

01674

14



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

**FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACION**

**DETERMINACION DE NIVELES OPTIMOS DE
TREONINA EN POLLOS DE ENGORDA EN LAS
DIFERENTES ETAPAS DE PRODUCCION**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS DE LA PRODUCCION
Y SALUD ANIMAL**

PRESENTA:

MVZ. RENE MORALES LOPEZ

**TUTOR PRINCIPAL: MSc. ERNESTO AVILA GONZALEZ.
COMITE TUTORIAL: PhD. MARIANO GONZALEZ ALCORTA.
PhD. SERGIO GOMEZ ROSALES.**



MEXICO, D. F.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

ABRIL 2002



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.

DECLARACIÓN

Doy mi consentimiento a la división de Estudios de Posgrado e Investigación, de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México, para que esta tesis sea disponible para cualquier tipo de reproducción e intercambio bibliotecario.

Atentamente

MVZ. RENE MORALES LÓPEZ.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

DEDICATORIAS

A mis padres y en especial a mi madre por el gran cariño y comprensión que me ha brindado durante toda mi vida.

A cada uno de mis queridos hermanos, por su valioso apoyo en diferentes etapas de mi vida y a las cosas que he aprendido de cada uno de ellos.

A mis queridos sobrinos (Héctor, Silvia, Brianda, Silvia, Erick, Valeria y Rene), por contagiarme su gran alegría y vitalidad.

A mi gran amiga Lirio I. Calderón Gómez, por brindarme su valiosa y desinteresada amistad.

Y cada una de las personas que han creído en mí y que me han llegado a considerar su amigo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN.

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional Autónoma de México, por permitirme cursar mis estudios de Maestría en Ciencias de la Producción y Salud Animal.

Al Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada para la realización de mis estudios de maestría.

A la Dirección General de Estudios de Posgrado (DEGEP), por el apoyo de beca complementaria otorgada para la realización de mis estudios maestría.

A Fundación TELMEX por el apoyo de beca complementaria otorgada para la realización de mis estudios de maestría.

A mi asesor principal, Dr. Ernesto Ávila Gonzáles, por su valiosa amistad y gran apoyo durante todo el desarrollo de este trabajo y de mi formación como investigador y docente.

Al Centro de Enseñanza Investigación y Extensión en Producción Avícola (FMVZ – UNAM) donde se realizo la mayor parte del trabajo experimental. Y a su grupo de académicos (Drs.: Ezequiel, Elizabeth, Arturo, Benjamín, Jaime y Tomas).

Al Centro Experimental "Valle de México" en Chapingo, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (SAGARPA) y al Dr. Eduardo Morales Barrera, por permitirme realizar parte del trabajo experimental en dicho centro.

A la empresa DEGUSSA HULS. México, S. A. Y al Dr. Manuel Álvarez Solís, por su apoyo para el análisis de los ingredientes empleados en este trabajo, además de su gran amistad.

A mis asesores Dr. Mariano González Alcorta, Dr. Sergio Gómez Rosales, Dra. Irma Tejada Castañeda y Dr. Carlos López Coello, por su apoyo y valiosas sugerencias en este trabajo.

A la Dra. Gabriela Gómez Verduzco, por su gran ayuda y valiosa amistad, durante la realización de este trabajo y de mis estudios de maestría, gracias amiguita.

Al MVZ. Miguel García, MVZ. Oscar Tlacomulco y PMVZ. Miguel Ángel Valadez, por su gran amistad y por su importantísima colaboración para que este trabajo se realizara, gracias amigos.

Al PMVZ. Marco Gamez, por su valiosa amistad. Y su importante y oportuna ayuda en el desarrollo de este trabajo, gracias amigo.

A la PMVZ. Analia Balderas, Vianca Paola Claudia Solís, por poner un granito de arena pero importante para realizar este trabajo.



A la MVZ. Carolina Cervin García. Por su amistad y apoyo en la culminación de esta tesis.

A mis buenos y viejos amigos Manuel Órnelas, Roberto Santiago y Arturo García, gracias por su cooperación.

Gracias, también a Dios, por permitirme seguir existiendo e interactuando en este mundo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

No se busque el triunfo en los favores, la parcialidad y la amistad o en eso que se llama interés; escriban en su corazón que sólo dependerá de sus meritos y de sus propios esfuerzos.

Cobbett.

I. ÍNDICE	PAGINA
1. RESUMEN. _____	1
2. ABSTRACT. _____	3
3. INTRODUCCIÓN. _____	5
4. MARCO CONTEXTUAL. _____	7
4.1 Situación de la avicultura en México._____	7
4.2 Aminoácidos sintéticos en la industria de alimentos._____	7
4.3 Terminología en alimentación con aminoácidos._____	8
4.3.1 Deficiencia._____	8
4.3.2 Desequilibrio._____	9
4.3.3 Antagonismo._____	9
4.3.4 Toxicidad._____	9
4.3.5 Disponibilidad._____	9
4.3.6 Aminoácido limitante._____	10
4.4 Ventajas del uso de aminoácidos cristalinos._____	10
4.5 Dietas bajas en proteína._____	11
4.6 Proteína Ideal._____	11
4.6.1 Desarrollo del concepto de proteína ideal._____	13
4.6.2 Lisina como aminoácido de referencia._____	15
4.6.3 Formulación con el perfil de aminoácidos digestibles._____	16
4.6.4 Ventajas obtenidas al formular utilizando el concepto de Proteína ideal._____	18
5. MARCO TEORICO (TREONINA). _____	19
5.1 Antecedentes._____	19
5.2 Metabolismo de la Treonina._____	20
5.3 Catabolismo de aminoácidos en la mucosa intestinal._____	22
5.4 Desbalance de aminoácidos: Treonina._____	22
5.5 Contenido de Treonina en los ingredientes alimenticios._____	23
5.6 Treonina e inmunidad._____	24
5.7 Efecto del emplume y las necesidades de treonina._____	25
5.8 Efecto de aminoácidos no esenciales en los niveles de treonina._____	26



 TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

5.9 Necesidades de treonina.	26
6. JUSTIFICACIÓN.	28
7. HIPÓTESIS.	30
8. OBJETIVO GENERAL.	30
9. OBJETIVOS PARTICULARES.	30
10. MATERIALES Y METODOS.	31
10.1 Análisis Estadísticos.	32
10.2 Selección de los modelos de regresión.	32
10.3 Cálculo de los NOB.	33
10.4 Modelo experimental.	33
10.5 Modelo de regresión lineal con transformación cuadrática.	34
11. EXPERIMENTO 1. (DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE DIGESTIBILIDAD VERDADERA DE LAS MATERIAS PRIMAS).	35
11.1 MATERIALES Y MÉTODOS.	35
11.1.1 Análisis de aminoácidos.	36
11.1.2 Análisis Químico Proximal.	36
11.2 RESULTADOS Y DISCUSIONES.	36
12. EXPERIMENTO 2 (FASE DE INICIACIÓN 1-21 DÍAS DE EDAD).	39
12.1 MATERIALES Y MÉTODOS.	39
12.1.1 Evaluación de la respuesta inmune humoral.	40
12.1.2 Respuesta inmune celular.	40
12.2 RESULTADOS.	41
12.2.1 Parámetros productivos.	41
12.2.2 Respuesta inmune.	42
12.3 DISCUSIÓN.	42
12.3.1 Parámetros productivos.	42
12.3.2 Respuesta inmune.	43
13. EXPERIMENTO 3	
(ETAPA DE CRECIMIENTO 22-42 DÍAS DE EDAD).	45



13.1 MATERIALES Y METODOS.	45
13.2 RESULTADOS.	46
13.2.1 Parámetros productivos.	46
13.3 DISCUSIONES.	47
13.3.1 Parámetros productivos.	47
14. EXPERIMENTO 4	
(ETAPA DE CRECIMIENTO 43-56 DÍAS DE EDAD).	49
14.1 MATERIALES Y METODOS.	49
14.2 RESULTADOS.	50
14.2.1 Parámetros productivos.	50
14.2.2 Características de la canal.	51
14.3 DISCUSIONES.	51
14.3.1 Parámetros productivos y características de la canal.	51
15. CONCLUSIONES.	53
16. LITERATURA CITADA.	55

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

II. INDICE PARA CUADROS Y FIGURAS

CUADROS:

- Cuadro 1.** Resultados del análisis químico proximal y contenido de calcio y fósforo de las muestras de pasta de ajonjolí. _____ 67
- Cuadro 2.** Comparación de los coeficientes de digestibilidad, aminoácidos Totales y digestibles reales de la pasta de ajonjolí (Experimento 1). _67
- Cuadro 3.** Valores de los coeficientes de digestibilidad verdaderos, perfil de aminoácidos totales y digestibles de la pasta de ajonjolí empleada en las dietas experimentales (Experimento 1). _____ 68
- Cuadro 4.** Dieta basal y dieta testigo empleadas para formular los diferentes tratamientos en el Experimento 2 de la fase de iniciación. _____ 69
- Cuadro 5.** Análisis calculado de nutrientes y niveles de treonina total y digestible para las diferentes dietas experimentales empleadas en la etapa de iniciación (Experimento 2). _____ 70
- Cuadro 6.** Variables productivas sometidas al análisis de varianza de los animales con diferentes niveles de treonina en la dieta para la etapa de iniciación (Experimento 2). _____ 70
- Cuadro 7.** Parámetros de regresión estimados, coeficientes de determinación (R^2), probabilidades de F y cuadrados medios del error (CME) de los modelos empleados para estimar las variables productivas (Experimento 2). _____ 71
- Cuadro 8.** Comportamiento observado para la respuesta inmune celular y humoral para la fase de iniciación de los pollos de engorda alimentados con diferentes niveles de treonina total y digestible en la dieta (Experimento 2). _____ 74
- Cuadro 9.** Diferentes parámetros de regresión, coeficientes de determinación (R^2), probabilidades de F y cuadrados medios del error (CME) de los modelos empleados para estimar la respuesta (Experimento 2). _____ 75
- Cuadro 10.** Dietas experimentales empleadas para la fase de crecimiento de 3-6 semanas de edad de las aves (Experimento 3). _____ 77
- Cuadro 11.** Análisis calculado para las diferentes dietas experimentales utilizadas en la fase de crecimiento (Experimento 3). _____ 78



Cuadro 12. Parámetros productivos promedio obtenidos durante la fase de crecimiento (Experimento 3).	78
Cuadro 13. Parámetros de regresión, coeficientes de determinación (R^2), probabilidades de F y cuadrados medios del error (CME) de los modelos de regresión empleados para estimar las variables productivas para la fase de crecimiento (Experimento 3).	79
Cuadro 14. Dietas experimentales utilizadas como dieta testigo y dieta basal de la fase de finalización (Experimento 4).	82
Cuadro 15. Contenido de nutrientes de las diferentes dietas experimentales empleadas en la fase de finalización (Experimento 4).	83
Cuadro 16. Promedios de los resultados obtenidos en la fase de finalización para los diferentes parámetros productivos (Experimento 4).	83
Cuadro 17. Parámetros de regresión, coeficientes de determinación (R^2), probabilidades de F y cuadrados medios del error (CME) de los modelos empleados para las variables productivas en la fase de finalización (Experimento 4).	84
Cuadro 18. Resultados obtenidos al sacrificio de las aves (56 días de edad) de los diferentes componentes de la canal expresados en kilogramos (Experimento 4).	87
Cuadro 19. Promedios de los porcentajes de los diferentes componentes de la canal de las aves sacrificadas a los 56 días de edad (Experimento 4).	87

FIGURAS:

Figura 1. Metabolismo de la treonina.	21
Figura 2. NOB de treonina calculado para el peso promedio en las aves al día 21 de edad (Experimento 2).	72
Figura 3. NOB de treonina correspondiente a la ganancia de peso encontrado en los pollos a los 21 días de edad (Experimento 2).	72
Figura 4. NOB correspondiente al índice de conversión en las aves durante los 21 días del experimento (Experimento 2).	73
Figura 5. NOB calculado para la eficiencia alimenticia en los pollos de engorda a los 21 días de edad (Experimento 2).	73



Figura 6. NOB de treonina calculado para la respuesta inmune humoral (título de HI vs Enfermedad de Newcastle) en aves de 21 días de edad (Experimento 2).	76
Figura 7. NOB de treonina correspondiente a la Respuesta de Hipersensibilidad Tardía en las aves a los 21 días de edad (Experimento 2).	76
Figura 8. NOB de treonina calculado para el peso promedio en aves de 42 días de edad (Experimento 3).	80
Figura 9. NOB de treonina correspondiente a la ganancia de peso de aves de 42 días de edad (Experimento 3).	80
Figura 10. NOB calculado para el índice de conversión en las aves de 22 a 42 días de edad (Experimento 3).	81
Figura 11. NOB encontrado para la eficiencia alimenticia en los pollos de engorda a los 42 días de edad (Experimento 3).	81
Figura 12. NOB de treonina encontrado para el peso promedio en aves de 56 días de edad (Experimento 4).	85
Figura 13. NOB de treonina correspondiente a la ganancia de peso en aves de 56 días de edad (Experimento 4).	85
Figura 14. NOB calculado para el índice de conversión en las aves de los 22 a 56 días de edad (Experimento 4).	86
Figura 15. NOB calculado para la eficiencia alimenticia en los pollos de engorda de 43 a 56 días de edad (Experimento 4).	86

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1. RESUMEN

RENE MORALES LÓPEZ. Determinación de los niveles óptimos de treonina en pollos de engorda en las diferentes etapas de producción.

Con el objetivo de calcular los diferentes niveles óptimos biológicos (NOB) de treonina total (TT) y treonina digestible (TD), para pollos de engorda en sus diferentes etapas de producción que maximicen el comportamiento productivo, respuesta inmune y características de la canal, se realizaron cuatro Experimentos, uno empleó gallos Leghorn y tres pollos de engorda de la estirpe Ross. En el primer Experimento con 8 gallos Leghorn adultos, se determinó por alimentación precisa la digestibilidad verdadera de los aminoácidos esenciales de la pasta de ajonjolí (ingrediente limitante en treonina), resultando en promedio de 88.1% para metionina, 74.3% de lisina y 83.2% para treonina. En el segundo Experimento (iniciación), fueron empleados 336 pollos de engorda de 1 día de edad (DDE); en el tercer (crecimiento) y cuarto (finalización) Experimentos se utilizaron 420 pollos de engorda de 21 y 42 DDE respectivamente, se utilizaron diseños completamente al azar con 7 tratamientos de 4 réplicas con 12 aves en el Experimento 1 y 15 aves por réplica para los experimentos 2 y 3. Para predecir las variables de respuesta, se emplearon modelos de regresión lineal con transformación cuadrática y posteriormente se calcularon los NOB correspondientes para las diferentes variables de respuesta, mediante la ayuda de un SOLVER (EXCEL®). Los tratamientos del 1 al 6, consistieron en incluir diferentes niveles de TT y TD a partir de una dieta basal sorgo + pasta de soya + pasta de ajonjolí, a la cual fue adicionada L-treonina sintética a expensas del azúcar. Para la fase de iniciación se utilizó un nivel bajo de 0.70% de TT o 0.57% de TD, con incrementos de 0.05% de TT y TD y de ésta manera lograr un nivel alto de 0.95% de TT o 0.82% de TD; la fase de crecimiento empleó un nivel deficiente de 0.62% de TT o 0.50% de TD, con incrementos de 0.04% de TT o TD y un nivel excesivo de 0.82% de TT o 0.70 de TD; mientras que los diferentes niveles empleados en la fase de finalización fueron de un nivel deficiente de 0.54% de TT o 0.44% de TD, con incrementos de 0.046% de TT o TD para llegar a una dieta con exceso de treonina de 0.77% de TT o 0.58% de TD. Los tratamientos 7 o dietas testigo

empleadas en los diferentes experimentos fueron formuladas a base de sorgo + pasta de soya, e incluían un nivel de treonina adecuado para cada etapa (0.80, 0.74 y 0.68 % de TT para iniciación, crecimiento y finalización respectivamente). Los resultados obtenidos para las diferentes etapas de producción mostraron que: los niveles de treonina dietaría que optimizan la ganancia de peso (GP), el índice de conversión (IC), la eficiencia alimenticia (EA) y la inmunidad de pollos de engorda de 1-21 DDE, fueron de 0.85% de TT o 0.72% de TD para GP e inmunidad y de 0.84% de TT o 0.71% de TD para IC y EA, lo que sugiere una relación de treonina-lisina (digestibles) del 60% o 61%, para optimizar las variables productivas e inmunidad de estas aves. Los valores de treonina encontrados para la fase de crecimiento (22-42 DDE), fueron de 0.71% de TT o 0.59% de TD para GP y de 0.73% de TT o 0.61% de TD para el IC y EA respectivamente, la relación treonina-lisina, recomendada para un óptimo comportamiento productivo se encontró entre 59% y 61% de TD con respecto a la lisina digestible en la dieta. Para la fase de finalización (42-56 DDE), el NOB que optimiza la GP, el IC y la EA se calculó en un valor de 0.67% de TT o 0.57% de TD para las tres variables, lo que sugiere una relación treonina-lisina del 63%; mientras que para el % de la canal, % de músculo de la pechuga, % de pierna con muslo y % de grasa abdominal, no se encontró efecto a favor o en contra de estas variables en las aves sacrificadas al día 56 de edad, al someterlas a diferentes niveles de treonina total y digestible en la dieta.

2. SUMMARY

RENE MORALES LÓPEZ. Determinación of the biological optimum levels of threonine at different productive phases of broilers.

With the purpose of estimating the different biological optimum levels (BOL) of total threonine (TT) and digestible threonine (DT) at different productive phases of broilers to maximize their productive performance, immune response and carcass quality, four experiments were performed. In the first, adult Leghorn roosters, as well as Ross broilers, were employed for determining true digestibility of essential aminoacids of sesame meal (ingredient which is threonine limiting). Results of digestibility were 88.1 % for methionine, 74.3 % for lysine and 83.2 % for threonine. In the second experiment (starting) three hundred thirty one-day-old chickens ((ODC) were used; in the third and fourth experiments, four hundred twenty chickens of twenty one and forty two days of age were used, respectively. A totally randomized design with seven treatments and four replicates of 12 and 15 chickens each for experiments two and three and four, respectively. To predict variables of response, a quadratic regression model was used, afterwards the corresponding BOL were estimated for the different variables, by means of a SOLVER (EXCEL ®). The treatments form 1 to 6 consisted in including different TT and DT levels, based on a sorghum+soybean meal+sesame meal diet, added synthetic L-threonine. For starting phase, 0.7 % of TT or 0.57 % of DT were used, increasing in 0.05 % of TT and DT, and finally reaching the highest level of 0.95 % of TT or 0.82 % of DT; growing phase started from 0.62 % of TT or 0.5 % of DT, increasing in 0.04 % , and reaching the highest value in 0.82 of TT or 0.7 % of DT; finally, the finisher phase started from 0.54 % of TT or 0.44 % of DT, increasing in 0.046 % of TT or DT to reach an excess of 0.77 % of TT or 0.58 % of DT. Control diets were based on sorghum-soybean meal diets, and included an adequate threonine level for each phase (0.8, 0.74 and 0.68 % of TT for each phase, respectively). Results for each productive phase showed that threonine dietary levels which optimize weight gain (WG), feed conversion (FC), feed efficiency (FE) and immunity of broiler chickens fro 1 to 21 days of age, were 0.85 % of TT or 0.72 % for WG and immunity, and 0.84 %of TT or 0.71 % of DT for FC and FE, which suggests the existence of a threonine-lysine ratio (both digestible) of 60

or 61 % to optimize productive variables and immunity. Threonine values found for the growing phase (22-42 days of age) were 0.71 % of TT or 0.59 % of DT for WG and 0.73 % of TT or 0.61 % of DT for FC and FE, respectively, the recommended threonine-lysine ratio for an optimum productive performance was found to be between 59 % and 61 % of DT respect digestible dietary lysine. For finisher phase (42-56 days of age) the BOL which optimizes WG, FC and FE was 0.67 % of TT or 0.57 % of DT for the three variables, which suggests a threonine-lysine ratio of 63 %; whereas for % of carcass, % of breast muscle, % of leg and thigh muscle and % of abdominal fat, no effect in favor or against these variables was found in those birds killed the day 56, when they received the tested threonine levels in the diet.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la industria avícola mexicana ha alcanzado un alto nivel tecnológico de eficiencia y productividad. Por lo cual, no es sorprendente escuchar o leer en la literatura científica que la rentabilidad animal en el sector comercial comprende una estrecha relación entre factores que incluyen: genética, nutrición, manejo y bioseguridad¹.

Un desequilibrio en alguno de estos factores puede resultar en una disminución en el beneficio económico del productor, que podría deberse a un menor crecimiento, presencia de enfermedades o aumento en la mortalidad de las parvadas. Es evidente el gran avance genético en el área avícola el cual tiene que ir a la par con el área de nutrición, ya que actualmente estos animales están sometidos a condiciones de mayor estrés por el rápido crecimiento y posiblemente requieran una mayor cantidad y calidad de nutrientes en la dieta².

Las herramientas genéticas como selección y heterosis, así como la manipulación del medio ambiente son usados con la finalidad de optimizar la respuesta productiva de las aves. Pero el efecto de factores no genéticos como programas nutricionales y procedimientos de manejo, pueden ser detrimentales o benéficos para la salud del individuo. En el caso de la respuesta inmune las deficiencias o imbalances en la disponibilidad de nutrientes que se destinan a cubrir las funciones estructurales y metabólicas de las células pueden incluso inducir una inmunocompetencia².

En años anteriores las raciones para pollo de engorda se formularon típicamente para cubrir un requerimiento de proteína aproximado para el ave y así satisfacer las necesidades de aminoácidos. Sin embargo, en la actualidad el nivel de proteína no es determinante ya que se cuenta con una buena disponibilidad comercial de aminoácidos sintéticos a precios competitivos, si son comparados con los aportados en los ingredientes vegetales y animales, además de que los requerimientos individuales para cada aminoácido se han definido con mayor precisión. En la actualidad los nutriólogos fundamentan la formulación de raciones avícolas en las necesidades para cada aminoácido requerido por las aves³.

En dietas con base en sorgo + soya, la treonina es el tercer aminoácido limitante para pollos de engorda^{4, 5}. En la pasada década se realizaron estudios para conocer las necesidades de treonina. Sin embargo, los resultados de las investigaciones respecto a este aminoácido son variables y limitadas con respecto a estudios realizados sobre otros aminoácidos esenciales^{6, 7}. Por este motivo el presente estudio se involucró en calcular los diferentes niveles óptimos biológicos (NOB), que maximicen las diferentes variables productivas de pollos de engorda en sus diferentes etapas de producción.

4. MARCO CONTEXTUAL

4.1 Situación de la avicultura en México

En México la actividad avícola es una rama de suma importancia, la producción de pollo durante los últimos 5 años ha crecido a un ritmo anual de 5.2 %. Actualmente México es el cuarto productor mundial de pollo, durante el año 2000 se incrementó el consumo de carne de pollo en una proporción del 4%, estimándose en 19.9 kg de consumo per cápita. Mientras que para el año 2001 se consideró un consumo de 20 Kg. De esta manera la industria avícola ocupa un papel estratégico en la alimentación de la población en México. En el año 2000 se produjeron 3.8 millones de toneladas de productos derivados de las aves y la parvada nacional, se estimaba en 100 millones de gallinas de postura y 202 millones de pollos de engorda (al ciclo). Esta población de aves requirió de alrededor de 11.1 millones de toneladas de alimentos balanceados de los cuales siete millones de toneladas fueron granos forrajeros^{1, 8, 9}.

4.2 Aminoácidos sintéticos en la industria de alimentos

La industria de los alimentos balanceados en México debe ofrecer alternativas de alimentación cada vez más eficiente. En la actualidad en México es posible obtener las formas sintéticas de algunos aminoácidos cristalinos más limitantes como metionina, lisina y treonina, los cuales pueden ser empleados en la industria de alimentos balanceados¹¹. Además recientemente se ha dado la incorporación de triptofano. Con la tecnología actual y la disponibilidad de aminoácidos sintéticos, se ha facilitado la realización de pruebas experimentales para determinar las necesidades de los principales aminoácidos esenciales en las dietas de las aves (metionina, lisina, treonina,

arginina y triptofano). Al utilizar aminoácidos cristalinos los nutriólogos pueden eliminar antiguas prácticas de elaboración de dietas en donde se combinaban y complementaban mutuamente, aminoácidos aportados con la mezcla de ingredientes convencionales^{5, 10, 11}.

Por lo cual, ahora la finalidad es satisfacer los requerimientos de los aminoácidos más limitantes de las aves¹².

4.3 Terminología en alimentación con aminoácidos.

El empleo de dietas purificadas de manera experimental y la incorporación de aminoácidos cristalinos a alimentos comerciales de las aves generó nueva terminología, entre las que se encuentran conceptos que permiten explicar el papel de los aminoácidos. Tales como deficiencia, desequilibrio, antagonismo¹³, toxicidad, limitancia y disponibilidad¹⁴.

4.3.1 Deficiencia.

Ocurre cuando el consumo de uno o varios aminoácidos esenciales en la dieta, se encuentra en cantidades menores al las que son requeridas para las funciones metabólicas normales del animal¹⁵.

4.3.2 Desequilibrio.

Esta situación puede darse cuando se emplean dietas bajas en proteína, donde puede ocurrir un efecto negativo en el comportamiento productivo del animal. Como consecuencia de una modificación en el requerimiento del primer aminoácido limitante,

originando un efecto negativo por el exceso de otros aminoácidos, lo cual puede ser corregido al suplementar una mayor cantidad del primer aminoácido limitante¹⁶.

4.3.3 Antagonismo.

El antagonismo se refiere a interacciones dadas entre aminoácidos que compiten entre sí, al presentar similitudes en su estructura química (aminoácidos de cadena ramificada) por mecanismos similares de transporte y vías metabólicas. Por lo cual se presenta una menor respuesta en la productividad del animal, que puede ser recuperada al modificar el aporte de uno de los aminoácidos antagonistas, se puede señalar como un típico ejemplo de antagonismo a la relación que se da entre lisina y arginina, ya que un exceso de lisina causa un aumento en las demandas de arginina, provocado por un incremento de la actividad de la arginasa renal^{4, 17}.

4.3.4 Toxicidad.

Ocurre como resultado de un exceso de uno o más aminoácidos en el alimento que ocasionan efectos detrimentales en las aves y de esta manera disminuyen las variables productivas del animal¹⁵.

4.3.5 Disponibilidad.

El concepto de disponibilidad es distinto al de digestibilidad y se presenta cuando el uso de los aminoácidos para la síntesis de proteína en los tejidos del animal se ve alterado por factores externos que afectan al alimento antes de ser ingerido y son ajenos a la

digestión y absorción de los nutrimento. Este concepto puede ser definido pero no cuantificado de manera directa^{14, 15}.

4.3.6 Aminoácido limitante.

Es el aminoácido que por su concentración marginal en algunos insumos alimenticios restringe el crecimiento de un animal en una determinada etapa de ciclo de producción¹³.

4.4 Ventajas del uso de aminoácidos cristalinos.

La adición de aminoácidos cristalinos al alimento, puede satisfacer de manera económica las necesidades de aminoácidos más limitantes. Puede ocurrir una reducción en los costos de formulación en las dietas, al incluir niveles de proteína menores o con la posibilidad de emplear ingredientes proteicos de menor calidad. Algunos estudios sugieren que se obtiene un mejor equilibrio entre los aminoácidos contenidos en la dieta al reducir excesos y eliminar o prevenir deficiencias, dando pauta para disminuir el contenido de proteína de las dietas^{12, 16, 17}.

Al disminuir el contenido de proteína en la dieta puede darse un mejor balance de proteína y energía, obteniendo un mejor desempeño de los animales explotados en zonas climáticas con temperaturas altas^{12, 16}.

4.5 Dietas bajas en proteína

Una de las principales ventajas de la utilización de aminoácidos sintéticos en la industria de los alimentos, es que se ha podido reducir la concentración de proteína en el alimento. Existen estudios que han demostrado la factibilidad de reducir hasta dos puntos porcentuales el nivel de proteína dietaria en relación a lo establecido en las dietas comerciales. Todo este concepto parte de la premisa de que las aves no tienen un requerimiento de proteína cruda definido, el cual puede reducirse si se suplementan cantidades adecuadas en la dieta de los aminoácidos más limitantes y una cantidad de nitrógeno no proteico necesario para la síntesis de otros aminoácidos importantes en su metabolismo ¹². En la actualidad, la tendencia es la de reducir aun más la concentración de proteína ante la disponibilidad de un mayor numero de aminoácidos sintéticos que pudieran ser empleados en la industria de los alimentos. Esto ha sido demostrado en distintos estudios, donde el comportamiento productivo se ha igualado en animales que consumieron alimentos altos y bajos en proteína ¹⁶⁻²².

La disminución de la proteína dietaria, ofrece una buena alternativa para reducir la cantidad de nitrógeno que se elimina al medio ambiente en regiones del país con alta concentración de animales de granja ²³.

4.6 Proteína Ideal

Cuando se formulan raciones utilizando solamente ingredientes naturales para poder satisfacer el primer aminoácido limitante, es posible ocasionar un exceso de varios aminoácidos esenciales y no esenciales ^{12,16}. Y aunque la utilización de aminoácidos

cristalinos para reducir la proteína cruda se ha estudiado por muchos años, aún existen dudas acerca de cuáles son los aminoácidos más limitantes cuando la proteína dietaria es reducida y a que concentraciones estos nuevos aminoácidos son requeridos en la dieta ^{18, 22, 24}.

Un exceso de proteína traerá como consecuencia la utilización ineficiente de los aminoácidos. Por lo cual, bajo esta situación puede deprimirse el desempeño productivo de las aves. Este tipo de situaciones pueden conducir a una producción avícola menos rentable, debido a que los pollitos no tienen el potencial para convertir a los aminoácidos extras en proteína corporal. Es así, que se hace necesario el estudio de métodos precisos que conduzcan a una mejora en la eficiencia de formulación, para determinar la cantidad, el correcto balance y la calidad de los aminoácidos que se requieren en las dietas para pollos de engorda. A medida que conforme un mayor número de ingredientes alternativos llegan a ser más económicos y el conocimiento para utilizarlos en alimentos balanceados se comprenda mejor (valores estimados del contenido total de aminoácidos y de su digestibilidad), se tendrá un enfoque más científico y así se mejorará su uso en la alimentación de aves ^{11, 12, 16}.

En general, el concepto de una proteína ideal (balance ideal de aminoácidos) puede ser definido de diferentes maneras. El concepto fue descrito como una mezcla de aminoácidos o de proteínas con total disponibilidad en la digestión y en el metabolismo, cuyas composiciones son idénticas a las necesidades destinadas para el mantenimiento y crecimiento del animal¹². Peñalva (1999)²⁵, lo describe como un

balance exacto de los aminoácidos esenciales, capaces de satisfacer sin deficiencias ni excesos las necesidades absolutas de todos los aminoácidos, requeridos para su mantenimiento y una máxima deposición muscular, expresando cada aminoácido como porcentaje en relación a otro aminoácido de referencia.

Con esto es posible mantener una relación constante, conservando una calidad de proteína similar, capaz de cubrir las necesidades fisiológicas y productivas del animal. En resumen, el concepto tiene como objetivo proporcionar el balance exacto de aminoácidos que el animal necesita, expresado en un perfil proteína ideal, sin excesos ni deficiencias y que poca cantidad de estos aminoácidos sean utilizados como energía, El concepto también sugiere que la cantidad de nitrógeno excretado sea menor y que los aminoácidos esenciales no sean convertidos a otras formas no esenciales^{22, 26}.

4.6.1 Desarrollo del concepto de proteína ideal

Los primeros estudios realizados para desarrollar este concepto se enfocaron en obtener crecimientos aceptables en aves, que fueron alimentadas con dietas que contenían aminoácidos cristalinos, basadas en la composición simulada de varias proteínas intactas como el huevo y la caseína, lamentablemente estos intentos no fueron buenos²⁷. De los años cincuentas a los setentas se lograron sentar las bases para citar un correcto equilibrio de aminoácidos en las dietas. En estos estudios se lograron crecimientos promedio de 7 - 8 g por día durante la segunda semana de edad de los pollos, las cuales habían sido alimentados con una mezcla de aminoácidos que simulaba el perfil de su canal²⁸.

Posteriormente, investigadores en la Universidad de Illinois estudiaron cuidadosamente esta información y utilizaron su dieta *Patrón de Referencia Modificada* para pollos como un paso más para mejorar este balance ideal de aminoácidos²⁹. Como una culminación de numerosos estudios llevados a cabo por el Dr. Baker y sus estudiantes, los cuales utilizaron cerdos en crecimiento alimentados con dietas purificadas, obtuvieron como resultado un patrón ideal de aminoácidos indispensables para cerdos en tres categorías de peso³⁰.

Posteriormente, mediante el cálculo de las relaciones de aminoácidos basadas en los perfiles de necesidades de aminoácidos que recomienda el NRC (1984³¹ y 1994³²), y utilizando a la lisina como el aminoácido de referencia se pudo establecer un perfil. Sin embargo, al revisar estos perfiles, se debe recordar que mucha de la investigación en esos estudios estuvo basada en dietas de maíz-pasta de soya, sin estimar la digestibilidad de los aminoácidos cuando se realizaron los estudios acerca de los requerimientos. En segundo lugar, las relaciones que se derivaron de estas fuentes son con base en aminoácidos totales, lo cual puede limitar su aplicación para la industria avícola mundial^{12, 30, 33, 34}. Por lo cual, en un esfuerzo por establecer las relaciones de aminoácidos que indica el NRC 1994³² en una base aminoácidos digestible, se pudiera asumir que las digestibilidades promedio para lisina, aminoácidos azufrados y treonina es de alrededor de 88% y de aproximadamente 92%, 84%, 90% y 93% para metionina, cistina, valina y arginina respectivamente³⁵.

Otro método para estimar la relación ideal de aminoácidos en pollo de engorda fue extensamente evaluado por investigadores de la Universidad de Illinois^{30, 33}. En estos estudios se utilizó como punto de partida el desarrollo de un patrón ideal de aminoácidos digestibles para pollos de engorda. A través de varios experimentos que evaluaron el perfil de aminoácidos en las dietas, y de la revisión de las relaciones de los requerimientos correspondientes de cada aminoácido, se pudo establecer un perfil ideal de aminoácidos digestibles que podría utilizarse en pollos de engorda durante las primeras tres semanas de vida (Baker y Han, 1994¹²), partiendo de modelos de regresión de cada uno de los experimentos. Poco después la utilización de datos de otras especies y las investigaciones realizadas en aves para los primeros 21 días de edad, permitió extrapolar y calcular la relación de aminoácidos para pollos de engorda de 22 a 42 días de edad^{12, 33}.

4.6.2 Lisina como aminoácido de referencia

La formulación a un perfil de proteína ideal considera a la lisina como el aminoácido de referencia para calcular la relación o proporción del resto de los aminoácidos esenciales, este aminoácido fue seleccionado por las siguientes razones: Los análisis químicos para la lisina son directos y mucho más sencillos, comparados con la determinación de aminoácidos azufrados y triptofano; existe una cantidad importante de información publicada sobre los requerimientos de lisina para el pollo de engorda, además de reconocer el papel metabólico de la lisina que es absorbida dentro del organismo del animal, se circunscribe a funciones anabólicas, ya que participa principalmente en la deposición de proteína corporal^{12, 30, 33}.

Otra razón para tener a la lisina como aminoácido de referencia, es que debe considerarse que la oferta comercial de lisina cristalina, actualmente es muy accesible y económica para la industria de alimentos balanceados, esto es importante ya que la lisina es el segundo aminoácido limitante en dietas para aves después de los aminoácidos azufrados^{36, 37}.

4.6.3 Formulación con el perfil de aminoácidos digestibles

La formulación de dietas con proteína ideal es una nueva opción que utiliza información de los coeficientes de digestibilidad de los aminoácidos aportados en las materias primas, inicialmente la formulación con base en aminoácidos digestibles estuvo limitada por la falta de información de los requerimientos de aminoácidos digestibles en aves y cerdos, hoy en día se cuenta con los requerimientos de aminoácidos digestibles para la producción de carne de pollo^{12, 24, 25, 27, 30, 33, 36}.

Por otra parte, se tiene una importante base de datos de los aportes de aminoácidos digestibles en una gran variedad de ingredientes empleados en la alimentación de no rumiantes^{38, 39}, con ello, se complementa la información requerida para la formulación a un perfil de aminoácidos digestibles. La formulación empleando los coeficientes de digestibilidad de aminoácidos en las materias primas, considera la fracción digestible de cada uno de los aminoácidos que puede ser útil para el crecimiento animal, por ello este sistema de formulación incluye entre sus beneficios, el uso de materias primas de baja o pobre calidad (Fernández, 1996⁴⁰). Al respecto, en un trabajo experimental

(Fernández *et al.*, 1995⁴¹) desarrollado con pollos de engorda, se comparó la sustitución de pasta de soya (fuente de proteína de buena calidad) por pasta de algodón (ingrediente de menor calidad), para estimar el efecto de su nivel de incorporación en el crecimiento de las aves.

Para cubrir ese objetivo, se formularon dos dietas con el criterio de demandas nutritivas y aportes de ingredientes con valores de aminoácidos totales. Los resultados de la evaluación indicaron una pobre respuesta productiva en los pollos alimentados con la dieta que incluyó pasta de algodón, ya que se obtuvieron ganancias de peso y una eficiencias alimenticias con un 40 % y 35 % menor, respectivamente. que las logradas por los pollos que recibieron soya en su dieta, los resultados de producción concordaron con el nivel de baja calidad de la harinolina al emplear la formulación con aminoácidos totales⁴¹.

En otro trabajo de los mismos investigadores (Fernández *et al.*, 1995⁴¹), se sustituyó parcialmente pasta de soya por cinco niveles de incorporación de pasta de algodón (0, 5, 10, 15 y 20 %), combinados con dos métodos de formulación, aminoácidos totales contra aminoácidos digestibles, utilizando 8 dietas experimentales. Los resultados indicaron que la formulación con base en aminoácidos totales logró que los pollos alimentados hasta con 15 % de pasta de algodón, tuvieran la misma velocidad de crecimiento que los pollos testigos alimentados con pasta de soya, mientras que en el tratamiento en donde se incorporó 20 % de harinolina, las aves mostraron menores ganancias de peso y pobre conversión alimenticia. En cambio, cuando las dietas se

formularon bajo un patrón de aminoácidos digestibles, los pollos alimentados con 20 % de harinolina igualaron la tasa de crecimiento mostrada por el grupo control alimentado con pasta de soya.

4.6.4 Ventajas obtenidas al formular utilizando el concepto de Proteína ideal

El concepto de proteína ideal, pretende desarrollar formulas alimenticias que sostengan el requerimiento del mayor número de aminoácidos digestibles propuesto en un modelo constante, lo cual, en las condiciones actuales para la elaboración de alimentos balanceados parecería difícil; sin embargo, es factible aproximarse a el, es por esto por medio de las combinaciones de fuentes de proteína distintas a las convencionales y una mayor incorporación de aminoácidos cristalinos disponibles en el mercado, se pueda disminuir el exceso de aminoácidos no esenciales en el alimento. Al formular bajo el concepto de proteína ideal y digestibilidad de aminoácidos, se establece un mecanismo de seguridad para la correcta utilización de la proteína, aminoácidos y el nitrógeno aportado, evitando así los imbalances, excesos y deficiencias que afectan la productividad del pollo de engorda. Esto hace posible emplear el perfil de ingredientes utilizando fuentes alternas con el fin de disminuir costos de producción por concepto de alimento además de lograr incrementos en la productividad. Y de esta manera ayudar considerablemente a alcanzar en forma precisa, los niveles de aminoácidos requeridos por el pollo, sin exceder los aportes de proteína total al intentar cubrir los requerimientos de estos, evitando excesos de nitrógeno que el ave debe desechar con un importante gasto metabólico, además de un alto impacto ambiental. La principal ventaja de usar el concepto de proteína ideal, esta en que la relación óptima de aminoácidos permanece

igual para aves de cualquier potencial genético, aunque los requerimientos sean diferentes dependiendo del sexo, edad y estirpe, pero sobre todo de su capacidad de depositar tejido magro^{30, 33, 34, 40}.

5. MARCO TEORICO (TREONINA)

5.1 Antecedentes

La treonina fue descubierta en 1935. Poco después se identificó que era un aminoácido esencial en los pollos de engorda. Actualmente las técnicas avanzadas de fermentación, que se basan en microorganismos productores de treonina permiten mejorar el balanceo de los aminoácidos en las raciones comerciales de aves al aumentar la disponibilidad de la forma L-treonina a nivel industrial^{6, 42}.

5.2 Metabolismo de la Treonina

El metabolismo de aminoácidos implica: 1) síntesis y degradación proteica, 2) incorporación del nitrógeno de los aminoácidos a ácido úrico, 3) conversión de esqueletos de carbono de los aminoácidos en glucosa, grasa, energía, CO₂ y H₂O y 4) formación de derivados no proteicos. La treonina participa en la síntesis de proteínas y su catabolismo genera productos importantes para el metabolismo como glicina, acetil CoA y piruvato. Dado que las aves son incapaces de sintetizar treonina se convierte en un aminoácido esencial^{6, 42, 43}.

Metabolismo general. La treonina a diferencia de otros aminoácidos no se transamina. Por lo tanto, el isómero D y el alfacetoácido de la treonina, no son utilizados por los animales. La treonina DL posee 2 carbonos asimétricos uno en posición α y otro en posición β los cuales pueden generar cuatro isómeros: L (2S, 3S), D(2R, 3R), L-alo (2S, 3R) y D-alo (2R, 3S). El catabolismo de la L-treonina genera principalmente productos glucogénicos, como piruvato y propionato (Figura 1). La deshidratasa de treonina, la deshidrogenasa de treonina y la aldolasa de treonina participan en el metabolismo de treonina en pollos; siendo la deshidrogenasa de treonina responsable de la mayor parte de oxidación de este aminoácido en los mamíferos en crecimiento^{6, 42, 43}.

La deshidratasa de treonina utiliza piridoxal 5'-fosfato para degradar la treonina generando alfa-cetobutárico y amoníaco, esta reacción solo es importante en el ayuno. La treonina se degrada para producir glicina y acetaldehído, por acción de la aldolasa de treonina mediante la ruptura de su base química por el piridoxal 5'-fosfato. La reacción se cataliza por el nicotinamida-adenin dinucleótido, que implica la intervención de la deshidrogenasa de la treonina, que convierte a la L-treonina en 2-amino -3 oxibutirato^{6, 42}.

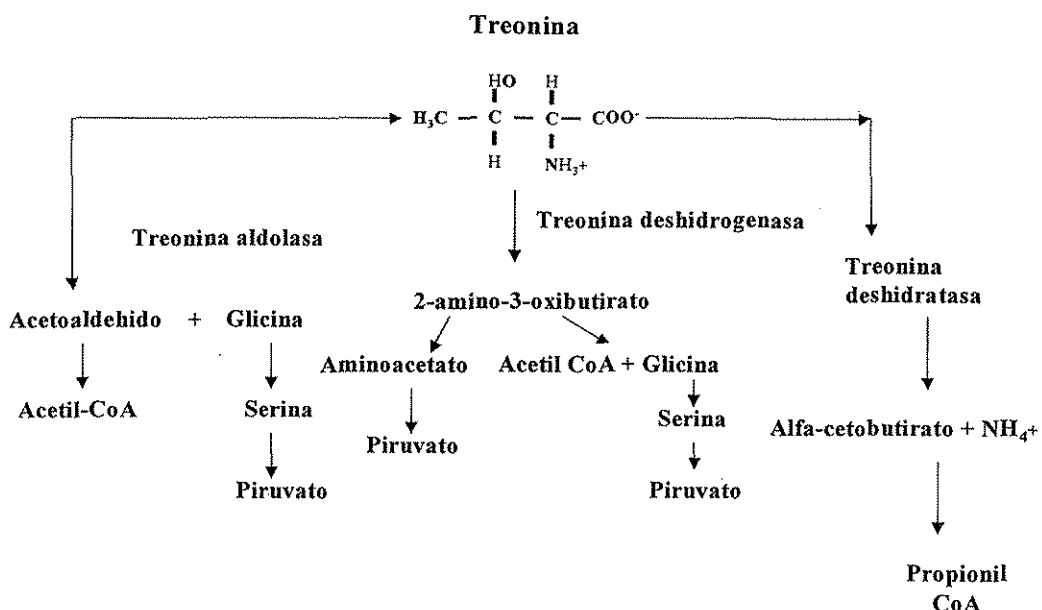


Figura 1. Metabolismo de la treonina.
(Tomado y adaptado de Kidd, 1994⁶).

Los esqueletos resultantes del metabolismo de la treonina generan piruvato para la producción de energía o glucosa y glicina para las necesidades metabólicas, como síntesis de proteína, creatina, serina, ácido úrico, sales biliares y glutatión^{6, 42}.

En estudios realizados en pollos de engorda alimentados con dietas purificadas y libres de glicina. Se demostró que un exceso de niveles suplementarios de la treonina en la dieta (1.3%) favoreció el crecimiento de los pollos alimentados con la dieta libre en glicina y serina. Mientras que cuando se adicionó glicina en una dieta rica en treonina, se redujo el crecimiento de pollos de engorda pero se mejoró la conversión alimenticia, por lo tanto el requerimiento de glicina en pollos de engorda se puede reducir parcialmente mediante la adición de treonina, mientras que la ruta inversa (de glicina a

treonina) no ocurre³⁷. Por el contrario (D'Mello ,1973. Citado por Kidd *et al.*, 1996⁶) encontró que la treonina no sirve para economizar glicina en pollo, por lo cual esta observación sigue siendo objeto de conjeturas.

5.3 Catabolismo de aminoácidos en la mucosa intestinal

El intestino delgado además de ser responsable de la digestión terminal y absorción de nutrientes, también juega un papel importante en el catabolismo de la glutamina arterial y de aminoácidos dietarios. Una gran cantidad de glutamina y casi todo el glutamato y aspartato de la dieta es catabolizado en la mucosa intestinal. El intestino delgado participa en la degradación de arginina, prolina y aminoácidos ramificados, y quizá en la degradación de metionina, lisina, fenilalanina, treonina, glicina y serina de la dieta. Por lo que aproximadamente del 30 al 50 % de estos aminoácidos no son disponibles para los tejidos extraintestinales⁴⁴.

Los aminoácidos dietarios son la principal fuente de energía de la mucosa del intestino delgado, son esenciales en la síntesis de glutatión, óxido nítrico, poliaminas, nucleótidos (purinas y pirimidinas) y aminoácidos (alanina, citrulina y prolina), son indispensables para el mantenimiento intestinal de la integridad y estructura de la mucosa intestinal⁴⁴.

5.4 Desbalance de aminoácidos: Treonina

Se ha observado que una deficiencia de un aminoácido puede ser ocasionada por el exceso de uno o más aminoácidos¹⁵. En el caso de treonina se describe un desbalance

en ratas por deficiencia, como resultado de un ligero exceso de metionina. Esta observación, podría utilizarse como referencia de lo que pudiera ocurrir en aves^{3, 6, 42, 45}.

En pollos el exceso de lisina antagoniza a la arginina y el exceso de leucina antagoniza a la isoleucina y a la valina, lo cual da como resultado una depresión en el crecimiento, algunos desbalances reducen el consumo de alimento. Por lo tanto será necesario realizar estudios en pollos de engorda encaminados a expresar los niveles de nutrientes en términos de %, además de los niveles de aminoácidos^{3, 40, 42}.

5.5 Contenido de Treonina en los ingredientes alimenticios

Este aminoácido al igual que la lisina es limitante en la mayoría de los cereales. El trigo, el sorgo, la cebada, la harina de carne y hueso, la pasta de ajonjolí son bajos en treonina y su uso puede hacer que la treonina se convierta en un punto de presión para las raciones avícolas^{5, 6, 42}.

Muchos granos de sorgo contienen concentraciones elevadas de taninos, lo que disminuye el rendimiento de las aves y la disponibilidad de la treonina. En algunos experimentos se demostró que la treonina es el principal nutriente limitante del sorgo rico en taninos y la adición de L-treonina a este sorgo mejoró el rendimiento productivo en aves, a niveles aún superiores a los obtenidos con el sorgo libre de taninos⁴². Es importante de considerar lo anterior ya que en México las mayoría de las dietas para aves son con base en sorgo y pasta de soya⁵.

5.6 Treonina e inmunidad

Existe evidencia en la literatura para aves y mamíferos donde se menciona que el sistema inmune es capaz de responder a diferentes factores fisiológicos, dietarios, genéticos, tóxicos y del medio ambiente. Estudios acerca de los diferentes grupos de nutrientes, carbohidratos, proteína, grasa, minerales y vitaminas, muestran la estrecha relación entre nutrición e inmunidad^{4, 46-48}. Los aminoácidos además de jugar un papel importante en el óptimo comportamiento productivo en las aves tienen una función primordial en el correcto funcionamiento del sistema inmune⁴⁸⁻⁵².

Dietas deficientes en calorías y aminoácidos, disminuyen la ganancia de peso, además de la respuesta inmune, al reducir la producción de anticuerpos, así como provocan una disminución de hipersensibilidad retardada⁴⁸. Algunos autores sugieren que la producción de anticuerpos depende de la disponibilidad de aminoácidos y que puede ser afectada por una ingestión inadecuada de proteínas de la dieta⁴⁹.

Otros autores, estudiaron el efecto del triptofano en la dieta de ratas y su relación con la producción de γ globulinas, encontrando una concentración baja en ratas alimentadas con 0.08 o 0.10% de triptofano, pero esta incrementaba cuando el nivel de triptofano aumentaba en la dieta⁵⁰.

Estudios en pollos de engorda inoculados con el virus de la enfermedad de Newcastle, mostraron que el peso promedio, la eficiencia alimenticia y la producción de anticuerpos

que un exceso marginal o deficiencia de treonina dietaria tiene poca influencia en la producción primaria de anticuerpos contra glóbulos rojos de borrego y *Brucella abortus*⁵¹. Sin embargo varios trabajos difieren en los resultados encontrados acerca de la posible relación entre treonina y la respuesta inmune⁵⁰⁻⁵³.

5.7 Efecto del emplume y las necesidades de treonina

Las plumas contienen aproximadamente 90 % de proteína, por lo cual la treonina puede jugar un papel importante ya que la treonina y la serina pueden constituir un 20% de los residuos de aminoácidos de las plumas. Esto se debe a que la treonina puede ser convertida a glicina y después a serina por acción de la treonina aldolasa y la treonina deshidrogenasa respectivamente^{54, 55}.

Los residuos de serina son sustanciales en las plumas y los requerimientos de glicina pueden ser parcialmente cubiertos por la treonina. Muchas estirpes comerciales de pollos de engorda difieren en su capacidad para sintetizar plumas^{52, 54}. (Kidd, 2000⁵⁵) menciona que las necesidades de treonina pueden ser diferentes entre estirpes de lento emplume contra las de emplume rápido.

5.8 Efecto de aminoácidos no esenciales en los niveles de treonina

Esta hipótesis fue evaluada en pollos de engorda mayores a 35 días de edad⁵⁵. La interacción de la treonina y los aminoácidos no esenciales, muestra que aves alimentadas con dietas que contienen niveles bajos de treonina muestran una disminución en su comportamiento productivo cuando las dietas son altas en aminoácidos no esenciales (dietas altas en proteína cruda). Debido a que la treonina es

convertida a glicina que representa una fracción de la molécula del ácido úrico, la cual es el producto final del metabolismo nitrogenado de las aves y es utilizada en mayor cantidad para eliminar el exceso de proteína cruda en la dieta^{56, 57, 58}.

5.9 Necesidades de treonina

Los requerimientos de treonina en pollos de engorda han sido estudiados desde las pasadas tres décadas⁵⁸. Para pollos de engorda de 1 a 21 días de edad, los requerimientos han variado de 0.55-0.60 % en la dieta, en los reportes de Krautman *et al.* 1958 (citado por Kidd y Kerr, 1996⁶) Hewitt y Lewis. 1972 (citado por Kidd y Kerr, 1996⁶), a 0.74-0.79 % de treonina total de la dieta establecidos por Thomas *et al.*, 1986(citado por Kidd y Kerr, 1996⁶). Mientras que el requerimiento de treonina total expresado como porcentaje de treonina podría representar el 3.7% de la proteína total de la dieta (Robbins *et al.*, 1987⁵⁹; Smith y Waldroup, 1988⁶⁰).

Bhargava *et al.* 1970⁵⁰, evaluaron 5 niveles (de 0.3 a 1.1%), en pollos de engorda de 0 – 18 días de edad obteniendo mejores resultados en 0.7% de treonina en la dieta y no encontraron diferencias estadísticas a niveles mayores. Takahashi *et al.* 1994⁵¹, al estudiar 3 niveles de treonina total (0.58, 0.8 y 1.02%) en la dieta bajo condiciones de estrés en pollos de engorda de 10 días de edad, encontraron que 0.8% de treonina total era el adecuado para estas aves.

En estudios realizados con pollos de engorda machos con niveles de treonina digestible de 0.55 a 0.85 con un incremento de 0.05%, se concluyó que los niveles de treonina en

En estudios realizados con pollos de engorda machos con niveles de treonina digestible de 0.55 a 0.85 con un incremento de 0.05%, se concluyó que los niveles de treonina en pollos de 30 a 42 días de edad no exceden a 0.75% y que 0.70% es adecuado para un mejor rendimiento⁶¹. Penz *et al.* 1997⁶², mencionan que un nivel de 0.70 % de treonina total en pollos de engorda machos de 3 a 6 semanas de edad es adecuado.

El NRC 1994³² recomienda un nivel de 0.74 % de treonina total para pollos de 22-42 días de edad, el cual es considerado por algunos autores por encima del requerimiento real^{61, 62, 63}.

Para la fase de finalización (6-8 semanas de edad), el NRC de 1994³² sugiere niveles de 0.68 % de treonina total para pollos de engorda. Pero la información encontrada para esta fase es limitada y los pocos reportes consideran que este valor es demasiado alto^{63, 64, 65, 66}.

De esta manera, las recomendaciones publicadas sobre las necesidades de treonina dietaria para pollos de engorda varían, además de que las investigaciones sobre este aminoácido para las etapas de desarrollo y finalización son limitadas^{64, 65}.

Algunos estudios han sugerido que las necesidades de treonina son mayores a las que recomienda el NRC en 1994³², cuando los animales son sometidos a condiciones de estrés en climas calurosos^{67, 68, 69} o por un rápido crecimiento debido a las nuevas estirpes genéticas⁷⁰.

6. JUSTIFICACIÓN

Actualmente la industria avícola es la actividad pecuaria más desarrollada en México¹, estudios de nutrición acerca de las necesidades de nutrientes como treonina (tercer aminoácido más limitante en aves^{4, 5}), son importantes. Ya que las Investigaciones acerca de las necesidades de treonina en pollos de engorda en sus diferentes etapas productivas son escasas, si son comparadas con los trabajos realizados para estimar los requerimientos de lisina o de aminoácidos azufrados^{6, 55}. Partiendo de las bases del concepto de proteína ideal o reducción de la proteína dietaria, la treonina puede ejercer un punto de presión ya que es el principal aminoácido limitante después de la lisina y aminoácidos azufrados en las dietas sorgo + pasta de soya, al tratar de lograr este objetivo^{55, 71, 72}.

Es importante considerar que muchos de los estudios sobre treonina fueron realizados para la etapa de iniciación, habiendo grandes incógnitas aún en las etapas de crecimiento y finalización, a pesar de que estas etapas son críticas ya que el animal consume una mayor cantidad de alimento sobre todo en la etapa de finalización, dándose posibles deficiencias o excesos de nutrientes que pueden repercutir directamente en el comportamiento productivo del ave o encarecer la dieta y así disminuir los márgenes de ganancia del productor. Se menciona que puede haber una interacción entre lisina y treonina, la cual puede ser importante ya que mejores rendimientos de carne de pechuga pueden obtenerse si se optimiza el uso de la treonina en la dieta^{55, 64, 65, 67}.

Es importante considerar que las necesidades de treonina que marca el NRC 1994³² para la etapa de finalización principalmente fueron establecidas por modelos de cómputo y no por modelos experimentales. Además de que varios de estos estudios no incluyen las necesidades de treonina expresados valores de aminoácidos digestibles, así como de su relación con la lisina (aminoácido de referencia para el concepto de proteína ideal). Es por esto que la estimación correcta o refinamiento de las necesidades de treonina son importantes si se trata de optimizar el comportamiento productivo de las aves, además de los márgenes de ganancia del productor.

Progresos significativos en el área de producción de vacunas recombinantes y nuevos adyuvantes se han desarrollado para favorecer la respuesta inmune de las aves y tratar de mejorar los programas de prevención de enfermedades. Pero la eficacia de estas vacunas en la actualidad depende de las condiciones de manejo, nutrición y programas de vacunación de pollos de engorda, los cuales deben ser encaminados a la prevención de enfermedades con la finalidad de remplazar el uso previo de antibióticos⁵², por lo cual, el estudio de los niveles de inclusión de aminoácidos involucrados en la respuesta inmune como la treonina, adquiere gran importancia para tener un mejor entendimiento de las necesidades de este aminoácido esencial y su relación con un posible efecto de favorecer la respuesta inmune en aves⁵², ya que la treonina es el tercer aminoácido limitante en dietas para aves^{6, 11}.

7. HIPÓTESIS.

- Niveles de treonina diferentes a los recomendados por el NRC 1994³² para pollos de engorda en sus diferentes etapas de producción, podrían optimizar los parámetros productivos, inmunidad y características de la canal de estas aves.
- Las relación treonina lisina adecuada para un mejor comportamiento productivo de pollos de engorda en sus diferentes etapas productivas, establecida en el concepto de Proteína Ideal^{12, 33} podrían ser diferente.

8. OBJETIVO GENERAL

- Calcular los niveles óptimos biológicos de treonina total y treonina digestible de pollos de engorda para un mejor comportamiento productivo e inmunidad y características de la canal.

9. OBJETIVOS PARTICULARES

- a) Calcular el nivel óptimo biológico de treonina digestible y treonina total, para la ganancia de peso, índice de conversión y eficiencia alimenticia, de pollos de engorda en las etapas de iniciación, desarrollo y finalización.
- b) Encontrar el nivel óptimo biológico para una mejor respuesta inmune celular y humoral de pollos de engorda en la etapa de iniciación.
- c) Calcular el nivel óptimo biológico para obtener un mayor porcentaje de rendimiento en canal, músculo de la pechuga, pierna y muslo, así como un menor porcentaje de grasa abdominal, de la canal de pollos de engorda en la etapa de finalización.



10. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo comprendió el desarrollo de cuatro ensayos con animales. El primero fue encaminado a determinar la digestibilidad verdadera de aminoácidos de la pasta de ajonjolí, ingrediente que permitió la manipulación de los niveles de treonina en las diferentes dietas experimentales. Los detalles de este experimento se describen más adelante (Experimento 1).

Los experimentos 2, 3 y 4 fueron realizados con el objetivo de estimar las necesidades de treonina total y digestible, en las diferentes etapas de producción de pollos de engorda, iniciación (1-21 días), crecimiento (22-42 días) y finalización (43-56 días).

Cabe mencionar que el procedimiento estadístico para esta serie de experimentos siguió el mismo mecanismo y se ajustó a los mismos modelos experimentales.

Los valores de porcentajes de digestibilidad verdadera para el contenido de aminoácidos del sorgo y la pasta de soya, que fueron empleados para formular las dietas experimentales, se calcularon a partir del aminograma correspondiente para cada muestra y empleando los coeficientes de digestibilidad verdadera, estimados por la técnica de alimentación precisa ya descrita, en estudios previos realizados y comparándolos con los valores reportados por Mariscal *et al.* 1997³⁸. Ya que estas materias primas no presentan una gran variación en sus coeficientes de digestibilidad y existe una mayor información sobre ellos.

Los estudios se realizaron en el Centro de Enseñanza Investigación y Extensión en Producción Avícola de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (UNAM) excepto el Experimento 1. El cual se encuentra localizado en Zapotitlán, Tláhuac, Distrito Federal, a 2,250 msnm, entre paralelos 19° 17' latitud norte y el meridiano 99° 02' 30'' longitud oeste, con condiciones de clima templado subhúmedo y bajo grado de humedad (C(wo)(w)). Enero es el mes más frío y mayo el más caluroso la precipitación pluvial media anual es de 747 mm⁷³.

10.1 Análisis Estadísticos

Al final de cada experimento se procedió a realizar un análisis de varianza para verificar los efectos de los tratamientos, así como una comparación de medias empleando la prueba de Tukey (SAS)⁷⁴.

10.2 Selección de los modelos de regresión

Con el objeto de predecir y explicar en un contexto más preciso las variables de respuesta, se utilizaron y probaron diferentes modelos de regresión lineal (Lineal, Cuadrático y Cúbico) empleando el paquete estadístico SAS⁷⁴. Para después comparar cada uno de los modelos de regresión empleados y así encontrar cual tuviera un mejor ajuste de los datos y de esta manera predecir las diferentes variables productivas con mayor precisión. Los procedimientos estadísticos empleados sugirieron que el modelo cuadrático, era el más indicado ya que presentó los menores cuadrados medios del error, en su mayoría mejores R^2 y más aceptables valores de significancia estadística para las diferentes betas.

10.3 Cálculo de los NOB

El nivel óptimo biológico (NOB), de algún nutriente es aquel, con el cual el animal expresa su máximo potencial productivo con máxima ganancia de peso o baja conversión alimenticia. Usualmente el NOB, se ha utilizado para formulación al mínimo costo donde se busca el mejor desarrollo productivo de los animales, a partir de una dieta que contenga estos niveles de nutrientes al menor costo posible¹⁰.

Los diferentes niveles óptimos biológicos de las diferentes variables evaluadas se estimaron con la ayuda de un optimizador (SOLVER) de Excel 2000®, tomando en cuenta las diferentes ecuaciones de predicción arrojadas por los diferentes análisis de regresión cuadráticos para las diferentes variables de respuesta y de esta manera resolver cada uno de los modelos.

10.4 Modelo experimental

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, de acuerdo al siguiente modelo estadístico para el análisis de resultados:

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

Donde:

Y_{ij} = Variable de respuesta.

μ = Media general.

T_i = Efecto del i-ésimo nivel de Treonina sobre la variable de respuesta.

E_{ij} = Error experimental.

10.5 Modelo de regresión lineal con transformación cuadrática.

Se empleó un diseño de regresión con transformación cuadrática de acuerdo al siguiente modelo estadístico.

$$Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1(T) + \beta_2(T^*T) + \text{Error}$$

Donde:

Y_{ij} = Variable de respuesta.

β_0 = Intercepto.

β_1, β_2 , = Parámetros a estimar.

T= Nivel de treonina

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

11. EXPERIMENTO 1. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE DIGESTIBILIDAD VERDADERA DE LA PASTA DE AJONJOLÍ

11.1 MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se llevó a cabo en las instalaciones avícolas del Centro Experimental "Valle de México" en Chapingo, estado de México, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (SAGARPA).

La digestibilidad verdadera de la pasta de ajonjolí fue evaluada utilizando la técnica desarrollada por Sibbald, 1979⁷⁵. En la cual fueron utilizados 8 gallos Leghorn de cresta simple de 25 semanas de edad con un peso promedio de 1570 ± 122 g. Los gallos fueron alojados en jaulas individuales de acero inoxidable; colocando debajo de cada jaula una charola forrada con plástico para colectar las excretas. Antes de iniciar la prueba los animales se sometieron a un ayuno de alimento por 24 horas, finalizando este periodo se les administró a 4 gallos exactamente por alimentación precisa, 30 g de la materia prima (Pasta de ajonjolí) a cada uno. Después de 48 horas se retiraron las excretas y se deshidrataron al medio ambiente; las muestras colectadas ya secas se recolectaron y se dejaron reposando a temperatura ambiente para su equilibrio en humedad y se procedió a su correspondiente análisis de aminoácidos.

Para medir los aminoácidos endógenos excretados se utilizaron 4 gallos, a los cuales también se les recogieron las excretas en 48 horas; todo con la finalidad de hacer las correcciones de excreción endógena de aminoácidos y de esta manera conocer la digestibilidad verdadera de los aminoácidos, mediante la siguiente fórmula:

$$CDV = \frac{CAC - (CAE - CAEE)}{CAC} \times 100$$

CDV = Coeficiente de digestibilidad verdadera del aminoácido.

CAC = Cantidad del aminoácido consumido.

CAE = Cantidad del aminoácido excretado.

CAEE = Cantidad del aminoácido endógeno excretado.

11.1.1 Análisis de aminoácidos

El procedimiento para realizar el análisis de aminoácidos del ingrediente y de las excretas de los gallos fue realizado por la empresa Degussa México, S.A. quienes utilizaron, oxidación e hidrólisis ácida de los aminoácidos azufrados e hidrólisis ácida para el resto de los aminoácidos; no se efectuó hidrólisis alcalina para la determinación de triptofano.

11.1.2 Análisis Químico Proximal

El análisis químico proximal ^{76, 77} se realizó por duplicado a la muestra de pasta de ajonjolí determinando materia seca, proteína cruda, cenizas, extracto etéreo y fibra cruda. Estas muestras fueron procesadas en el laboratorio de análisis químicos para alimentos (Departamento de Nutrición FMVZ-UNAM).

11.2 RESULTADOS Y DISCUSION

El análisis químico proximal de la pasta de ajonjolí empleada (Cuadro1), mostró que la cantidad de proteína cruda de la muestra era menor, además de que contenía una

mayor cantidad de fibra cruda y extracto etéreo, en relación a lo descrito por el NRC 1994³². Los valores obtenidos en porcentaje de aminoácidos totales (AAT) en las muestras evaluadas en el laboratorio de pasta de ajonjolí (Cuadro 1), no difieren de gran manera a los valores publicados^{32, 38, 39} (Cuadro 2). Posteriormente, con estos valores de AAT expresados en porcentaje en cada ingrediente y el análisis de laboratorio del contenido de aminoácidos de las excretas de los gallos, se realizó el cálculo de los aminoácidos digeribles (AAD) de cada muestra analizada. Los valores de digestibilidad para las muestras de ajonjolí (Cuadro 2), fueron en promedio menores a los publicados por Mariscal *et al.* 1997³⁸ y el NRC 1994³² (Cuadro 2). El resumen de los resultados obtenidos para perfil de AAT, perfil verdadero de AAD y coeficientes de digestibilidad de cada aminoácido de la pasta de ajonjolí puede observarse en el Cuadro 3. La variabilidad en la digestibilidad de aminoácidos en los alimentos puede deberse a varios factores, como son la presencia de factores antinutricionales en los alimentos, la cantidad de fibra cruda³ y condiciones adversas de procesamiento (presión y/o calor) que pueden afectar negativamente la disponibilidad de aminoácidos en los ingredientes⁴⁰. En la producción moderna de alimentos, se han desarrollado una serie de procesos que se aplican tanto a ingredientes como a alimentos terminados, entre estos se puede considerar a la molienda, extracción de aceites, cocción, mezclado, peletizado, deshidratado y enfriado^{40, 78}. En el caso de la pasta de ajonjolí empleada en este estudio, fue procesada por un procedimiento de compresión con rodillos para obtener el aceite, este procesamiento térmico pudo afectar la calidad de la proteína y por ende los aminoácidos presentes en el ingrediente, reduciendo su disponibilidad⁷⁸. Además, al considerar que el contenido de fibra de la muestra

determinada en el análisis químico proximal esta por arriba de lo que marca el NRC 1994³², todo lo cual podría ser la causa de la menor digestibilidad de la pasta de ajonjolí.

12. EXPERIMENTO 2 (FASE DE INICIACIÓN 1-21 DÍAS DE EDAD)

12.1 MATERIALES Y MÉTODOS

Se emplearon 336 pollos de engorda de la estirpe Ross x Ross de 1 día de edad, los cuales fueron distribuidos en un arreglo completamente al azar en 7 tratamientos de 4 réplicas de 12 pollos cada una. Las aves se alojaron durante los 21 días de duración del experimento en criadoras eléctricas en batería Petersime con regulación de temperatura automática.

Los tratamientos experimentales consistieron en incluir diferentes niveles de treonina total y digestible en dietas basales sorgo + pasta de soya + pasta de ajonjolí (Cuadro 4), a las cuales se adicionó L-treonina sintética a expensas del azúcar para lograr los diferentes niveles de treonina requeridos para las diferente dietas experimentales (dietas del 1 al 6), partiendo de un nivel deficiente de 0.70% de TT o 0.57% de TD, con incrementos de 0.05% de TT y TD y de esta manera hasta lograr un nivel alto de 0.95% de TT o 0.82% de TD. Además se elaboró una dieta testigo (dieta 7) con base a sorgo + pasta de soya (Cuadro 4) la cual contenía un nivel de 0.80% de TT similar al recomendado por el NRC 1994³². Los demás aminoácidos esenciales (azufrados y lisina) fueron incluidos en un ligero exceso para evitar deficiencias de ellos. Los niveles de treonina empleados se muestran en el Cuadro 5.

El agua y el alimento se suministraron a libre acceso. Semanalmente se midieron la ganancia de peso, consumo de alimento, índice de conversión y la eficiencia alimenticia. De los datos obtenidos se procedió a realizar un resumen general

**TRAM CON
FALLA DE ORIGEN**

correspondiente a la etapa productiva (1-21 días de edad), para cada una de sus variables.

12.1.1 Evaluación de la respuesta inmune humoral

Para evaluar el efecto de la adición de treonina en diferentes niveles, sobre la respuesta inmune humoral de los pollos, las aves se inmunizaron utilizando una vacuna emulsionada contra la enfermedad de Newcastle, inoculada por la vía subcutánea (tercio medio del cuello) y otra por vía ocular (cepa La Sota) al día 7 de edad. Al día 14 de edad de las aves se tomaran muestras de sangre (5 aves por réplica), para determinar títulos de anticuerpos contra el virus de la enfermedad de Newcastle por medio de una prueba de inhibición de la hemoaglutinación (HI)^{79, 80}. Cabe mencionar que los valores obtenidos de los títulos de anticuerpos se sometieron a una transformación utilizando Logaritmo base 2, para su posterior análisis estadístico empleando una prueba de ANDEVA⁷⁴.

12.1.2 Respuesta inmune celular

Se evaluó al día 14 de edad de las aves, mediante una prueba de hipersensibilidad tardía, como respuesta a la inoculación intradérmica con fitohemaglutininas-Pⁱ (PHA-P)⁸¹⁻⁸⁵.

Se utilizaron seis aves por réplica, a las cuales se inoculó una solución (PHA-P) 150 mg/0.1ml de solución salina estéril en la membrana interdigital de los dedos 3 y 4 de la pata derecha. En la pata izquierda se realizó el mismo procedimiento utilizando una

ⁱ Sigma Chemical; St. Louis, Mo.

solución salina estéril (0.1ml) como control. Se determinó el grosor de la membrana interdigital antes de la inyección de la PHA-P y a las 24 horas post inoculación. El cálculo del incremento en el grosor de la membrana interdigital de las aves se estimó mediante la siguiente fórmula:

$$RHSC = (GEPDPSI - GEPDPREI)$$

Donde:

RHSC = Respuesta a la hipersensibilidad cutánea.

GEPDPSI = Grosor de la epidermis de la pata derecha post-inoculación (24 hrs).

GEPDPREI = Grosor de la epidermis pata derecha pre-inoculación.

12.2 RESULTADOS

12.2.1 Parámetros productivos

Los resultados obtenidos de las variables productivas sometidas al análisis de varianza para la fase de iniciación, mostraron diferencias significativas ($P < 0.05$) para peso promedio, ganancia de peso, índice de conversión y eficiencia alimenticia (Cuadro 6). Los modelos de regresión lineal que ajustaron mejor para predecir las diferentes variables productivas, fueron los modelos de regresión lineal cuadrática, la comparación de los diferentes modelos evaluados se pueden observar en el Cuadro 7. El NOB estimado para el peso promedio, obtenido a partir de la ecuación de regresión (Figura 2) fue de 0.84% de TT o 0.71% de TD; mientras que la ecuación de regresión sugirió que el NOB (Figura 3) adecuado para la ganancia de peso de 0.85% de TT o 0.72% de TD. El NOB obtenido para el índice de conversión (Figura 4) fue de 0.84% de TT o

0.71% de TD; de la misma forma la eficiencia alimenticia mostró un comportamiento similar (Figura 5), con un NOB estimado de 0.84% de TT o 0.71% de TD el cual fue calculado a partir de su ecuación de regresión.

12.2.2 Respuesta inmune

La respuesta inmune humoral (Cuadro 8), se vió favorecida estadísticamente ($P < 0.05$), al incrementar los niveles de treonina, al igual que la respuesta inmune celular (Cuadro 8), que se incrementó ($P < 0.05$) al suplementar treonina en un nivel mayor. Al realizar el análisis de regresión cuadrática para ambas variables las estimaciones de los NOB coincidieron con la inclusión de TT y TD en la dieta de 0.85% y 0.72% respectivamente. La comparación de los diferentes modelos de regresión lineal probados se pueden observar en el Cuadro 9, mientras que las gráficas que describen el comportamiento de las variables, así como la ecuación de predicción para la respuesta inmune humoral se describen en la Figura 6 y para la respuesta inmune celular la Figura 7.

12.3 DISCUSIÓN

12.3.1 Parámetros productivos

Los resultados mostraron que un NOB de 0.84 % de TT o 0.71% de TD para peso promedio, índice de conversión y eficiencia alimenticia respectivamente y de 0.85% de TT o 0.72% de TD para la ganancia de peso, fueron suficientes para optimizar estas variables. Estos resultados fueron mayores a los encontrados en otros estudios^{86, 87}, quienes sugieren 0.73%, 0.78% y 0.68% de TT para ganancia de peso y 0.77%, 0.78% y 0.79% para índice de conversión alimenticia respectivamente. Y son parecidos a los

informados por Rangel-Lugo *et al.*, 1994⁴⁵, de 0.86% y 0.82% de TT para ganancia de peso e índice de conversión alimenticia respectivamente. Cabe mencionar que estos autores omiten dar recomendaciones sobre los requerimientos estimados en valores de treonina digestible, así como su relación con el % de lisina digestible y total del concepto de proteína ideal, siendo que la magnitud de respuesta, como la efectividad de la utilización de L-treonina adicionada en la dieta puede depender de la cantidad y/o balance de los demás aminoácidos esenciales. Con respecto a esta observación los resultados obtenidos en este estudio sugieren un porcentaje cercano a 0.60% de TD para optimizar la respuesta productiva, con respecto al porcentaje de lisina digestible, el cual es menor al encontrado por Baker *et al.* 1994 (concepto de Proteína ideal¹²).³⁴, pero son similares a estudios recientes (Kidd *et al.*, 1997; Baker *et al.*, 2001⁶¹)⁸⁶, quienes concluyen que la relación ideal para pollitos de treonina-lisina puede no exceder al 60%.

12.3.2 Respuesta inmune

La respuesta inmune celular y humoral, mostraron un efecto cuadrático al aumentar los niveles de treonina en la dieta, esta variable fue maximizada cuando se incluyó un nivel de 0.85% de TT o 0.72% de TD. Algunos autores sugieren que una deficiencia o exceso de ciertos nutrientes en aves puede afectar la respuesta inmune de estos animales. En el caso de la treonina se menciona que la treonina forma parte importante de las gammaglobulinas en aves (Tenenhouse y Dutsch, 1996, citado por Bhargava *et al.*, 1971⁵⁰) y una deficiencia podría suprimir la respuesta inmune en aves (Tizzard, 1992, citado por Kidd, 2000⁵³). Bhargava *et al.* 1971⁵⁰ evaluaron el crecimiento y la

producción de anticuerpos en aves tipo Leghorn contra el virus de la enfermedad de Newcastle, alimentados con dietas que contenían una dieta deficiente de 0.3% y una dieta con exceso 1.1% de treonina total. En este estudio se concluyó que 0.7% de TT era suficiente para obtener un máximo crecimiento, pero niveles mayores eran requeridos para maximizar la respuesta inmune. No obstante otros estudios (Takahashi *et al.*, 1994⁵¹; Kidd *et al.*, 1997⁵³) mostraron que diferentes concentraciones de treonina dietaria no tienen efectos sobre la producción de anticuerpos en pollos de engorda. Morales *et al.* 2001⁸⁸. encontraron que en pollos de engorda de 1-21 días de edad la inclusión de TT en niveles de 95% y 105% con respecto al requerimiento del NRC 1994 (0.8% de TT)³², no afectaron la producción de anticuerpos de estas aves, al ser sometidas a un calendario de vacunación con un mayor número de vacunas, práctica que representa un mayor estrés para estas aves. Los resultados de este experimento coinciden con estudios realizados en cerdos (Defa *et al.*, 1999⁸⁹) quienes encontraron una respuesta cuadrática en los títulos de anticuerpos de cerdos machos y hembras alimentados con niveles crecientes de treonina en la dieta. Estudios realizados en ratas sugieren que niveles mayores de treonina son requeridos para optimizar la producción de anticuerpos, comparados con los de un óptimo crecimiento. La relación treonina-lisina digestibles (concepto de Proteína Ideal¹²) encontrada en este estudio para maximizar la respuesta inmune, sugiere un valor de 61% muy similar al encontrado para un óptimo desempeño productivo.

13. EXPERIMENTO 3 (ETAPA DE CRECIMIENTO 22-42 DÍAS DE EDAD)

13.1 MATERIALES Y MÉTODOS

Se emplearon 420 pollos de engorda de la estirpe Ross de 21 días de edad, que fueron criados durante los primeros 20 días previos al experimento con una dieta común sorgo + pasta de soya que contenía los niveles nutricionales que marca el NRC-1994³². Posteriormente (día 21), las aves fueron distribuidos en un arreglo completamente al azar, que contó con 7 tratamientos de 4 réplicas de 15 pollos cada una. Los tratamientos experimentales consistieron en incluir diferentes niveles de treonina total y digestible con respecto al NRC 1994³², en una dieta basal (Cuadro 10) que fue deficiente en treonina, la cual fue calculada por formulación lineal para ser isoprotéica, isoenergética e isoaminoacídica con excepción a la treonina, compuesta de sorgo + pasta de soya + pasta de ajonjolí (dieta basal), a la cual se adicionó L-treonina sintética a expensas de azúcar (dietas del 1 al 6) y de esta manera obtener los diferentes niveles de treonina total y digestible requeridos para el experimento (Cuadro 11). La fase de crecimiento empleó un nivel deficiente de 0.62% de TT o 0.50% de TD, a partir de la cual se incluyeron incrementos de 0.04% de TT o TD hasta lograr un nivel excesivo de 0.82% de TT o 0.70 de TD. Además se incluyó una dieta 7 como testigo basada en sorgo + pasta de soya (Cuadro 10) que incluía un nivel de 0.74% TT similar al que recomienda el NRC 1994³². Durante el período experimental (22 - 42 días de edad las aves), las aves fueron alojadas en una caseta de ambiente natural la cual cuenta con corrales de 1.5 x 2 m, cada corral en piso contó con cama de viruta de pino, un bebedero de campana, un comedero de tolva, un rodete de lamina galvanizada y una

criadora infrarroja de gas LP que proporcionó la fuente de calor para cada 4 corrales. El agua y el alimento fueron suministrados a libre acceso.

Las variables evaluadas en esta etapa fueron ganancia de peso, consumo de alimento, índice de conversión y la eficiencia alimenticia.

13.2 RESULTADOS

13.2.1 Parámetros productivos

Los promedios obtenidos para peso promedio, ganancia de peso, consumo de alimento e índice de conversión, de los diferentes niveles de treonina total y digestible de la etapa de crecimiento, fueron estadísticamente diferentes ($P < 0.05$) a las diferentes concentraciones de treonina suministrada en la dieta los resultados se muestran resumidos en el Cuadro 12. Mientras que los resultados de los diferentes modelos de regresión evaluados se presentan en Cuadro 13. El análisis de regresión sugirió que el NOB para optimizar el peso promedio (Figura 8) fue de 0.71% de TT o 0.59% de TD, de 0.71% de TT o 0.59% de TD para ganancia de peso (Figura 9). Mientras que el índice de conversión (Figura 10) y la eficiencia alimenticia (Figura 11), mostraron un comportamiento similar, encontrando que el NOB para ambas variables fue de 0.73 % de TT o 0.61 % de TD respectivamente. En general el tratamiento 7 o dieta testigo sorgo + P. soya, presentó parámetros productivos más pobres que fueron muy similares al tratamiento 1 o dieta deficiente.

13.3 DISCUSIÓN

13.3.1 Parámetros productivos

Las estimaciones obtenidas para la fase de crecimiento (21-42 días de edad), mostraron que los niveles requeridos para optimizar las variables productivas, correspondieron a los siguientes valores de TT o TD, peso promedio y ganancia de peso (0.71% o 0.59%), para el índice de conversión y la eficiencia alimenticia (0.73% o 0.61%), los valores adecuados para las diferentes variables en general son menores a las recomendaciones establecidas por el NRC 1994 de 0.74% de TT³². Pero estos resultados concuerdan con los obtenidos por otros autores (Webbel *et al.*, 1996⁶³; Penz *et al.*, 1997⁶²; Thomas *et al.*, 1995, citado por Barkley *et al.*, 2001⁸⁷; Kidd y Kerr, 1997⁶¹), quienes concluyen que el requerimiento de treonina recomendado por el NRC 1994³² para pollos de engorda de 3-6 semanas de edad es alto. La relación treonina-lisina recomendada para un óptimo comportamiento productivo se encontró entre 59% y 61% de TD con respecto a la lisina digestible de la dieta. Este resultado concuerda con el sugerido por Leclercq 1998⁹⁰ quien encontró que los requerimientos de treonina expresados como porcentaje de lisina en la dieta variaron de 54 a 65. Webbel *et al.* 1996⁶³ demostraron que el requerimiento de treonina para un óptimo comportamiento productivo fue de 0.61% de TD o 0.70% de TT que puede ser expresado como el 70 % de la lisina en la dieta. Sin embargo, este resultado es menor al encontrado por otros autores, quienes señalan que el requerimiento de treonina para ganancia de peso, conversión alimenticia, debería ser expresado como el 70% de la lisina digestible en la dieta (Webel *et al.*, 1996⁶³; Baker y Han, 1994¹²; Penz *et al.*, 1997⁶²; Kidd y Kerr, 1997⁶¹). En general, el tratamiento 7 (dieta testigo sorgo + pasta de soya), presentó los

peores comportamientos productivos. Cabe mencionar que varios estudios ^{18-22, 40} sugieren que en dietas bajas en proteína otros aminoácidos limitantes diferentes a metionina, lisina y treonina, podrían ser deficientes y deprimir las variables productiva en aves si no son considerados para una correcta formulación. En este trabajo, estos aminoácidos no se tomaron en cuenta para formular la dieta testigo y ésto pudo haber provocado la baja respuesta productiva de estas aves.

14. EXPERIMENTO 4 (ETAPA DE FINALIZACIÓN 43-56 DÍAS DE EDAD)

14.1 MATERIALES Y MÉTODOS

De manera similar al Experimento 3 se utilizaron 420 pollos de engorda de 42 días de edad de la estirpe Ross x Ross, los cuales fueron alojados en una caseta de ambiente natural, que cuenta con corrales de 1.5 x 2 m. Cada corral en piso contenía cama de viruta de pino, un bebedero de campana y un comedero de tolva. Se utilizó un diseño completamente al azar con 7 tratamientos de cuatro réplicas de 15 aves cada una. Las aves recibieron una dieta común de los 1 a 42 días de edad basada en sorgo + pasta de soya con los niveles de nutrimentos que recomienda el NRC 1994³² para aves de esta edad. De los 43 a 56 días de edad las aves recibieron las dietas experimentales formuladas por programación lineal con base en treonina total y digestible, con similares niveles de nutrientes a excepción de la treonina, la dieta basal (Cuadro 14) consistió en una dieta sorgo + pasta de soya + pasta de ajonjolí, a partir de la cual fueron formuladas las otras dietas (2-6), en la que se sustituyó L-treonina sintética a expensas de azúcar. Los diferentes niveles empleados en esta fase fueron, una dieta deficiente de 0.54% de TT o 0.44% de TD, con incrementos de 0.046% de TT o TD para obtener una dieta con exceso de treonina de 0.77% de TT o 0.58% de TD. También se utilizó una dieta testigo (Cuadro 14) sorgo + pasta de soya con un nivel de treonina similar al recomendado por el NRC 1994³² para esta etapa (0.68% de TD). Los niveles de nutrientes calculados para las diferentes dietas experimentales se muestran en el Cuadro 15.

TRONAS CON
FALLA DE ORIGEN

Las variables evaluadas fueron: ganancia de peso, consumo de alimento, índice de conversión y eficiencia alimenticia.

Al final de experimento se sacrificaron tres aves por cada réplica para determinar el % de rendimiento en canal, el % de músculo de la pechuga (sin hueso ni piel), el % de pierna y muslo, además del % de grasa abdominal. Este procedimiento se realizó en un rastro comercial.

14.2 RESULTADOS

14.2.1 Parámetros productivos

Para la fase de finalización que comprendió de los 42 a los 56 días de edad de las aves, los resultados promedio para cada variable productiva sometidas al análisis de varianza mostraron que el peso promedio, la ganancia de peso, el índice de conversión y la eficiencia alimenticia, fueron diferentes estadísticamente ($P < 0.05$) entre diferentes niveles de treonina, los promedios se muestran en el Cuadro 16. Los estimadores de los diferentes modelos de regresión empleados y probados para las variables productivas se describen en el Cuadro 17. Las diferentes variables analizadas en este experimento sugirieron que el peso promedio (Figura 12) puede ser optimizado (NOB) a un nivel de 0.66% de TT o 0.56% de TD; para la ganancia de peso (Figura 13) el NOB calculado fue de 0.67% de TT o 0.57% de TD; el índice de conversión (Figura 14) y la eficiencia alimenticia (Figura 15) mostraron un comportamiento similar, calculándose un NOB para ambas variables correspondiente a un nivel de 0.67% de TT o 0.57% de TD en la dieta.

14.2.2 Características de la canal.

Se evaluaron el porcentaje de rendimiento en canal, músculo de la pechuga sin hueso y sin piel, así como el de pierna con muslo y de grasa abdominal. Los resultados promedio para los diferentes componentes de la canal expresados en kilogramos (Cuadro 18) y expresados en porcentaje (Cuadro 19), no mostraron diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$) en ninguna de las variables evaluadas, siendo los resultados similares entre tratamientos o diferentes niveles de inclusión de treonina total o digestible en la dieta.

14.3 DISCUSIÓN

14.3.1 Parámetros productivos y características de la canal

La fase de finalización fue evaluada de los 42 a 56 días de edad de las aves, los valores obtenidos que optimizaron las variables productivas para esta etapa indicaron que para peso promedio requirió un valor de 0.66% de TT o 0.56% de TD, mientras que para ganancia de peso, conversión alimenticia y eficiencia alimenticia un nivel de 0.67% de TT o 0.57% de TD fue suficiente. Estos valores sugieren una relación lisina-treonina de 62 al 63%. Aunque para la fase de finalización pocos estudios se han realizado. Estos resultados difieren siendo mayores los niveles encontrados en este estudio, comparados con los de Webbel *et al.*, 1996⁶³. quienes sugieren que para pollos de engorda de 6 a 8 semanas de edad un nivel de 0.52% de TD o 0.60% de TT fue suficiente para un mejor comportamiento productivo. Aunque estudios recientes (Kidd *et al.*, 1999⁶⁵), encontraron que en pollos de engorda de 6 a 8 semanas de edad el requerimiento de treonina necesario para un óptimo comportamiento productivo y

características de la canal estimado, corresponde a 0.66% y 0.67% de TT respectivamente, resultados muy similares a los establecidos por el NRC 1994 (0.68% de TT³²) y parecidos a los establecidos en este estudio.

Para las variables evaluadas expresadas en porciento tales como % de canal, %de músculo de la pechuga, % de pierna con muslo y % de grasa abdominal, no se encontraron diferencia estadística ($P > 0.05$), entre los diferentes niveles de treonina en la dieta, estos resultados no concuerdan con los encontrados por Kidd *et al.* 1999⁶⁵, quienes concluyen que 0.67% de TT era necesario para mejorar las características de la canal y de manera similar Dozier *et al.* 1999⁶⁶ encontraron que 0.70% de TT era suficiente para mejorar la variable carne de pechuga. Estudios recientes por Kidd *et al.* 2002⁹¹⁻⁹³ evaluaron las necesidades de treonina en pollos Cobb machos y hembras en dos ambientes, limpio y sucio. En pollos machos criados en ambiente limpio, las necesidades variaron de 0.63% a 0.68% de TT, mientras que en pollos machos criados en ambientes sucios no existió respuesta y no fue posible estimar el requerimiento. Ya que las aves criadas en ambientes sucios pueden no haber respondido a la treonina, debido a un aumento de las necesidades del tracto gastrointestinal y no mostrar efectos a la variable características de la canal. Es así como, el requerimiento que marca el NRC 1994³² (0.68% de TT) pudiera ser suficiente para un óptimo comportamiento de la canal.

15. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio y bajo las condiciones experimentales empleadas se puede concluir que:

- a) Los niveles de treonina dietaria que optimizan la ganancia de peso, el índice de conversión y la eficiencia alimenticia de pollos de engorda de 1-21 días de edad, fueron de 0.85% de treonina total (TT) o 0.72% de treonina digestible (TD), 0.84% de TT o 0.71% de TD y 0.84% de TT o 0.71% de TD respectivamente, niveles mayores a los informados por el NRC 1994³². Una relación de treonina-lisina digestibles del 60% podría ser adecuada para optimizar las variables productivas de estas aves. La respuesta inmune se optimizó en aves de 1-21 días de edad a un nivel de inclusión de treonina en la dieta de 0.85% TT y 0.72% TD, sugiriendo un valor de 61% expresado en relación al porcentaje de lisina digestible de la dieta.

- b) Los valores encontrados de treonina en la dieta para la fase de crecimiento (22-42 días de edad de las aves), los cuales optimizan las respuesta productiva son de 0.71% de TT o 0.59% de TD para la ganancia de peso y de 0.73% de TT o 0.61% de TD para el índice de conversión y eficiencia alimenticia respectivamente, niveles menores al que recomienda en NRC 1994³². La relación lisina-treonina, recomendada para un óptimo comportamiento productivo de esta etapa se encontró entre un 59% y 61% de TD con respecto a la lisina digestible en la dieta.

- c) Los resultados que se obtuvieron en la fase de finalización (42-56 días de edad de las aves) en el presente trabajo, muestran que el NOB que optimiza la ganancia de peso, el índice de conversión y la eficiencia alimenticia corresponde a un valor de 0.67% de TT o 0.57% de TD, para las tres variables, arrojando un nivel muy similar al sugerido por el NRC 1994³². Este valor indicó una relación treonina-lisina del 63%.
- d) Mientras que, para el % de la canal, % de músculo de la pechuga, % de pierna con muslo y % de grasa abdominal, no se encontró ningún efecto de incremento o disminución de estas variables en las aves sacrificadas al día 56 de edad, al someterlas a diferentes niveles de TT y TD en la dieta con respecto al recomendado por el NRC 1994³².

16. LITERATURA CITADA

1. Yáñez CMA. La importancia del sector avícola mexicano y sus perspectivas. México. DF: Unión Nacional de Avicultores, 2000.
2. Praharaj NK. Nutrition and the immune response in chickens. *Indian J. Poultry. Sci* 1996;31:1-5.
3. Penz JAM. Actualidades en nutrición de aves. Memorias del décimo segundo ciclo de conferencias sobre aminoácidos sintéticos; 2000 septiembre 21; D.F (México). México (D.F): FERMEX, S.A, 2000:58-90.
4. Scott ML, Nesheim MC y Young RJ. *Nutrition of the chicken- 3rd ed.* Ithaca, N.Y.: M.L. Scott, 1982.
5. Cuca GM, Avila GE, Pro MA. Alimentación de las aves. 8^a ed. Chapingo Edo. De México: Universidad Autónoma de Chapingo, 1996.
6. Kidd MT, Kerr BJ. L-Threonine for poultry: a review. *J. Appl Poultry Res* 1996;5:358-367.
7. Barkley RG y Wallis RI. Threonine requirements of broilers: an experimental validation of a model using growth response and carcass analysis. *Br. Poultry Sci* 2001;42:616-624.
8. Unión Nacional de Avicultores. *Avicultura Mexicana*. UNA. Disponible en : <http://www.una.com.mx>
9. Unión Nacional de Avicultores. *Indicadores económicos. Producción industrial avícola 2000*. UNA. Disponible en : <http://www.una.com.mx>

10. Mercado FL. Modelo multifactorial de energía, proteína, metionina y lisina en dietas para pollos de engorda (tesis de maestría). Chapingo (Edo. Méx) México: Universidad Autónoma de Chapingo, 1999.
11. Ávila GE. Avances recientes sobre las necesidades de aminoácidos de los pollos de engorda. *Memorias del Cuarto Ciclo de Conferencias sobre Aminoácidos Sintéticos*; 1992 septiembre 19. D.F (México). México (DF): FERMEX, S. A, 1992: 13-19.
12. Baker DH y Han YHS. Ideal amino acid profile for chicks during the first three weeks post hatching. *Poultry Sci* 1994;73:1441-1447.
13. Fernández SR. Proteína Ideal en la alimentación de pollos de engorda. *Memorias de AFIA-AGRO*; 1996. Junio 12-15; Guadalajara (Jal) México. México (DF): AFIA-AGRO S.A, 1996:1-12.
14. Sibbald IR. Estimation of available amino acids in feedingstuffs for poultry and pigs: a review with emphasis on balance experiments. *Can. J. Anim Sci* 1987;67:221-230.
15. Antillon RA y López CC. *Enfermedades nutricionales de las aves*. México, D.F. México: Sistema de Universidad Abierta, FMVZ-UNAM, 1987.
16. Edmonds MS y Baker HD. Amino acids excesses for young pigs: effects of excess methionine, tryptophan, threonine and leucine. *J. Anim Sci* 1987;64:1664-1671.
17. Reyes SE. Diferentes niveles de lisina en dietas para pollos de engorda con dos programas de alimentación, su efecto sobre la uniformidad y rendimientos de la canal, con análisis econométrico para estimar los niveles óptimos biológicos y económicos (tesis de Doctorado). Colima (Colima) México: Universidad de Colima, 2001.

18. Kerr BJ. Revisión crítica de las investigaciones sobre dietas bajas en proteína y suplementadas con aminoácidos cristalinos para pollos de engorda. Memorias del Quinto Ciclo de Conferencias sobre Aminoácidos Sintéticos; 1993 septiembre 24. D.F.; (México). México (DF): FERMEEX, S. A, 1993: 38-85.
19. Han YHS, Parsons MC y Baker HD. Amino acids fortification of a low-protein corn and soybean meal diet for chicks. Poultry Sci 1992;71:1168-1178.
20. Russell LE, Cromwell LG y Stahly ST. Tryptophan, threonine, isoleucine and metionine supplementation of a 12 % protein, lysine supplemented, corn-soybean meal diet for growing pigs. J. Animal Sci 1983;56:1115-1123.
21. Cervantes RM, Cromwell LG y Stahly ST. Amino acids supplementation of low protein, grain sorghum-soybean meal diets for pigs. J. Anim Sci 1992;70:115 (Abst.).
22. Waldroup WP, Jiang Q y Fritts AC. Increasing the level of dispensable and indispensable amino acids does not overcome the performance reduction in low crude protein diets. The Southern Poultry Science Society, 23rd Annual Meeting, and The Southern Conference on Avian Diseases, 43rd Annual Meeting; 2002 January 14 & 15; Atlanta. (Georgia) USA: The Southern Poultry Science Society, 2002:4 (Abst.13).
23. Kerr BJ. Métodos para reducir la excreción de nitrógeno al medio ambiente en animales monogástricos. Memorias del VII Congreso Nacional AMENA; 1995 noviembre 2-4; Veracruz (Veracruz) México. México (DF): Asociación Mexicana de Especialistas en Nutrición Animal, AC, 1995: 85-129.
24. Morales BE. Evaluación de aminoácidos digestibles en ingredientes y el comportamiento productivo de pollos de engorda y gallinas de postura en dietas en

- base a aminoácidos totales y aminoácidos digestibles mediante el concepto de proteína ideal (tesis de doctorado). Colima (Colima) México: Universidad de Colima, 1999.
25. Peñalva GG. 1999: Proteína ideal-aplicación practica en aves. Memorias del Décimo Primer Ciclo de Conferencias Sobre Aminoácidos Sintéticos; 1999 septiembre 22; México DF. México (DF): FERMEX, S. A, 1999:48-58.
 26. Firman JD y Boling DS. Ideal protein in turkeys. Poultry Sci 1998;77:105-110.
 27. Almquist HJ y Grau CR. The amino acids requirements of the chicks. J Nut 1944;28:325-331.
 28. Klain GJ, Scott HM y Johnson BC. The amino acid requirements of the growing chick fed a crystalline amino acids diet. Poultry Sci 1960;39:39-44.
 29. Baker HD, Robbins RK y Bucks SJ. Modificación of the level of histidine and sodium bicarbonate in the Illinois crystalline amino acids diet. Poultry Sci 1979;58:749-750.
 30. Baker HD y Chung KT. Ideal protein for swine and poultry. Sta. Louis BioKyowa technical review-4, Biokyowa Inc., 1992.
 31. National Research Council. Nutrient requirements of poultry. 8th rev. Ed. Wahisngton, DC: National Academy Press, 1984.
 32. National Research Council. Nutrient requirements of poultry. 9th rev. Ed. Washington, DC: National Academy Press, 1994.
 33. Baker y Han YHS. Digestible amino acid requirements of broilers chickens during two growth periods. Poultry Sci 1993;72(Suppl.1):55(Abstr).

34. Kerr BJ. 1994: Consideraciones prácticas en la utilización del concepto de proteína ideal en pollos de engorda. Sexto ciclo de conferencias sobre aminoácidos sintéticos; 1994 Septiembre 23; México DF. México (DF):FERMEX S. A, 1994:28-40.
35. Parsons MC. Amino acids digestibility in feedstuffs for poultry: Feedstuff evaluation and requirements. BioKyowa Technical Review 1991;No.1;1-15.
36. Penz JAM. Actualidades en nutrición de aves. Décimo Segundo Ciclo de Conferencias Sobre Aminoácidos Sintéticos; 2000 Septiembre 21; México DF. México (DF):FERMEX S. A, 2000: 58-90.
37. Rostagno SH, Albino TKL, Toledo SR y Vargas GJ. Actualización de los requerimientos nutricionales de las aves. Nutrición de aves y cerdos. Memorias del 1er Seminario Técnico. Ajinomoto Biolatina y Indukern; 2002 febrero 21; México DF. México, (DF): Indukern S. A, 2002:35-64.
38. Mariscal EG, Avila GE, Tejada HI, Cuarón AJ y Vásquez PC. Contenido de aminoácidos totales y digestibles verdaderos para pollos de engorda y cerdos de los principales ingredientes utilizados en Latinoamérica. Recopilado. México, DF. DF: Ed. INIFAP produce, 1997.
39. DEGUSSA, A.G. 1997: Aminodat V.11. Software. Frankfurt, Germany.1997.
40. Fernández, SR. Aminoácidos digestibles en la formulación de dietas para el pollo de engorda. Memoria del XII Ciclo de Conferencias Internacionales sobre Avicultura. AMENA; 1996 noviembre 2-4; Guadalajara Jalisco. México.(DF): Asociación Mexicana de Especialistas en Nutrición Animal, AC, 1996. 41-52.

41. Fernández SR, Zhang Y y. Parsons CM. Dietary formulation with cottonseed meal on a total amino acid versus digestible amino acid basis. *Poultry Sci* 1995;74:1168-1179.
42. Kidd MT. La treonina en las aves. Memorias del Séptimo Ciclo de Conferencias Sobre Aminoácidos Sintéticos; 1995 septiembre 22; México DF. México (D.F): FERMEX S.A , 1995: 14-45.
43. Maynard AL, Loosili KJ, Hintz FH, Warner GR. Nutrición animal. 7a ed. México DF: Mc Graw – Hill, 1982.
44. Wu G. Intestinal mucosal aminoacid catabolism. *Jr. Nutr* 1998;128:1249-1252.
45. Rangel-Lugo M, Su CL y Austic RE. Threonine requirement and threonine imbalance in broiler chickens. *Poultry Sci* 1994;73:670-681.
46. Qureshi MA, Hussain I y Heggen CL. Understanding immunology in disease development and control. *Poultry Sci* 1998;77:1126-1129.
47. Klasing CK. Nutritional modulation of resistance to infection disease. *Poultry Sci.* 1998;77:1119-1125.
48. Glik B, Day EJ y Thompson D. Calories-protein deficiencies and the immune response of the chicken: Humoral Immunity. *Poultry Sci* 1981;60:2494-2500.
49. Chávez MJG. Efecto de diferentes niveles de proteína en la dieta, en la producción de anticuerpos inhibidores de la hemoaglutinación, en pollos de engorda vacunados contra la enfermedad de Newcastle (tesis de Licenciatura) DF (México) México: UNAM, 1974.

50. Bhargava KK, Hanson RP y Sunde ML. Effect of threonine on growth and antibody production in chicks infected with Newcastle disease virus. *Poultry Sci* 1971;50:710-713.
51. Takahashi K, Konashi S, Akiba Y y Hirioguchi M. Effects of dietary threonine level on antibody production. *Anim Sci Technol. (Jpn.)* 1994;65:956-960.
52. Kidd MT. Recent Research on threonine needs of commercial broilers. *Biokyowa Technical Review-11*, US. Nutri-Quest, Inc. 2000.
53. Kidd TM, Kerr BJ and Anthony BN. Dietary interactions between lysine and threonine in broilers. *Poultry Sci* 1997;76:608-614.
54. Kidd MT. La treonina en las aves. *Memorias del Décimo Primer Ciclo de Conferencias Sobre Aminoácidos Sintéticos*; 1999 septiembre 10; México (D.F): FERMEX S.A, 1999:14-30.
55. Kidd MT. Nutritional considerations concerning threonine in broilers. *W. Poultry Sci Jour* 2000;56:147-150.
56. Yuan HJ y Austic ER. The effect of dietary protein level on threonine dehydrogenase activity in chickens. *Poultry Sci* 2001;80:1353-1356.
57. Kidd MT, Heger J, Rowe ED, Sistani K, Burnham JD y Kerr BJ. Broiler chick responses to threonine and crude protein. *The Southern Poultry Science Society, 22nd Annual Meeting and The Southern Conference on Avian Diseases, 42nd Annual Meeting*; 2001 January 15 & 16, 2001. Atlanta, Georgia. USA; The Southern Poultry Science Society, 2001:1011(Abst.17).

58. Edwards HMIII, Baker DH, Fernandez SR and Parsons CM. Maintenance threonine requirement and efficiency of its use for accretion of whole-body threonine and protein in young chicks. *Br. J Nutr* 1997; 78:111-119.
59. Robbins KR. Threonine requirement of the broiler chick as affected by protein level and source. *Poultry Sci* 1987;66:1531-1534.
60. Smith NK y Waldroup. Investigations of threonine requirements of broiler chicks fed diets based on grain shorgum and soybean meal. *Poultry Sci* 1988;67:108-112.
61. Kidd TM y Kerr JB. Threonine responses in commercial broilers at 30 to 42 days. *J. Appl Poultry Res* 1997;6:362-367.
62. Penz Jr MA, Colnago LG y Jensen SL. Threonine supplementation of practical diets for 3 - to 6 – Wk- old broilers. *J. Appl Poultry Res* 1997;6:355-361.
63. Webbel MD, Fernandez RS, Parsons MC y Baker HD. Digestible threonine requirement of broiler chickens during the period three to six and six to eight weeks posthatching. *Poultry Sci* 1996;75:1253-1257.
64. Kidd TM y Kerr BJ. Growth and carcass characteristics of broilers fed low-protein, threonine-supplemented diets. *J. Appl Poultry Res* 1996;5:180-189.
65. Kidd TM, Lerner PS, Allard PJ, Rao KS y Halley TJ. Threonine needs of finishing broilers: growth, carcass, and economic response. *J. Appl Poultry Res* 1999;8:160-169.
66. Dozier WA, Moran Jr ET y Kidd TM. Threonine requirement for finishing the heavy broiler male. *Poultry Sci.* 1999;78(suppl.1):86(abstrac).
67. Moran Jr ET y Kidd MT. Threonine requirement of broiler males from 42 to 56 days of age in a summer environment. *The Southern Poultry Science Society, 22nd*

- Annual Meeting and The Southern Conference on Avian Diseases, 42nd Annual Meeting; 2001 January 15 & 16; Atlanta, Georgia. USA; The Southern Poultry Science Society, 2001:1028(Abst.95).
68. Ojano-Dirain CP, Fritts CA y Waldroup WP. Evaluation of lysine, methionine and threonine needs of broilers three to six weeks of age under moderate temperature stress. The Southern Poultry Science Society, 23rd Annual Meeting and The Southern Conference on Avian Diseases, 43rd Annual Meeting; 2002 January 14 & 15; Atlanta Georgia. USA; The Southern Poultry Science Society, 2002;2(Abst.6).
69. Hoehler D, Wijtten AJP, Langhout JD, Lemme A y. Petri A. Effects of varying dietary ideal amino acid profile levels on broiler performance in different periods. The Southern Poultry Science Society, 23rd Annual Meeting and The Southern Conference on Avian Diseases, 43rd Annual Meeting; 2002 January 14 & 15; Atlanta Georgia USA; The Southern Poultry Science Society, 2002:4 (Abst.14).
70. Rosa PA, Pesti MG, Edwards Jr MH y Bakalli IR. Threonine requirements of broiler genotypes. Poultry Sci 2001;80:1710-1717.
71. Dozier AW, Moran Jr TE y Kidd MT. Male and female broiler response to low and adequate dietary threonine on nitrogen and energy balance. Poultry Sci 2001;80:926-930.
72. Pescatore AJ, Cantor AH, Burnham DJ, Ford JM y Gates SR. Effect of threonine supplementation of low protein diet of broiler growth. The Southern Poultry Science Society, 23rd Annual Meeting and The Southern Conference on Avian Diseases, 43rd Annual Meeting; 2002 January 14 & 15; Atlanta, Georgia. USA; The Southern Poultry Science Society, 2002:6 (Abst.22).

73. García E. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 2a ed. México (DF): Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, 1973.
74. SAS Institute, 1985. SAS® User's guide, Statistic. Version 5 Edition. SAS Institute Inc., Cary, NC. 1985.
75. Sibbald IR. A bioassay for available amino acids and true metabolizable energy in feedingstuffs. Poultry Sci 1979;58:668-673.
76. Tejada HI. Control de calidad y análisis de alimentos para animales. México (D.F): Sistemas de Educación Continúa en Producción Animal, A.C., 1992.
77. AOAC, Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Virginia, USA, Association of Official Analytical Chemists, 1990.
78. Terrazas FMM. Efecto del tiempo de cocción sobre la calidad de la harina de sardina Crinuda *Opisthonema libertate* y su repercusión en la formulación a proteína ideal para pollo de engorda (tesis de Maestría). Ajuchitlán (Qro) México: UNAM-FES CUAUTITLAN, 2001.
79. Sánchez VJM y Alvarez CM. ELISA. 2ª ed. Madrid (Esp): Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, serie técnica No. 7. Office International of Epizooties, 1989.
80. Kricha JL. Principles of immunochemical techniques. In Burtis AC, and Ashwood RE. Clinical Chemistry. 2nd ed. USA. WB. Saunders Company, 1994.
81. Corrier DE y DeLoach. Evaluation of Cell – Mediated, cutaneous basophil hypersensitivity in young chickens by an interdigital skin test. Poultry Sci 1990;69:403-408.

82. Stadecker MJ, Lukic M, Dvorak A y Leskowitz. The cutaneous basophil response to phytohemagglutinin in chickens. *J immunology*. 1977;118:1564-1568.
83. Mc Corkle F, Olah I y Glick B. The morphology of phytohemagglutinin- induced cell response in the chicken`s wattle. *Poultry Sci* 1980;59:616-623.
84. Edelman AS, Sanches PL, Robinson EM, Hochwald GM y Thorbecke JG. Primary and secondary wattle swelling response to phytohemagglutinin as a measure of immunocompetence in chickens. *Avian Dis* 1985;30:105-111.
85. Sinha KB, Vegad LJ y Awdhiya PR. Pathology of phytohemagglutinin-induced cutaneous reaction in the chicken. *Ind J. Ani Sci* 1986;58:28-35.
86. Baker HD. Relaciones ideales de aminoácidos para pollos de engorda nueva evidencia empírica para triptofano, treonina, isoleucina y valina: proteína ideal aplicación práctica en aves. Décimo tercer ciclo de conferencias sobre aminoácidos sintéticos; 2001 septiembre 21; México D.F. México (DF): FERMEX, S. A, 2001:48-58.
87. Barkley RG, y Wallis RI. Threonine requirements of broiler chickens: why do published values differ?. *Br Poultry Sci* 2001;42:616-624.
88. Morales LR, Jínez MT, Ávila GE y Martínez AC. Necesidades de treonina en pollos sometidos a dos calendarios de vacunación. *Vet Mex* 2001;32:189-194.
89. Defa L, Changting X, Shiyan Q, Jinhui Z, Johnson EW y Thacker PA. Effects of dietary threonine on performance, plasma parameters and immune function of growing pigs. *Anim Feed Sci Technol* 1999;78:179-188.
90. Leclercq B. Specific effects of lysine on broiler production: comparison with threonine and valine. *Poultry Sci* 1998;77:118-123.

91. Kidd MT, Dozier AW, Barber JS, Virden SW, Chamblee WD y Wiernusz C. Threonine needs of Cobb female broilers from days 42 to 56. The Southern Poultry Science Society, 23rd Annual Meeting and The Southern Conference on Avian Diseases, 43nd Annual Meeting; 2002 January 14 & 15; Atlanta, Georgia. USA: The Southern Poultry Science Society, 2002:5 (Abst.20).
92. Kidd MT, Dozier AW, Barber JS, Virden SW, Chamblee WD y Wiernusz C. Threonine needs of Cobb male broilers from days 42 to 56. The Southern Poultry Science Society, 23rd Annual Meeting and The Southern Conference on Avian Diseases, 43nd Annual Meeting; 2002 January 14 & 15; Atlanta, Georgia. USA: The Southern Poultry Science Society, 2002:25(Abst.21).
93. Kidd MT. El mínimo de treonina en dietas para pollos parrilleros es esencial para minimizar la proteína cruda y maximizar la rentabilidad. Memorias del 1er Seminario Técnico. Ajinomoto Biolatina y Indukern; 2002 febrero 21; México, (DF). Indukern S. A, 2002:84-90.

Cuadro 1. Resultados del análisis químico proximal y contenido de calcio y fósforo de las muestras de pasta de ajonjolí.

Contenido	Analizado*	NRC 1994 ³²
	BH	BH
Materia Seca %	95.40	93.0
Humedad %	4.60	7.0
PC % (Nitrógeno * 6.25)	38.23	43.8
Extracto etéreo %	7.03	6.5
Cenizas %	12.16	-
Fibra Cruda %	9.29	7.0
Extracto libre de N %	28.69	-
Ca %	1.52	1.99
P %	1.20	1.37

*Laboratorio de análisis químicos para alimentos (Departamento de Nutrición FMVZ-UNAM).

Cuadro 2. Comparación de los coeficientes de digestibilidad, aminoácidos totales y digestibles reales de la pasta de ajonjolí (Experimento 1).

Pasta de ajonjolí	Mariscal <i>et al.</i> 1997 ³⁸ 38 % PC			NRC 1994 ³² 41 % PC			Estimados en este trabajo		
	%AAT	CD	%AAD	%AAT	CD	%AAD	%AAT	CD	%AAD
Metionina	0.98	0.92	0.90	1.22	0.94	1.15	1.02	0.88	0.90
Cistina	0.75	0.84	0.63	0.72	0.82	0.59	0.87	0.81	0.71
Lisina	1.01	0.88	0.89	0.91	0.88	0.80	0.96	0.74	0.71
Treonina	1.51	0.86	1.30	1.40	0.87	1.22	1.29	0.83	1.07
Tripofano	0.54	0.88	0.48	0.62	-	-	-	-	-
Arginina	3.98	0.91	3.62	4.68	0.92	4.30	3.85	0.90	3.46
Valina	1.79	0.89	1.59	1.91	0.91	1.74	1.72	0.83	
Isoleucina	1.39	0.90	1.25	1.51	0.92	1.39	1.34	0.87	1.16
Leucina	2.57	0.90	2.31	2.68	0.91	2.44	2.46	0.88	2.17

% AAT = Porcentaje de aminoácidos totales.

CD = Coeficiente de digestibilidad.

% AAD = Porcentaje real de aminoácidos digestibles.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Cuadro 3. Valores de los coeficientes de digestibilidad verdaderos, perfil de aminoácidos totales y digestibles de la pasta de ajonjolí empleada en las dietas experimentales (Experimento 1).

Aminoácido	% de digestibilidad ^a ± EE	% AAT ^b en el Ajonjolí	% AAD en el Ajonjolí
Metionina	88.06 ± 1.25	1.02	0.90
Cistina	81.81 ± 2.28	0.87	0.71
Met+Cis	85.19 ± 1.73	1.89	1.61
Lisina	74.31 ± 2.95	0.96	0.71
Treonina	83.19 ± 1.78	1.29	1.07
Arginina	89.76 ± 2.11	3.85	3.46
Isoleucina	86.82 ± 1.43	1.34	1.16
Leucina	88.02 ± 1.36	2.46	2.17
Valina	82.79 ± 1.58	1.72	1.42
Histidina	88.56 ± 1.78	0.86	0.76
Fenilalanina	87.62 ± 1.57	1.60	1.40
Glicina	85.73 ± 1.49	1.90	1.63
Serina	89.17 ± 1.71	1.67	1.49
Prolina	87.41 ± 1.92	1.49	1.30
Alanina	84.69 ± 1.32	1.74	1.47
Ac. Aspártico	85.12 ± 1.57	3.03	2.58
Ac. Glutámico	91.13 ± 0.87	6.80	6.20

^a Técnica de Sibbald 1979⁷⁵.

^b Analizado por la empresa Degussa México, S.A.

EE = Error estándar.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Cuadro 4. Dieta basal y dieta testigo empleadas para formular los diferentes tratamientos en el Experimento 2 de la fase de iniciación.

Ingrediente	Testigo	Basal
Sorgo	637.07	604.98
Pasta de soya	303.11	251.15
Pasta de ajonjolí	-	81.92
Aceite crudo de soya	14.39	15.88
Ortofosfato	18.80	18.59
Carbonato de calcio	17.11	13.97
Pigmento	-	-
Azúcar	-	2.02
DL-metionina	2.62	2.21
L-lisina HCL	2.45	5.43
L-treonina	0.60	-
Minerales*	1.00	1.00
Colina 60%	0.80	0.80
Aluminosilicato	1.00	1.00
Coccidiostato	0.50	0.50
Vitaminas*	0.25	0.25
Antioxidante	0.20	0.20
Bacitracina de zinc	0.10	0.10
	1000.00 kg	1000.00 kg

* Proporciona por Tonelada de alimento: Vitamina A (12,000,000 UI), Vitamina D3 (2,500,000 UIP), Vitamina E (15,000 UI), Vitamina K (2.0 g), Vitamina B1 (2.25 g), Vitamina B2 (7.5 g), Vitamina B6 (3.5 g), Vitamina B12 (20 mg), Ácido Fólico (1.5 g), Biotina (125 mg), Ac. Pantoténico (12.5 g), Niacina (45 g), Hierro (50 g), Zinc(50 g), Manganeso (110 g), Cobre (12 g), Yodo (0.30 g), Selenio (200 mg), Cobalto (0.20 g).

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Cuadro 5. Análisis calculado de nutrientes y niveles de treonina total y digestible para las diferentes dietas experimentales empleadas en la etapa de iniciación (Experimento 2).

Nutrimiento	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7*
% PC.	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
E.M (Mcal/kg).	2.95	2.95	2.95	2.95	2.95	2.95	2.95
% Calcio.	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
% Fósforo dig.	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
% Metionina.	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
% Met + Cis.	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.91
% Lisina.	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30
% Treonina.	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	0.80
% Met – dig.	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.54
% Met + Cis dig.	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.80
% Lis. Dig.	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17
% Treo. Dig.	0.57	0.62	0.67	0.72	0.77	0.82	0.67

* Tratamiento testigo con una dieta sorgo + soya con un nivel de treonina similar al NRC 1994³².

Cuadro 6. Variables productivas sometidas al análisis de varianza de los animales con diferentes niveles de treonina en la dieta para la etapa de iniciación (Experimento 2).

Treonina Total - Dig.	Peso Promedio (g) ± EE	Ganancia de peso (g) ± EE	Consumo de alimento (g) ± EE	Índice de conversión ± EE	Eficiencia alimenticia ± EE
0.70 – 0.57	701.17±6.16 ^C	647.27±7.80 ^D	973.12±11.61	1.503±0.002 ^A	0.66±0.000 ^D
0.75 – 0.62	717.01±11.28 ^{BC}	666.62±6.03 ^{CD}	956.97±11.55	1.436±0.010 ^{ABC}	0.69±0.005 ^{BCD}
0.80 – 0.67	735.25±1.69 ^{BA}	692.47±1.44 ^{BA}	952.46±4.03	1.375±0.007 ^{CD}	0.73±0.008 ^{AB}
0.85 – 0.72	751.57±4.79 ^A	707.97±4.72 ^A	961.18±3.19	1.358±0.010 ^D	0.74±0.007 ^A
0.90 – 0.77	730.66±4.71 ^{BA}	687.28±4.60 ^{ABC}	965.99±2.07	1.406±0.006 ^{BCD}	0.71±0.003 ^{ABC}
0.95 – 0.82	716.42±3.40 ^{BC}	673.87±3.66 ^{BC}	979.10±5.65	1.453±0.010 ^{AB}	0.69±0.007 ^{CD}
0.80 – 0.67*	725.31±1.10 ^{BC}	682.56±1.10 ^{BC}	945.06±21.86	1.384±0.030 ^{BCD}	0.72±0.016 ^{ABC}
CME	129.29	90.07	462.39	0.00091	0.00024
Probabilidad de F	0.0001	0.0001	0.3422	0.0001	0.0001

* Tratamiento testigo con una dieta sorgo + soya con un nivel de treonina similar al NRC 1994³².

CME = Cuadrado Medio del Error.

EE = Error estándar.



Cuadro 7. Parámetros de regresión estimados, coeficientes de determinación (R^2), probabilidades de F y cuadrados medios del error (CME) de los modelos empleados para estimar las variables productivas (Experimento 2).

	Peso promedio	Ganancia de peso	Índice de conversión	Eficiencia alimenticia
Lineal				
Intercepto ± EE	662.4148048±37.5*	580.0406548±38.8**	1.590771429±0.10**	0.6239476190±0.05**
N Treonina ± EE	76.2794286±45.2NS	120.2514286±46.8*	-0.204571429±0.12	0.0972857143±0.06
R^2	0.114536	0.230534	0.112679	0.104393
Probabilidad de F	0.1057	0.0176	0.1088	0.1236
CME	357.81476842	383.92923032	0.00262147	0.00064589
Cuadrático				
Intercepto ± EE	-813.998386±280.9**	-1103.170036±246.8**	6.43877143±0.5**	-1.766385714±0.2**
N Treonina ± EE	3694.222643±686.3**	4244.950893±603.1**	-12.08457143±1.1**	5.954785714±0.6**
(N Treonina) ² ± EE	-2192.692857±415.5**	-2499.817857±365.2**	7.20000000±0.7**	-3.55000000±0.3**
R^2	0.619293	0.761870	0.857094	0.845749
Probabilidad de F	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
CME	161.16903511	124.47427156	0.00044230	0.00011654
Cúbico				
Intercepto ± EE	2640.82707±3488.9NS	1902.36605±3067.6NS	5.336571390±5.9NS	-0.705007929±3.0NS
N Treonina ± EE	-9027.07032±12823.5NS	-6821.97725±11275.1NS	-8.026071286±21.7NS	2.046600503±11.1NS
(N Treonina) ² ± EE	13322.99032±15623.5NS	10998.09869±13738.9NS	2.249999826±26.5NS	1.216666699±13.5NS
(N Treonina) ³ ± EE	-6268.96290±6310.3NS	-5453.70365±5548.3NS	2.000000070±10.7NS	-1.925925939±5.5NS
R^2	0.637197	0.772843	0.857343	0.846696
Probabilidad de F	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
CME	161.26925785	124.67505114	0.00046361	0.00012162

NS = No significativo ($P > 0.05$).

* = Significativo ($P < 0.05$).

** = Significativo ($P < 0.01$).

EE = Error estándar.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

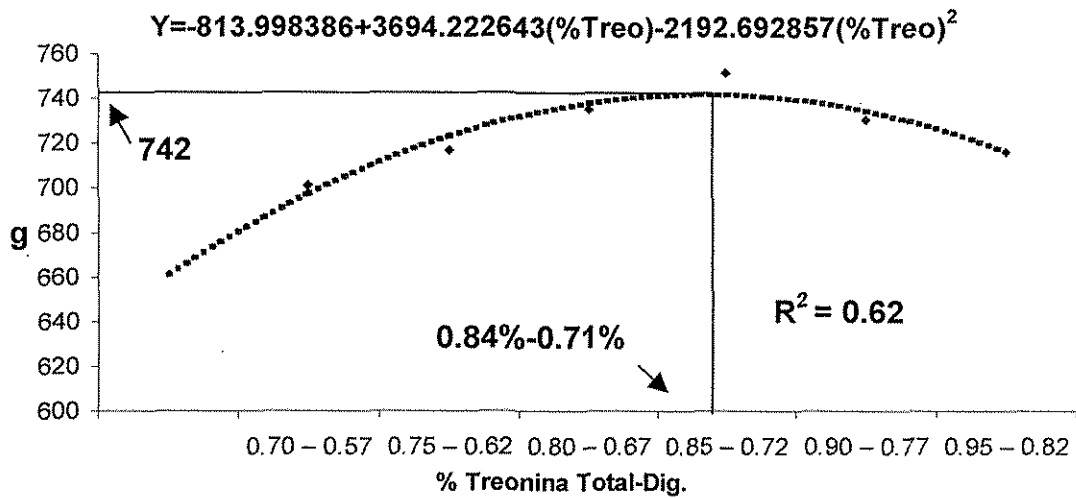


Figura 2. NOB de treonina calculado para el peso promedio en las aves al día 21 de edad (Experimento 2).

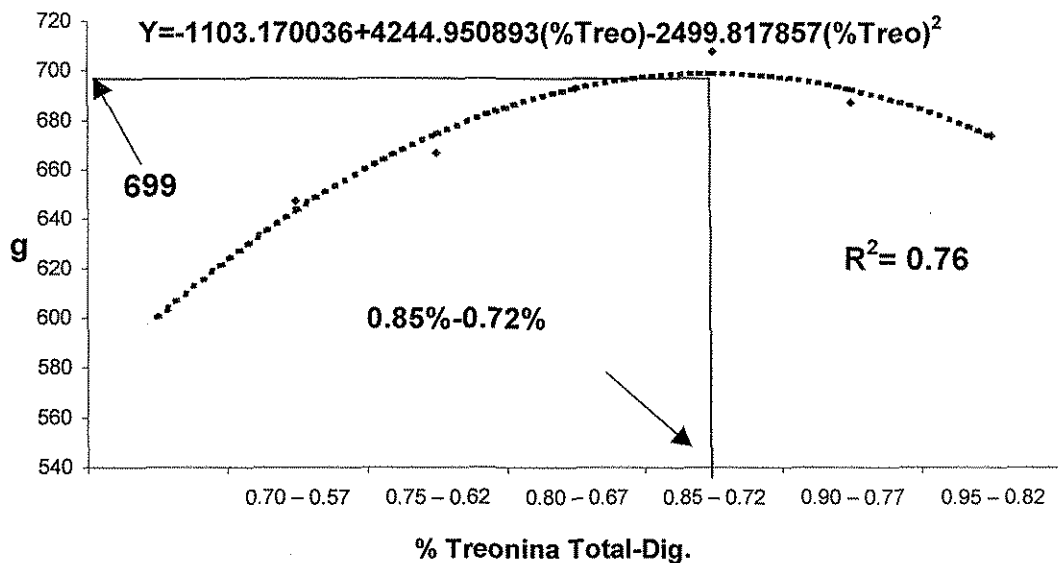


Figura 3. NOB de treonina correspondiente a la ganancia de peso encontrado en los pollos a los 21 días de edad (Experimento 2).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

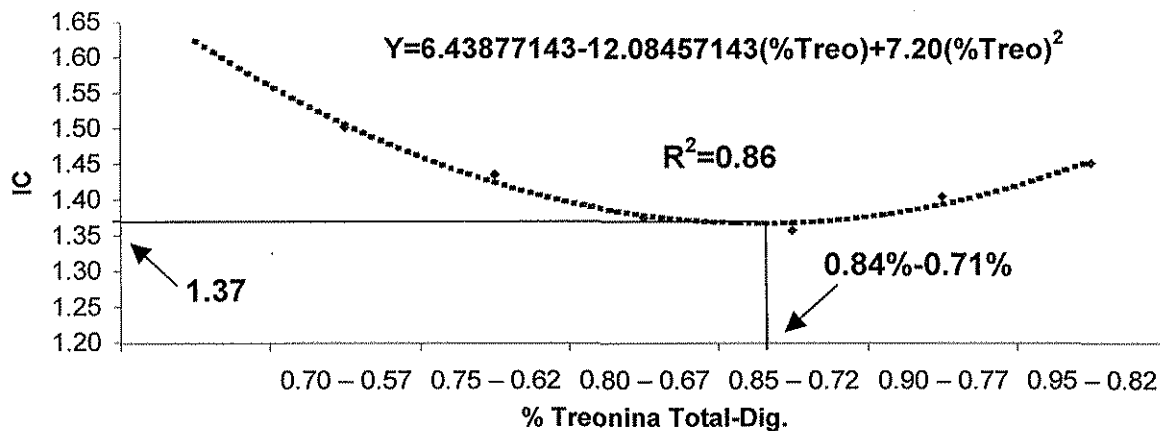


Figura 4. NOB correspondiente al índice de conversión en las aves durante los 21 días del experimento (Experimento 2).

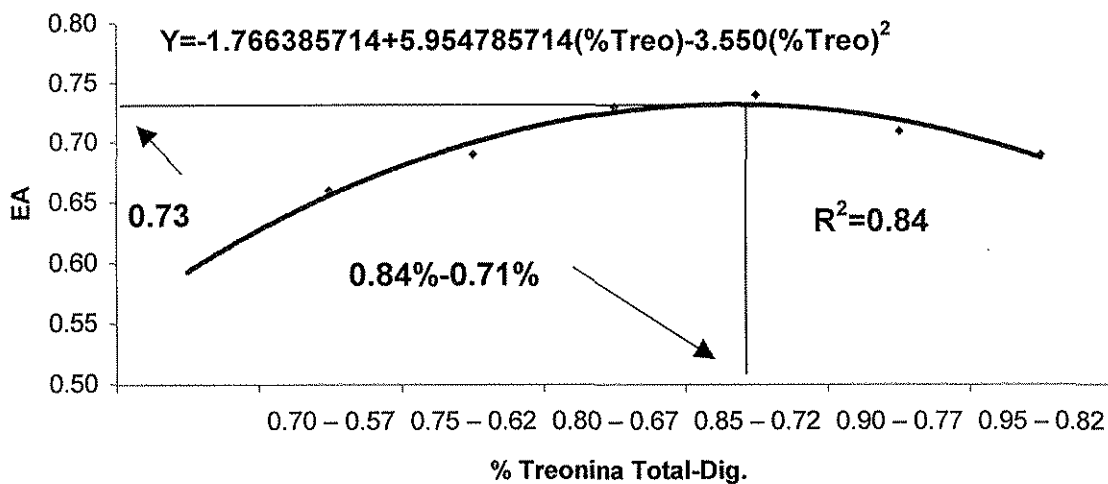


Figura 5. NOB calculado para la eficiencia alimenticia en los pollos de engorda a los 21 días de edad (Experimento 2).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Cuadro 8. Comportamiento observado para la respuesta inmune celular y humoral para la fase de iniciación de los pollos de engorda alimentados con diferentes niveles de treonina total y digestible en la dieta (Experimento 2).

Treonina Total - Dig.	Respuesta inmune humoral títulos de anticuerpos de HI vs Newcastle (dilución) ± EE.	Respuesta inmune celular Respuesta de Hipersensibilidad Tardía (incremento de la piel en mm) ± EE.
0.70 – 0.57	3.0±1.08 ^B	3.49±0.48 ^C
0.75 – 0.62	4.8±1.07 ^A	4.40±0.45 ^C
0.80 – 0.67	4.9±1.10 ^A	4.84±0.35 ^{BAC}
0.85 – 0.72	5.1±1.10 ^A	7.26±0.55 ^A
0.90 – 0.77	4.6±1.09 ^{BA}	6.92±1.04 ^{BA}
0.95 – 0.82	4.3±1.14 ^{BA}	4.48±0.61 ^{BC}
0.80 – 0.67*	4.1±1.14 ^{BA}	3.75±0.20 ^C
CME	0.4675	0.2722
Probabilidad de F	0.0089	0.0001

Literales diferentes en la misma columna son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$).

*Tratamiento testigo con una dieta sorgo + soya con un nivel de treonina similar al NRC 1994³².

CME = Cuadrado Medio del Error.

EE = Error estándar.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Cuadro 9. Diferentes parámetros de regresión, coeficientes de determinación (R^2), probabilidades de F y cuadrados medios del error (CME) de los modelos empleados para estimar la respuesta (Experimento 2).

	Respuesta inmune	
	Humoral	Celular
Lineal		
Intercepto \pm EE	0.923904762 \pm 0.668NS	-0.0691190476 \pm 0.159 NS
N Treonina \pm EE	1.461428571 \pm 0.805NS	0.3342857143 \pm 0.193 NS
R^2	0.130126	0.120170
Probabilidad F	0.0833	0.0970
CME	0.11356979	0.00650807
Cuadrático		
Intercepto \pm EE	-21.82514286 \pm 5.78**	-3.904714286 \pm 1.62*
N Treonina \pm EE	57.20785714 \pm 14.12**	9.733392857 \pm 3.96*
(N Treonina) ² \pm EE	-33.78571428 \pm 8.55**	-5.696428571 \pm 2.39*
R^2	0.501041	0.306279
Probabilidad F	0.0007	0.0215
CME	0.06824568	0.00537579
Cúbico		
Intercepto \pm EE	-134.9026966 \pm 69.03NS	32.9373408 \pm 18.91NS
N Treonina \pm EE	473.5798876 \pm 253.72NS	-125.9257258 \pm 69.51NS
(N Treonina) ² \pm EE	-541.6190395 \pm 309.12NS	159.7619026 \pm 84.51NS
(N Treonina) ³ \pm EE	205.1851819 \pm 124.80NS	-66.8518510 \pm 34.20NS
R^2	0.560404	0.417504
Probabilidad F	0.0008	0.0114
CME	0.06313252	0.00473957

NS = No significativo ($P > 0.05$).

* = Significativo ($P < 0.05$).

** = Significativo ($P < 0.01$).

EE = Error estándar.



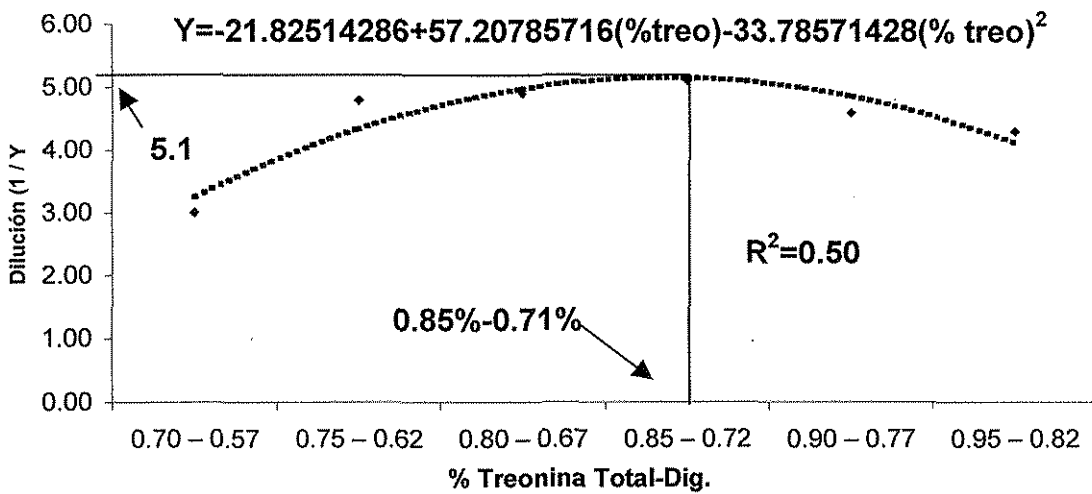


Figura 6. NOB de treonina calculado para la respuesta inmune humoral (título de HI vs Enfermedad de Newcastle) en aves de 21 días de edad (Experimento 2).

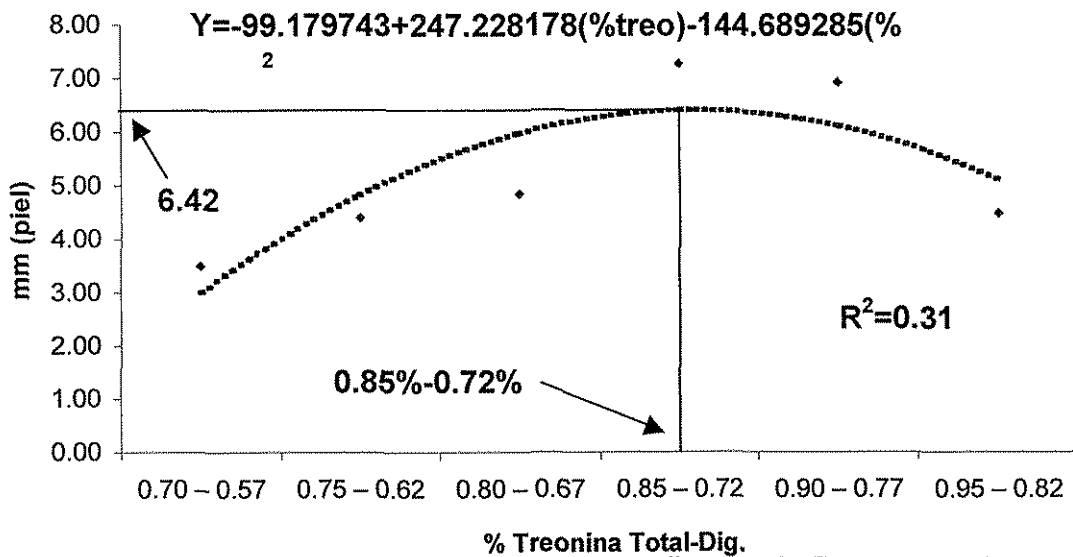


Figura 7. NOB de treonina correspondiente a la Respuesta de Hipersensibilidad Tardía en las aves a los 21 días de edad (Experimento 2).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Cuadro 10. Dietas experimentales empleadas para la fase de crecimiento de 3-6 semanas de edad de las aves (Experimento 3).

Ingrediente	Testigo	Basal
Sorgo	654.92	627.94
Pasta de soya	265.35	169.45
Pasta de ajonjolí	-	121.75
Aceite crudo de soya	27.83	29.73
Ortofosfato	16.74	16.64
Carbonato de calcio	13.86	12.27
Pigmento	5.33	5.33
Sal	4.23	4.21
Azúcar	-	2.02
DL-metionina	2.62	1.88
L-lisina HCL	2.47	4.63
L-Arginina	1.42	-
L-treonina	1.08	-
Minerales*	1.00	1.00
Colina 60%	0.80	0.80
Aluminosilicato	1.00	1.00
Coccidiostato	0.50	0.50
Vitaminas	0.50	0.50
Antioxidante	0.20	0.20
Bacitracina	0.15	0.15
	1000.00 Kg	1000.00 Kg

* Proporciona por Tonelada de alimento: Vitamina A (12,000,000 UI), Vitamina D3 (2,500,000 UI), Vitamina E (15,000 UI), Vitamina K (2.0 g), Vitamina B1 (2.25 g), Vitamina B2 (7.5 g), Vitamina B6 (3.5 g), Vitamina B12 (20 mg), Ácido Fólico (1.5 g), Biotina (125 mg), Ac. Pantoténico (12.5 g), Niacina (45 g), Hierro (50 g), Zinc(50 g), Manganeso (110 g), Cobre (12 g), Yodo (0.30 g), Selenio (200 mg), Cobalto (0.20 g).

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Cuadro 11. Análisis calculado para las diferentes dietas experimentales utilizadas en la fase de crecimiento (Experimento 3).

Nutrimiento	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7*
% PC.	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00
E.M (Mcal/kg).	3.05	3.05	3.05	3.05	3.05	3.05	3.05
% Calcio.	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
% Fósforo dig.	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
% Metionina.	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.53
% Met + Cis.	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.85
% Lisina.	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
% Treonina.	0.62	0.66	0.70	0.74	0.78	0.82	0.74
% Met – dig.	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.49
% Met + Cis dig.	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
% Lis. Dig.	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
% Treo. Dig.	0.50	0.54	0.58	0.62	0.66	0.70	0.62

*Tratamiento testigo con una dieta sorgo + soya con un nivel de treonina similar al NRC 1994³².

Cuadro 12. Parámetros productivos promedio obtenidos durante la fase de crecimiento (Experimento 3).

	Peso promedio (kg) ± EE	Ganancia de peso (kg) ± EE	Consumo de alimento (ciclo) ± EE	Índice de conversión ± EE	Eficiencia alimenticia ± EE
0.62-0.50	2.210±0.004 ^{BC}	1.490±0.008 ^{AB}	2.633±0.011 ^{AB}	1.767±0.016 ^{AB}	0.566±0.005 ^{AB}
0.66-0.54	2.228±0.008 ^{AB}	1.506±0.018 ^A	2.604±0.023 ^{AB}	1.731±0.036 ^B	0.578±0.011 ^A
0.70-0.58	2.235±0.005 ^{AB}	1.513±0.013 ^A	2.546±0.011 ^B	1.682±0.007 ^B	0.594±0.002 ^A
0.74-0.62	2.245±0.004 ^A	1.523±0.023 ^A	2.521±0.032 ^B	1.657±0.045 ^B	0.604±0.016 ^A
0.78-0.66	2.218±0.004 ^{ABC}	1.487±0.004 ^{AB}	2.525±0.050 ^B	1.697±0.040 ^B	0.590±0.013 ^A
0.82-0.70	2.196±0.007 ^{CD}	1.476±0.011 ^{AB}	2.538±0.019 ^B	1.749±0.001 ^B	0.571±0.000 ^{AB}
0.74-0.62*	2.168±0.008 ^D	1.441±0.004 ^B	2.723±0.033 ^A	1.889±0.03 ^A	0.529±0.007 ^B
CME	0.00015	0.00072	0.0032	0.0033	0.00038
Probabilidad de F	0.0001	0.0069	0.0007	0.0003	0.0006

*Tratamiento testigo con una dieta sorgo + soya con un nivel de treonina similar al NRC 1994³².

CME = Cuadrado Medio del Error.

EE = Error estándar.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Cuadro 13. Parámetros de regresión, coeficientes de determinación (R^2), probabilidades de F y cuadrados medios del error (CME) de los modelos de regresión empleados para estimar las variables productivas para la fase de crecimiento (Experimento 3).

	Peso Promedio	Ganancia de peso	Índice de conversión	Eficiencia alimenticia
Lineal				
Intercepto ± EE	2.266822619± 0.041**	1.558385714± 0.066**	1.826795238± 0.140**	0.5470511905± 0.049**
N Treonina ± EE	-0.061964286± 0.057NS	-0.081785714± 0.091NS	-0.156428571± 0.190NS	0.0516071429± 0.067NS
R^2	0.050344	0.035034	0.028726	0.025543
Probabilidad de F	0.2919	0.3811	0.4285	0.4557
CME	0.00036872	0.00093795	0.00421203	0.00051726
Cuadrático				
Intercepto ± EE	0.350356473± 0.303NS	-0.226206920± 0.728NS	6.38359844± 1.439 **	-1.0468982149±0.504*
N Treonina ± EE	5.309910714± 0.849 **	4.920446429± 2.035 *	-12.92919643± 4.023 **	4.519464286± 1.411 **
(N Treonina) ² ± EE	-3.730468750± 0.589 **	-3.473772321± 1.412*	8.86997768± 2.792 **	-3.102678571± 0.979 **
R^2	0.673169	0.250764	0.343986	0.340683
Probabilidad de F	0.0001	0.0483	0.0120	0.0126
CME	0.00013294	0.00076294	0.00298034	0.00036664
Cúbico				
Intercepto ± EE	2.436821068± 4.198NS	-1.38240068± 10.117 NS	-6.62690371± 19.78 NS	3.94998514± 6.92NS
N Treonina ± EE	-3.475456811± 17.652NS	9.78877112± 42.53 NS	41.85344563± 83.197NS	-16.52065156± 29.117NS
(N Treonina) ² ± EE	8.535156318±24.622 NS	-10.27064737±59.33 NS	-67.61439771± 116.049NS	26.27232157± 40.615NS
(N Treonina) ³ ± EE	-5.678530124± 4.395 NS	3.14670141± 27.459 NS	35.40943305± 53.71 NS	-13.59953710± 18.797NS
R^2	0.677176	0.251255	0.357939	0.357497
Probabilidad de F	0.0001	0.1153	0.0284	0.0286
CME	0.00013788	0.00080056	0.00306280	0.00037516

NS = No significativo ($P > 0.05$).

* = Significativo ($P < 0.05$).

** = Significativo ($P < 0.01$).

EE = Error estándar.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

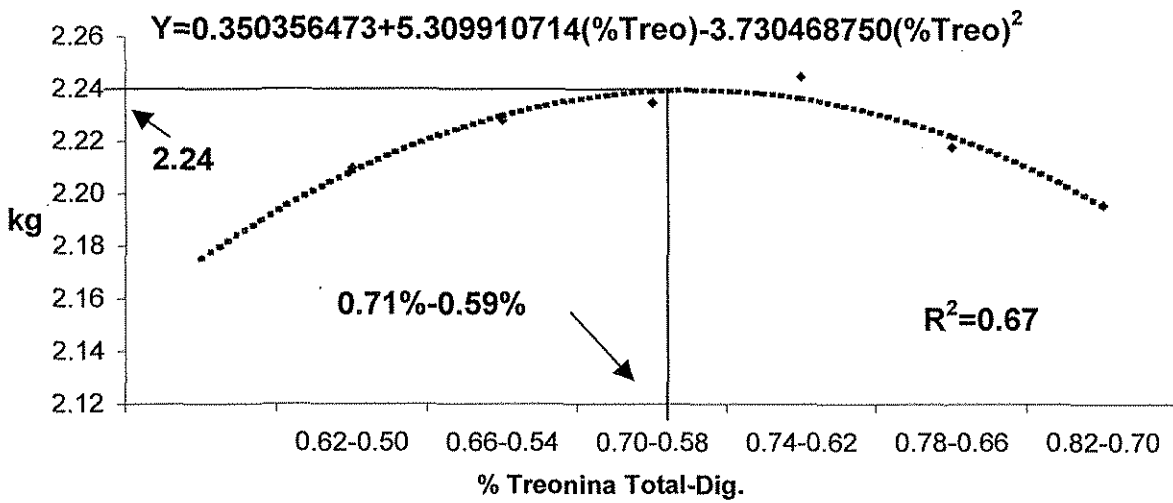


Figura 8. NOB de treonina calculado para el peso promedio en aves de 42 días de edad (Experimento 3).

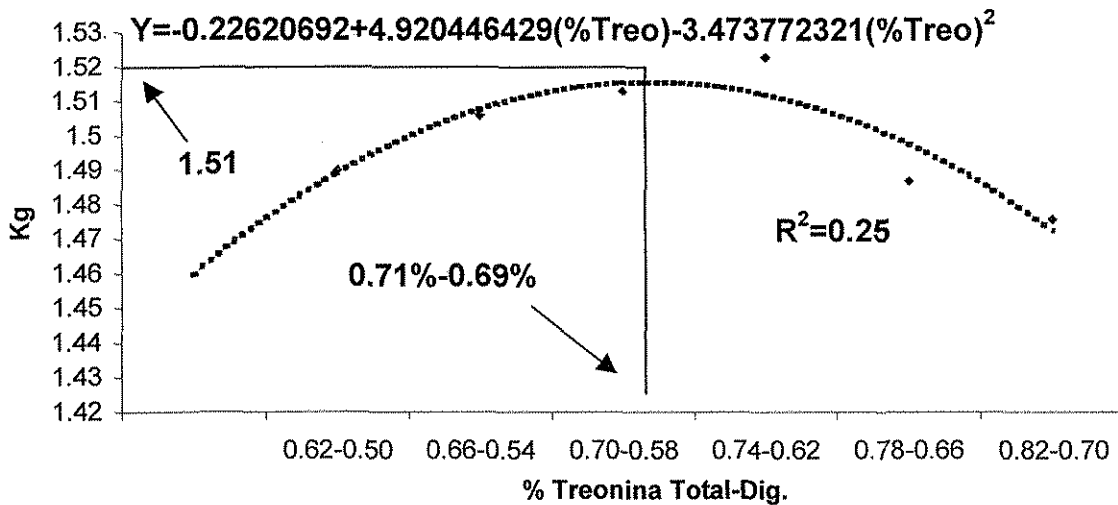


Figura 9. NOB de treonina correspondiente a la ganancia de peso de aves de 42 días de edad (Experimento 3).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

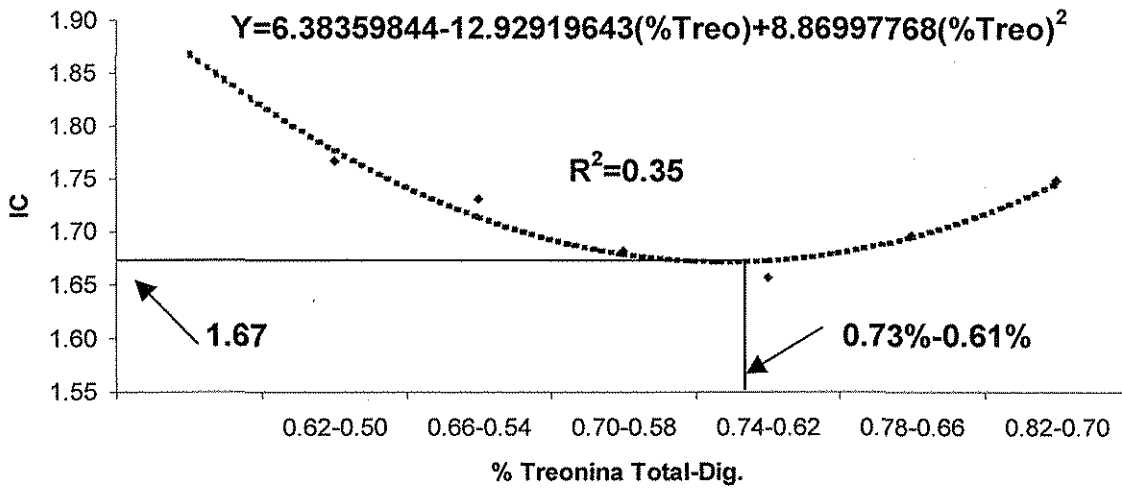


Figura 10. NOB calculado para el índice de conversión en las aves de 22 a 42 días de edad (Experimento 3).

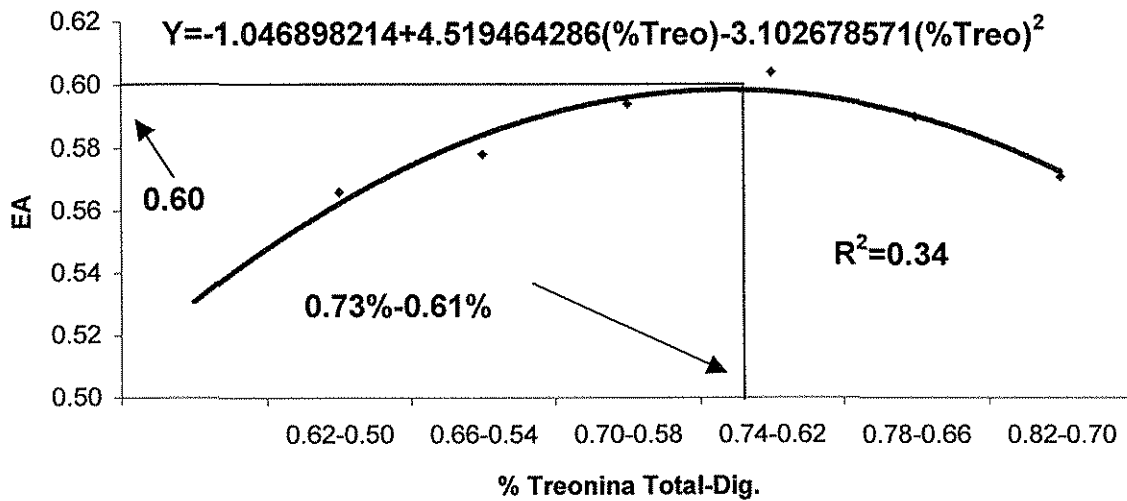


Figura 11. NOB encontrado para la eficiencia alimenticia en los pollos de engorda a los 42 días de edad (Experimento 3).

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Cuadro 14. Dietas experimentales utilizadas como dieta testigo y dieta basal de la fase de finalización (Experimento 4).

Ingrediente	Testigo	Basal
Sorgo	699.07	670.60
Pasta de soya	213.94	104.34
Pasta de ajonjolí	-	137.91
Aceite crudo de soya	42.86	44.50
Ortofosfato	12.13	12.00
Carbonato de calcio	13.60	11.80
Pigmento	5.33	5.33
Sal	3.49	3.47
Azúcar	-	2.37
DL-metionina	1.19	0.07
L-lisina HCL	1.76	4.21
L-arginina	1.97	-
L-treonina	1.26	-
Minerales*	1.00	1.00
Colina 60%	0.50	0.50
Aluminosilicato	0.50	0.50
Coccidiostato	0.50	0.50
Vitaminas*	0.50	0.50
Antioxidante	0.20	0.20
Bacitracina de zinc	0.20	0.20
	1000.00	1000.0

* Proporciona por Tonelada de alimento: Vitamina A (12,000,000 UI), Vitamina D3 (2,500,000 UIP), Vitamina E (15,000 UI), Vitamina K (2.0 g), Vitamina B1 (2.25 g), Vitamina B2 (7.5 g), Vitamina B6 (3.5 g), Vitamina B12 (20 mg), Ácido Fólico (1.5 g), Biotina (125 mg), Ac. Pantoténico (12.5 g), Niacina (45 g), Hierro (50 g), Zinc(50 g), Manganeso (110 g), Cobre (12 g), Yodo (0.30 g), Selenio (200 mg), Cobalto (0.20 g).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Cuadro 15. Contenido de nutrientes de las diferentes dietas experimentales empleadas en la fase de finalización (Experimento 4).

Nutrimiento	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7*
% PC.	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00
E.M (Mcal/kg).	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20
% Calcio.	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
% Fósforo dig.	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
% Metionina.	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
% Met + Cis.	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64
% Lisina.	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
% Treonina.	0.54	0.58	0.63	0.68	0.73	0.77	0.68
% Met - dig.	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
% Met + Cis dig.	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53
% Lis. Dig.	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82
% Treo. Dig.	0.44	0.48	0.53	0.58	0.63	0.67	0.58

*Tratamiento testigo con una dieta sorgo + soya con un nivel de treonina similar al NRC 1994.

Cuadro 16. Promedios de los resultados obtenidos en la fase de finalización para los diferentes parámetros productivos (Experimento 4).

	Peso promedio (g) ± EE	Ganancia de peso (g) ± EE	Consumo de alimento ± EE	Índice de conversión ± EE	Eficiencia alimenticia ± EE
0.54-0.44	3.296±0.005 ^C	1.124±0.044 ^B	2.978±0.075	2.668±0.173 ^A	0.379±0.024 ^{BC}
0.58-0.48	3.427±0.007 ^B	1.206±0.019 ^{AB}	2.896±0.081	2.400±0.029 ^{AB}	0.416±0.005 ^{ABC}
0.63-0.53	3.522±0.016 ^A	1.252±0.036 ^{AB}	2.881±0.013	2.307±0.076 ^{AB}	0.435±0.014 ^{AB}
0.68-0.58	3.548±0.008 ^A	1.320±0.002 ^A	2.865±0.011	2.169±0.005 ^B	0.461±0.001 ^A
0.73-0.63	3.440±0.023 ^B	1.326±0.006 ^A	2.877±0.005	2.168±0.012 ^B	0.461±0.002 ^A
0.77-0.67	3.315±0.013 ^C	1.141±0.062 ^B	2.958±0.064	2.608±0.087 ^A	0.385±0.013 ^{BC}
0.68-0.58*	3.337±0.024 ^C	1.121±0.037 ^B	3.038±0.044	2.723±0.129 ^A	0.369±0.017 ^C
CME	0.00099	0.0052	0.0106	0.0351	0.00075
Probabilidad de F	0.0001	0.0008	0.2015	0.0007	0.0002

Literales distintas dentro de la misma columna son diferentes estadísticamente (P < 0.05).

*Tratamiento testigo con una dieta sorgo + soya con un nivel de treonina similar al NRC 1994.

CME = Cuadrado Medio del Error.

EE = Error estándar.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Cuadro 17. Parámetros de regresión, coeficientes de determinación (R^2), probabilidades de F y cuadrados medios del error (CME) de los modelos empleados para las variables productivas en la fase de finalización (Experimento 4).

	Peso promedio	Ganancia de peso	Índice de conversión	Eficiencia alimenticia
Estimador				
Lineal				
Intercepto ± EE	3.360762730± 0.169**	1.017116709± 0.169**	2.854937848± 0.417**	0.3452859435± 0.067**
N Treonina ± EE	0.097817715± 0.256NS	0.322849807± 0.256NS	-0.714345315± 0.633NS	0.1188382542± 0.101NS
R^2	0.006575	0.067085	0.054701	0.058146
Probabilidad de F	0.7064	0.2217	0.2713	0.2563
CME	0.01023794	0.01026511	0.06245081	0.00162002
Cuadrático				
Intercepto ± EE	-4.27027464± 0.449**	-4.31707796± 1.281*	16.76493042± 3.002*	-1.932924846± 0.474*
N Treonina ± EE	23.75668241± 1.388**	16.86070485± 3.958*	-43.84015063± 9.271*	7.182082499± 1.468*
(N Treonina) ² ± EE	-18.06020205± 1.058**	-12.62431683± 3.017*	32.92046207± 7.069*	-5.3917895± 1.118*
R^2	0.933121	0.491112	0.534945	0.552946
Probabilidad de F	0.0001	0.0008	0.0003	0.0002
CME	0.00072205	0.00586607	0.03218670	0.00080556
Cúbico				
Intercepto ± EE	-1.60215909± 4.917NS	22.4814847± 12.744NS	-31.6319402± 31.204 NS	8.28226373± 4.703NS
N Treonina ± EE	11.32940982± 22.850NS	-107.9588679± 59.353NS	181.5777865± 45.153NS	-40.39716602± 21.852NS
(N Treonina) ² ± EE	1.07066908± 35.125*	179.5262251± 91.238NS	-314.0938546± 223.131NS	67.85296035± 33.591NS
(N Treonina) ³ ± EE	-9.73581228± 17.867NS	-97.7865353± 46.409NS	176.5976166± 113.499NS	-37.27468186± 17.087NS
R^2	0.934099	0.583553	0.585160	0.638872
Probabilidad de F	0.0001	0.0005	0.0004	0.0001
CME	0.00074707	0.00504050	0.03014686	0.00068327

NS = No significativo ($P > 0.05$).

* = Significativo ($P < 0.05$).

** = Significativo ($P < 0.01$).

EE = Error estándar.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

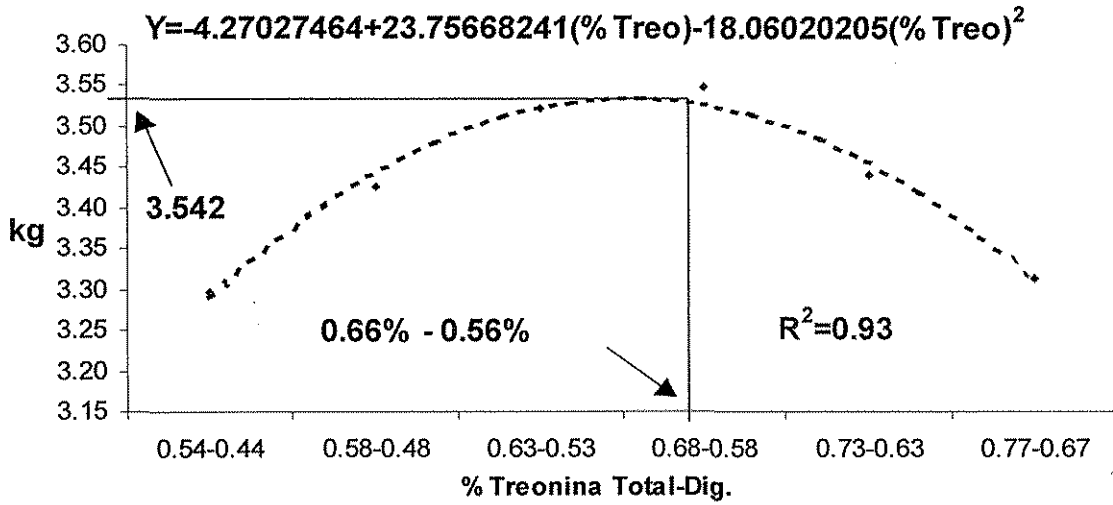


Figura 12. NOB de treonina encontrado para el peso promedio en aves de 56 días de edad (Experimento 4).

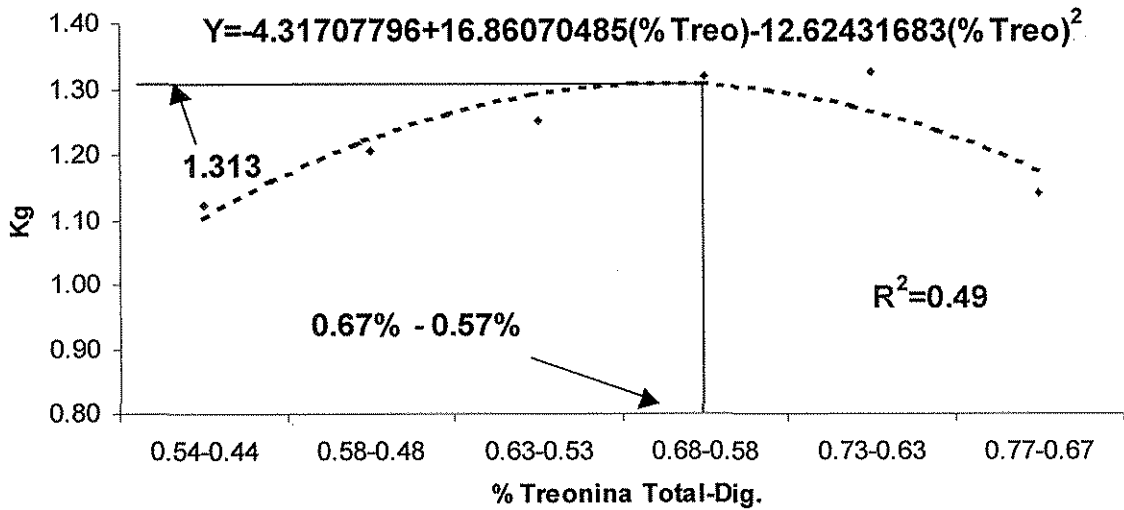


Figura 13. NOB de treonina correspondiente a la ganancia de peso en aves de 56 días de edad (Experimento 4).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

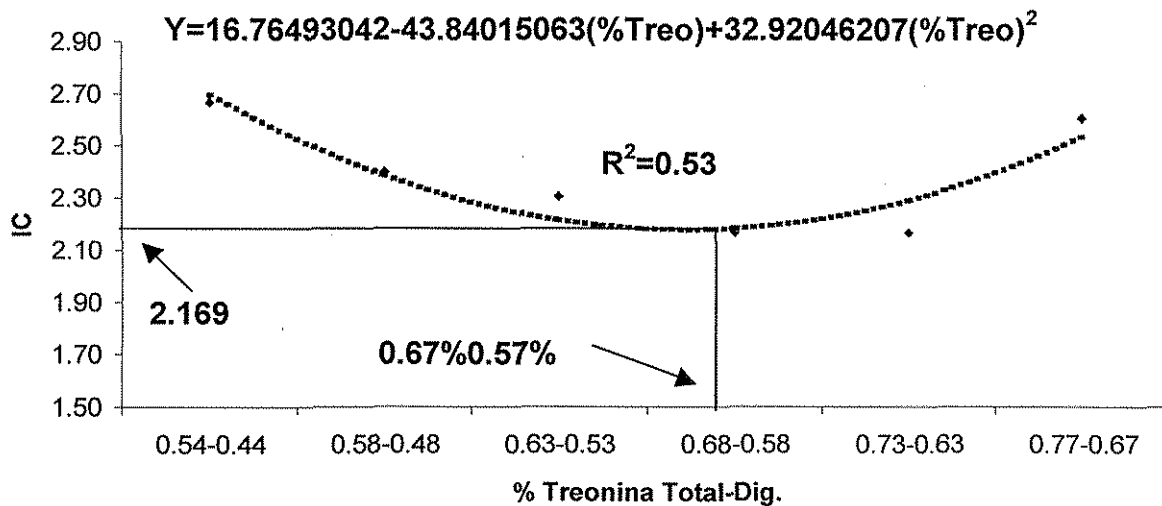


Figura 14. NOB calculado para el índice de conversión en las aves de los 22 a 56 días de edad (Experimento 4).

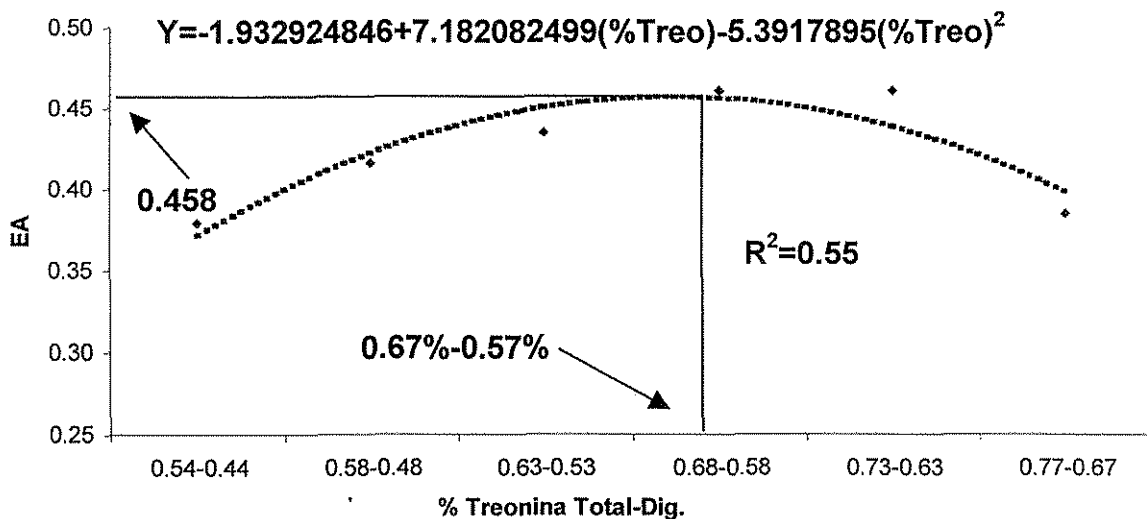


Figura 15. NOB calculado para la eficiencia alimenticia en los pollos de engorda de 43 a 56 días de edad (Experimento 4).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Cuadro 18. Resultados obtenidos al sacrificio de las aves (56 días de edad) de los diferentes componentes de la canal expresados en kilogramos (Experimento 4).

	Peso total (kg) ± EE	Peso Canal (kg) ± EE	Peso Pechuga (kg) ± EE	Peso Pierna y Muslo (kg) ± EE	Peso Grasa Abdominal (kg) ± EE
0.54-0.44	3.525±0.130	2.615±0.090	0.678±0.023	0.765±0.040	0.087±0.002
0.58-0.48	3.329±0.100	2.438±0.060	0.620±0.016	0.726±0.025	0.081±0.004
0.63-0.53	3.416±0.090	2.537±0.070	0.659±0.022	0.751±0.031	0.085±0.004
0.68-0.58	3.425±0.128	2.500±0.077	0.658±0.022	0.731±0.030	0.087±0.006
0.73-0.63	3.495±0.113	2.619±0.075	0.673±0.025	0.776±0.033	0.085±0.004
0.77-0.67	3.427±0.152	2.532±0.105	0.674±0.032	0.738±0.035	0.076±0.005
0.68-0.58*	3.300±0.117	2.486±0.087	0.635±0.026	0.730±0.034	0.079±0.007
CME	0.177	0.083	0.007	0.013	0.0003
Probabilidad de F	NS	NS	NS	NS	NS

*Tratamiento testigo con una dieta sorgo + soya con un nivel de treonina similar al NRC 1994³².

CME = Cuadrado Medio del Error.

NS = No significativo (P > 0.05).

EE = Error estándar.

Cuadro 19. Promedios de los porcentajes de los diferentes componentes de la canal de las aves sacrificadas a los 56 días de edad (Experimento 4).

	% de Canal ± EE	% de Pechuga ± EE	% de Pierna con Muslo ± EE	% de Grasa Abdominal ± EE
0.54-0.44	74.26±0.460	25.98±0.380	29.10±0.570	3.36±0.135
0.58-0.48	73.38±0.540	25.49±0.530	29.76±0.470	3.35±0.231
0.63-0.53	74.27±0.350	26.00±0.022	29.51±0.512	3.37±0.157
0.68-0.58	73.24±0.780	26.33±0.386	29.17±0.470	3.51±0.273
0.73-0.63	75.06±0.630	25.65±0.487	29.53±0.649	3.31±0.206
0.77-0.67	73.99±0.602	26.60±0.445	29.11±0.427	3.04±0.210
0.68-0.58*	75.36±0.372	25.56±0.594	29.27±0.491	3.29±0.362
CME	3.676	2.921	3.231	0.668
Probabilidad de F	NS	NS	NS	NS

*Tratamiento testigo con una dieta sorgo + soya con un nivel de treonina similar al NRC 1994³².

CME = Cuadrado Medio del Error.

NS = No significativo (P > 0.05).

EE = Error estándar.

