<0.01$) ganancia de peso, en la fase de iniciación de la estirpe Cobb sobre la estirpe Ross, teniendo ganancias de 212^a, 195^b, 193^b y 183^c g en Cobb (21% PC), Cobb (19% PC), Ross (23% PC) y Ross (21% PC) respectivamente. En la fase de crecimiento se obtuvieron diferencias ($P<0.01$) entre dietas, no así entre estirpes al comparar la misma dieta ($P>0.05$). Las estirpes Ross (dieta reducida) y Cobb (dieta normal) alcanzaron un peso promedio similar de 2857 g (**Cuadro 10** y **Figura 3**).

Índice de conversión acumulado. No se encontraron diferencias significativas ($P>0.05$) entre estirpes, pero sí entre dietas ($P<0.01$) en fase de iniciación. A partir de la fase de crecimiento hasta la fase de retiro, el índice de conversión fue menor ($P<0.01$) en la estirpe Ross (dieta normal), seguido por la estirpe Ross (dieta reducida) y Cobb (dieta normal), sin diferencias significativas ($p>0.05$) entre estos dos últimos grupos. Esto puede observarse en el **Cuadro 10** y de forma gráfica en la **Figura 4**.

Mortalidad acumulada por síndrome ascítico. Tanto en la estirpe Ross como en la estirpe Cobb, no se encontraron diferencias ($P>0.05$) en etapas tempranas, sólo en la fase de finalización con mayor ($P<0.05$) mortalidad en la estirpe Cobb (**Cuadro 10**), lo que de manera general se puede apreciar en el análisis factorial

Rendimiento de la canal y cortes primarios. Los rendimientos promedio de la canal y cortes primarios, se pueden observar en el **Cuadro 11**. No se encontraron diferencias ($P>0.05$) en rendimiento (%) de la canal entre estirpes; sin embargo, la estirpe Ross mostró un mejor ($P<0.01$) peso al sacrificio y en consecuencia un mayor peso de la canal. Así mismo, el rendimiento de la canal fue mayor ($P<0.05$) en hembras, no obstante, la diferencia en peso al sacrificio y peso de la canal resultó a favor de los pollos machos (2699g vs 2390g) y (1894g vs 1702g) respectivamente. Por otra parte, la dieta afectó el rendimiento de la canal, encontrándose un mejor rendimiento ($P<0.05$) en las aves alimentadas con dietas

normales sobre las recibieron dietas reducidas. En cuanto a los cortes primarios (pechuga y piernas con muslos), el análisis factorial indicó efecto a los tres factores, con un mayor ($p < 0.05$) peso de estas piezas en pollos Ross, machos y dietas normales. Al considerar peso y rendimiento de estos cortes, los datos más consistentes se obtuvieron al comparar peso y rendimiento de pechuga entre dietas; así como el peso y rendimiento de piernas con muslos entre estirpes. El peso y rendimiento de grasa abdominal no refirió efecto alguno ($P > 0.05$).

Pigmentación amarilla en piel. Los valores obtenidos para esta variable medida en función del amarillamiento (b) en la zona apterica de la piel de la pechuga, son mostrados en el **Cuadro 12**. En este, se puede observar claramente un mayor ($P < 0.05$) amarillamiento en la piel de las hembras y en aves que fueron alimentadas con dietas reducidas en proteína, tanto en las mediciones tomadas en pollo vivo, como las realizadas en la canal caliente y canal fría.

Rendimiento magro y relación carne:hueso. Los pesos y rendimientos de los músculos de la pechuga (pectoral superficial y pectoral profundo), así como la obtención de carne magra (sólo músculos) de piernas con muslos, respecto al peso de la canal se observan en el **Cuadro 13** y **Figura 5**. El músculo pectoral superficial, mostró un mayor ($P < 0.05$) peso en las aves alimentadas con dietas normales que las alimentadas con dietas reducidas, tanto en Ross como en Cobb. A pesar de esto, sólo en la estirpe Cobb500 el rendimiento (%) fue mayor ($P < 0.05$) en la dieta normal en relación a la reducida. Aunque los pesos del músculo pectoral profundo indicaron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre dietas, no mostraron efecto ($P > 0.05$) sobre el porcentaje de rendimiento. En la comparación de peso y rendimiento de carne magra (músculos) obtenida de las piernas y los muslos, no hubo diferencias estadísticas ($P > 0.05$) entre dietas, sin embargo, se observó mejor ($p < 0.05$) el peso de carne magra en la estirpe Ross respecto a la Cobb, lo cual coincide con lo obtenido en el peso de piernas con muslos (incluida la piel) respecto al peso vivo detallado en el **Cuadro 11**.

Por otro lado, al separar músculo y hueso en piernas y muslos, los datos obtenidos no indicaron diferencias en el factor estirpe y factor dieta ($P>0.05$), aunque permanecieron ciertas diferencias numéricas de mayor rendimiento en la estirpe Ross. También se obtuvo el peso y rendimiento de la grasa visible de los muslos, y pese a no encontrar diferencias ($P>0.05$) entre dietas, los valores indican una tendencia numérica de mayor rendimiento de grasa visible en dietas reducidas respecto a las normales. Finalmente, la relación carne:hueso, no mostró diferencias estadísticamente significativas ($P>0.05$), con un valor promedio de 3.6 partes de carne por 1 de hueso (**Cuadro 14 y Figura 6**).

Análisis químico proximal de la carne de pechuga y pierna con muslos. La información obtenida en este apartado, se muestra en la **Figura 7**. Los datos no indicaron diferencias ($P>0.05$) por efecto de estirpe y de dieta, en cuanto al porcentaje de proteína cruda, extracto etéreo y cenizas.

Peso y porcentajes de rendimiento de órganos internos. En el **Cuadro 15**, aparecen los pesos y porcentajes de rendimientos de las vísceras y de órganos internos respecto al peso vivo y al paquete visceral. El paquete de vísceras, no mostró diferencias ($P>0.05$) entre dietas. En el factor estirpe, se encontró un mayor ($P<0.05$) rendimiento de vísceras en las aves de la estirpe Cobb alimentadas con dietas reducidas en proteína, lo cual se vio reflejado también en el porcentaje de hígado y molleja.

Determinación de humedad y nitrógeno en excretas. Los resultados de consumo de proteína, consumo de agua (1a. semana de crianza) y contenido de humedad y N total en excretas se observan en el **Cuadro 16**. Se puede apreciar de manera general, que el consumo de proteína determina el consumo de agua, observándose mayor ($P<0.05$) consumo de agua en los pollos machos que en las hembras y aquellos tratamientos que fueron alimentados con dietas normales. Sin embargo, al comparar el consumo de agua entre estirpes, este fue mayor ($P<0.05$)

en las aves Cobb, pese a que el consumo de proteína en este caso fue superior ($P < 0.05$) en las aves de la estirpe Ross.

El porcentaje de humedad determinado en excretas fue congruente con el consumo de agua, más que con el consumo de proteína, observando mayor humedad en las excretas de pollos machos respecto a las hembras; así como en el caso de la estirpe Cobb y en los tratamientos alimentados con dietas normales. En cambio, el porcentaje de nitrógeno total en excretas si coincidió directamente con el consumo de proteína, obteniendo mayor ($P < 0.05$) eliminación de nitrógeno en pollos machos, en la estirpe Ross y en pollos alimentados con dietas normales en relación a las hembras, estirpe Cobb y dietas reducidas.

Consumo de proteína y lisina. En la **Figura 8** se muestra que el consumo de proteína fue similar ($P > 0.05$) entre Cobb y Ross, entre dietas normales, a lo largo del ciclo productivo. El consumo de lisina se comportó acorde a la suplementación recomendada de este aminoácido en cada estirpe, siendo mayor ($P < 0.05$) en la estirpe Ross (tanto en dieta normal y reducida), hasta la segunda fase productiva (datos no mostrados). Posteriormente, el consumo de lisina fue similar ($P > 0.05$) entre estirpes, así como entre dietas al terminar el periodo de crianza a los 49 d.

Margen de ganancia bruto del pollo en pie, en canal y carne de pechuga. El costo del alimento en cada fase productiva muestra, una diferencia de 60 pesos por tonelada de alimento al comparar dietas normales y reducidas. Lo anterior demuestra cierta ventaja a favor de las dietas reducidas; sin embargo, el costo del alimento por kg de pollo (vivo, canal, pechuga) representó todo lo contrario. Ante esto, la ganancia bruta (precio de venta menos el costo del alimento), fue mayor en dietas normales comparada con las dietas reducidas, siendo más evidente la diferencia numérica entre dietas en la estirpe Cobb (**Cuadro 17**).

8. DISCUSIÓN

La reducción de dos unidades porcentuales de proteína en la formulación de las dietas, mostró una disminución del 5% en el rendimiento productivo de las aves, comparado al usar dietas normales, que fueron elaboradas con base a lo recomendado en los manuales nutricionales de cada estirpe^{79,80}. Algunos estudios señalan que la suplementación de metionina, lisina y treonina, puede sostener la producción, cuando la reducción de proteína en la dieta de pollos de engorda no es mayor a 1.8 unidades porcentuales, mientras los ingredientes utilizados tengan una elevada digestibilidad⁶⁸. Sin embargo, en un estudio publicado recientemente, se indica que la reducción de 2 unidades porcentuales en la proteína dietética, no afecta la eficiencia productiva, aun cuando la dieta esté constituida por ingredientes de baja digestibilidad, como el gluten de maíz⁷².

En cuanto al rendimiento entre estirpes, Ross fue relativamente más eficiente al utilizar el alimento que Cobb, aunque como se explica más adelante, las estirpes pueden responder de forma diferente al aporte de proteína y aminoácidos⁷⁵. Dentro de lo esperado, fue lo obtenido entre sexos, donde los pollos machos mostraron una tasa de crecimiento mayor (10 %) al de las hembras, lo cual ya ha sido reportado anteriormente⁸⁶. Estas diferencias entre dietas, sexos y estirpes, toman mayor importancia al considerar que la uniformidad no demostró ser diferente en ningún caso, lo que confirma en cierto modo lo observado por Brickett *et al.* (2007)⁸⁷ quienes encontraron que la uniformidad está influenciada por la presentación de alimento, no así por la densidad de aminoácidos en la dieta. Otros autores^{3,57}, señalaron haber encontrado mayor variación en peso (menor uniformidad), utilizando dietas bajas en proteína cruda. En relación a la estirpe, Corzo *et al.* (2010)⁷⁰ describieron a pollos de la estirpe Cobb 500 con valores bajos en el coeficiente de variación (C.V. = 6.56), señalando a la uniformidad como un buen atributo de la estirpe, sin embargo, en este caso no demostró tener una uniformidad diferente a la encontrada en los pollos de la estirpe Ross.

Por otro lado, el porcentaje de mortalidad por síndrome ascítico fue mayor en la estirpe Cobb, cuyo peso y tasa de crecimiento en las primeras 3 semanas fue mayor que la estirpe Ross, similar a lo informado en otro estudio que mostró una mortalidad por SA de 10.83 % en Cobb vs 0.83 % en Ross, experimento realizado a 2700 msnm⁸⁶. Algunos investigadores^{88,89}, han comprobado que el peso y la tasa de crecimiento son determinantes en la incidencia de este trastorno metabólico, lo que explica también el mayor porcentaje de mortalidad registrado por SA en machos. La mayor tasa de crecimiento, implica un mayor desgaste fisiológico y una mayor necesidad de captación de oxígeno, por lo que la altura (2250 msnm) a la cual fueron criadas las aves en este proyecto, teóricamente limitó la captación de oxígeno, donde la presión parcial de oxígeno es menor⁸⁹.

Ciertamente, el retraso del crecimiento, es utilizado como principio en estrategias nutricionales, como la restricción alimenticia, programas de iluminación y la presentación de alimento^{87,90}, para reducir la mortalidad por síndrome ascítico y muerte súbita, sin mucho éxito en programas alimenticios relacionados con la densidad de aminoácidos o proteína, lo que requiere un mayor estudio^{71,87}. A pesar de esto, tanto la uniformidad como la mortalidad por síndrome ascítico parecen incrementar con el uso de dietas con mayor porcentaje de proteína, y aunque casi siempre esto significa mayor ganancia de peso, la mortalidad por SA parece estar más ligada a la tasa acelerada de crecimiento en etapas tempranas, mientras que la uniformidad a una mayor eficiencia en la utilización del alimento, por lo que hay quien menciona que la mayor tasa de crecimiento no siempre es sinónimo de eficiencia alimenticia⁹¹.

A nivel de rastro, se demostró que el peso vivo influyó para la obtención de un mejor peso de la canal eviscerada, peso de la pechuga (sin piel y sin hueso) y peso de piernas unidas a los muslos (con piel y con hueso), características que se sabe guardan una correlación positiva con el peso al sacrificio, con valores de $r=0.90$, $r=0.64$ y $r=0.70$ respectivamente, según García (2009)⁹². Esto explica

como los datos obtenidos favorecieron a la estirpe Ross, pollos machos y pollos alimentados con dietas normales (sin reducción de proteína), no obstante, el factor estirpe tuvo mayor influencia sobre el peso y rendimiento de piernas y muslos, aun considerando únicamente el tejido muscular de dicho corte, lo que difiere con los resultados encontrados en el corte de pechuga, que desde un inicio fue obtenido sin piel y sin hueso, observando los resultados mayormente influenciados por el sexo y la dieta, algo semejante a lo reportado por Vieira *et al.* (2004)⁶⁴.

Es de mencionar que los pollos alimentados con dietas normales, a diferencia de los pollos alimentados con dietas reducidas, tuvieron un mayor consumo de proteína por kg de peso ganado (355 vs 334 g PC), y la misma cantidad de proteína por cada 100 g de pechuga obtenida (185 vs 186 g PC). Algo similar, se ha determinado por ecuaciones de regresión, demostrándose que los pollos alimentados con mayor cantidad de proteína en la dieta (26 %PC), requirieron más de esta por cada kg de peso ganado, mientras que en pollos alimentados con menor porcentaje de proteína en la dieta (20.5 %PC) requirieron 20 % menos del total de proteína⁶⁴. Esto último sólo puede explicar que bajo condiciones de menor aporte de proteína en la dieta, esta es destinada para la obtención de energía o bien para la elaboración de otro tipo de proteínas, según las prioridades del organismo, lo que impide lograr un mayor peso corporal. En el caso particular de esta investigación, el mayor consumo de proteína por kg de masa muscular al utilizar dietas normales, se puede entender como un aporte óptimo de proteína y de aminoácidos, que permitió a las aves tomar libremente los aminoácidos necesarios de la proteína intacta para deposición en músculo. Las muestras de carne analizadas no mostraron efecto debido al factor sexo, estirpe o dieta, para las fracciones de proteína y grasa cruda. Se han indicado diferencias en proteína cuando se utilizan distintas densidades de aminoácidos en la dieta⁷⁰, diferente a lo planteado en la formulación de dietas en este experimento cuyo objetivo era mantener la misma densidad de aminoácidos con reducción de proteína.

En ese sentido, las dietas normales mostraron en la formulación un aporte adecuado de metionina, lisina, treonina, triptófano y arginina, sin embargo, en las dietas reducidas, el aporte de arginina digestible (0.78%) no demostró estar cubierto en su totalidad conforme al mínimo recomendado por el manual de cada estirpe; 0.96% para Cobb y 0.93% para Ross, en fase de Retiro; lo mismo ocurrió en las demás fases. Corzo *et al.* (2003)⁹³ propusieron un nivel óptimo en etapa de finalización de 0.98 %, 1.00 % y 1.05 % para ganancia de peso, peso de canal y peso de pechuga respectivamente, lo que supone mayor desventaja para las dietas reducidas entendiendo que fueron formuladas con un 20 % de arginina por debajo de lo recomendado por estos autores, quienes además citan a la arginina como un aminoácido involucrado en procesos inmunológicos, por lo que su deficiencia puede ser relevante ante desafíos de enfermedad. También se menciona que bajo condiciones de deficiencia, la arginina presenta cierto antagonismo con lisina, sobre todo cuando este último aminoácido está en exceso^{94,95}. Asociado a esta información se ha indicado que el requerimiento de arginina para coadyuvar al sistema inmunológico es superior al de ganancia de peso y eficiencia alimenticia⁹⁶.

Con esto se puede resaltar que bajo un mismo contenido de aminoácidos limitantes, la deficiencia de arginina en la dieta puede ser detrimental para la productividad del pollo de engorda aunado al hecho de que las dietas formuladas como “normales”, cubrieron con los requerimientos óptimos de proteína y aminoácidos, lo que pudo aportar adicionalmente cierta cantidad de AA esenciales o no esenciales, comparado con las dietas reducidas en proteína, permitiendo a los pollos ser más eficientes al convertir proteína en músculo. Al relacionar esto con el consumo de alimento, se puede apreciar que fue similar entre dietas, lo que permitió un mayor consumo de proteína en los pollos alimentados con dietas normales, aunque el mismo consumo de lisina en ambas dietas, derivado de la formulación en base digestible de los aminoácidos más limitantes, lo que reitera que el mayor consumo de proteína implicó un mejor aporte de aminoácidos.

Previamente, Aftab *et al.* (2006)¹⁸, relacionaron dietas bajas en proteína con un pobre balance entre AAE y AANE, menor eficiencia en la utilización de aminoácidos libres y abasto deficiente de nitrógeno no específico, esto último citado en la revisión al suplementar dietas con AANE^{47,76,77}. Esto en cierta forma, señala las causas del menor rendimiento productivo obtenido al utilizar dietas reducidas en dos unidades porcentuales de proteína, lo que según Guaiume (2007)⁹⁷ puede ser demasiado drástico aun cuando la dieta sea balanceada con aminoácidos sintéticos, situación que encontró al experimentar con dietas reducidas en 1.5 y 2.1 unidades porcentuales en pollos de engorda, donde para el segundo caso fue necesaria la adición de aminoácidos como la isoleucina. Esto hace hincapié en un punto quizá no menos importante, que se refiere al nivel de inclusión de aminoácidos sintéticos, para igualar en proporción la densidad de aminoácidos, deficiente en dietas reducidas respecto a dietas normales. Además es necesario observar que comúnmente las dietas óptimas en proteína también sustituyen, aunque en menor porcentaje el contenido de ingredientes proteicos por aminoácidos sintéticos. Se sabe que los aminoácidos cristalinos (sintéticos) poseen una digestibilidad cercana al 100%²⁴, por lo que de acuerdo a esta digestibilidad, si estos son incluidos en mayor proporción en dietas reducidas en proteína sobre las dietas normales, ofrece mayor probabilidad de obtener los mismos rendimientos, tal como se ha observado en varios estudios^{72,98,99}. En el presente estudio se adicionaron aminoácidos sintéticos (DL-Met, L-Lis y L-Tre), tanto a dietas normales como a dietas reducidas, lo que pudo mantener cierta ventaja indeseable al comparar el comportamiento productivo entre dietas, aun cuando ambas fueron formuladas bajo el concepto de proteína ideal.

Así mismo, se determinó que el mayor consumo de proteína requirió un mayor consumo de agua, al menos durante los primeros días de edad, donde fue registrado dicho consumo, observándose de esta manera mayor consumo de agua en los pollos machos y aquellos que fueron alimentados con dietas normales, aunque este comportamiento también fue observado en la estirpe Cobb, cuyo

consumo de proteína estimado no fue precisamente mayor al de la estirpe Ross, por lo que en este caso, el consumo de agua no parece estar determinado por el de proteína y existen reportes que confirman una mayor ingestión de agua en la estirpe Cobb comparado con Ross⁸⁶. Ciertamente, resultaría útil contar con datos del consumo de agua en todo el ciclo de engorda para establecer si existen diferencias reales entre estirpes.

El porcentaje de humedad determinado en excretas fue congruente con el consumo de agua (aunque corresponden a dos periodos distintos), más que con el consumo de proteína, observando mayor humedad en las excretas de pollos machos, en la estirpe Cobb y en la de los pollos alimentados con dietas normales. Lo observado entre estirpes requiere mayor atención para ser concluyente, pero en cuanto a lo observado entre dietas normales y reducidas, es sumamente claro que el mayor porcentaje de proteína en la dieta, implica mayor contenido de humedad en la cama, tal como ha sido demostrado también por Woyengo *et al* (2010)⁷¹. Se sabe que el ácido úrico contenido en las excretas al unirse con el H₂O se transforma en amoníaco, por acción de enzimas bacterianas, por lo que a mayor humedad habrá mayor conversión de N-úrico a amoníaco, que representa más del 60 % del nitrógeno total²⁶. En relación a esto, se encontró en la presente investigación, mayor liberación de nitrógeno total en excretas, coherente con lo estimado en el consumo de proteína en pollos alimentados con dietas normales. En relación a esto, algunos autores^{63,73,74}, han señalado que por cada unidad porcentual de proteína reducida, es posible disminuir 8.8 % la excreción de N en excretas, 10 % menos en la emisión de amoníaco y 2 % menos de humedad en cama, lo cual es superior a lo obtenido en este trabajo donde se encontró: 3% menos de liberación de N en excretas y 1% menos de humedad, por cada unidad porcentual de proteína reducida en la dieta. Esto quizá resulta incipiente, sin embargo, sólo representa el N liberado al día 49 del ciclo de engorda, por lo que es recomendable para futuras investigaciones determinar su concentración al término de cada semana o fase productiva.

Por otra parte, se sabe que dietas reducidas en proteína muestran un mayor engrasamiento de la canal y varios autores coinciden en que la grasa abdominal es un indicador de dicho engrasamiento, constituyendo cerca del 15% del total de la grasa corporal^{32,59}. Esto es importante cuando se desea obtener características deseables de la canal como lo es la pigmentación amarilla en la piel, tema de gran interés en México, debido a las preferencias visuales del consumidor al adquirir productos avícolas. Es conocido que el patrón de engrasamiento de la canal tiene relación con la concentración de xantofilas depositadas en la piel, de tal forma que es posible modificar la pigmentación influyendo sobre el contenido de grasa en la canal, tal como lo indicaron Oscar *et al.* (1995)¹⁰⁰. Esto en principio está influenciado por el sexo, donde se ha visto que las hembras presentan entre 1.5 y 1.7 unidades delta de amarillamiento en la piel mayor al de los machos (Muñoz *et al.*, 2009)¹⁰¹, similar a lo observado en esta investigación, con valores cercanos a 2 unidades delta de diferencia entre sexos, de la misma manera que se observó entre dietas, con mayor amarillamiento en dietas reducidas en proteína. Estos casos representan, presumiblemente aves con mayor contenido de grasa abdominal, según lo señalado por Smith y Pesti (1998)³² y Nagaraj *et al.* (2007)⁶³, aunque no fue lo encontrado en este experimento, registrándose valores muy parecidos en el peso y rendimiento de grasa abdominal entre sexos, estirpes y dietas. Lo obtenido en grasa visible separada de muslos, tuvo mayor coherencia con el grado de pigmentación de las canales, aunque por el tamaño de muestra no es posible considerarlo como un indicador determinante del engrasamiento de la canal, aunque tampoco lo fue la grasa abdominal.

El peso y rendimiento de órganos recuperados (corazón, hígado y molleja), para establecer un efecto por la reducción de proteína en la dieta, tampoco arrojó datos contundentes, pese a lo observado en parámetros productivos y características de la canal. Algunos reportes, señalan cierto incremento en la proporción de órganos como el corazón, proveniente de pollos alimentados con dietas por encima de 19 % PC, lo que en este estudio sólo fue observado de manera numérica en el peso

del corazón entre dietas normales y reducidas⁶². Por otro lado, Sterling *et al.* (2006)⁷⁵, mencionaron que el peso del hígado no se vio afectado en un rango de 17 a 23 % PC incluida en la dieta, lo cual no concuerda con lo observado en este experimento, ya que hubo aparentemente un mayor rendimiento del hígado respecto al peso vivo en la estirpe Cobb (dieta reducida), lo cual también fue proporcional al peso absoluto de dicho órgano. En humanos se describe que cuando existe deficiencia de proteína en la dieta con ingesta relativamente adecuada de energía, puede verse disminuida la síntesis proteica con acumulación excesiva de triglicéridos, que puede desembocar en edema y en aumento de tamaño en hígado²³. Esto tendría que integrarse con información adicional, como concentración de proteínas plasmáticas y análisis proximal del hígado para determinar si ocurrió algo similar a lo mencionado. En general se ha indicado que el peso de órganos como corazón, hígado y molleja aumenta conforme se incrementa la proteína en la dieta, aunque sin diferencias entre dietas con 20 y 40 % de proteína¹⁰². Esto no pudo ser demostrado, quizá por la reducción minúscula de 2 unidades porcentuales de proteína en la dieta, lo cual parece tener mayor impacto sobre características productivas.

Rescatando el punto de comparación entre las estirpes Cobb y Ross, se encontró que para un contenido parecido de proteína en la dieta durante toda la crianza, se pudo observar un comportamiento productivo similar entre Cobb (dieta normal) y Ross (dieta reducida). Existen datos que demuestran que la estirpe Cobb puede responder de forma más eficiente al porcentaje de proteína, una vez que tiene cubierto de forma ideal sus requerimientos de lisina, lo cual se ha indicado que es menor al de la estirpe Ross⁷⁵, esto mismo es visto al comparar las recomendaciones nutricionales en los manuales de cada estirpe^{79,80}. Por su parte, Corzo *et al.* (2010)⁷⁰ señalaron que Cobb responde directamente proporcional a la densidad de aminoácidos de 7 a 14%, lo que incrementó en la misma proporción el porcentaje de proteína en la dieta. Esto no demostró diferencias en peso y rendimiento de canal, aunque si mejores resultados en carne de pechuga y grasa

abdominal, con un mayor y menor rendimiento para cada uno de ellos al utilizar dietas con alta densidad de aminoácidos. Vieira *et al.* (2004 y 2007)^{64,103}, han demostrado que tanto el pollo Cobb como el Ross responden de forma positiva al aumentar la densidad de aminoácidos en la dieta, reportando mejores resultados en la estirpe Cobb, bajo el mismo esquema nutricional, y a una altura menor a los 320 msnm. Otros estudios añaden que ambas estirpes responden positivamente al aumentar la densidad de aminoácidos en la dieta, refiriéndose al pollo Cobb con mejores parámetros productivos que Ross bajo esquemas de proteína y aminoácidos semejantes¹⁰⁴, e incluso en condiciones de crianza a gran altitud⁸⁶.

Debido a esto, se puede pensar que la estirpe Cobb efectivamente responde mejor al contenido de proteína por cierto requerimiento de nitrógeno no específico, inducido por un mayor porcentaje de proteína o por una mayor densidad de aminoácidos, que necesariamente aporta una mayor cantidad, no sólo de proteína sino de aminoácidos no esenciales. Lo anterior se aprecia mejor al observar como los pollos de la estirpe Cobb tuvieron un menor rendimiento productivo al reducirle 2 unidades porcentuales de proteína. Esta diferencia fue mayor a la observada entre la estirpe Ross con dieta normal y Ross con dieta reducida, lo que de algún modo soporta la teoría de que Cobb se ve más afectado por la reducción proteínica con respecto a la estirpe Ross, en cuanto a ganancia de peso e índice de conversión se refiere. Esto fue similar a lo encontrado en carne de pechuga, donde se observa mayor diferencia entre dietas normales y reducidas en la estirpe Cobb, aunque con mayor rendimiento al compararlo con Ross, lo cual resulta complejo de entender, tratándose de la pechuga, cuyo requerimiento de lisina implica un mayor ajuste al requerido para ganancia de peso. Atendiendo lo mencionado por Sterling *et al* (2006)⁷⁵, es posible que el aumento de lisina en las dietas reducidas en proteína pudiera mejorar lo encontrado en pechuga.

Para verificar lo anterior, se podría establecer un experimento considerando dos porcentajes de proteína acompañados de dos densidades de aminoácidos; uno

satisfaciendo los requerimientos mínimos y otro por arriba de estos, con lo cual sería factible deducir si ambas estirpes responden de igual manera al contenido de PC y AA en la dieta. Por el momento, se puede decir que Ross fue más eficiente que Cobb, bajo un esquema nutricional similar, considerando que en las dos últimas etapas productivas, Ross tuvo un menor porcentaje de proteína, lo que reafirma la importancia de satisfacer los requerimientos nutricionales en etapas tempranas, tal como lo señalaron Corzo *et al.* (2010)⁷⁰.

En cuanto al análisis económico, es importante mencionar que pese a lograr un máximo crecimiento y producción, esto tampoco puede asegurar el máximo retorno económico, particularmente cuando los precios de las fuentes proteicas son elevados. Esto ha modificado desde hace un par de décadas la forma de comercializar el pollo de engorda, por lo que incrementar la productividad, cada vez se refiere más al rendimiento de la canal eviscerada y al de la carne de pechuga, y no solo al máximo peso vivo y/o eficiencia alimenticia¹⁰⁵.

En la presente investigación se comprobó que empleando dietas reducidas en 2 unidades porcentuales de proteína, se disminuyen los costos del alimento en un 1 o 2 %, coincidente con estudios previos⁹⁸, aunque se ha indicado que se pueden reducir de 3.5 a 5 % los costos por kg de alimento en cada una de las etapas productivas^{62,65}. En este experimento a pesar de que los precios son vigentes al momento de su realización, no representa el peor de los escenarios en torno al precio de insumos, tanto en ingredientes energéticos como proteicos, donde los precios del sorgo y la pasta de soya pueden incrementarse hasta en 12 o 17 %, de acuerdo a datos recientes¹⁰⁶, lo que apoyaría en mejor forma la decisión de reducir la proteína en dietas para pollo de engorda⁶⁴.

A pesar de esto, no deja de ser importante evitar que se incremente el costo del ave en pie o en canal, por incremento en el índice de conversión, lo que afectaría directamente el margen de ganancia bruto, que en este caso, se observó que pese

al menor costo relativo de la dieta por reducción de proteína, se obtuvo un mayor costo de alimento por kg de producto (pollo en pie, canal o carne de pechuga), al ser menor lo producido bajo un esquema alimenticio de menor proteína. Sin embargo, se aprecia como oportunidad rentable, vender el pollo en pie a los 42 días de edad en ambas estirpes, y mejor aun cuando se utilizan dietas normales. También es posible comprobar que la diferencias en rentabilidad son menores al vender el pollo en pie, a los 42 y 49 días en la estirpe Ross con respecto a Cobb, no así al vender el producto en canal o en pechuga, donde el margen de ganancia bruto es más cercano entre dietas en la estirpe Cobb.

Finalmente, bajo un programa similar de porcentaje de proteína en la dieta, la estirpe Ross, presenta un mayor margen de ganancia bruto, al menos de acuerdo con los datos obtenidos en esta investigación, sin considerar el beneficio que constituye la menor mortalidad registrada en esta estirpe, lo que ha demostrado mayor utilidad, por encima de mejores parámetros productivos, según lo reportado por otros autores al comparar las mismas estirpes⁸⁶. Esto mismo fue reflejado al analizar el margen de ganancia bruto en hembras, situación muy diferente a lo observado en machos donde la estirpe Cobb (dieta normal) obtiene una mayor utilidad que la estirpe Ross (dieta reducida), muy cercano a lo estimado con Ross (dieta normal) a los 42 y 49 días. No obstante, algunos autores han señalado que la mejor oportunidad para maximizar ganancias, sobre el precio de los ingredientes y de la dieta, se encuentra en los precios de venta^{65,84,91}, sin embargo, la precisión en la formulación seguirá siendo fundamental para optimizar el uso de los nutrientes contenidos en la dieta, así como el uso de otros insumos o aditivos que promuevan un menor costo de formulación, tales como fuentes concentradas de energía, enzimas y por supuesto la inclusión de otros aminoácidos sintéticos que conforme se agreguen a la lista de los más utilizados comercialmente, será posible reducir sin tanto riesgo dos unidades porcentuales de proteína a la dieta.

9. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos y bajo las condiciones experimentales empleadas indican que:

- ✓ La eficiencia productiva en pollo de engorda a los 49 días de edad, mostró ser 5% mejor en dietas normales, independiente del sexo y la estirpe.
- ✓ La reducción de proteína repercutió más en la estirpe Cobb respecto a la estirpe Ross en cuanto a ganancia de peso e índice de conversión.
- ✓ El mayor crecimiento (g/día) a los 21 d, se reflejó en mayor mortalidad por síndrome ascítico en pollos machos sobre hembras y en pollos de la estirpe Cobb sobre los de la estirpe Ross bajo un contenido similar de proteína.
- ✓ El peso y rendimiento de la pechuga fue consistentemente mejor en dietas normales así como el peso y rendimiento de piernas con muslos, fue mejor en la estirpe Ross.
- ✓ La coloración amarilla en piel fue mayor en pollos alimentados con dietas reducidas en proteína.
- ✓ Se detectó disminución del 3 % en la excreción de N en las excretas, por cada unidad porcentual de proteína reducida en la dieta.
- ✓ Bajo un esquema de alimentación similar de proteína en las cuatro etapas productivas, la estirpe de pollos Ross308 resultó más eficiente que la estirpe Cobb500, con relación a un menor índice de conversión, menor mortalidad por síndrome ascítico y con mayor margen de ganancia bruto estimado en venta de pollo en pie, en canal y carne de pechuga.

10. LITERATURA CITADA

1. Kidd, MT., Kerr, BJ., Halpin, KM., McWard, GW. and Quarles, CL. Lysine levels in starter and grower-finisher diets affect broiler performance and carcass traits. *J Appl Poult Res* 1998, 7 (4): 351-358.
2. Nikolova, N. and Pavlovski, Z. Major carcass parts of broiler chicken from different genotype, sex, age and nutrition system. *Biotech Anim Husbandry* 2009, 25 (5-6): 1045-1054.
3. Shahin, KA. and Elazeem, FA. Effects of breed, sex and diet and their interactions on carcass composition and tissue weight distribution of broiler chickens. *Arch Tierz Dummerstorf* 2005, 48 (6): 612-626.
4. Zerehdaran, S., Vereijken, ALJ., Van Arendonk, JAM. and Van Der Waaij, EH. Effect of age and housing system on genetic parameters for broiler carcass traits. *Poult Sci* 2005, 84 (6): 833-838.
5. Boekholt, HA., Van Der Grinten, PH., Schreurs, VAM., Los, MJN. and Leffering, CP. Effect of dietary energy restriction on retention of protein, fat and energy in broiler chickens. *Poult Sci* 1994, 35 (4): 603-614.
6. Donohue, M. and Cunningham, DL. Effects of grain and oilseed prices on the costs of US poultry production. *J Appl Poult Res* 2009, 18: 325-337.
7. Shwedel, K. La volatilidad del mercado motiva cambios en la avicultura. *Industria avícola* 2012, 59 (1): 12-13.
8. Cuca, GM. y Ávila, GE. Fuentes de energía y proteínas para la alimentación de las aves. *Ciencia Veterinaria* 1978,2: 328.
9. Thornton, G. y Clements, M. Encuesta de Nutrición y Alimentación: La optimista industria avícola está lista para invertir. *Industria Avícola* 2010, 57 (5): 14-20.
10. Corzo, A., Loar II, RE. and Kidd, MT. Limitations of dietary isoleucine and valine in broiler chick diets. *Poult Sci* 2009, 88: 1934-1938.
11. Emmert, JL. and Baker, DH. Use of the protein concept for precision formulation of amino acid levels in broilers diets. *J Appl Poult Res* 1997, 6 (4):462-470.
12. Baker, D. H. Advances in protein-amino acid nutrition of poultry. *Amino acids* 2009, 37:29-41.
13. Ravindran, V., Cabahug, S., Ravindran, G. and Bryden, WL. Influence of microbial phytase on apparent ileal amino acid digestibility of feedstuffs for broilers. *Poult Sci* 1999, 78 (5): 699-706.
14. Stilborn, HL., Moran Jr., ET., Gous, RM. and Harrison, MD. Influence of age carcass (feather-free) amino acid content for two broiler strain-crosses and sexes. *J Appl Poult Res* 2010, 19 (1): 13-23.
15. Corzo, A., Fritts, CA., Kidd, MT. and Kerr, BJ..Response of broiler chicks to essential and non-essential amino acid supplementation of low crude protein diets *Anim Feed Sci Tech* 2005,118: 319-327.
16. Leuchtenberger, W., Hutchmacher, K. and Drauz, K. Biotechnological production of amino acids and derivates: current status and prospects. *Appl Microbiol Biot* 2005, 69 (1): 1-8.

17. Kerr, BJ. and Kidd., MT. Amino acid supplementation of low-protein broiler diets: 2. Formulation on an ideal AA basis. *J Appl Poult Res* 1999, 8 (3): 310-320.
18. Aftab, U., Ashraf, M. and Jiang, Z. Low protein diets for broilers. *Worlds Poult Sci J* 2006, 62: 688-701.
19. Wright, C. Empresas líderes 2010 – Productores líderes de pollos de engorda. *Industria Avícola* 2010, 57 (1): 18-23.
20. Maynard, LA., Loosli, JK., Hintz, HF. and Warner, RG. *Nutrición animal*. México, D.F. 4a ed., Mc Graw-Hill, 1985: pp. 144-162, 186-187.
21. Laguna, J. y Piña, GE. *Bioquímica*. México, JGH editores, 4ª ed., 1995: 96-128, 404-415.
22. Church, DC., Pond, WG. and Pond, KR. *Fundamentos de nutrición y alimentación de animales*. México, D.F., Limusa, 2002: pp. 129-144.
23. Murray, RK., Mayes, PA., Granner, DK. y Rodwell, VW. *Bioquímica de Harper*. México, D.F., Manual moderno. 14 ed., 1997: pp 29-31, 194-196, 345-361.
24. Cuca, GM., Ávila, GE. y Pro, MA. *Alimentación de las aves*. Universidad Autónoma de Chapingo, México, D.F., 2009: pp. 19-42.
25. Randall, D., Burggren, W. and French, K. *Fisiología animal: mecanismos y adaptaciones*. Madrid, España. McGraw-Hill, 4ª ed., 1997: pp. 675-680, 721.
26. Nahm, KH. Evaluation of the nitrogen content in poultry manure. *Worlds Poult Sci J* 2003, 59: 77-88.
27. Firman, JD. and Boling, SD. Ideal protein in turkeys. *Poult Sci* 1998, 77: 105-110.
28. Baker, DH. and Han, Y. Ideal amino acid profile for chicks during the first three weeks posthatching. *Poult Sci* 1994, 73: 1441-1447.
29. NRC (National Research Council). *Nutrient Requirements of Poultry*. 9th Rev. Edition. Natl. Acad. Press, Washington, D.C. 1994.
30. Rostagno, HS., Teixeira, ALF., Lopes, DJ., Cezar, GP., Oliveira, FR., Clementino, LD., Soares, FA., Toledo, BSL. de, and, Frederico, ER. *Brazilian tables for poultry and swine*. Universidade Federal de Vicosa-Departamento de Zootecnia, Brazil. 3ª ed. 2011: 103-122.
31. Gous, RM. Making progress in the nutrition of broilers. *Poult Sci* 1998, 77:111-117.
32. Smith, ER. and GM. Pesti. Influence of broiler strain cross and dietary protein on the performance of broilers. *Poult Sci* 1998, 77 (2): 276 – 281.
33. Gutierrez, O., Surbakti, N., Haq, A., Carey, JB. and Bailey, CA. Effect of continuous multiphase feeding schedules on nitrogen excretion and broiler performance. *J Appl Poult Res* 2008, 17: 463-470.
34. SIAP (Servicio de información agroalimentaria y pesquera). *Situación actual y perspectivas del maíz en México 1996-2012*, 2007.
35. Gaucín, PSD. y Torres, GE. *Panorama agroalimentario: Sorgo*, 2010. FIRA. Dirección de Análisis Económico y Sectorial, 2010: 21 pp.
36. Selle, PH., Cadogan, DJ., Li, X. and Bryden, WL. Implications of sorghum in broiler chicken nutrition. *Anim Feed Sci and Tech* 2010, 156: 57-74.
37. CONASIPRO (Comité Nacional Sistema Producto Oleaginosas). *Oleaginosas en cadena*. Boletín bimestral publicado por el CNSPO, México D.F., 2007.
38. Rostagno, HS., Pupa, JMR. and Pack, M. Diet Formulation for broilers based on total versus digestible amino acids. *J Appl Poultry Res* 1995, 4 (3): 293-299.

39. Gualtieri, M. and Rapaccini, S. Sorghum grain in poultry feeding. *Worlds Poult Sci J* 1990, 46: 246-254.
40. Garcia, RG., Mendes, AA, Sartori, JR., Paz, ICLA., Takahashi, SE. Digestibility of feeds containing sorghum, with and without tannin, for broiler chickens submitted to three room temperatures. *Rev Bras Cienc Avic* 2004, 6 (1).
41. Mikic, A., Peric, V., Dordevic, V., Srebric, M. and Mihailovic, V. Anti-nutritional factors in some grain legumes. *Biotech Anim Husb* 2009, 25 (5-6): 1181-1188.
42. Corzo, A., Kidd, MT., Dozier III., WA. and Vieira, SL. Marginality and needs of dietary valine for broilers fed certain all-vegetable diets. *J Appl Poult Res* 2007, 16 (4): 546-554.
43. Corzo, A., Dozier, WA., III, Kidd, MT. and Hoehler, D. Impact of dietary isoleucine status on heavy-broiler production. *Int J Poult Sci* 2008, 7 (6): 526-529.
44. Waldroup, PW. Influence of branched-chain amino acid balance in broiler diets. *Int J Poult Sci* 2002, 1 (15): 136-144.
45. Kidd, MT. and Kerr, BJ. L-Threonine for poultry: A review. *J Appl Poult Res* 1996, 5 (4): 358-367
46. Kidd, MT., Kerr, BJ., Allard, JP., Rao, SK. and Halley, JT. Limiting amino acids response in commercial broilers. *J Appl Poult Res* 2000, 9 (2): 223-233.
47. Waguespack, AM., Powell, S., Bidner, TD., Payne, RL. and Southern, LL.. Effect of incremental levels of L-Lys and determination of the limiting aminoacids in low crude protein corn-soybean meal diets for broilers. *Poult Sci* 2009, 88: 1216-1226.
48. Askelson, CE. and Balloun, SL. Influence of dietary protein level and amino acid composition on chick performance. *Poult Sci* 1965, 44 (1): 193-197.
49. Malveda, M., Xiaomeng, Ma, Müller, S. Major Amino Acids, 2009 [Consultado en <http://www.sriconsulting.com/CEH/Public/Reports/502.5000/> el día 10/Oct/2010].
50. Ajinomoto Animal Nutrition. Aminoácidos para nutrición animal, 2010 [Consultado en http://www.lisina.com.br/empresa_esp.aspx el día 02/Oct/2010].
51. Leclerq, B. Specific effects of lysine on broiler production: comparison with threonine and valine. *Poult Sci* 1998, 77: 118-123.
52. Reyes, SE., Cortés, CA., Morales, BE. y Ávila, GE. Adición de DL-Met en dietas con sorgo alto en taninos para pollos de engorda. *Tec Pec Mex* 2000, 38 (01): 1-8.
53. Zhan, XA., Li, JX., Xu, ZR. and Zhao, RQ. Effects of methionine and betaine supplementation on growth performance, carcass composition and metabolism of lipids in male broilers. *Br Poult Sci* 2006, 47 (5): 576-580.
54. Rosa, AP., Pesti, GM., Edwards, HM. and Bakalli, R. Threonine requirements of different broiler genotypes. *Poult Sci* 2001, 80 (12): 1710-1717.
55. Dozier, WA. III, Moran, ET. Jr. and Kidd, MT. Comparisons of male and female broiler response to dietary threonine from 42 to 56 days of age. *J Appl Poult Res* 2001, 10: 53-59.
56. Corzo, A., Kidd, MT., Dozier, WA. and Kerr, BJ. Dietary glycine and threonine interactive effects in broilers. *J Appl Poult Res* 2009, 18 (1): 79-84.
57. Berhe, ET. and Gous, RM. Effect of dietary content on growth, uniformity and mortality of two commercial broiler strains. *S Afr J Anim Sci* 2008, 38 (4): 293-302.
58. Zubair, AK. and Leeson, S. Compensatory growth in the broiler chicken: a review. *Worlds Poult Sci J* 1996, 52 (2): 189-201.

59. Bregendahl, K., Sell, J.L. and Zimmerman, DR. Effect of low-protein diets on growth performance and body composition of broiler chicks. *Poult Sci* 2002, 81 (8): 1156-1167.
60. Yang, YX., Guo, J., Yoon, SY., Jin, Z., Choi, JY., Piao. Early and protein reduction: effects on growth, blood profiles and expression of genes related to protein and fat metabolism in broilers. *Br Poult Sci* 2009, 50 (2): 218-227.
61. Kita, K. and Okumura, J. Dietary protein levels alter plasm insulin-like growth factor-I concentration of chicks. *Jpn Poult Sci* 1999, 36 (1): 25-30.
62. Rahman, MS., Abib, PA., Basak, B., Uddin, TS. and Kumar, BS. Effect of feeding low protein diets on the performance of broiler during hot-humid season. *Int J Poult Sci* 2002, 1 (1): 35-39.
63. Nagaraj, M., Hess, JB., and Bilgili, SF. Evaluation of feed-grade enzyme in diets to reduce pododermatitis. *J Appl Poult Res* 2007. 16: 52-61.
64. Vieira, SL., Lemme, A., Goldenberg, DB. and Brugalli, I. Responses of growing broilers to diets with increased sulfur amino acids to lysine ratios at two dietary protein levels. *Poult Sci* 2004, 83 (8): 1307-1313.
65. Dozier III, WA., Gordon, RW., Anderson, J., Kidd, MT., Corzo, A. and Branton, S. L. Growth, meat yield, and economic responses of broilers provided three- and four-phase schedules formulated to moderate and high nutrient density during a fifty-six-day production period. *J Appl Poult Res* 2006, 15: 312-325.
66. Kerr, BJ. and Kidd., MT. Amino acid supplementation of low-protein broiler diets: 1. Glutamic acid and indispensable amino acid supplementation. *J Appl Poultry Res* 1999, 8 (3): 298-309.
67. Morales, LR., Jinez, MT., Ávila, GE. y Martínez, AC. Necesidades de treonina en pollos sometidos a dos calendarios de vacunación. *Vet Mex* 2001, 32 (3): 189-194.
68. Dari, RL., Penz Jr., AM., Kessler, AM. and Jost, HC. Use of digestible amino acids and the concept of ideal protein in feed formulation for broilers. *J Appl Poult Res* 2005, 14: 195-203.
69. Kamran, Z., Aslam, M., Ahsan-ul-Haq and Mahmood, S. Effect of decreasing dietary protein levels with optimal amino acids profile on performance of broilers. *Pakistan Vet J* 2004, 24 (4):165-168.
70. Corzo, A., Schilling, MW., Loar II, RE., Mejia, L., Barbosa, LCGS. and Kidd, MT. Responses of cobb x cobb 500 broilers to dietary amino acid density regimens. *J Appl Poult Res* 2010, 19: 227-236.
71. Woyengo, TA., Golian, A., Bennet, C., Muc, H. and Guenter, W. Performance of two 1970s and Ross308 broiler strains fed drug-free low protein and recommender-protein diets. *J Appl Poult Res* 2010, 19 (2): 101-111.
72. Santiago, GR., Cortés, CA., López, CC. y Ávila, GE. Evaluación de tres programas de alimentación para pollos de engorda con base en dietas sorgo-soya con distintos porcentajes de proteína. *Vet Mex* 2011, 42 (4): 299-309.
73. Ferguson, NS., Gates, RS., Taraba JL., Cantor AH., Pescatore, AJ. The effect of dietary crude protein and phosphorus on ammonia concentration and litter composition in broilers. *Poultry Science* 1998, 77 (8): 1085-1093.
74. Ferguson, N. S., Gates, R. S., Taraba J. L., Cantor A. H., Pescatore, A. J. The effect of dietary crude protein on growth, ammonia concentration and litter

- composition in broilers. *Poult Sci* 1998, 77 (8): 1481-1487.
75. Sterling, KG., Pesti, GM. and Bakalli, RI. Performance of different broiler genotypes fed diets with varying levels of dietary crude protein and lysine. *Poult Sci* 2006, 85 (6): 1045-1054.
 76. Holsheimer, JP., Vereijken, PFG. and Schutte, JB. Response of broiler chicks to Thr-supplemented diets to 4 weeks of age. *Br Poult Sci* 1994, 35 (4):551-562.
 77. Berres, S., Vieira, SL., Dozier, WA., Cortes, MEM., de Barros, R., Nogueira, E. T. and Kutschenko, M. Broiler responses to reduce-protein diets supplemented with valine, isoleucine, glycine, and glutamic acid. *J Appl Poult Res* 2010, 19: 68-79.
 78. INEGI. Tláhuac: Cuaderno de información básica delegacional. INEGI, México, D.F., 1992.
 79. Cobb-Vantress. Cobb500: Broiler performance and nutrition supplement, Europe, Middle East, África. Versión, 2008: 1-8.
 80. Aviagen. Ross: suplemento de nutrición del pollo de engorde, 2009: 1-24.
 81. Rubio, GM. Procesamiento, industrialización y comercialización del pollo productor de carne. Sistema de producción Animal I. Div. Sist. Univ. Abierta y Educ. a Distancia. FMVZ-UNAM. 2ª ed. México, D.F., 2005: 195-203.
 82. Vicente, S.J. Pigmentación en la industria avícola. Sistema de producción Animal I. Div. Sist. Univ. Abierta y Educ. a Distancia. FMVZ-UNAM. 2ª ed. México, D.F., 2005: 204-221.
 83. AOAC. Official Methods of Analysis. 17th ed. Washington, DC, USA: Association of Official Analytical Chemists, 2002.
 84. Ingalls, HFR., Ortiz, MA. y Rodríguez, PJ. Margen de ganancia bruto promedio en la comercialización de pollo en México. Asesoría Ingalls A+C+I, 2009: 14 pp.
 85. SPSS, Statistical Package for the Social Sciences Inc. Programa estadístico informático SPSS para Windows versión 16, 2007.
 86. Navas, TSA. y Maldonado, BRM. Evaluación de razas de pollos parrilleros Ross 308 y Cobb 500 en condiciones de altura. Tesis de licenciatura. FICAA-UTN, Ibarra, Ecuador, 2009: 134 pp.
 87. Brickett, KE., Dahiya, JP., Classen, HL, Annet, CB, Gomist, S. Impact of nutrient density, feed form, and photoperiod on the walking ability and skeletal quality of broiler chickens. *Poult Sci* 2007, 86 (10): 2117-2125.
 88. Arce-Menocal, J., Ávila-González, E., López, Coello, C., Garibay-Torres, and Martínez-Lemus, L. A. Body weight, feed particle size, and ascites incidence revisited. *J Appl Poult Res* 2009, 18: 465-471.
 89. Baghbanzadeh, A. and Decuypere, E. Ascites syndrom in broilers: physiological and nutritional perspectives. *Avian Path* 2008, 37 (2): 117-126.
 90. Cortés, CA., Estrada, CA. y Ávila, GE. Productividad y mortalidad por síndrome ascítico en pollos de engorda alimentados con dietas granuladas o en harina. *Tec Pec Mex* 2006, 44 (2):241-246.
 91. Salmon, RE., Dunkelgod, KE. and Wilson, BJ. Influence of dietary protein concentration and frequency of diet changes on rate of growth, efficiency of food utilization and carcass quality of white turkeys. *Br Poult Sci* 1982, 23 (6): 501-517.

92. García, R. A. Efecto de un remedio homeopático (*Hydrocyanic acidum*) en el rendimiento de la canal y de los cortes primarios de pollos para abasto línea genética Cobb 500. Tesis de Licenciatura. EMVZ-UABJO. México, 2009: 83 pp.
93. Corzo, A., Moran, ET. Jr., and Hoehler, D. Arginine need of heavy broiler males: applying the ideal protein concept. *Poult Sci* 2003, 82: 402-407.
94. Chamruspollert, M., Pesti, GM. and Bakalli, RI. Dietary interrelationships among arginine, methionine, and lysine in broiler chicks. *Br J Nut* 2002, 88: 655-660.
95. Waldroup, PW., Oviedo-Rondón, EO. and Frittsm CA. Influence of dietary formulation methods on response to arginine and lysine in diets for young broiler chickens. *Int J Poult Sci* 2006, 5 (11): 1016-1022.
96. Jahanian, R. Immunological responses as affected by dietary protein and arginine concentrations in starting broiler chicks. *Poult Sci* 2009, 88: 1818-1824.
97. Guaiume, EA. Effects of reduce protein, amino acid supplemented diets on production and economic performance of commercial broilers fed from hatch to market age. Dissertation Ph. D., USA, University of Missouri, Columbia. 2007.
98. Gil, MJL. Efecto de la reducción de proteína en dietas para pollos de engorda sobre el comportamiento productivo y calidad de la canal. Tesis de Maestría en Ciencias. FMVZ-UNAM, México, D.F., 2009: 70 pp.
99. Namroud, NF., Shivazad, M. and Zaghari, M. Effects of fortifying low crude protein diet with crystalline amino acids on performance, blood ammonia level and excreta characteristics of broiler chicks. *Poult Sci* 2008, 87 (11): 2250-2258.
100. Oscar, TP, Mitchell, DM, Engster, HM, Malone, BR and Watson, WM. Growth performance, carcass composition, and pigmentation of broilers fed supplemental nickel. *Poult Sci* 1995, 74 (6): 976-982.
101. Muñoz, DIJ., Fuente, MB., Hernández, VH. y Ávila, GE. Pigmentación en la piel de pollos de engorda con diferentes niveles de xantofilas en dietas sorgo-soya. XVI Congreso Bienal AMENA Dr. Alberto Robles Cabrera. Jalisco, México, 2009.
102. Furuse, M. and Yokota, H. Effect of the gut microflora on the size and weight of organs of chicks fed diets of different protein content. *Br Poult Sci* 1984, 25: 429-439.
103. Vieira, SL., Reali, OA., Berres, J., Moreira, DF., Coneglian, JLB y Martínez, PJE. Responses of female broilers from two strain crosses to diets with differing ideal protein profiles. *Ciencia Rural* 2007, 37 (6): 1753-1759.
104. Coneglian, JLB., Vieira, SL., Berres, J., Freitas, DMR Responses of fast and slow growth broilers fed all vegetable diets with variable ideal protein profiles. *Rev Bras Zootecn*, 2010, 9 (2): 327-334.
105. Pesti, GM. Impact of dietary amino acid and crude protein levels in broiler feeds in biological performance. *J Appl Poult Res* 2009, 18 (3): 477-486.
106. SNIIM, Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados. Precios de productos agroalimentarios. Secretaría de Economía. 2012 [Consultado el día 3 de marzo de 2012 en www.economia-sniim.gob.mx].

CUADROS

Cuadro 1. Contenido de aminoácidos esenciales y no esenciales en la canal de pollos de engorda machos y hembras.

Aminoácido	Como % de la proteína corporal por edad y sexo					
	14días		42 días		56 días	
	M	H	M	H	M	H
<i>Esenciales (%)</i>						
Lisina	6.44	6.37	6.83	7.01	6.89	7.07
Met+Cis	3.19	3.17	3.08	3.18	3.03	3.11
Treonina	4.02	3.96	4.08	4.21	4.00	4.08
Valina	4.56	4.49	4.71	4.80	4.56	4.77
Leucina	6.97	6.93	7.23	7.36	7.04	7.23
Isoleucina	3.83	3.77	3.94	4.05	3.82	3.98
Triptófano	0.75	0.73	0.71	0.70	0.68	0.69
Arginina	6.32	6.04	6.71	6.63	6.60	6.64
Fenilalanina	3.68	3.60	3.82	3.86	3.75	3.81
Histidina	2.17	2.15	2.39	2.44	2.43	2.49
<i>No esenciales (%)</i>						
Tirosina	2.67	2.63	2.80	2.89	2.74	2.79
Glicina	7.37	7.15	8.27	8.02	7.99	7.88
Alanina	5.86	5.81	6.47	6.47	6.30	6.35
Aspartato	8.52	8.38	9.06	8.97	8.76	8.81
Glutamato	13.24	13.09	14.25	14.43	14.04	14.24

M = Machos; H = Hembras
 Stilborn *et al.* (2010)¹⁴

Cuadro 2. Perfil ideal de aminoácidos para pollos de engorda machos y hembras en diferentes etapas productivas.

	Preinicio 0-7 días		Inicio 8-21 días		Crecimiento				Finalización 43-49 días	
	A	B	A	B	22-33 días		34-42 días		A	B
					A	B	A	B		
EM Kcal/kg	3200	2950	3200	3000	3200	3100	3200	3150	3200	3200
% PC	23	22.50 21.80	23	20.80 20.40	20	19.50 19.00	20	18.00 17.50	18	17.30 17.00
% Lisina ¹	1.10	1.310 1.326	1.10	1.174 1.165	1.00	1.078 1.005	1.00	1.010 0.892	0.85	0.936 0.822
Lisina	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Metionina	45	39	45	38	38	40	38	40	38	49
Met+Cis	82	72	82	72	72	73	72	73	71	73
Treonina	73	65	73	68	74	65	74	65	80	68
Triptófano	18	17	18	17	18	18	18	18	19	18
Valina	82	77	82	79	82	78	82	78	82	80
Leucina	109	107	109	107	109	108	109	108	109	108
Isoleucina	73	67	73	67	73	68	73	68	73	68
Arginina	114	108	114	105	110	108	110	108	118	105
Histidina	32	37	32	37	32	37	32	37	32	37
Fenilalanina	65	63	65	63	65	63	65	63	66	63
Fen+Tir	122	115	122	115	122	115	122	115	122	115
Gli+Ser	114	147	114	150	114	134	114	134	114	137

¹Aminoácido de referencia; A = Requerimientos nutricionales basado en las tablas del NRC (1994)²⁹ para pollo de engorda mixto; B = Requerimientos nutricionales basados en las tablas brasileñas para aves machos (valor fila superior) y hembras (valor fila inferior), según Rostagno *et al.* (2011)³⁰.

Cuadro 3. Concentración (g/kg) de aminoácidos y su digestibilidad ileal aparente (DIA) en maíz, sorgo, harina de soya y harina de canola.

	Maíz		Sorgo		Harina de soya		Harina de canola	
	g/kg	DIA	g/kg	DIA	g/kg	DIA	g/kg	DIA
PC %	7.6		11.6		48.3		35.1	
Lisina	0.26	0.74	0.25	0.75	2.78	0.86	1.95	0.76
Metionina	0.14	0.88	0.21	0.85	0.65	0.91	0.58	0.91
Treonina	0.39	0.62	0.43	0.66	1.91	0.75	1.73	0.65
Valina	0.36	0.82	0.64	0.77	2.05	0.80	1.90	0.73
Leucina	1.00	0.91	1.67	0.85	3.63	0.82	2.47	0.78
Isoleucina	0.26	0.84	0.54	0.80	1.85	0.80	1.54	0.75
Arginina	0.38	0.86	0.45	0.80	3.58	0.89	2.17	0.83
Fenilalanina	0.39	0.87	0.64	0.83	2.46	0.85	1.41	0.79
Histidina	0.21	-	0.31	0.73	1.38	0.83	1.31	0.77
Serina	0.40	0.75	0.67	0.73	2.56	0.79	1.79	0.67
Aspártato	0.50	0.76	0.85	0.77	5.43	0.81	2.54	0.70
Alanina	0.58	0.88	1.15	0.85	2.03	0.81	1.55	0.78
Tirosina	0.25	0.78	0.41	0.74	1.89	0.85	1.11	0.75

Tomado de Ravindran *et al.* (1999)¹³

Cuadro 4. Concentración (g/kg) de aminoácidos y su digestibilidad ileal aparente (DIA) en harinas de origen animal.

	Harina de pescado		Harina de sangre		Harina de Pluma		Harina de carne y hueso	
	g/kg	DIA	g/kg	DIA	g/kg	DIA	g/kg	DIA
PC %	63.8		91.3		87.1		49.0	
Lisina	4.12	0.86	8.40	0.89	2.33	0.54	2.26	0.72
Metionina	1.83	0.87	1.36	0.86	0.70	0.61	0.77	0.74
Treonina	2.81	0.74	5.28	0.80	4.39	0.50	1.61	0.59
Valina	3.04	0.83	8.29	0.87	6.87	0.65	2.24	0.70
Leucina	4.73	0.85	11.8	0.87	7.26	0.64	2.97	0.71
Isoleucina	2.44	0.86	0.89	0.73	4.71	0.70	1.54	0.68
Arginina	4.46	0.84	3.87	0.86	5.79	0.67	3.47	0.72
Fenilalanina	2.56	0.83	6.55	0.88	4.23	0.72	1.55	0.71
Histidina	1.39	0.76	5.97	0.85	1.03	0.56	0.99	0.68
Serina	3.53	0.70	5.68	0.81	10.0	0.61	2.09	0.54
Aspártato	5.71	0.70	9.95	0.83	6.07	0.31	3.51	0.47
Alanina	4.05	0.81	6.91	0.87	4.19	0.62	3.96	0.72
Tirosina	1.99	0.82	2.84	0.86	2.73	0.66	1.10	0.61

Tomado de Ravindran *et al.* (1999)¹³

Cuadro 5. Recomendaciones nutricionales de las estirpes Cobb500¹ y Ross308² para pollo de engorda mixto.

Ingredientes	Iniciación 1 - 10 d		Crecimiento 11 - 21 d		Finalización 1 22 - 42 d		Finalización 2 43 - 49 d	
	Cobb	Ross	Cobb	Ross	Cobb	Ross	Cobb	Ross
EM, Kcal/kg	2988	3025	3083	3150	3176	3200	3176	3225
Proteína %	21.00	23.00	19.00	21.00	18.00	19.00	17.00	17.00
Lisina tot. %	1.20	1.43	1.10	1.24	1.05	1.06	1.00	1.00
Lisina dig.%	1.08	1.27	0.99	1.10	0.95	0.94	0.90	0.89
Metionina tot. %	0.46	0.51	0.44	0.45	0.43	0.40	0.41	0.38
Metionina dig.%	0.41	0.47	0.40	0.42	0.39	0.37	0.37	0.35
Met+Cis tot. %	0.89	1.07	0.84	0.95	0.82	0.83	0.78	0.79
Met+Cis dig.%	0.80	0.94	0.75	0.84	0.74	0.73	0.70	0.69
Treonina tot.%	0.79	0.94	0.74	0.83	0.72	0.72	0.69	0.68
Treonina dig. %	0.70	0.83	0.66	0.73	0.64	0.63	0.61	0.60
Triptofano tot.%	0.20	0.24	0.19	0.20	0.19	0.17	0.18	0.17
Triptofano dig. %	0.18	0.20	0.17	0.18	0.17	0.15	0.16	0.14
Arginina tot.%	1.26	1.45	1.17	1.27	1.13	1.10	1.08	1.04
Arginina dig. %	1.12	1.31	1.04	1.14	1.02	0.99	0.96	0.93
Ca %	1.00	1.05	0.96	0.90	0.90	0.85	0.85	0.80
P disponible %	0.50	0.50	0.48	0.45	0.45	0.42	0.42	0.40
Na %	0.22	0.20	0.19	0.20	0.19	0.18	0.18	0.18
Cl %	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
<i>Proteína ideal</i>								
Lisina tot.	100	100	100	100	100	100	100	100
Lisina dig.	100	100	100	100	100	100	100	100
Met+Cis tot.	74	75	76	77	78	78	78	79
Met+Cis dig.	74	74	76	76	78	78	70	69
Treonina tot.	66	66	67	67	69	68	69	68
Treonina dig.	65	65	67	66	67	67	61	60
Triptofano tot	17	17	17	16	18	16	18	17
Triptofano dig.	17	16	17	16	18	16	16	14
Arginina tot.	105	101	106	102	108	104	108	104
Arginina dig.	104	103	105	104	107	105	106	104

¹ Tomado del manual de nutrición de la estirpe Cobb 500⁷⁹.

² Tomado del manual de nutrición de la estirpe Ross 308⁸⁰.

Cuadro 6. Análisis químico proteico y de aminoácidos* de sorgo y pasta de soya.

Fracción, %	Sorgo	Soya
Materia seca	87.33	92.22
PC %	9.01	47.48
Lisina	0.19	3.01
Metionina+Cistina	0.32	1.43
Treonina	0.29	1.92
Arginina	0.33	3.67
Isoleucina	0.34	2.22
Leucina	1.14	3.77
Valina	0.43	2.34
Histidina	0.21	1.23
Fenilalanina	0.46	2.63
Tirosina	ND	1.54
Triptófano	0.10	0.61

ND = No disponible

* Realizado por espectroscopía NIR, gentilmente por Evonik-Degussa.

Cuadro 7. Composición de las dietas experimentales normal y reducida en proteína cruda para la estirpe Cobb 500.

Ingredientes	Iniciación		Crecimiento		Finalización		De Retiro	
	1 - 10 d	19%	11 - 21 d	17%	23 - 42 d	16%	43 - 49 d	15%
Sorgo	597.4	653.3	645.9	701.5	653.3	708.9	683.5	739.1
Pasta de soya	325.7	273.0	274.4	221.8	251.0	198.4	225.3	172.7
Aceite vegetal	26.02	19.73	32.80	26.69	45.19	39.00	43.03	36.84
Ortofosfato 1820	18.75	18.99	18.00	18.27	16.73	16.97	15.39	15.64
Carb. de Ca	16.81	16.91	14.90	15.03	14.06	14.16	13.48	13.59
Sal (NaCl)	5.39	5.40	4.62	4.63	4.63	4.64	4.38	4.39
DL-Metionina	2.71	3.29	2.64	3.08	2.77	3.21	2.58	3.02
L-Lisina HCL	1.74	3.14	2.12	3.67	2.33	3.89	2.46	4.02
L-Treonina	1.51	2.18	.372	1.21	.579	1.41	.692	1.53
Cloruro colina ⁶⁰	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	.800	.800
Premezcla vit ¹	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Premezcla min ²	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Nicarbacina	.500	.500	.500	.500	-	-	-	-
Monensina	-	-	-	-	.500	.500	.500	.500
Bacitracina	.300	.300	.300	.300	.300	.300	.300	.300
Antioxidante	.150	.150	.150	.150	.150	.150	.150	.150
Pigmento	-	-	-	-	5.35	5.35	5.35	5.35
Total (kg)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Costo \$/Ton³	5100	5039	5023	4971	5492	5439	5418	5365
<i>Composición calculada</i>								
EM, Kcal/kg	2988	2988	3083	3083	3176	3176	3176	3176
Proteína %	21.00	19.00	19.00	17.00	18.00	16.00	17.00	15.00
Lisina tot %	1.22	1.20	1.11	1.09	1.04	1.04	0.99	0.97
Lisina dig.%	1.08	1.08	0.99	0.99	0.95	0.95	0.89	0.89
Metionina tot %	0.57	0.59	0.55	0.56	0.55	0.56	0.51	0.53
Metionina dig.%	0.45	0.46	0.42	0.43	0.42	0.43	0.39	0.40
Met+Cis tot %	0.91	0.90	0.85	0.84	0.82	0.82	0.78	0.78
Met+Cis dig.%	0.80	0.80	0.75	0.75	0.74	0.74	0.69	0.69
Treonina tot. %	0.93	0.92	0.74	0.74	0.72	0.72	0.71	0.71
Treonina dig.%	0.79	0.79	0.61	0.63	0.62	0.62	0.60	0.60
Triptofano %	0.27	0.24	0.24	0.21	0.23	0.20	0.22	0.19
Triptofano dig.%	0.23	0.21	0.21	0.19	0.20	0.17	0.19	0.16
Arginina %	1.34	1.18	1.18	1.17	1.13	1.13	1.03	0.87
Arginina dig.%	1.20	1.06	1.06	1.02	0.99	0.95	0.92	0.78
Ca %	1.05	1.05	0.96	0.96	0.90	0.90	0.85	0.85
P disponible %	0.50	0.50	0.48	0.48	0.45	0.45	0.42	0.42
Na %	0.22	0.22	0.19	0.19	0.19	0.19	0.18	0.18
Cl %	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

¹Vitamina A (12,000,000 UI), vitamina D3 (2,500,000 UI), vitamina E (15,000 UI), vitamina K (2.0g), vitamina B1 (2.25g), vitamina B2 (7.5g), vitamina B6 (3.5g), vitamina B12 (20mg), ácido fólico (1.5g), biotina (125mg), ácido pantoténico (12.5g), niacina (45g); ²Hierro (50g), zinc (50g), manganeso (110g), cobre (12g), yodo (0.30g), selenio (0.20g), Cobalto (0.20g). Cantidades adicionadas de vitaminas y minerales por tonelada de alimento; ³Tomando en cuenta un precio de \$3,900/kg sorgo y \$6,160/kg pasta de soya.

Cuadro 8. Composición de las dietas experimentales normal y reducida en proteína cruda para la estirpe Ross 308.

Ingredientes	Iniciación		Crecimiento		Finalización		De Retiro	
	23%	21%	21%	19%	19%	17%	17%	15%
Sorgo	526.3	582.2	573.7	629.6	619.9	675.8	677.0	732.9
Pasta de soya	381.2	328.6	330.2	277.5	279.4	226.8	226.5	173.9
Aceite vegetal	41.36	35.08	52.01	45.71	54.52	48.23	50.69	44.40
Ortofosfato 1820	18.55	18.79	16.37	16.61	15.17	15.41	14.44	14.68
Carb. de Ca	16.69	16.79	13.90	14.01	13.37	13.47	12.60	12.70
Sal (NaCl)	4.34	4.35	3.83	3.84	3.85	3.86	3.86	3.87
DL-Metionina	3.69	4.13	3.12	3.56	2.45	2.89	2.49	2.92
L-Lisina HCL	2.55	4.11	1.90	3.46	1.39	2.94	2.31	3.87
L-Treonina	1.22	1.90	.880	1.56	.545	1.22	.922	1.60
Cloruro colina ⁶⁰	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	.800	.800
Premezcla vit ¹	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Premezcla min ²	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Nicarbacina	.500	.500	.500	.500	-	-	-	-
Monensina	-	-	-	-	.500	.500	.500	.500
Bacitracina	.300	.300	.300	.300	.300	.300	.300	.300
Antioxidante	.150	.150	.150	.150	.150	.150	.150	.150
Pigmento	-	-	-	-	5.35	5.35	5.35	5.35
Total (kg)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Costo \$/Ton³	5430	5369	5363	5302	5595	5533	5500	5438
<i>Composición calculada</i>								
EM, Kcal/kg	3025	3025	3150	3150	3200	3200	3225	3225
Proteína %	23.00	21.00	21.00	19.00	19.00	17.00	17.00	15.00
Lisina tot %	1.43	1.41	1.24	1.22	1.06	1.04	1.00	0.98
Lisina dig.%	1.27	1.27	1.10	1.10	0.94	0.94	0.90	0.90
Metionina tot %	0.70	0.71	0.62	0.63	0.53	0.55	0.51	0.52
Metionina dig.%	0.58	0.59	0.50	0.51	0.40	0.42	0.38	0.39
Met+Cis tot %	1.05	1.05	0.94	0.94	0.82	0.82	0.79	0.78
Met+Cis dig.%	0.94	0.94	0.84	0.84	0.73	0.73	0.70	0.70
Treonina tot %	0.99	0.97	0.87	0.86	0.76	0.74	0.69	0.69
Treonina dig.%	0.83	0.83	0.73	0.73	0.63	0.63	0.58	0.59
Triptofano %	0.30	0.27	0.27	0.24	0.24	0.22	0.22	0.19
Triptofano dig.%	0.26	0.23	0.23	0.21	0.21	0.19	0.19	0.16
Arginina %	1.50	1.34	1.35	1.19	1.19	1.03	1.03	0.87
Arginina dig.%	1.34	1.31	1.14	1.06	0.99	0.92	0.92	0.78
Ca %	1.05	1.05	0.90	0.90	0.85	0.85	0.80	0.80
P disponible %	0.50	0.50	0.45	0.45	0.42	0.42	0.40	0.40
Na %	0.18	0.18	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Cl %	0.38	0.42	0.35	0.38	0.34	0.38	0.36	0.39

¹Vitamina A (12,000,000 UI), vitamina D3 (2,500,000 UI), vitamina E (15,000 UI), vitamina K (2.0g), vitamina B1 (2.25g), vitamina B2 (7.5g), vitamina B6 (3.5g), vitamina B12 (20mg), ácido fólico (1.5g), biotina (125mg), ácido pantoténico (12.5g), niacina (45g); ²Hierro (50g), zinc (50g), manganeso (110g), cobre (12g), yodo (0.30g), selenio (0.20g), Cobalto (0.20g). Cantidades adicionadas de vitaminas y minerales por tonelada de alimento; ³Tomando en cuenta un precio de \$3,900/kg sorgo y \$6,160/kg pasta de soya.

Cuadro 9. Datos promedio (\pm Error estándar de la media) de los parámetros productivos de pollos de engorda criados hasta los 49 d de edad.

FACTORES	Peso inicial (g)	GDP ¹ (g)	Ganancia de Peso (g)	Consumo de Alimento (g)	IC ² (g/g)	Uniformidad ³ (%)	Mortalidad total (%)	Mortalidad por S. A. (%)
ESTIRPE								
Cobb	44.1 \pm .08	56.7 \pm .46b	2780 \pm 22b	5643 \pm 41	2.03 \pm .01a	7.95 \pm .38	16.3 \pm 1.7a	10.33 \pm 1.29a
Ross	44.1 \pm .08	59.5 \pm .46a	2916 \pm 22a	5576 \pm 41	1.91 \pm .01b	7.81 \pm .38	5.7 \pm 1.7b	4.16 \pm 1.29b
P	.979	.0001	.0001	.256	.0001	.710	.0001	.008
SEXO								
Macho	44.1 \pm .08	61.4 \pm .46a	3010 \pm 22a	5766 \pm 41a	1.92 \pm .01b	8.32 \pm .38	16.5 \pm 1.7a	11.33 \pm 1.29a
Hembra	44.1 \pm .08	54.8 \pm .46b	2686 \pm 22b	5454 \pm 41b	2.03 \pm .01a	7.44 \pm .38	5.5 \pm 1.7b	3.16 \pm 1.29b
P	.979	.0001	.0001	.0001	.0001	.102	.0001	.0001
DIETA								
Normal	44.1 \pm .08	59.5 \pm .46a	2915 \pm 22a	5602 \pm 41	1.92 \pm .01b	7.64 \pm .38	12.3 \pm 1.7	7.50 \pm 1.29
Reducida	44.1 \pm .08	56.7 \pm .46b	2781 \pm 22b	5618 \pm 41	2.02 \pm .01a	8.12 \pm .38	9.7 \pm 1.7	7.00 \pm 1.29
P	.851	.0001	.0001	.796	.0001	.379	.392	.929
Factores de variación								
Estirpe*Sexo	.088	.149	.149	.053	.273	.959	.403	.147
Estirpe*Dieta	.575	.556	.556	.789	.588	.841	.146	.438
Sexo*Dieta	.575	.642	.642	.107	.369	.935	.725	.638
Estirpe*Sexo*Dieta	.979	.492	.492	.566	.160	.064	.338	.250
Media\pmEE	44.1\pm.062	58.1\pm.33	2848\pm16	5610\pm29	1.97\pm.01	7.88\pm.27	11.0\pm1.1	7.25\pm.91

Literales distintas (a,b) indican diferencia estadística con $p < 0.05$. Tamaño de muestra $n=24$. ¹ GDP = Ganancia diaria de peso 1-49 d; ² IC = Índice de conversión; ³ % Uniformidad = Valor expresado en función del coeficiente de variación (CV) teniendo uniformidad de 85 % con CV=7, 80 % con CV=8.

Cuadro 10. Datos promedio (\pm Error estándar de la media) de los parámetros productivos obtenidos en pollos de engorda mixtos al final de cada fase productiva.

Dietas	% PC	Consumo de alimento (g)	Ganancia de peso (g)	Índice de Conversión (g/g)	Mortalidad por S.A. (%)
<i>Fase de Iniciación (0-10 d)</i>					
Ross N	23	243 \pm 2.6b	193 \pm 2.8b	1.26 \pm .01b	0
Ross R	21	245 \pm 2.4b	183 \pm 2.7c	1.34 \pm .01a	0
Cobb N	21	263 \pm 2.9a	212 \pm 2.6a	1.24 \pm .01b	0
Cobb R	19	264 \pm 2.4a	195 \pm 4.0b	1.35 \pm .02a	0
P		.0001	.0001	.0001	
Media \pm EE		2.54 \pm 2.0	196 \pm 2.0	1.30 \pm .01	0
<i>Fase de Crecimiento (0-21 d)</i>					
Ross N	23-21	1094 \pm 14c	706 \pm 11ab	1.55 \pm .01c	0.67 \pm .4
Ross R	21-19	1120 \pm 21bc	683 \pm 11b	1.64 \pm .02b	0.00 \pm .3
Cobb N	21-19	1182 \pm 16a	717 \pm 9a	1.65 \pm .01b	0.67 \pm .4
Cobb R	19-17	1159 \pm 14ab	677 \pm 8b	1.71 \pm .00a	0.33 \pm .3
P		.003	.018	.0001	.506
Media \pm EE		1139 \pm 9	695 \pm 5	1.64 \pm .01	0.42 \pm .2
<i>Fase de Finalización (0-42 d)</i>					
Ross N	23-21-19	4150 \pm 65	2430 \pm 45a	1.71 \pm .01c	2.66 \pm 1.0b
Ross R	21-19-17	4212 \pm 66	2305 \pm 39a	1.83 \pm .01b	2.33 \pm 1.1b
Cobb N	21-19-18	4286 \pm 40	2326 \pm 41a	1.84 \pm .02b	9.66 \pm 2.9a
Cobb R	19-17-16	4268 \pm 54	2156 \pm 43b	1.98 \pm .02a	4.33 \pm 1.3ab
P		.349	.001	.0001	.045
Media \pm EE		4229 \pm 29	2305 \pm 25	1.84 \pm .02	4.8 \pm 1.0
<i>Fase de Retiro (0-49 d)</i>					
Ross N	23-21-19-17	5561 \pm 86	2974 \pm 55a	1.87 \pm .02c	3.33 \pm 1.1
Ross R	21-19-17-15	5591 \pm 93	2858 \pm 73ab	1.96 \pm .02b	5.00 \pm 1.6
Cobb N	21-19-18-17	5643 \pm 47	2856 \pm 53ab	1.98 \pm .03b	11.66 \pm 3.0
Cobb R	19-17-16-15	5643 \pm 70	2703 \pm 48b	2.09 \pm .02a	9.00 \pm 2.6
P		.838	.020	.0001	.116
Media \pm EE		5610 \pm 37	2848 \pm 32	1.98 \pm .02	7.25 \pm 1.2

Literales distintas (a, b, c) en la misma columna muestran diferencias estadísticas con $p < 0.05$; Tamaño de muestra $n=12$; N = Dieta normal en proteína; R = Dieta Reducida en proteína.

Cuadro 11. Rendimiento promedio (\pm Error estándar de la media) de la canal, pechuga y piernas con muslos de pollos de engorda sacrificados a los 45 d de edad.

FACTORES	Peso al Sacrificio (g)	Canal ¹		Pechuga ²		Piernas con muslos ³		Grasa abdominal ¹	
		(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)
ESTIRPE									
Cobb	2461 \pm 37b	1733 \pm 28b	70.4 \pm .3	512 \pm 10b	20.8 \pm .2	528 \pm 8b	21.5 \pm .2b	27.0 \pm 1	1.11 \pm .1
Ross	2628 \pm 37a	1862 \pm 28a	70.9 \pm .3	547 \pm 10a	20.8 \pm .2	602 \pm 8a	22.9 \pm .2a	27.0 \pm 1	1.03 \pm .1
P	.002	.001	.074	.013	.837	.0001	.0001	.968	.120
SEXO									
Macho	2699 \pm 37a	1894 \pm 28a	70.1 \pm .3b	545 \pm 10a	20.2 \pm .2b	594 \pm 8a	22.0 \pm .2	28.0 \pm 1	1.05 \pm .1
Hembra	2390 \pm 37b	1702 \pm 28b	71.2 \pm .3a	513 \pm 10b	21.4 \pm .2a	536 \pm 8b	22.4 \pm .2	26.0 \pm 1	1.09 \pm .1
P	.0001	.0001	.0001	.024	.0001	.0001	.057	.089	.426
DIETA									
Normal	2605 \pm 37a	1854 \pm 28a	71.2 \pm .3a	559 \pm 10a	21.5 \pm .2a	582 \pm 8a	22.3 \pm .2	27.0 \pm 1	1.05 \pm .1
Reducida	2484 \pm 37b	1741 \pm 28b	70.1 \pm .3b	499 \pm 10b	20.1 \pm .2b	548 \pm 8b	22.1 \pm .2	27.0 \pm 1	1.09 \pm .1
P	.024	.005	.0001	.0001	.0001	.005	.286	.968	.471
Factores de variación			Nivel de significancia						
Estirpe*Sexo	.110	.154	.477	.228	.910	.072	.979	.301	.486
Estirpe*Dieta	.088	.130	.373	.822	.059	.264	.272	.936	.484
Sexo*Dieta	.496	.514	.968	.753	.665	.215	.283	.154	.116
Estirpe*Sexo*Dieta	.695	.783	.611	.993	.630	.538	.051	.968	.937
Media\pmEE	2545\pm26	1798\pm.020	70.6\pm.2	529\pm7	20.8\pm.2	565\pm6	22.2\pm.1	27.0\pm1	1.07\pm.2

Literales distintas (a,b) en la misma columna indican diferencias estadísticas con $p < 0.05$; Tamaño de muestra $n=40$; Los rendimientos de la canal, cortes comerciales y grasa abdominal se calcularon respecto al peso vivo previo al sacrificio. ¹ Canal eviscerada sin apéndices (cabeza, cuello y patas); ² Pechuga sin piel y sin hueso; ³ Piernas unidas a los muslos, con piel y con hueso.

Cuadro 12. Coloración amarilla promedio (\pm Error estándar de la media) obtenida en zona apterica de la piel de pollos de engorda sacrificados a los 45 días de edad.

FACTORES	<i>In vivo</i>	Canal caliente	Canal fría
	<i>Lectura de amarillamiento (b) en unidades delta</i>		
ESTIRPE			
Cobb	17.7 \pm 0.3	38.4 \pm 0.4	42.1 \pm 0.5
Ross	17.8 \pm 0.3	38.3 \pm 0.4	42.3 \pm 0.5
P	.968	.794	.722
SEXO			
Macho	17.0 \pm 0.3b	37.2 \pm 0.4b	41.4 \pm 0.5b
Hembra	18.4 \pm 0.3a	39.5 \pm 0.4a	42.9 \pm 0.5a
P	.003	.0001	.026
DIETA			
Normal	17.1 \pm 0.3b	37.4 \pm 0.4b	40.9 \pm 0.5b
Reducida	18.3 \pm 0.3a	39.3 \pm 0.4a	43.3 \pm 0.5a
P	.010	.004	.001
Factores de variación		Nivel de significancia	
Estirpe*Sexo	.601	.830	.481
Estirpe*Dieta	.007	.076	.089
Sexo*Dieta	.364	.904	.649
Estirpe*Sexo*Dieta	.364	.660	.341
Media\pmEE	17.7\pm0.2	38.3\pm0.3	42.2\pm0.3

Literales distintas (a, b) en la misma columna indican diferencias estadísticas con $p < 0.05$; Tamaño de muestra $n=80$.

Cuadro 13. Rendimiento promedio (\pm Error estándar de la media) de los músculos de la pechuga y de piernas con muslos respecto al peso de la canal.

Dietas	Canal ¹	Pechuga ¹	Pectoral superficial ²	Pectoral profundo ²	Piernas con muslos ¹	Músculos piernas con muslos ²
<i>Peso (g)</i>						
Ross N	1948 \pm 48a	578 \pm 13a	463 \pm 11a	107 \pm 3a	625 \pm 16a	420 \pm 18a
Ross R	1776 \pm 50b	515 \pm 15bc	415 \pm 14bc	94 \pm 2c	578 \pm 16b	391 \pm 18a
Cobb N	1760 \pm 35b	540 \pm 14ab	434 \pm 12ab	100 \pm 2b	538 \pm 11c	361 \pm 14b
Cobb R	1706 \pm 42b	483 \pm 13c	392 \pm 13c	92 \pm 2c	517 \pm 11c	336 \pm 14b
P	.002	.0001	.001	.0001	.0001	.0001
Media \pm EE	1798 \pm 24	529 \pm 8	425 \pm 7	99 \pm 2	564 \pm 8	377 \pm 10
<i>Rendimiento (%)</i>						
Ross N	71.3 \pm .2a	21.3 \pm .3ab	23.8 \pm 3ab	5.5 \pm .1ab	22.9 \pm .3a	21.6 \pm .4a
Ross R	70.4 \pm .3bc	20.4 \pm .3bc	23.4 \pm 4bc	5.3 \pm .1b	22.9 \pm .2a	22.0 \pm .4a
Cobb N	71.0 \pm .2ab	21.8 \pm .4a	24.6 \pm 4a	5.7 \pm .1a	21.7 \pm .2b	20.5 \pm .4b
Cobb R	69.7 \pm .3c	19.8 \pm .3c	23.0 \pm 4c	5.4 \pm .1ab	21.2 \pm .2b	19.8 \pm .4b
P	.0001	.0001	.003	.025	.0001	.0001
Media \pm EE	70.6 \pm .2	20.8 \pm .2	23.6 \pm 2	5.5 \pm 1	22.2 \pm .1	21.4 \pm .3

Literales distintas (a, b, c) en la misma columna indican diferencias estadísticas significativas con $p < 0.05$; Tamaño de muestra $n=20$ (excepto músculos piernas-muslos con $n=12$); ¹ Rendimiento calculado respecto al peso vivo previo a sacrificio: Ross N 2734 \pm 72a, Ross R 2522 \pm 72b, Cobb N 2476 \pm 50b, Cobb R 2445 \pm 56b, Media 2545 \pm 33, ANOVA sig=.008; ² Rendimiento calculado respecto al peso de la canal.

Cuadro 14. Composición tisular promedio (\pm Error estándar de la media) de piernas, muslos y la relación magra:hueso (M:H) de piernas con muslos.

	Composición de piernas		Composición de muslos			Piernas con muslos	
	Músculo ¹ (%)	Hueso ¹ (%)	Músculo ¹ (%)	Grasa ¹ visible (%)	Hueso ¹ (%)	Músculo ¹ (%)	Relación M:H
Ross N	70.6 \pm 0.9	27.3 \pm 0.8	78.0 \pm 1.0	4.7 \pm 0.5	15.6 \pm 0.7	74.5 \pm 0.6	3.5 \pm 0.1
Ross R	71.1 \pm 1.1	26.0 \pm 0.8	79.0 \pm 1.0	5.0 \pm 0.6	14.1 \pm 0.5	75.3 \pm 0.7	3.8 \pm 0.2
Cobb N	71.4 \pm 1.0	26.5 \pm 1.0	78.5 \pm 0.9	4.5 \pm 0.4	13.9 \pm 0.6	75.2 \pm 0.8	3.8 \pm 0.2
Cobb R	69.9 \pm 0.9	27.8 \pm 0.9	77.3 \pm 0.9	5.3 \pm 0.6	15.2 \pm 0.4	74.0 \pm 0.8	3.4 \pm 0.1
p	.700	.365	.591	.792	.108	.433	.133
Media\pmEE	70.7 \pm 0.5	26.9 \pm 0.4	78.1 \pm 0.5	4.9 \pm 0.2	14.7 \pm 0.3	74.7 \pm 0.4	3.6 \pm 0.1

Literales distintas (a, b, c) en la misma columna indican diferencias estadísticas significativas con $p < 0.05$; Tamaño de muestra $n=12$; ¹ El porcentaje de músculo, hueso y grasa se obtuvo respecto al peso de piernas y al peso de muslos seleccionados al azar, cuyo rendimiento (%) respecto a la canal fue de: Ross N 29.0 \pm .4a, Ross R 29.2 \pm .4a, Cobb N 27.3 \pm .3b, Cobb R 26.7 \pm .4b, Media 2.81 \pm .2, ANOVA sig.=.0001.

Cuadro 15. Datos promedio (\pm Error estándar de la media) del peso y rendimiento de órganos internos.

	Vísceras		Corazón			Hígado			Molleja		
	(g)	(% PV)	(g)	(% PV)	(% V)	(g)	(% PV)	(% V)	(g)	(% PV)	(% V)
Ross N	324 \pm 9	12.0 \pm 2b	18.3 \pm 1	0.67 \pm .02	5.6 \pm .2	54 \pm 2	2.0 \pm .05b	16.7 \pm .4	37 \pm 1	1.4 \pm .05b	11.4 \pm .4
Ross R	313 \pm 10	12.4 \pm 2b	17.5 \pm 1	0.69 \pm .03	5.6 \pm .2	54 \pm 2	2.1 \pm .07b	17.5 \pm .6	37 \pm 2	1.5 \pm .05ab	12.0 \pm .4
Cobb N	308 \pm 6	12.2 \pm 3b	18.3 \pm 1	0.71 \pm .03	5.9 \pm .3	55 \pm 2	2.1 \pm .06b	17.7 \pm .5	37 \pm 1	1.5 \pm .05ab	12.3 \pm .5
Cobb R	321 \pm 8	13.0 \pm 2a	17.0 \pm 1	0.68 \pm .03	5.3 \pm .3	58 \pm 2	2.3 \pm .07a	18.0 \pm .6	39 \pm 2	1.6 \pm .06a	12.5 \pm .5
p	.549	.003	.666	.825	.276	.524	.002	.315	.427	.005	.303
Media\pmEE	316 \pm 4	12.4 \pm 1	17.7 \pm 1	69 \pm .01	5.6 \pm .1	55 \pm 1	2.15 \pm .03	17.4 \pm .3	38 \pm 1	1.5 \pm .03	12.0 \pm .2

Literales distintas (a, b) en la misma columna indican diferencias estadísticas con $p < 0.05$; Tamaño de muestra $n=22$; %PV = rendimiento calculado respecto al peso vivo; %V = rendimiento calculado respecto al peso total de las vísceras; Peso al sacrificio: Ross N 2710 \pm 58a, Ross R 2537 \pm 76ab, Cobb N 2542 \pm 51ab, Cobb R 2454 \pm 56b prom 2560 \pm 32 ANOVA sig=.029

Cuadro 16. Resultados promedio (\pm Error estándar de la media) del consumo de proteína, consumo de agua, contenido de humedad y nitrógeno (N) total en excretas.

Factores	Consumo de proteína			Agua		Excretas	
	1-10d (g)	43-49d (g)	1-49 d (g)	Consumo ¹ (ml/día)	Rel. agua:alim.	Humedad (%)	N total (%)
ESTIRPE							
Cobb	52.7 \pm .3b	218 \pm 3	963 \pm 7b	65.1 \pm .7a	3.3 \pm .04a	79.7 \pm .1a	5.01 \pm .08b
Ross	53.8 \pm .3a	223 \pm 3	1003 \pm 7a	56.4 \pm .7b	3.0 \pm .04b	78.9 \pm .1b	5.39 \pm .08a
P	.033	.327	.0001	.0001	.0001	.002	.006
SEXO							
Macho	54.3 \pm .3a	224 \pm 3	1010 \pm 7a	62.0 \pm .7a	3.2 \pm .04	79.6 \pm .1	5.07 \pm .08b
Hembra	52.2 \pm .3b	218 \pm 3	956 \pm 7b	59.5 \pm .7b	3.1 \pm .04	79.1 \pm .1	5.32 \pm .08a
P	.0001	.205	.0001	.030	.550	.053	.044
DIETA							
Normal	55.6 \pm .3a	235 \pm 3a	1037 \pm 7a	63.7 \pm .7a	3.3 \pm .04a	79.6 \pm .1a	5.36 \pm .08a
Reducida	50.9 \pm .3b	207 \pm 3b	928 \pm 7b	57.8 \pm .7b	3.0 \pm .04b	78.9 \pm .1b	5.03 \pm .08b
P	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.006	.014
Factores de variación							
Estirpe*Sexo	.920	.036	.051	.148	.339	.789	.467
Estirpe*Dieta	.487	.394	.675	.049	.016	.429	.089
Sexo*Dieta	.524	.139	.201	.795	.894	.674	.762
Estirpe*Sexo*Dieta	.881	.294	.530	.557	.704	.780	.319
Media\pmEE	53.2 \pm .2	221 \pm 2	983 \pm 5	60.7 \pm .5	3.2 \pm .03	79.3 \pm .1	5.2 \pm .06

Literales distintas (a, b) en la misma columna indican diferencias estadísticas con $p < 0.05$; Tamaño de muestra $n=24$ (consumo de proteína y agua) y $n=12$ (humedad y N total en excretas); ¹ Consumo de agua medido del 3° al 7° día de crianza.

Cuadro 17. Margen de ganancia bruto (MGB) por kg de producto (pollo en pie, pollo en canal y carne de pechuga).

	Ross 308		Cobb500	
	Dieta Normal	Dieta Reducida	Dieta Normal	Dieta Reducida
	23-21-19-17	21-19-17-15	21-19-18-17	19-17-16-15
<i>Pollo en pie a los 42 d</i>				
Peso vivo, kg	2.474	2.349	2.370	2.200
Costo total dieta ¹ , \$	21.48	21.16	23.60	23.17
Costo alim. \$/kg pollo	8.68	9.01	9.96	10.53
MGB ² , %	58.6	57.1	52.6	49.8
MGB (machos)	56.3	53.4	54.9	51.6
MGB (hembras)	55.1	53.1	52.6	50.1
<i>Pollo en pie a los 49 d</i>				
Peso vivo, kg	3.018	2.902	2.900	2.747
Costo total dieta, \$	28.59	28.02	30.98	30.56
Costo alim. \$/kg pollo	9.47	9.66	10.68	11.12
MGB, %	54.9	54.0	49.1	47.0
MGB (machos)	52.5	51.1	52.3	48.9
MGB (hembras)	50.4	48.3	47.8	46.7
<i>En canal (sacrificio a los 45 d)</i>				
Peso canal, kg	1.948	1.776	1.760	1.706
Costo total dieta, \$	24.17	23.74	26.38	25.99
Costo alim. \$/kg canal	12.40	13.37	14.98	15.23
MGB, %	55.7	52.3	46.5	45.6
<i>Carne de pechuga</i>				
Peso pechuga, kg	0.578	0.515	0.540	0.483
Costo total dieta, \$	24.17	23.74	26.38	25.99
Costo alim. \$/kg pech.	41.82	46.10	48.85	53.81
MGB, %	55.5	51.0	48.0	42.8

¹Costo total de la dieta = Sumatoria del costo del alimento por fase, obtenido a partir de los costos por kg de alimento: Iniciación RossN (\$5.43/kg), RossR (\$5.37/kg), CobbN (\$5.10/kg), CobbR (\$5.04/kg); Crecimiento RossN (\$5.36/kg), RossR (\$5.30/kg), CobbN (\$5.02/kg), CobbR (\$4.97/kg); Finalización RossN (\$5.60/kg), RossR (\$5.53/kg), CobbN (\$5.49/kg), CobbR (\$5.44/kg); de Retiro RossN (\$5.50/kg), RossR (\$5.44/kg), CobbN (\$5.42/kg), CobbR (\$5.37/kg). ²MGB = ganancia bruta respecto al costo de ventas = [(precio/kg producto – costo alimento/kg producto) ÷ precio/kg producto] x 100 (Ingalls *et al.*, 2009)⁸⁴. Precios del Mercado local vigentes: \$21/kg pollo en pie, \$28/kg pollo en canal, \$94/kg carne de pechuga.

FIGURAS

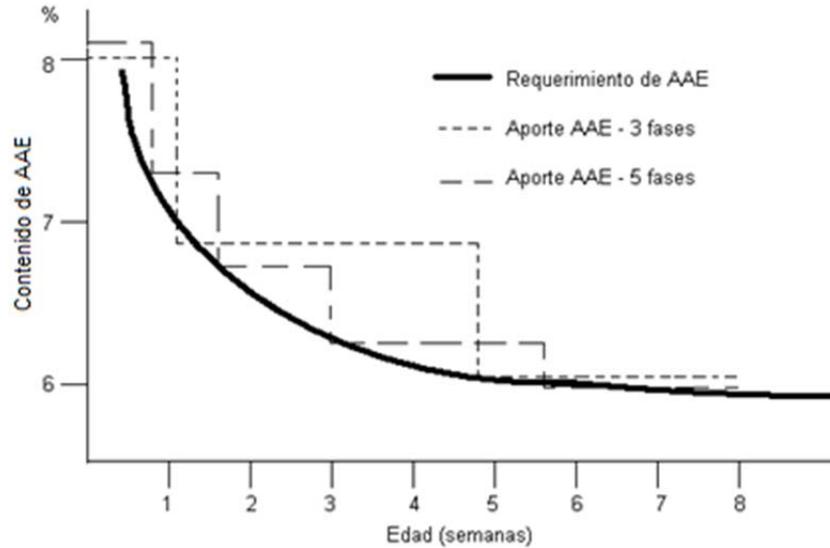


Figura 1. Relación teórica entre fase de alimentación y aporte de AA esenciales según Gutiérrez *et al* (2008)³³.

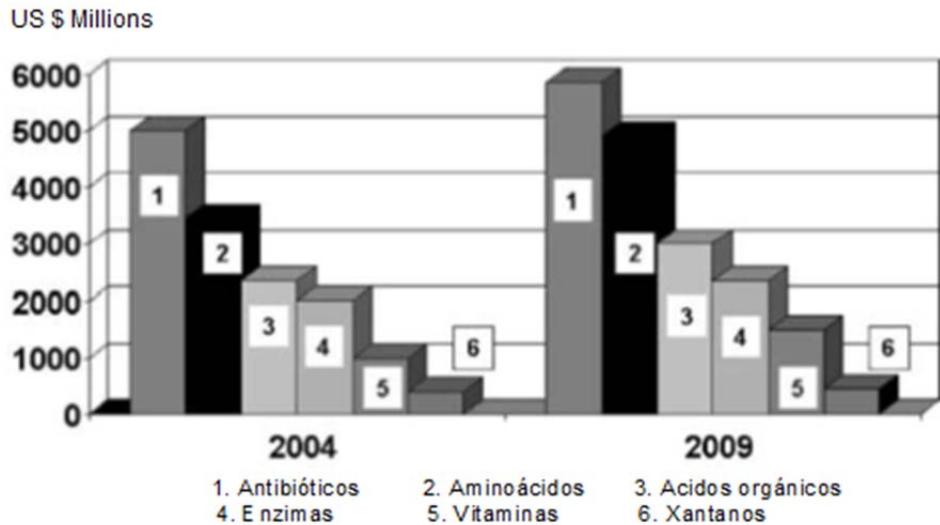


Figura 2. Mercado global de aditivos alimenticios. Tomado de Leuchtenberger *et al.* (2005)¹⁶

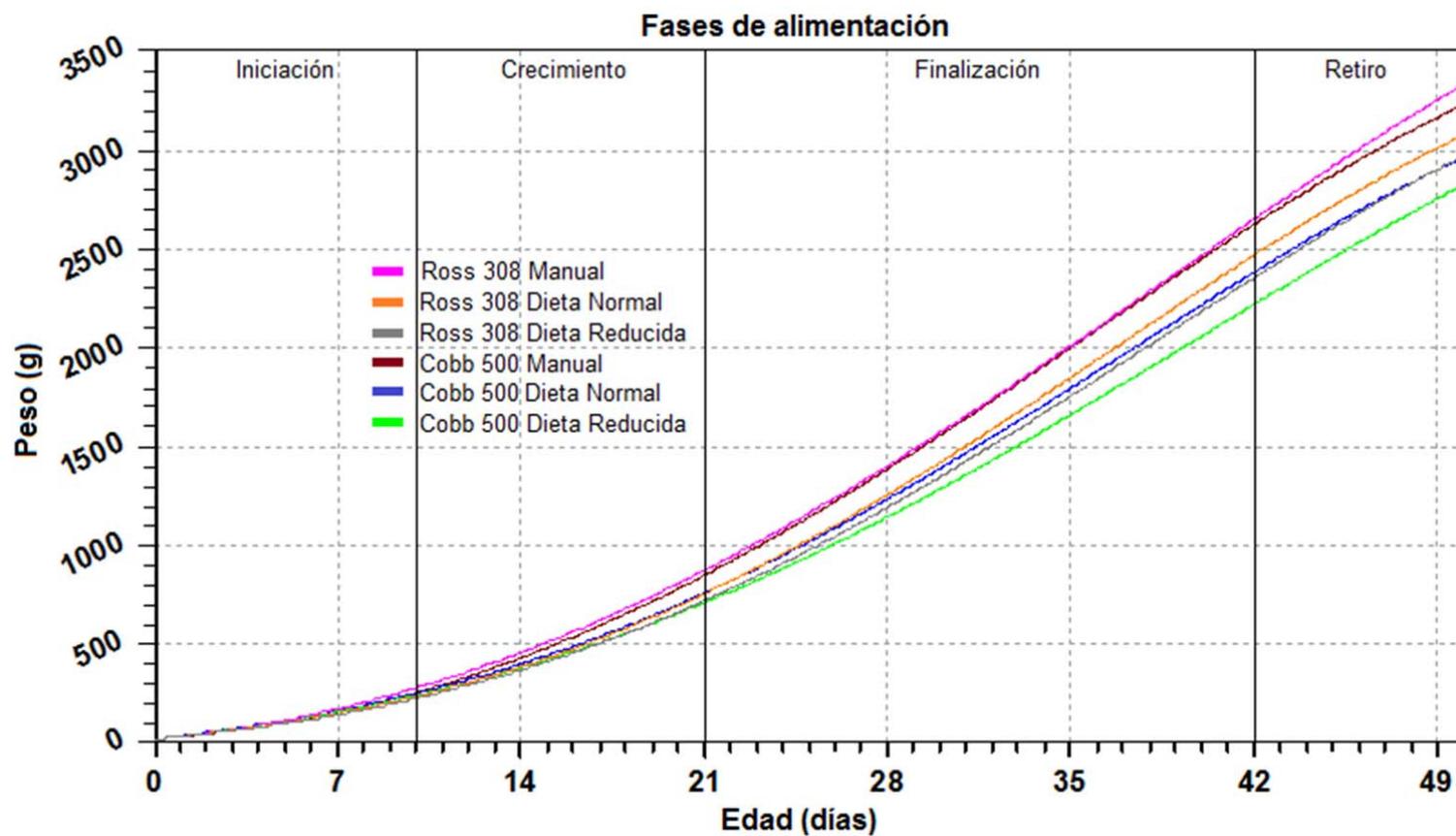


Figura 3. Curva de crecimiento de pollos de engorda de las estirpes Cobb y Ross, alimentados con dietas normales y reducidas en proteína de 0 a 49 días.

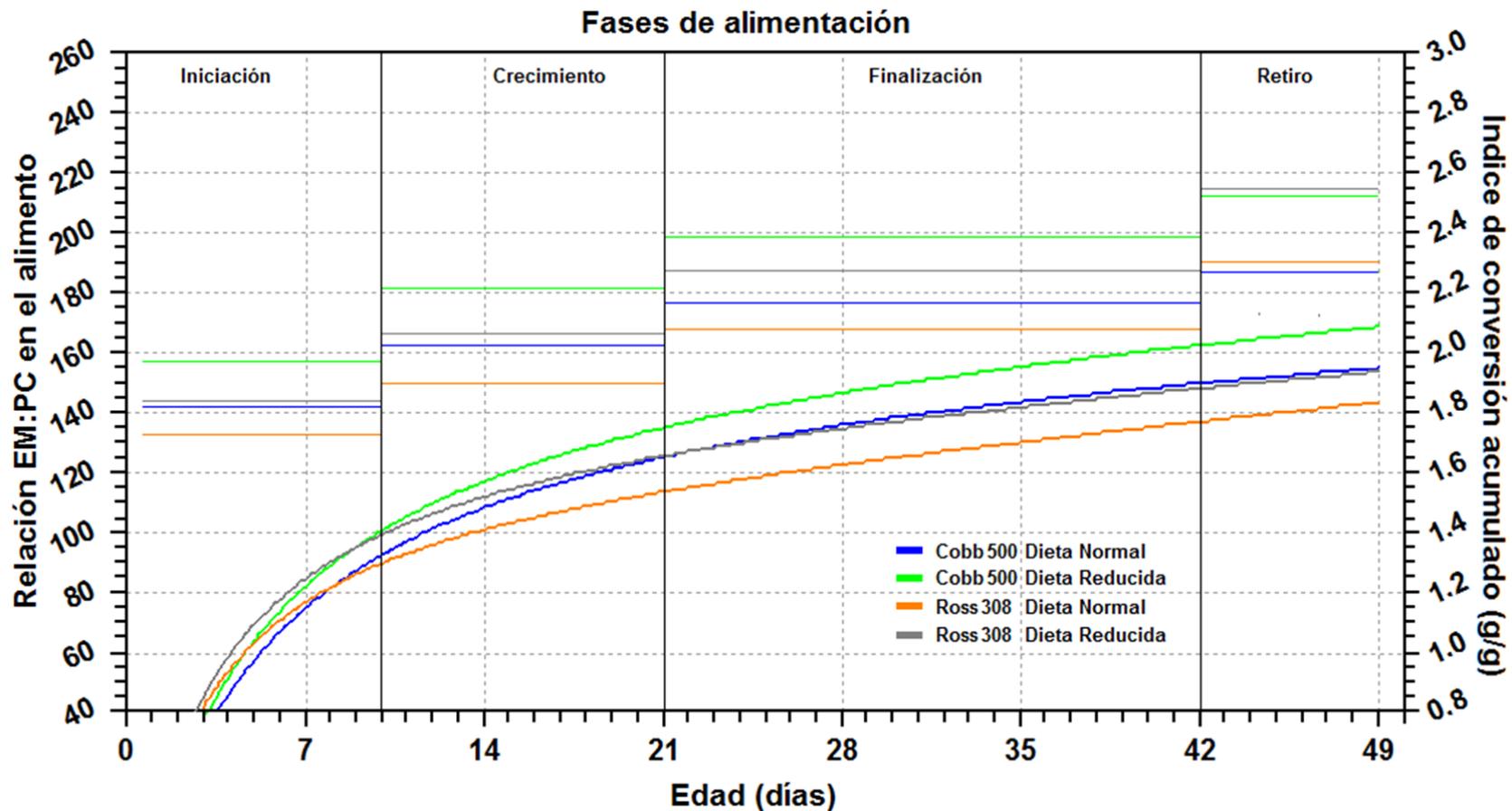


Figura 4. Relación EM:PC formulada para cada fase de alimentación e índice de conversión acumulado en pollos de engorda de las estirpes Cobb y Ross alimentados con dietas normales y reducidas en proteína.

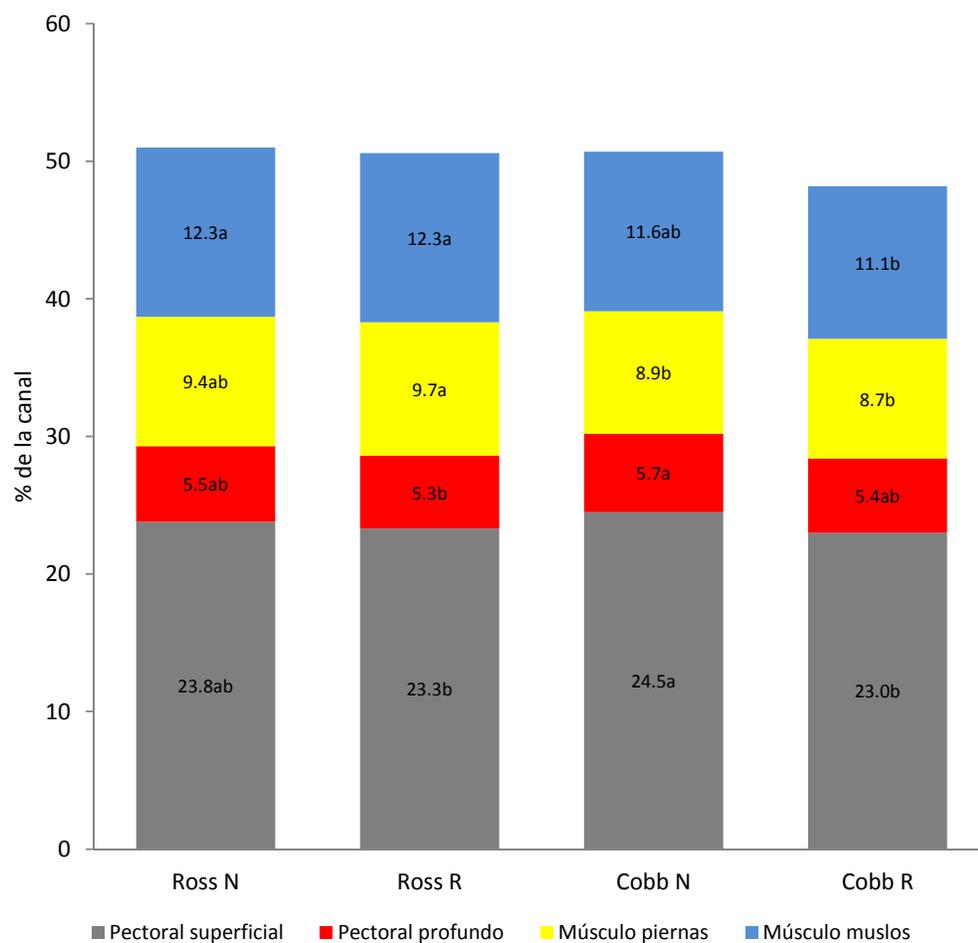


Figura 5. Rendimiento (%) de los músculos de la pechuga, piernas y muslos respecto a la canal; $p < 0.05$.

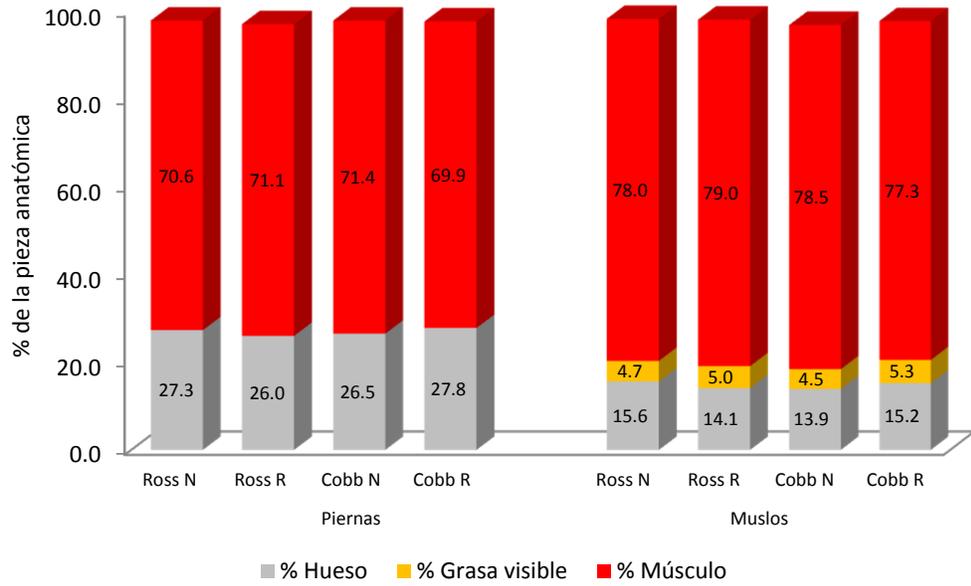


Figura 6. Rendimiento (%) del hueso, grasa visible y músculo en piernas y muslos; $p>0.05$.

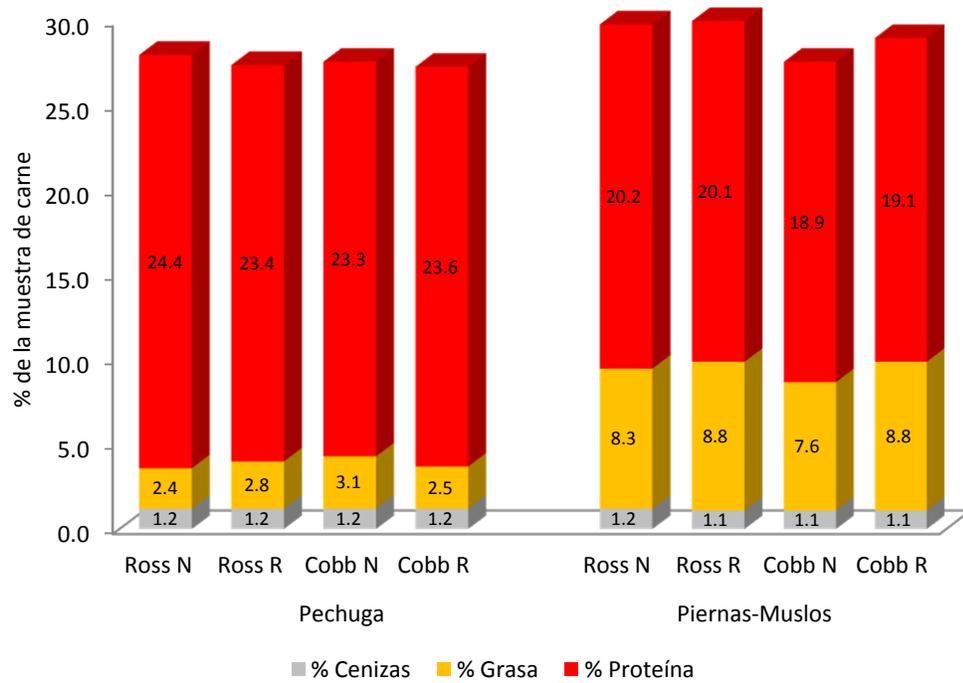
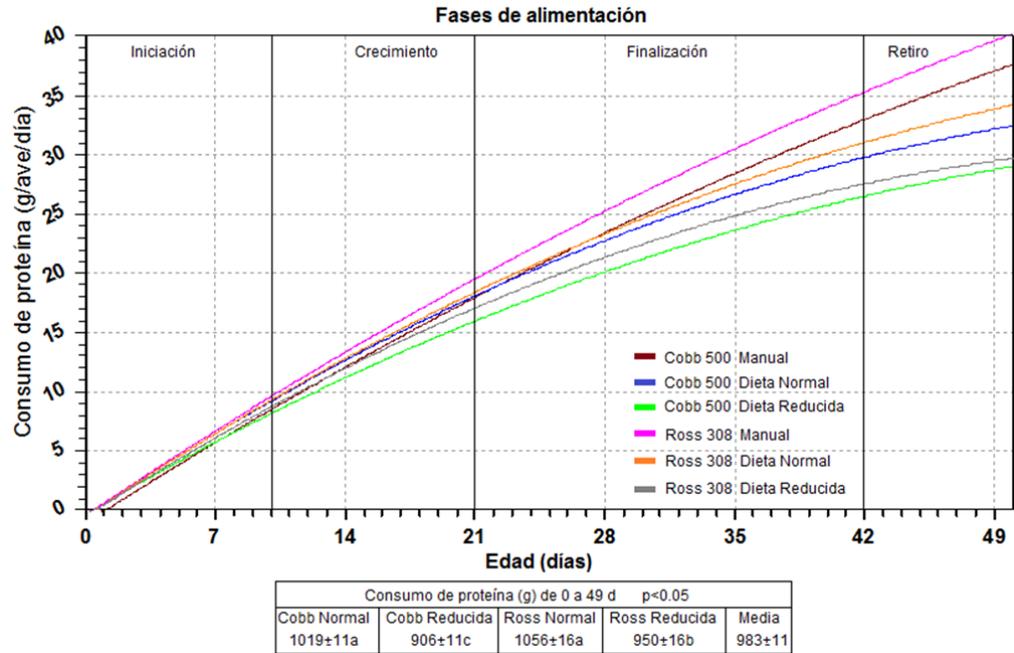


Figura 7. Análisis químico proximal de los músculos de la pechuga y músculos de piernas con muslos; $p>0.05$.

a)



b)

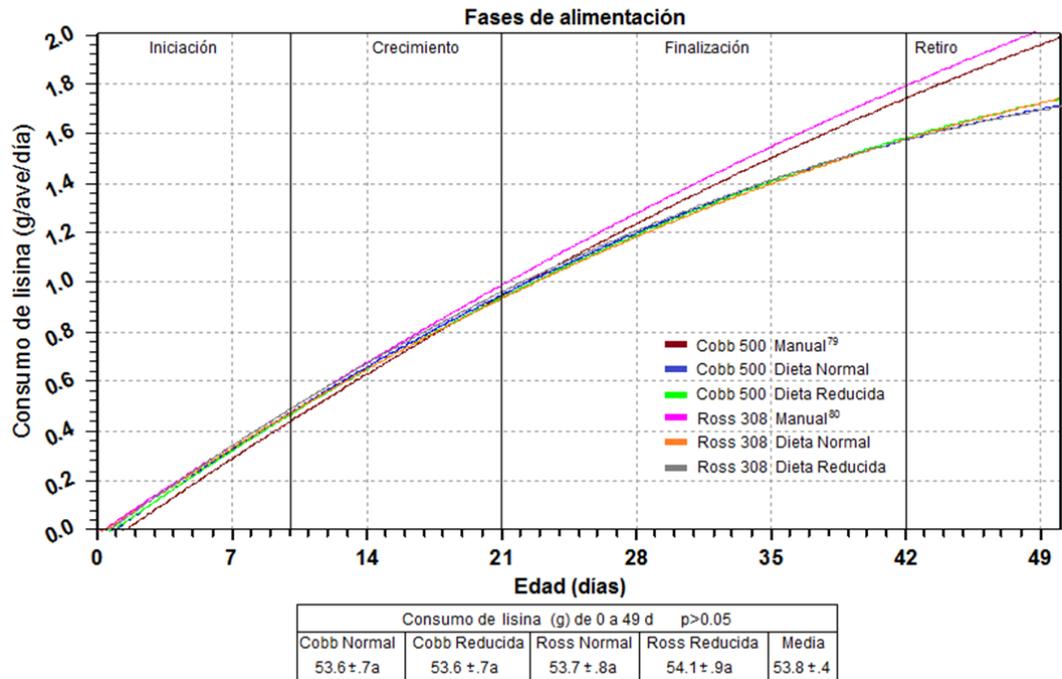


Figura 8. Consumo de proteína (a) y lisina (b) en pollos de engorda Cobb y Ross alimentados con dietas normales y reducidas en proteína.

ANEXOS

ANDEVA Factorial: Parámetros productivos (Cuadro 9).

FV	Ganancia diaria de peso			Ganancia final de peso 49 d		
	GL	CM	P>F	GL	CM	P>F
Factor Sexo	1	526.363	.000	1	1263796.544	.000
Factor Estirpe	1	93.267	.000	1	223933.272	.000
Factor Dieta	1	90.488	.000	1	217261.439	.000
Interacción	1	2.515	.492	1	6038.474	.492
Error	40	5.220		40	12532.454	
Total	48			48		

FV	Consumo de alimento			Índice de conversión		
	GL	CM	P>F	GL	CM	P>F
Factor Sexo	1	1163994.390	.000	1	.156	.000
Factor Estirpe	1	54044.262	.256	1	.172	.000
Factor Dieta	1	2758.150	.796	1	.118	.000
Interacción	1	13580.530	.566	1	.008	.160
Error	40	40616.439		40	.004	
Total	48			48		

FV	Uniformidad			Mortalidad por sínd. ascítico		
	GL	CM	P>F	GL	CM	P>F
Factor Sexo	1	11.195	.102	1	1109.149	.000
Factor Estirpe	1	.561	.710	1	574.899	.008
Factor Dieta	1	3.165	.379	1	.597	.929
Interacción	1	14.456	.064	1	101.997	.250
Error	40	3.994		40	74.710	
Total	48			48		

ANDEVA Factorial: Rendimiento de la canal (Cuadro 11).

FV	Peso al sacrificio			Peso de la canal		
	GL	CM	P>F	GL	CM	P>F
Factor Sexo	1	1.911	.000	1	.735	.000
Factor Estirpe	1	.564	.002	1	.334	.001
Factor Dieta	1	.292	.024	1	.254	.005
Interacción	1	.009	.695	1	.002	.783
Error	72	.055		72	.030	
Total	80			80		

FV	Rendimiento de la canal			% Grasa abdominal		
	GL	CM	P>F	GL	CM	P>F
Factor Sexo	1	8.662	.000	1	.035	.426
Factor Estirpe	1	1.651	.074	1	.133	.120
Factor Dieta	1	10.049	.000	1	.028	.471
Interacción	1	.131	.611	1	.000	.937
Error	72	.503		72	.054	
Total	80			80		

	Peso pechuga			Rendimiento pechuga		
FV	GL	CM	P>F	GL	CM	P>F
Factor Sexo	1	.020	.024	1	16.140	.000
Factor Estirpe	1	.025	.013	1	.043	.837
Factor Dieta	1	.072	.000	1	20.516	.000
Interacción	1	3.125E-7	.993	1	.237	.630
Error	72	.004		72	1.015	
Total	80			80		

	Peso piernas-muslos			Rendimiento piernas-muslos		
FV	GL	CM	P>F	GL	CM	P>F
Factor Sexo	1	.067	.000	1	1.977	.057
Factor Estirpe	1	.109	.000	1	19.550	.000
Factor Dieta	1	.023	.005	1	.611	.286
Interacción	1	.001	.538	1	2.119	.051
Error	72	.003		72	.529	
Total	80			80		

ANDEVA Factorial: Coloración en piel (Cuadro 12).

	Pigmentación in vivo			Pigmentación en canal		
FV	GL	CM	P>F	GL	CM	P>F
Factor Sexo	1	77.201	.003	1	225.221	.000
Factor Estirpe	1	.014	.968	1	1.209	.794
Factor Dieta	1	58.177	.010	1	154.076	.004
Interacción	1	7.157	.364	1	3.443	.660
Error	152	8.620		152	17.679	
Total	160			160		

ANDEVA Factorial: Consumo de proteína y agua; contenido de humedad y N en excretas (Cuadro 16).

	Consumo de proteína 1-10 d			Consumo de proteína 1-49 d		
FV	GL	CM	P>F	GL	CM	P>F
Factor Sexo	1	54.481	.000	1	35556.461	.000
Factor Estirpe	1	12.785	.033	1	19213.563	.000
Factor Dieta	1	273.274	.000	1	142779.930	.000
Interacción	1	.059	.881	1	492.191	.530
Error	40	2.618		40	1223.612	
Total	48			48		

	Consumo de agua			Relación agua:alimento		
FV	GL	CM	P>F	GL	CM	P>F
Factor Sexo	1	73.142	.030	1	.015	.550
Factor Estirpe	1	910.843	.000	1	.710	.000
Factor Dieta	1	431.280	.000	1	1.390	.000
Interacción	1	5.070	.557	1	.006	.704
Error	40	14.475		40	.042	
Total	48			48		

FV	Humedad en excretas			Nitrógeno en excretas		
	GL	CM	P>F	GL	CM	P>F
Factor Sexo	1	.602	.053	1	.650	.044
Factor Estirpe	1	1.854	.002	1	1.378	.006
Factor Dieta	1	1.506	.005	1	1.034	.014
Interacción	1	.011	.780	1	.143	.319
Error	16	.140		16	.136	
Total	24			24		

ANDEVA de 1 sólo factor: Parámetros productivos (Cuadro 10).

Consumo acumulado de alimento		GL	CM	P>F
0 a 10 d	Grupo	3	1491.573	.000
	Residual	44	81.882	
	Total	47		
0 a 21 d	Grupo	3	18395.863	.003
	Residual	44	3324.318	
	Total	47		
0 a 42 d	Grupo	3	45282.469	.349
	Residual	44	40236.805	
	Total	47		
0 a 49 d	Grupo	3	19917.523	.838
	Residual	44	70683.471	
	Total	47		

Ganancia acumulada de peso		GL	CM	P>F
0 a 10 d	Grupo	3	1725.414	.000
	Residual	44	114.122	
	Total	47		
0 a 21 d	Grupo	3	4335.478	.018
	Residual	44	1165.511	
	Total	47		
0 a 42 d	Grupo	3	152464.952	.001
	Residual	44	21606.004	
	Total	47		
0 a 49 d	Grupo	3	148538.953	.020
	Residual	44	40932.763	
	Total	47		

Índice de conversión acumulado		GL	CM	P>F
0 a 10 d	Grupo	3	.041	.000
	Residual	44	.003	
	Total	47		
0 a 21 d	Grupo	3	.053	.000
	Residual	44	.003	
	Total	47		
0 a 42 d	Grupo	3	.152	.000
	Residual	44	.005	
	Total	47		
0 a 49 d	Grupo	3	.097	.000
	Residual	44	.007	
	Total	47		

Mortalidad por síndrome ascítico		GL	CM	P>F
0 a 10 d	Grupo	3	.000	
	Residual	44	.000	
	Total	47		
0 a 21 d	Grupo	3	10.167	.506
	Residual	44	12.856	
	Total	47		
0 a 42 d	Grupo	3	227.426	.045
	Residual	44	78.280	
	Total	47		
0 a 49 d	Grupo	3	207.105	.116
	Residual	44	99.539	
	Total	47		

ANDEVA de 1 sólo factor: Rendimiento de músculos (Cuadro 13)

M. pectoral superficial		GL	CM	P>F
Peso (g)	Grupo	3	.019	.001
	Residual	76	.003	
	Total	79		
Rendimiento (%)	Grupo	3	5.781	.003
	Residual	75	1.167	
	Total	79		

M. pectoral profundo		GL	CM	P>F
Peso (g)	Grupo	3	.001	.000
	Residual	76	.000	
	Total	79		
Rendimiento (%)	Grupo	3	.976	.025
	Residual	76	.297	
	Total	79		

M. piernas con muslos		GL	CM	P>F
Peso (g)	Grupo	3	.009	.028
	Residual	20	.002	
	Total	23		
Rendimiento (%)	Grupo	3	7.569	.017
	Residual	20	1.754	
	Total	23		

ANDEVA de 1 sólo factor: Composición tisular y relación M:H (Cuadro 14)

Piernas		GL	CM	P>F
Músculo (%)	Grupo	3	2.460	.700
	Residual	44	5.155	
	Total	47		
Hueso (%)	Grupo	3	3.897	.365
	Residual	44	3.587	
	Total	47		

Muslos		GL	CM	P>F
Músculo (%)	Grupo	3	3.513	.591
	Residual	44	5.459	
	Total	47		
Hueso (%)	Grupo	3	5.339	.108
	Residual	44	2.490	
	Total	47		

Piernas con muslos		GL	CM	P>F
Relación magra:hueso	Grupo	3	.966	.133
	Residual	44	.492	
	Total	47		

ANDEVA de 1 sólo factor: Peso y rendimiento de órganos (Cuadro 15)

Vísceras		GL	CM	P>F
Peso (g)	Grupo	3	.001	.549
	Residual	84	.002	
	Total	87		
Rendimiento (%PV)	Grupo	3	3.946	.003
	Residual	84	.805	
	Total	87		

Corazón		GL	CM	P>F
Peso (g)	Grupo	3	.000	.666
	Residual	84	.000	
	Total	87		
Rendimiento (%PV)	Grupo	3	.069	.825
	Residual	84	.229	
	Total	87		

Hígado		GL	CM	P>F
Peso (g)	Grupo	3	.000	.524
	Residual	84	.000	
	Total	87		
Rendimiento (%PV)	Grupo	3	1.823	.002
	Residual	84	.346	
	Total	87		

Molleja		GL	CM	P>F
Peso (g)	Grupo	3	.000	.427
	Residual	84	.000	
	Total	87		
Rendimiento (%PV)	Grupo	3	1.483	.005
	Residual	84	.324	
	Total	87		

ANDEVA de 1 sólo factor: Proteína en muestras de carne (Figura 7)

Proteína (%)		GL	CM	P>F
Pechuga	Grupo	3	.670	.630
	Residual	20	1.139	
	Total	23		
Piernas con muslos	Grupo	3	2.199	.262
	Residual	20	1.532	
	Total	23		