

01672

4



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

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

**DETERMINACION DE LAS NECESIDADES DE LISINA,
AMINOACIDOS AZUFRADOS Y TREONINA
DIGESTIBLES EN GALLINAS DE POSTURA PARA LA
FORMULACION DE DIETAS CON BASE AL CONCEPTO
DE PROTEINA IDEAL.**

**T E S I S
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS**

P R E S E N T A :

MVZ. BENJAMIN FUENTE MARTINEZ

289752

TUTOR PRINCIPAL: MSc. ERNESTO ÁVILA GONZÁLEZ.
COMITÉ TUTORAL: PhD. SILVIA ELENA BUNTINX DIOS.
M EN I. JORGE LECUMBERRI LÓPEZ
COLABORADOR INVITADO: MC ANTONIO DÍAZ CRUZ.



MEXICO, D. F.

FEBRERO 2001



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN.

DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES DE LISINA,
AMINOÁCIDOS AZUFRADOS Y TREONINA DIGESTIBLES EN
GALLINAS DE POSTURA PARA LA FORMULACIÓN DE DIETAS
CON BASE AL CONCEPTO DE PROTEÍNA IDEAL.

TESIS
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA:

MVZ. BENJAMÍN FUENTE MARTÍNEZ.

TUTOR PRINCIPAL: MSc. ERNESTO ÁVILA GONZÁLEZ.
COMITÉ TUTORAL: PhD. SILVIA ELENA BUNTINX DIOS.
M EN I. JORGE LECUMBERRI LÓPEZ
COLABORADOR INVITADO: MC ANTONIO DÍAZ CRUZ.

MÉXICO, D.F.

FEBRERO 2001

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. BENJAMÍN FUENTE MARTÍNEZ

DEDICATORIA

A LAS PERSONAS MÁS IMPORTANTES EN MI VIDA.

CLAUDIA, MARCELA Y MISAEL

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México.
A la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.
Al Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica
Al Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola.
Al Departamento de Patología Clínica.

A la Dirección Adjunta de Asuntos Internacionales y becas, del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT); por el apoyo de la beca otorgada para la realización de mis estudios de maestría.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo parcial al trabajo de tesis por medio del proyecto 26257-B

A la División de estudios de Posgrado e Investigación de la FMVZ-UNAM, por el apoyo otorgado en la realización del presente trabajo de tesis. En especial a los Doctores Javier Flores Covarrubias y Everardo González Padilla, por sus atenciones y disponibilidad para conmigo.

A la Secretaría de Superación e Intercambio Académico por su mediación en la obtención de la beca de CONACYT y en especial a la Dra. Tron, por sus atenciones y disponibilidad.

A la empresa DEGUSA HULS por los aminogramas en especial al Dr. Manuel Álvarez Solís quien estuvo siempre dispuesto a colaborar de manera incondicional.

A mi tutor, Dr Ernesto Ávila González, por su amistad, paciencia y confianza que siempre me ha tenido y siempre he recibido cosas buenas.

Al M en I Jorge Lecumberri López y PhD. Silvia Elena Buntinx Dios quienes fungieron como parte de mi comité tutorial, por compartir sus conocimientos y tiempo para la culminación de este trabajo y por la disponibilidad que siempre mostraron conmigo.

Al Dr. Eduardo Castaño Tostado y al Dr. José António Cuarón por sus atinadas observaciones y sugerencias en el escrito final de la tesis.

Al Dr. Antonio Díaz Cruz jefe del Departamento de Nutrición animal y Bioquímica por las facilidades prestadas para la realización de las pruebas de laboratorio.

A la Maestra Maria Antonieta Aguirre García por su amistad y asesoría en el trabajo de laboratorio.

A todo el personal del laboratorio del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica quienes me brindaron su amistad y conocimientos.

A las Químicas del Departamento de Patología Clínica de FMVZ : Delia Arlette Castillo Mata y Rosalva Salcedo Elisea por las determinaciones de ácido úrico.

Al Sr. Joaquín Galicia Castillo quien es la parte invisible del equipo quien por su excelente trabajo y dedicación llegan a feliz termino los experimentos.

A mis amigos del Departamento de aves muy especial para la Dr Xochitl Hernández Velazco.

A todos ustedes ; muchas gracias;

CONTENIDO

CONTENIDO.....	I
LISTA DE CUADROS.....	II
LISTA DE FIGURAS.....	IV
RESUMEN.....	V
SUMMARY.....	VI
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 MARCO CONTEXTUAL.....	4
1.1.1 <i>Situación actual de la avicultura</i>	4
1.1.2 <i>Situación actual de la industria de alimentos balanceados</i>	5
1.2 MARCO CONCEPTUAL.....	7
1.2.1 <i>Proteína</i>	7
1.2.2 <i>Aminoácidos esenciales y no esenciales</i>	10
1.2.3 <i>Absorción de los aminoácidos en la gallina de postura</i>	11
1.2.4 <i>Factores que afectan la digestibilidad de los aminoácidos</i>	12
1.2.5 <i>Relación de aminoácidos y medio ambiente</i>	15
1.2.6 <i>Proteína ideal</i>	16
1.2.7 <i>Características generales de la lisina</i>	17
1.2.8 <i>Antagonismo de la L-Lisina con L-Arginina</i>	18
1.2.9 <i>Características generales de la metionina</i>	21
1.2.10 <i>Metabolismo de la metionina</i>	21
1.2.11 <i>Características generales de la treonina</i>	23
1.2.12 <i>Excreción del nitrógeno</i>	27
1.3 ANÁLISIS MULTIVARIADO.....	28
1.3.1 <i>Componentes principales y correlación canónica</i>	30
1.3.2 <i>Multicolinealidad</i>	31
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	32
1.5 OBJETIVOS.....	33
1.5.1 <i>Objetivo general</i>	33
1.6 HIPÓTESIS.....	34
2 MATERIAL Y MÉTODOS.....	35
2.1 LOCALIZACIÓN DE LOS EXPERIMENTOS.....	35
2.2 METODOLOGÍA GENERAL.....	35
2.3 EXPERIMENTO 1. NECESIDADES DE LISINA DIGESTIBLE PARA GALLINAS DE POSTURA.....	37
2.4 EXPERIMENTO 2. NECESIDADES DE METIONINA + CISTINA DIGESTIBLES PARA LA GALLINA DE POSTURA.....	38
2.5 EXPERIMENTO 3. NECESIDADES DE TREONINA DIGESTIBLE PARA LA GALLINA DE POSTURA.....	38
2.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	41
3 RESULTADOS.....	43
4 DISCUSIÓN.....	66
4.1 CONCLUSIONES.....	72
5 LITERATURA CITADA.....	73
ANEXO 1.PRUEBAS DE NORMALIDAD DE LAS VARIABLES ESTUDIADAS.....	83

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Consumo de insumos agrícolas para la avicultura.....	6
Cuadro 2. Precios promedio mensuales por tonelada de algunos ingredientes.....	7
Cuadro 3. Clasificación de los aminoácidos.....	11
Cuadro 4. Composición de las dietas basales para determinar las necesidades de lisina, aminoácidos azufrados y treonina digestible en gallinas de postura.....	39
Cuadro 5. Análisis químico de las dietas basales para determinar las necesidades de lisina (Exp 1.), metionina + cistina (Exp 2.) y treonina (Exp 3.) digestibles en gallinas de postura.....	40
Cuadro 6. Complementación de L-lisina HCl en la dieta basa (Exp. 1).....	40
Cuadro 7. Complementación de DL-metionina en la dieta basal(Exp 2).....	40
Cuadro 8. Complementación de L-treonina en la dieta basal(Exp. 3).....	40
Cuadro 9. Correlación de Pearson de las variables estudiadas en el experimento de lisina digestible.....	45
Cuadro 10. Correlación de Pearson de las variables estudiadas en el experimento de aminoácidos azufrados digestibles.....	46
Cuadro 11. Correlación de Pearson de las variables estudiadas en el experimento de treonina digestible..	47
Cuadro 12. Correlación de Pearson de las variables estudiadas como un solo experimento.....	48
Cuadro 13. Resultados del análisis de componentes principales de los tres experimentos en conjunto.....	49
Cuadro 14. Coeficientes para obtener la combinación lineal de las variables estudiadas.....	51
Cuadro 15.- Ejemplo para ilustrar los tres componentes principales encontrados en el estudio.....	52
Cuadro 16. Resultados de la prueba de regresión cuadrática con cada uno de los componentes principales.....	53
Cuadro 17. Modelo resultante de la regresión cuadrática para las variables productivas.....	54
Cuadro 18. Modelo resultante de la regresión cuadrática para los componentes del huevo.....	54
Cuadro 19. Modelo resultante de la regresión cuadrática para el resto de las mediciones.....	54
Cuadro 20. Nivel de aminoácido para optimizar a los tres componentes principales.....	55
Cuadro 21. Correlación canónica de las variables independientes y dependientes.....	55
Cuadro 22. Correlación entre las variables canónicas y las variables originales.....	56
Cuadro 23. Combinación lineal para la primera correlación canónica en las variables independientes.....	57
Cuadro 24. Combinación lineal para la primera variable canónica de las variables dependientes.....	57
Cuadro 25. Ejemplo para ilustrar a la primera variable canónica.....	58
Cuadro 26. Ejemplo para ilustrar a la segunda variable canónica.....	60

Cuadro 27. Combinación lineal para la segunda variable canónica en las variables independientes.....	61
Cuadro 28. Combinación lineal para la segunda variable canónica en las variables dependientes.....	62
Cuadro 29. Promedio de las variables a diferentes niveles de lisina, de aminoácidos azufrados(Met + cist) y treonina digestibles en las variables productivas de gallinas de postura.....	63
Cuadro 30. Promedio de la adición de diferentes niveles de lisina, aminoácidos azufrados(met + cist) y treonina digestibles en la composición del huevo durante 70 días de experimentación.....	64
Cuadro 31. Promedio de la adición de diferentes niveles de lisina, met + cist y treonina digestibles en el grosor de cascarón, la proteína cruda del huevo y el ácido úrico plasmático.....	65
Cuadro 32. Comparación de la relación de lisina con otros aminoácidos en el cuerpo de la gallina, el huevo y parámetros productivos.....	68
Cuadro 33. Perfil ideal de lisina, aminoácidos azufrados y treonina digestibles para gallinas.....	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Producción de alimento balanceado por especie en México	5
Figura 2. Representación esquemática del uso del nitrógeno por las aves	15
Figura 3. Nivel óptimo de lisina digestible en base a la primera variable canónica.....	59
Figura 4. Nivel óptimo de aminoácidos azufrados digestibles en base a la primera variable canónica.....	59
Figura 5. Nivel óptimo de treonina digestible en base a la primera variable canónica.....	60

RESUMEN

FUENTE MARTÍNEZ BENJAMÍN. Determinación de las necesidades de lisina, aminoácidos azufrados y treonina digestibles en gallinas de postura para la formulación de raciones con base al concepto de proteína ideal.

Se realizaron tres experimentos con el objeto de conocer las necesidades de lisina, aminoácidos azufrados y treonina digestibles en gallinas Leghorn, para cada uno de ellos se emplearon 240 gallinas de la línea Isa Babcock B-300, alojadas en jaula, de 24 semanas de edad en los Experimentos uno y dos y de 40 semanas de edad en el Experimento tres. Se utilizó un diseño completamente al azar, con 5 tratamientos con 5 niveles de lisina digestible, variando de 0.47% a 0.87%, 5 niveles de metionina + cistina digestibles, variando de 0.42% a 0.66%, y 5 niveles de treonina digestible, los cuales variaron de 0.455% a 0.555%. En todos los experimentos las dietas se elaboraron con sorgo, soya y gluten de maíz, con 15 % de proteína, y para lograr los diferentes niveles de aminoácidos en las dietas se empleó L-lisina HCl, DL-Metionina y L-treonina sintética. Se llevaron registros de las variables productivas, componentes del huevo, proteína cruda para huevo completo y ácido úrico plasmático. Los datos se analizaron por medio un análisis multivariado. Los resultados en diez semanas de experimentación para los tres experimentos mostraron un efecto cuadrático ($p < 0.01$) para variables productivas, indicando que los niveles óptimos para un máximo comportamiento productivo son de 0.725% de lisina digestible, 0.596% de metionina + cistina digestible y de 0.464% de treonina digestible; lo que representa un consumo diario por ave de 652 mg de lisina, 536 mg de aminoácidos azufrados y 456 mg de treonina digestible. No se encontró el nivel óptimo para maximizar a los componentes del huevo. Estos resultados indican que las relaciones ideales, para la gallina de postura, lisina, metionina + cistina y treonina digestible para un máximo comportamiento productivo son: lisina, 100%; metionina + cistina, 82.2%; y treonina 69.9%.

Palabras clave: Lisina digestible, aminoácidos azufrados digestibles, treonina digestible, variables productivas, proteína ideal gallinas.

SUMMARY

Fuente Martínez Benjamín: Determination of digestible lysine, sulphur amino acids and threonine requirements in laying hens for diet formulation based on ideal protein concept.

Three experiments to meet digestible lysine, sulphur amino acids and threonine needs in Leghorn hens were performed. Two hundred forty Isa-Babcock B 300 24-weeks-old caged laying hens were used for Experiments 1 and 2. For Experiment 3 two hundred forty Isa Babcock 40-weeks-old caged laying hens were used. A completely randomized design was used, with 5 treatments and 5 digestible lysine levels, varying from 0.42 to 0.87%; 5 digestible methionine + cystine levels varying from 0.42 to 0.66% and 5 digestible threonine levels, which varied from 0.455 to 0.555%. Diets were based on sorghum, soybean meal, yellow corn gluten meal, with 15% of crude protein, and for reaching required amino acids levels, synthetic sources of L-lysine HCl, DL-methionine and L-threonine were employed. Productive variables, egg components, crude protein in whole egg and plasmatic uric acid were recorded. Data obtained were analyzed through multivariate analysis. Results at 10 weeks for each experiment showed a quadratic effect ($p < 0.01$) for each variable, indicating that optimum levels for maximum performance are as follows: digestible lysine 0.725%; digestible methionine + cystine 0.596%, and 0.464% for digestible threonine; what means a daily intake per bird: 652 mg for lysine, 536 mg for sulphur amino acids and 456 mg for digestible threonine. Optimum level to maximize egg compounds was not found. These results indicate that ideal relations for amino acids in laying hens are as follows: lysine 100% methionine + cystine 82.2% and threonine 69.9%.

Key words: Digestible lysine, digestible sulphur amino acids, digestible threonine, productive variables, ideal protein, laying hens.

1 Introducción.

La avicultura en México es una actividad muy especializada, que se ha caracterizado por su dinamismo, eficiencia y productividad, la cual puede equipararse con la de los países más avanzados. Sus principales productos finales son huevo, carne de pollo y pavo los cuales juegan un papel estratégico en la alimentación del mexicano. En estudios efectuados por la Unión Nacional de Avicultores(UNA), se estima que de cada 10 kilos de consumo de proteína de origen animal, seis los provee la avicultura¹⁰¹.

El potencial productivo avícola es alto, debido a los avances en genética; sin embargo, mientras más alta es la capacidad de producción de las aves, más dependientes se vuelven éstas de la calidad de los alimentos que reciben. En otras palabras, no existe la posibilidad de desarrollar todo el potencial genético si las aves no reciben todos los nutrientes necesarios en la cantidad adecuada día con día.

Uno de los indicadores que muestran el mejoramiento genético de las aves es el índice de conversión del alimento balanceado en producto. En 1950 una gallina necesitaba consumir 4.5 kilogramos de alimento para producir un kilogramo de huevo. En 1999 se necesitaron 2.11 kilogramos de alimento¹⁰¹.

En las dietas para aves se emplean principalmente subproductos de oleaginosas como fuentes de proteína y aminoácidos esenciales. Estos subproductos complementan a los granos de cereales que son deficientes tanto en proteína como en aminoácidos esenciales, principalmente lisina, metionina y treonina. La fuente clásica para proveer la proteína en la dieta en México es la pasta de soya, la cual es rica en proteína y con alto contenido de lisina pero deficiente en aminoácidos azufrados²².

Por otro lado, el país no es autosuficiente en fuentes de proteína y tiene que importar más del 96% de las oleaginosas, principalmente frijol de soya, que después de extraerle el aceite se utiliza como pasta en la alimentación animal ¹⁷.

El concepto de la formulación de dietas para gallinas actualmente está basado en el consumo de alimento, consumo de nutrientes, edad del ave, análisis de ingredientes, costos de ingredientes, medio ambiente y consideraciones de manejo. Esta información resulta básica en la nutrición animal para formular dietas con una densidad de nutrimentos deseada para satisfacer las necesidades diarias de aminoácidos por el ave^{67, 75}.

Una necesidad reciente es la de disminuir la cantidad de proteína cruda durante el ciclo de postura, con el objeto de minimizar el sobreconsumo de aminoácidos y de esta manera reducir la eliminación de nitrógeno al medio ambiente ^{50,97}.

Una alternativa para reducir los costos de producción es a través de la formulación de dietas de relativamente bajo contenido proteico, empleando el concepto de aminoácidos digestibles y la adición de los aminoácidos sintéticos metionina, lisina y treonina, actualmente disponibles en México, para incrementar la calidad de la proteína que se le proporciona al ave²².

En lo que respecta a las necesidades diarias de aminoácidos azufrados, lisina y treonina, la literatura revisada señala un amplio rango que va desde 600 mg hasta 785 mg diarios por ave para los aminoácidos azufrados; de 690 mg hasta 852 mg diarios para lisina, y de 470 mg hasta 710 mg diarios para treonina. ^{18, 45, 65, 74, 75, 78,}

Esta variación puede deberse en parte a que las dietas se formularon con base en aminoácidos totales y no se consideró la digestibilidad de los aminoácidos en la materia prima empleada, el estado productivo del ave y factores ambientales ^{22, 63}.

De lo anterior, se puede inferir la importancia de conocer no sólo la composición de los ingredientes en términos de aminoácidos digestibles sino también las necesidades de la gallina de postura para un máximo comportamiento productivo y combinados estos dos factores, poder hacer dietas más económicas.

Con estos antecedentes, se realizó el presente trabajo de investigación para determinar las necesidades diarias de los tres aminoácidos digestibles más limitantes (metionina + cistina, lisina y treonina)³², para un máximo comportamiento productivo en gallinas en postura de tipo ligero Leghorn blancas.

1.1 Marco contextual

1.1.1 Situación actual de la avicultura

La actividad avícola es una de las ramas pecuarias más importantes en nuestro país, ya que representa el 59.6% del total de la producción pecuaria nacional. Prueba de esto es que nuestro país ocupa el cuarto lugar como productor de huevo a nivel mundial, y es el principal productor de Latinoamérica ^{17,100}.

Actualmente, la industria avícola mexicana ha alcanzado un nivel tecnológico de eficiencia y productividad que puede compararse con la de países desarrollados, ajustándose rápidamente a los niveles demandados por la población ⁸³. Varios son los retos para mantener esta actividad pecuaria dentro de márgenes competitivos, como disminuir costos de producción y maximizar utilidades con sistemas de formulación más eficientes ^{36, 100}.

En los últimos 30 años la industria avícola ha mantenido un crecimiento constante debido a su alto grado de concentración, tecnificación e integración del mercado ^{30,36}. Durante el periodo de 1990 a 1998 la producción de huevo tuvo un incremento medio anual de 5.3% y el consumo per-cápita pasó de 3.8 Kg en 1990 a 18.6 Kg en 1999 ⁹⁹. Este acelerado crecimiento y ampliación de la capacidad productiva se deben en parte al incremento en la demanda, ocurrida por el desplazamiento de otros alimentos de origen animal, debido a su menor precio relativo en comparación con las carnes de bovino y porcino, aunado a la creciente preferencia de carnes blancas por rojas ^{83,30}.

La avicultura de huevo participó con 13.7% en el PIB pecuario, y con el 32.21% de la producción pecuaria en 1999 ¹⁰⁰. El año de 1999, fue de gran crecimiento para la avicultura mexicana. La producción de huevo registró un incremento del 8.2%, el consumo per-cápita de huevo creció 6.28%, en tanto que la parvada nacional registró un crecimiento de 8.11% y los empleos que genera la avicultura crecieron 6.73% respecto al año anterior ^{17,100}.

1.1.2 Situación actual de la industria de alimentos balanceados

La industria de alimentos balanceados en México debe ofrecer alternativas de alimentación cada vez más eficientes donde el objetivo sea producir con la máxima rentabilidad, para que los sistemas pecuarios puedan subsistir bajo las condiciones macroeconómicas que prevalecen en el país.

La industria productora de alimentos balanceados en México en los últimos años ha experimentado, en forma generalizada, una tendencia de crecimiento. Sin embargo, debido a la crisis económica originada en Diciembre de 1994, hubo una detención de este crecimiento, pero afortunadamente hacia finales de 1996 y durante 1997 ha demostrado una tendencia alcista en la producción ¹⁷.

En el año de 1998 la capacidad de producción fue de 17 millones de ton con un valor de 40,000 millones de pesos con 360 plantas, aunque solo se produjeron 14.8 millones de ton, lo que indica que la utilización del total de la capacidad instalada llegó a 74% y el 26% permaneció ociosa ¹⁷.

En México, la distribución de la producción de alimentos balanceados por especie es muy similar al resto del mundo, donde el mayor porcentaje de consumo es para la avicultura y porcicultura, como se aprecia en la Figura 1.

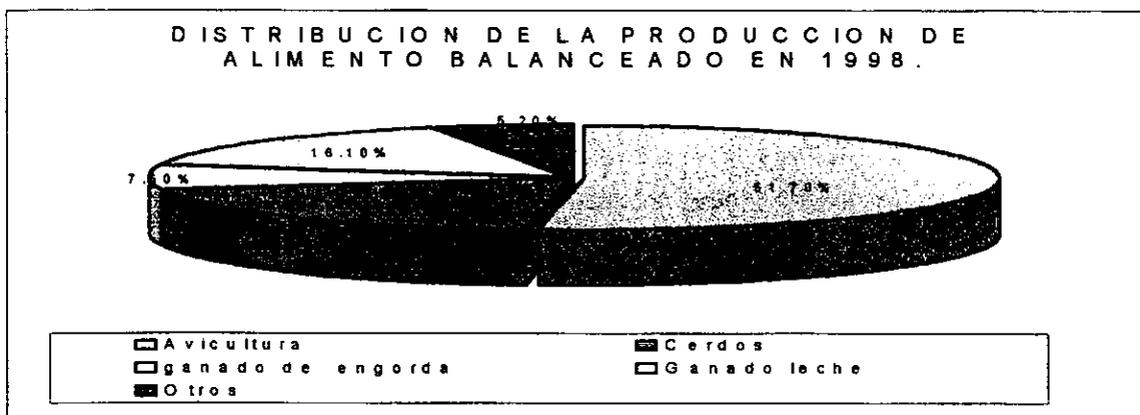


Figura 1. Producción de alimento balanceado por especie en México. CANACINTRA, 1998¹⁷.

Las importaciones de alimentos balanceados en la presente década han estado entre los rangos de 300,000 y 700,000 ton, siendo el año de 1994 cuando se importó la mayor cantidad de alimento, lo cual coincide con la crisis económica sufrida en ese año.

Afortunadamente, México no es tan vulnerable a las importaciones de alimento balanceado, ya que en 1997 éstas fueron tan sólo de 146,800 toneladas, lo cual no representó ni el 1% del consumo total ¹⁷. Sin embargo, González (1994)³⁷ menciona que con la apertura del TLC, las importaciones de alimentos balanceados procedentes de EE.UU. afectan la estabilidad de la industria mexicana por sus altos costos de producción (20% más), debido principalmente al mayor precio de los insumos en nuestro territorio.

La producción avícola es gran demandante de insumos alimenticios de alta calidad, ya sea de producción nacional o importados, pues absorbió, en promedio en los últimos 4 años, el 22% de los granos consumidos por el sector ganadero, así como el 34% de las pastas de oleaginosas ^{17, 83}. En el Cuadro 1 se presenta la cantidad de insumos agrícolas que necesita la avicultura en nuestro país, donde se ha incrementado 7.72% la demanda de materias primas para la elaboración del alimento necesario en tan solo un año^{98, 100}.

CUADRO 1. Consumo de insumos agrícolas para la avicultura.

Insumo	Toneladas		Incremento %
	1997	1998	
Granos forrajeros	5,628,629.5	6,062,924.3	7.72
Pastas de oleaginosas	1,786,866.5	1,924,737.9	7.72
Otros ingredientes	1,518,836.5	1,636,027.2	7.72
Total del alimento balanceado	8,934,332.5	9,623,689.4	7.72

Unión Nacional de Avicultores, 1999.⁹⁸

Según la SAGAR (1998)⁸³, y basándose en el programa de producción pecuaria 1997, se estimó que la avicultura de carne requiere 3 millones de toneladas de

granos forrajeros y 1 millón de toneladas de pastas de oleaginosas. Lo anterior representa el 22.6% de la demanda pecuaria de granos y el 36% de la de pastas oleaginosas.

La producción agrícola y en especial la de granos básicos es importante para la economía del país, porque de esta actividad dependen la inmensa mayoría de los productores mexicanos y el resto de los eslabones de la cadena productiva, como lo son la actividad pecuaria y la agroindustria ¹⁷.

En el Cuadro 2, se presentan los precios de los principales ingredientes utilizados en las dietas para aves. Es importante recalcar la gran variabilidad existente entre los precios; tal es el caso de la lisina que de un mes a otro tuvo una variación de un poco más de \$10,000/ton.

CUADRO 2. Precios promedio mensuales por tonelada de algunos ingredientes.

Ingrediente	Ago-97	Sep-97	Oct-97	Nov-97	Dic-97	Ene-98	Feb-98	Mar-98	Abr-98
Maíz	1250	1350	1500	1380	1300	1450	1450	1475	1425
Sorgo	1020	1100	1100	1200	1250	1350	1310	1300	1290
Soya 45%	2600	2800	2850	2830	2650	2150	2260	2240	2020
Gluten 60%	3750	3800	3900	4100	3950	3750	3675	3500	3433
Metionina	26130	26029	28140	28810	29240	29750	29750	28475	29750
Lisina	32500	21000	18000	18920	19350	19125	21000	17500	18250

Fuente: Sección de Fabricantes de alimentos balanceados para animales, CANACINTRA, con datos de VIMIFOS y ANFACA.¹⁷

1.2 Marco conceptual

1.2.1 Proteína

Debido a que las proteínas son el principal constituyente de los órganos y estructuras blandas del cuerpo, el animal requiere de una provisión abundante y continua de ellas durante toda la vida para crecimiento y reposición⁶⁶. Las proteínas poseen una gran cantidad de funciones dentro del animal; son constituyentes de todos los tejidos del animal, sangre, músculos, plumas y piel. Constituyen alrededor

de la quinta parte del peso del ave, y aproximadamente la séptima parte del peso del huevo ²².

Las proteínas desempeñan papeles cruciales en prácticamente todos los procesos biológicos. La significación y alcance de sus funciones pueden comprenderse por los ejemplos que se citan.^{35, 51}

1. - Catálisis enzimática. Casi todas las reacciones químicas en los sistemas biológicos están catalizadas por macromoléculas específicas denominadas enzimas. Todas las enzimas poseen un enorme poder catalítico. Las enzimas aumentan la velocidad de reacción al menos un millón de veces.
2. - Transporte y almacenamiento. Muchos iones y moléculas pequeñas son transportados por proteínas específicas. Por ejemplo, la hemoglobina transporta el oxígeno en los eritrocitos.
3. - Movimiento coordinado. Las proteínas son el componente principal del músculo. La contracción muscular se lleva a cabo por movimiento deslizante de dos clases de filamentos proteicos; los de la propulsión de espermatozoides se realizan por medio de flagelos, que se producen por ensambles contráctiles de naturaleza proteica.
4. - Soporte mecánico. La enorme fuerza de tensión de la piel y el hueso se debe a la presencia del colágeno, una proteína fibrosa.
5. - Protección inmune. Los anticuerpos son proteínas altamente específicas que reconocen y se combinan con sustancias extrañas, tales como los virus, las bacterias y las células de otros organismos. Las proteínas, pues, juegan un papel vital al distinguir lo propio y lo ajeno.

6. - Generación y transmisión de los impulsos nerviosos. La respuesta de las células nerviosas a estímulos específicos depende de la presencia de receptores proteicos. Por ejemplo, la rodopsina es el receptor proteico en los bastones de la retina.

7. - Control del crecimiento y la diferenciación. El control secuencial de la expresión de la información genética es imprescindible para el crecimiento y la diferenciación de las células. En las bacterias, las proteínas represoras son elementos importantes de control que silencian segmentos específicos del DNA de la célula. Un ejemplo de la manera completamente diferente de cómo actúan las proteínas es el factor del crecimiento del nervio, un complejo proteico que guía la formación de las complejas redes neurales en los organismos superiores.

Las proteínas son un grupo de compuestos afines, pero con diferencias fisiológicas, que contienen carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. Además, pueden contener azufre, fósforo y hierro. Son polímeros de aminoácidos que varían en cuanto a cantidad y tipo entre proteínas^{22,66}.

Los aminoácidos son las unidades estructurales básicas de las proteínas. Un aminoácido consta de un grupo amino, un grupo carboxílico, un átomo de hidrogeno, y un grupo distintivo "R"⁶⁶.

Los aminoácidos se unen para formar las proteínas a través del grupo amino de un aminoácido y del grupo carboxilo del otro; a este tipo de unión se le llama unión peptídica o enlace peptídico. Los aminoácidos que así se unen se conocen como residuos de aminoácidos. La adición de varios cientos de aminoácidos por este enlace peptídico covalente forma un polipéptido de cadena larga, al que se le llama estructura primaria de la proteína. Los polipéptidos se ordenan posteriormente en estructura secundaria, terciaria y cuaternaria; esta última son las proteínas apropiadamente formadas⁶⁶.

Veinte tipos de aminoácidos que varían en tamaño, forma, carga, capacidad de enlace de hidrógeno y reactividad química, se encuentran comúnmente en las proteínas. Todas las proteínas de todas las especies, desde las bacterias al hombre, se construyen a partir del mismo conjunto de veinte aminoácidos. Este alfabeto fundamental de las proteínas tiene, al menos, dos mil millones de años de antigüedad. El extraordinario conjunto de funciones en las que intervienen las proteínas es el resultado de la diversidad y versatilidad de esta veintena de sillares de construcción⁵¹.

La deficiencia de proteína o de algún aminoácido en las aves tiene diversos efectos sobre éstas. Si la deficiencia es marginal, se presenta reducción en el crecimiento en pollitos y la conversión alimenticia es más pobre. En cambio, si la deficiencia es más severa, las aves dejan de comer, la producción baja y puede ser nula; hay pérdida de peso hasta un 6-7% diario, se induce la pelecha o muda y finalmente el ave muere³.

1.2.2 Aminoácidos esenciales y no esenciales

Los 22 aminoácidos más comúnmente encontrados en los alimentos para aves se clasifican en tres grupos: esenciales o indispensables, semiesenciales y no esenciales o dispensables^{5, 86}, según se muestra en el **Cuadro 3**.

De hecho, todos los aminoácidos indicados son esenciales a nivel metabólico; sin embargo, los llamados no esenciales pueden ser sintetizados por las células, por lo que no necesitan estar presentes en el alimento, mientras que los llamados esenciales no se sintetizan, por lo que deben estar presentes en el alimento⁵⁶.

Para una alimentación completa siempre se necesita además de los aminoácidos esenciales, una cierta cantidad de nitrógeno proveniente de aminoácidos no esenciales. En ese caso da lo mismo cual de los no esenciales proporcione el

nitrógeno, con tal de que existan suficientes cantidades de carbohidratos. Si la cantidad de aminoácidos no esenciales no es suficiente, entonces los aminoácidos esenciales también son utilizados por el organismo como fuente no específica de nitrógeno⁵⁹.

CUADRO 3. Clasificación de los aminoácidos

Esenciales o indispensables (no sintetizados)	Semiesenciales ^a (sintetizados de sustratos limitados)	No esenciales o dispensables (rápidamente sintetizados de sustratos simples)
Arginina Lisina Histidina Leucina Isoleucina Valina Metionina Treonina Triptófano Fenilalanina	Tirosina Cistina Hidroxilisina	Alanina Ácido aspártico Asparagina Ácido glutámico Glutamina Hidroxiprolina Glicina ^b Serina ^b Prolina ^c

^a La tirosina se sintetiza de fenilalanina, cistina de metionina e hidroxilisina de lisina.

^b En ciertas condiciones, la síntesis de glicina o serina puede ser no suficiente para un rápido crecimiento.

^c Cuando se utilizan dietas de aminoácidos cristalinos, la prolina puede ser necesaria para un máximo crecimiento.

1.2.3 Absorción de los aminoácidos en la gallina de postura

Las proteínas son hidrolizadas a aminoácidos libres por la acción enzimática de proteasas y peptidasas durante su paso por el intestino delgado; en las vellosidades intestinales, por acción de peptidasas, los péptidos pasan de di y tri-péptidos a aminoácidos^{61, 86}.

Aproximadamente el 30% de la proteína de la dieta es transportada a las vellosidades intestinales como di o tri-péptidos; éstos son hidrolizados y transportados mediante un gradiente de concentración⁶¹. Los aminoácidos neutros son transportados por un transportador específico, el cual es un sistema B dependiente de Na⁺. La función del sistema B en las vellosidades intestinales y en las células epiteliales del riñón es absorber por paquetes cuando se acumulan en exceso los aminoácidos neutros^{62, 103}.

El sistema B tiene una alta afinidad por los aminoácidos neutros y no distingue entre la forma o estructura de los radicales. Los aminoácidos básicos, los aminoácidos ácidos y los iminoácidos prolina e hidroxiprolina tienen una muy baja afinidad por este sistema^{60, 62, 72, 103}.

Los aminoácidos ácidos, ácido glutámico y ácido aspártico son transportados por un sistema dependiente de Na^+ denominado X_{AG} , que se encuentra en el borde de las vellosidades intestinales. Este sistema es capaz de acumular grandes cantidades de aminoácidos ácidos, teniendo un equilibrio en ambos lados. El sistema X_{AG} está presente en todas las actividades metabólicas de la célula^{62, 72}.

El sistema que transporta a los iminoácidos que son dependientes de Na^+ se encuentra en el borde de la membrana de las vellosidades. Existen aminoácidos que no dependen de los transportadores anteriores y éstos son lisina y arginina, que son transportados a través de la membrana por un sistema Y^+ , que es independiente de Na^+ ¹⁰³.

1.2.4 Factores que afectan la digestibilidad de los aminoácidos

Los nutriólogos en su mayoría utilizan el concepto de formulación con base en aminoácidos totales. En los últimos años se ha desarrollado un concepto, en el cual se emplea la digestibilidad de los aminoácidos en los ingredientes como criterio de formulación. La digestibilidad de un aminoácido se obtiene de la diferencia entre la cantidad del aminoácido consumido menos la cantidad excretada en las heces. En el caso de la disponibilidad, se requiere de conocer la digestión, absorción y utilización en el organismo²².

En México existe información publicada (Mariscal *et al*)⁶⁴, sobre los aportes de aminoácidos digestibles en las materias primas convencionales. Si bien es cierto que existen varias fuentes donde se pueden consultar valores de digestibilidad verdadera de aminoácidos de las principales materias primas, también es cierto

que es indispensable conocer los factores que afectan la digestibilidad, para así poder hacer un uso más eficiente de las materias primas, disminuyendo el desperdicio de la proteína dietaria⁶³.

Estos factores pueden dividirse en dos grupos: a) los procesos tecnológicos empleados en el proceso para obtener una materia prima y b) las características propias de cada grupo de materia prima.

a) Procesos tecnológicos; se definen como la aplicación de factores físicos y/o mecánicos, químicos o fermentativos a un sustrato determinado cuyo objetivo es incrementar el consumo y la digestibilidad del alimento. Los tratamientos potenciales son numerosos y su empleo dependerá de las características del alimento en cuestión⁶³.

i) Temperatura: Como parte del proceso de producción de pastas de oleaginosas y harinas de subproductos de origen animal, en algunos casos el objetivo es el de mejorar la calidad del alimento (destrucción de lectinas, factores antiproteasas); sin embargo, su empleo puede generar la formación de compuestos que disminuyen la digestibilidad de lisina y su utilización metabólica.

ii) Molido: Tiene como finalidad reducir el tamaño de la partícula, lo que produce un mejor mezclado y, debido al aumento en la superficie de contacto, se incrementa la susceptibilidad del alimento a la acción enzimática, mejorando la digestibilidad de la proteína y de los aminoácidos.

iii) Extrusión: Consiste en someter a los efectos conjuntos de presión y temperatura a un alimento. Las modificaciones causadas por este tratamiento son profundas: inactiva casi en su totalidad a los factores antiproteasas, produce una gelatinización del almidón y desnaturaliza a la proteína, mejorando la digestibilidad.

iv) Descascarillado: Tratamiento mecánico destinado a disminuir el contenido de fibra y de taninos de algunas materias primas, ya que estos últimos se localizan en la cáscara de leguminosas, como el chícharo y el frijol.

b) Composición del ingrediente. Muchos ingredientes vegetales contienen sustancias generadas por el propio metabolismo normal de cada especie, que ejercen efectos negativos en el animal que los consume. Dentro de esta clasificación se encuentran los factores antinutricionales, que tienen un efecto depresivo sobre la digestión y la utilización de la proteína.

i) Taninos: Compuestos provenientes de la condensación de moléculas de flavanos: se localizan principalmente en las partes de la planta susceptibles de ser dañadas (pericarpio en el caso del sorgo). Se caracterizan por disminuir principalmente la digestibilidad de la proteína y de todos los aminoácidos⁶³.

ii) Factores antiproteasas: Altamente diseminados en el reino vegetal, se caracterizan por su capacidad de formar complejos estables con las enzimas proteolíticas. Su acción negativa sobre la digestibilidad de la proteína y aminoácidos se debe a la inhibición de la tripsina y la quimiotripsina⁸⁶.

iii) Lectinas: Glicoproteínas que pueden unirse a receptores de las células epiteliales de la mucosa intestinal e interferir con el proceso digestivo; al igual que los factores antiproteasas, son inactivadas por el calor.

iv) Fibra: Aunque estrictamente no es un factor antinutricional, puede ser considerado como tal, ya que interfiere en la digestión de la proteína. Este término incluye a la fibra soluble en agua (glucanos, arabinosilanos, pectina y galactomananos) a la fibra insoluble en el agua (celulosa, hemicelulosa y lignina).

La fibra soluble aumenta la viscosidad, produciendo una disminución del movimiento de las moléculas, afectando su absorción y, por lo tanto, su digestibilidad. En el caso particular de los subproductos de trigo, la digestibilidad está altamente relacionada con el contenido de fibra detergente neutro.⁸⁶

1.2.5 Relación de aminoácidos y medio ambiente

Las gallinas de postura de hoy en día reciben un exceso de proteína dietaria⁹⁷. La parte de nitrógeno que no es retenida por el animal para crecimiento y producción es excretada, convirtiéndose en potencial destructor del medio ambiente⁸⁷ (Figura 2). La teoría de Lovelock's Gaia describe al planeta tierra como un organismo en un estado de equilibrio dinámico; si este estado es alterado, los choques entre una especie y otra pueden destruir incontables ecosistemas, hasta que el equilibrio haya sido recuperado⁹¹.

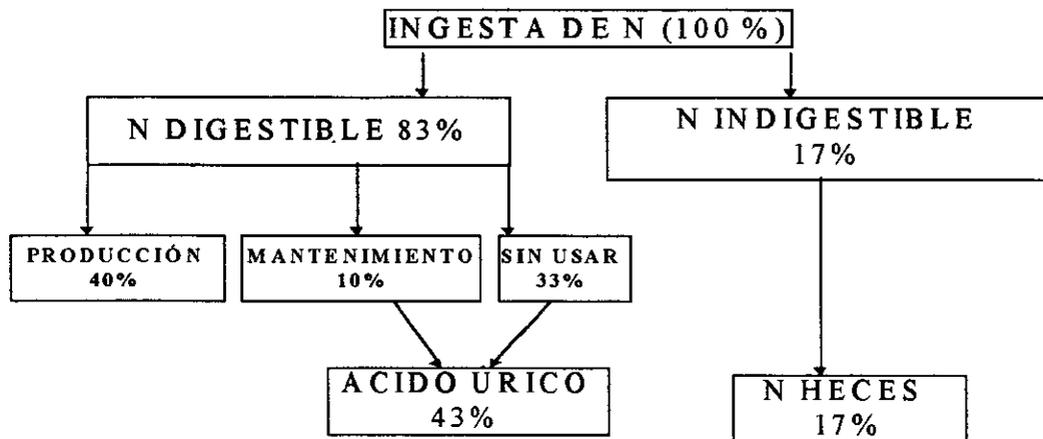


Figura 2. Representación esquemática del uso del nitrógeno por las aves.
Tomado de, Schutte y Van der Klis⁸⁹.

El nitrógeno es uno de los contaminantes, producto de los sistemas de producción animal, más serios en el medio ambiente. Adiciones de nitrógeno en exceso al suelo causan erosión y, por consecuencia, contaminan mantos freáticos. Además,

la emisión de amoníaco a la atmósfera causa daños respiratorios y es una de las causas de la formación de lluvias ácidas^{91,97}.

Solamente la cantidad de estiércol producida en los EU fue estimada en alrededor de 120 millones de toneladas en 1992, de las cuales 8.25 millones fueron nitrógeno⁸⁹. De esta manera aparece la justificación de una legislación en Europa, que ha impuesto un máximo de nitrógeno que se pueden aplicar a las zonas agrícolas (170 Kg / hectárea)¹⁷.

En general, los animales son muy ineficientes para convertir la proteína de la dieta a proteína animal. Sólo el 40% del nitrógeno consumido es utilizado para la producción de carne o de huevo y el resto es eliminado por las heces o por la orina, que contaminan la tierra^{17,89,91}.

Uno de los factores que afectan la utilización de la proteína de la dieta es el balance de aminoácidos, tanto para mantenimiento como para producción. Es bien conocido que dietas con menor cantidad de proteína y complementadas con los aminoácidos más limitantes aumentan la eficiencia de utilización de la proteína de la dieta. Por otro lado, la adición de aminoácidos sintéticos bajo el concepto de proteína ideal, las variables productivas pueden ser mantenidos e incluso, incrementadas. Además, al utilizar aminoácidos sintéticos, disminuye la excreción de nitrógeno al medio ambiente⁹¹.

1.2.6 Proteína ideal

El concepto de proteína ideal fue desarrollado por primera vez en la Universidad de Illinois en los años 50's y principios de los 60's. El objetivo fue el de proveer una mezcla ideal de aminoácidos indispensables para conocer exactamente los requerimientos de los pollos para síntesis de proteína y mantenimiento, sin tener una deficiencia o un exceso; sin embargo, los científicos se dieron cuenta de que su primera versión de una proteína ideal tenía excesos de aminoácidos⁷.

Dean y Scott comprendieron que las dietas originales con 25% de proteína contenían substancialmente excesos de aminoácidos, por lo que iniciaron una serie de investigaciones sobre estos requerimientos, culminando en el estándar Dean en 1965, con una dieta de 17.7 % de proteína. Posteriormente, Scott y Baker, junto con sus estudiantes graduados, probaron que varios aminoácidos en el estándar de Dean estaban en exceso y propusieron un nuevo estándar mejorado, que contenía solamente 14.8% de proteína y alcanzaba los mismos resultados que los estándares con 17.7% de proteína. Esto dió origen a lo que conocemos actualmente como patrón ideal de aminoácidos digestibles de Illinois (IIPC) para pollo de engorda¹¹.

El concepto de proteína ideal usa a la lisina como el aminoácido de referencia, expresándose los requerimientos de los otros aminoácidos indispensables como porcentaje de la lisina digestible⁵⁰.

La lisina se seleccionó como el aminoácido de referencia por tres principales razones:⁸

1. - El análisis en el alimento, a diferencia del de los aminoácidos azufrados, es relativamente fácil y simple.
2. - Cuando es absorbida solo se utiliza para síntesis de proteína.
3. - Existe una gran cantidad de información sobre las necesidades de lisina, bajo una gran variedad de dietas, medio ambientes y composiciones del cuerpo.

Cabe señalar que para el caso de la gallina a la fecha no existe un patrón de proteína ideal con base en aminoácidos digestibles.

1.2.7 Características generales de la lisina

La estructura de la lisina es particularmente interesante porque contiene dos grupos amino; el que está ligado al átomo de carbono épsilon es fuertemente básico y sólo puede perder sus protones a un pH muy elevado, por lo que la lisina es un aminoácido básico⁵⁶. El grupo amino libre en posición épsilon es muy activo

químicamente, por lo que es bastante susceptible de ligarse a otros compuestos de la dieta, particularmente mediante la reducción de los carbohidratos. Estas uniones aminoácido-carbohidratos se denominan generalmente reacciones de Maillard o de caramelización y hacen que la lisina pierda su disponibilidad para los animales⁶⁶.

La lisina libre o pura es altamente higroscópica, por lo que la síntesis comercial generalmente supone la formación de una sal de lisina con ácido clorhídrico para estabilizar a la lisina cristalina, creando un material que es casi incoloro e inodoro. Algunas de las características del monoclóhidrato de lisina utilizado en la industria alimenticia son diferentes a las de la lisina libre¹.

La lisina puede existir en las formas de estereoisómeros L o D, pero sólo la forma L está presente en las proteínas⁵⁶. Los aminoácidos D se convierten en L mediante un proceso de dos pasos, que consiste en la oxidación del aminoácido D para producir su cetoácido alfa, seguida de la transaminación para obtener el aminoácido L. Desafortunadamente, los animales no poseen la enzima D-aminoácido-oxidasa específica para la lisina y necesaria para llevar a cabo el primer paso, y por ende, la D-lisina no tiene actividad biológica. Todos los productos comerciales contienen sólo L-lisina.^{1,56}

1.2.8 Antagonismo de la L-Lisina con L-Arginina

Cuando la proteína de la dieta se encuentra en balance exacto y en cantidades suficientes, la velocidad de síntesis de tejidos y la eficiencia de la utilización de la dieta puede acercarse al máximo. Sin embargo, si existe una pequeña deficiencia de aminoácidos, el animal puede intentar compensarla con un mayor consumo de la dieta. En algunos casos, la tasa de crecimiento puede alcanzar el máximo, pero la eficiencia de la utilización no puede ser compensada. Harper en 1956 fue el primero en caracterizar las interacciones entre aminoácidos como desbalances y antagonismos. De acuerdo con sus definiciones, un desbalance ocurre cuando una dieta limitante en dos aminoácidos es complementada con el segundo aminoácido

limitante o con todos los aminoácidos esenciales, excepto el primer aminoácido limitante. Este desbalance es el más común de las interacciones. Un antagonismo fue definido como una interacción específica, el requerimiento de un aminoácido esencial, no necesariamente el primer aminoácido limitante, es incrementado por la adición a la dieta de un aminoácido estructuralmente relacionado. Un ejemplo es el antagonismo de la lisina- arginina, el exceso de lisina incrementa los requerimientos de arginina¹⁴. Esto se debe a que un exceso de lisina en una dieta causa una marcada actividad de la enzima arginasa renal, la que cataliza la formación de urea y ornitina a partir de arginina e incrementa la degradación de arginina. Esto resulta en una depresión en el crecimiento, que puede ser prevenida con un incremento en el contenido de arginina^{56,86}.

D'Mello y Lewis^{25,102} demostraron que con excesos de lisina, los niveles de arginina en plasma decaen, y hay un descenso en la tasa de crecimiento y en el consumo de alimento. En otro estudio, la reducción en el consumo de alimento por el exceso de lisina parece ser un factor en la interacción y altos niveles de cloro en la dieta parecen incrementar los efectos de los excesos de lisina en los requerimientos de arginina⁵⁶.

Las necesidades de lisina para gallina de postura determinada por varios autores se indican a continuación:

El NRC⁷⁴ marcó como mínimo un consumo de 700 mg de lisina total por ave por día, y en 1994⁷⁵ redujo en 10 mg el consumo, llegando a 690 mg de lisina total por ave por día como mínimo.

Noyola *et al*⁷⁸ informaron que para gallinas de 44 semanas de edad, recibiendo dietas con 16% de proteína, las necesidades de lisina total eran de 747.5 mg por ave por día para una máxima producción de huevo y para gallinas que se

alimentaron con dietas con 14% de proteína cruda, las necesidades eran de 852 mg de lisina total por ave por día.

Hijikuro *et al.*⁴⁴ utilizaron dietas con maíz, pasta de soya y gluten de maíz, con 12.9% de proteína cruda; determinaron que eran necesarios 611 mg de lisina total por ave por día para un óptimo comportamiento productivo.

Harms⁴² reportó que las necesidades de lisina total para una máxima producción eran de 823 mg de lisina por ave por día y de 818 mg de lisina para masa de huevo diaria.

Cuca *et al.*²² recomiendan 0.77% de lisina total en dietas que varían de 15 a 17% de proteína cruda y con 2600 a 2800 Kcal/ Kg de EM.

Schutte⁸⁸ encontró que las necesidades de lisina digestible eran de 720 mg por ave por día, para obtener una máxima producción de masa de huevo diaria (57 g) y un peso de la gallina de 1500 g.

Sheideler⁹² en varios experimentos recomienda el mantenimiento del consumo de lisina cercano a los 900 mg para sostener la cantidad de huevos y es deseable cuando se administran niveles altos de aminoácidos azufrados totales en la dieta para un máximo tamaño del huevo.

Coon *et al.*²⁰ en varios experimentos utilizando maíz, pasta de soya, harina de carne y hueso, gluten de maíz, canola y harina de ajonjolí, determinaron que las necesidades de lisina digestible por ave por día en promedio eran de 675 mg para obtener una máxima producción de masa de huevo (51.25 g).

El manual de la Isa Babcock ⁶ recomienda para explotaciones comerciales entre 800 a 860 mg por ave por día de lisina total de acuerdo con la etapa de producción en que se encuentre el ave.

1.2.9 Características generales de la metionina

En el año de 1923 Müller, aisló una substancia azufrada de un hidrolizado de caseína que no era idéntica ni a la cistina ni a la cisteína y se destacaba por una alta estabilidad. Años más tarde se determinó su estructura y lo llamaron metionina. Su denominación química es ácido-DL- α - amino- γ - metilmercapto-butírico. Tiene un peso molecular de 149.2; su aspecto es el de un cristal incoloro o ligeramente amarillento; su olor es característico a compuestos orgánicos azufrados; es poco soluble en solventes orgánicos y tiene 9.4% de nitrógeno⁹⁴.

1.2.10 Metabolismo de la metionina

Los requerimientos de metionina son cubiertos a través de la proteína de la ración así como de los aminoácidos DL presentes en las mezclas racémicas de metionina. El isómero L y el isómero D son absorbidos indistintamente. También se han utilizado los hidroxí y ceto análogos de metionina. Estos dos últimos compuestos contienen en lugar del grupo amino, un grupo hidroxí o ceto, respectivamente, razón por la cual son estructuras parecidas al aminoácido L-metionina⁹⁴.

Al tratar de cubrir la deficiencia de aminoácidos azufrados, se puede tener un nivel alto de metionina en la ración, superior a los niveles recomendados. El exceso de este aminoácido es catabolizado para llenar los requerimientos de cistina, cisteína, taurina, sulfato, etc. ^{46, 56, 94}.

Catabolismo.- Cuando los aminoácidos están en exceso a las necesidades metabólicas ocurre su catabolismo y la succinil-CoA es el producto terminal anfibólico de la metionina, contribuyendo para esto tres quintas partes de los

carbonos de este aminoácido; sus carbonos carboxílicos forman CO₂ y el grupo metilo es eliminado como tal ⁵⁶.

Las necesidades de aminoácidos azufrados para gallina de postura de acuerdo con varios autores se describen a continuación:

Cuca *et al.* ²² recomiendan 0.57% de aminoácidos azufrados con 2600-2800 Kcal/Kg de EM para gallinas en producción. El NRC⁷⁴ marca como mínimo un consumo de 600 mg de metionina + cistina por ave por día y el NRC⁷⁵ más reciente, marca 580 mg, 20 mg menos que el NRC de 1984⁷⁴.

Harms⁴², utilizando gallinas Hy-Line W36 con 28 semanas de edad y dietas con base en maíz y pasta de soya, con un contenido de 12.8% de proteína cruda, encontró que se requieren 304 mg de aminoácidos azufrados.

Morales ⁷⁰, evaluó la respuesta productiva en gallinas alimentadas con dietas formuladas con base en aminoácidos totales y aminoácidos digestibles, sugiriendo un nivel de 0.67% de metionina + cistina digestible en dietas que contenían 14.30% de proteína cruda y 2833 Kcal /Kg de EM.

Schutte *et al.*⁹⁰, utilizando gallinas de la línea Shaver 288, determinaron un requerimiento de 750 mg de aminoácidos azufrados por ave por día para una masa de huevo de 51 g. Las dietas empleadas contenían 14% de proteína cruda.

Schutte y Jung⁸⁷, utilizando dietas con base en maíz y pasta de soya en gallinas de la línea Lohmann SL, con 14.5% de proteína cruda y 2900 Kcal por Kg de EM, encontraron que para una máxima producción de huevo y máxima eficiencia alimenticia con una masa de huevo de 55 g por gallina por día, los requerimientos de aminoácidos azufrados fueron de 740 mg por gallina por día o 660 mg de aminoácidos digestibles.

Harms⁴¹, utilizando gallinas Hy-Line W36 con diferentes edades, complementó siete aminoácidos esenciales como porcentaje de las dietas, encontró que las necesidades de aminoácidos azufrados eran de 604, 576, 658 mg por ave por día, respectivamente para dietas con 14.89, 13 y 12.7 % de proteína.

Calderón y Jensen¹⁶, en dos experimentos empleando gallinas de 32 y 59 semanas de edad, y dietas con 13%, 16% y 19% de proteína cruda y 2912 Kcal/Kg de EM, encontraron que las necesidades de aminoácidos azufrados totales por ave por día eran de 659, 715 y 773 mg, respectivamente.

Ibáñez y Potter⁴⁶, determinaron como un nivel óptimo económico de metionina + cistina 0.63% en la dieta o 668 mg por ave por día, con dietas que contenían 2760 Kcal. EM/ Kg y 15.2% de proteína cruda.

Zollitsch *et al.*¹⁰⁷ después de realizar una serie de experimentos, determinaron que un consumo de 720 mg de aminoácidos azufrados totales, antes y después del pico de producción, puede producir una ganancia de peso adicional, a costa de la masa de huevo.

Coon y Zhang²⁰, determinaron, como promedio de varios experimentos, que eran necesarios 547 mg por ave por día de aminoácidos azufrados digestibles.

1.2.11 Características generales de la treonina

La treonina fue descubierta en los hidrolizados de fibrina. La treonina, a diferencia de la mayoría de los 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 tiene carbonos en posición tanto alfa como beta, que son asimétricos y que pueden generar cuatro isómeros: L (2S,3S), D (2r,3r), alo(2s,3r) y D-allo (2r,3s)^{10,12}, la DL-treonina proporciona no más de un 25% de actividad biológica, basado en que una

cuarta parte de la molécula es L-treonina. Las aves pueden utilizar sólo a la L-treonina.

1.2.11.1 Metabolismo

Anabolismo. Este aminoácido no es sintetizado por las aves, pero sí por las plantas y otros microorganismos. El metabolismo de la treonina comienza con la fosforilación de la homoserina (derivado del aspartato) por el ATP. Después, el fosfato de homoserina, por medio de la enzima treonina-sintetasa, sufre una desfosforilación y se produce la treonina. Una ruta alternativa que conduce a la síntesis de este aminoácido la proporciona la serina-hidroximetil-transferasa, enzima dependiente del fosfato de piridoxal, que puede catalizar la siguiente reacción⁸⁶:



El catabolismo de la L-treonina genera principalmente productos glucogénicos, pues produce tanto piruvato como propionato. La deshidratasa de la treonina (e.c. 4.2.1.16), la deshidrogenasa de la treonina (e.c. 1.1.1.103) y la aldolasa de la treonina (e.c. 4.1.2.5) participan en el catabolismo de la treonina en los pollos; sin embargo, la deshidrogenasa de la treonina es la responsable de la mayor parte de la oxidación de este aminoácido en los mamíferos en crecimiento^{13,27}. La deshidratasa de la treonina (conocida también como treonina deshidratasa y serina deshidratasa) utiliza al piridoxal 5'-fosfato para degradar a la treonina, generando alfa-cetobutirato y amoníaco, pero esta reacción sólo es importante durante el ayuno. La treonina se degrada para producir glicina y acetaldehído, por la acción de la aldolasa de la treonina (conocida también como treonina aldolasa o hidroximetil transferasa de la serina), mediante la ruptura de la base química, catalizada por el piridoxal- 5'fosfato. La reacción catalizada por el nicotinamida-

adenin-dinucleótido, que implica la intervención de la deshidrogenasa de la treonina, convierte a la L-treonina en 2-amino-3-oxibutirato⁵⁵.

Los esqueletos de carbono resultantes del catabolismo de la L-treonina generan piruvato para la producción de energía o glucosa y glicina para las necesidades metabólicas (como lo es la síntesis de proteína de creatina, de serina, de ácido úrico, de sales biliares y de glutatión)⁸⁶.

El exceso de niveles suplementarios de treonina en la dieta (1.13%) favoreció el crecimiento de pollos alimentados con una dieta libre de glicina y de serina^{2,9}.

Cuando se adicionó glicina a una dieta rica en treonina, se redujo el crecimiento de los pollos pero se mejoró la conversión alimenticia. Por lo tanto, el requerimiento de glicina de los pollos puede reducirse parcialmente mediante la adición de treonina, mientras que la ruta inversa (de glicina a treonina) no ocurre en el pollo. Por el contrario, D'Mello (1973)²⁶ encontró que la treonina no sirve para economizar glicina en el pollo. La capacidad de la treonina para ahorrar glicina en los pollos sigue siendo objeto de conjeturas.

Davis y Austic²⁸ evaluaron la distribución de las enzimas encargadas de degradar a la treonina en los tejidos y sus actividades, en pollas Leghorn blancas de cresta sencilla. La mayor actividad de deshidrogenasa de la treonina se encontró en el páncreas, mientras que las principales actividades de la deshidrogenasa y la aldolasa de la treonina se encontraron en el hígado y en el músculo. Estos autores encontraron que la aldolasa y la dehidrogenasa de la treonina eran, entre las enzimas encargadas de degradar a este aminoácido, las responsables de la mayor actividad en el pollo.

La información sobre las necesidades de treonina en las gallinas es escasa y existe una gran diferencia en los requerimientos de este aminoácido que aparecen calculados en la literatura.

Huyghebaert y Butler⁴⁵, utilizando gallinas Isa Brown de 28 y 38 semanas de edad y obteniendo 50 g de masa de huevo diario, encontraron que los requerimientos de treonina eran de 700 y 710 mg diarios por ave.

El NRC de 1994⁷⁵ marca como mínimo 470 mg de treonina total diaria por ave, 30 mg menos que el NRC de 1984⁷⁴. Cuca *et al.*²² recomiendan 0.50 % de treonina total en dietas con 2600 a 2800 Kcal /Kg de EM para gallinas en producción.

Yamazaki *et al.*¹⁰⁵, demostraron que 384 y 524 mg/gallina/día de ingesta de treonina digestible fueron necesarios para una máxima masa de huevo y eficiencia alimenticia, respectivamente, en gallinas ponedoras de 32 a 42 semanas.

Ishibashi *et al.*⁴⁹, en dos experimentos que llevaron a cabo en gallinas Dekalb XL de 29 y 39 semanas de edad, con una dieta sorgo, maíz, soya y gluten de maíz, con 14.4% de proteína cruda, hallaron que los requerimientos diarios de treonina para máxima masa de huevo de huevo y eficiencia alimenticia fueron, en los Experimentos 1 y 2, de 453 y 456 y de 457 y 467 mg /gallina/día, respectivamente.

Las recomendaciones de la línea genética Isa Babcock⁶ son de 694 mg treonina total/ ave /día, como mínimo, con dietas de 2850 - 2925 Kcal/kg EM, 17.8% de proteína cruda y un consumo de 102 g diarios por ave.

Coon²⁰, en varios experimentos, determinó un consumo promedio de 495 mg de treonina digestible.

Recientemente, Martínez *et al.*⁶⁶, utilizando gallinas de la línea Isa Babcock, determinaron un requerimiento de 471 mg por ave por día de treonina digestible.

1.2.11.2 Interrelaciones treonina- lisina.

Existe evidencia de que el requerimiento para un aminoácido puede estar proporcionalmente ligado al requerimiento de otro. Este parece ser el caso para la treonina y la lisina. La treonina no puede ser discutida aisladamente de la lisina y, por supuesto, el requerimiento de treonina no puede ser establecido hasta que el requerimiento de lisina no haya sido satisfecho. Sin embargo, la relación entre estos aminoácidos parece ir más allá de este punto, ya que se ha demostrado que niveles elevados de lisina dietaria incrementan la actividad de la treonina deshidratasa, lo cual resulta en una oxidación más rápida de treonina⁶⁹. Esto lo confirman algunos investigadores, que han notado una reducción en la treonina plasmática con excesos dietarios de lisina^{57, 73, 93}.

1.2.12 Excreción del nitrógeno

El producto final del metabolismo de las proteínas en las aves es el ácido úrico. Entre los pasos para su síntesis se incluye la remoción del amoniaco por transaminación y descarboxilación oxidativa, el transporte del amoniaco y la síntesis de carbamil fosfato, entra al ciclo de la urea. Las aves carecen de la carbamil fosfato sintetasa y por esta razón no pueden sintetizar urea. La manera en que se elimina el nitrógeno es a través del ácido úrico, una base púrica³⁹.

Cuando un organismo no puede obtener mediante la dieta la suficiente cantidad de aminoácidos esenciales, el organismo cataboliza la proteína de los músculos para obtener estos aminoácidos. Por este proceso natural se aumenta la producción de nitrógeno y su eliminación mediante el ácido úrico, y éste aumenta. Con un incremento en los niveles de aminoácidos esenciales en la dieta esta eliminación disminuye, por unidad de proteína consumida.^{39, 79}

Los niveles normales de ácido úrico en la sangre son de 2 a 15 mg/dl; valores de 20 a 30 mg/dl se consideran elevados. Esto puede deberse a varios factores, como son estados de malnutrición, deshidratación o destrucción masiva de tejido, debido a traumatismos, siendo el más común por nefrosis.⁵⁸

Por otro lado, los esqueletos carbonados de los aminoácidos sirven como fuente de energía para el organismo y la conversión de intermediarios para la formación de glucosa y grasa. Debido a esto se clasifica a los aminoácidos como glucogénicos o cetogénicos. La leucina, isoleucina, lisina, fenilalanina, tirosina y treonina son cetogénicos por vía de la acetil-CoA; el resto de los aminoácidos son glucogénicos.^{39, 56, 86}

La lisina es degradada en el hígado del ave por una L-aminoácido oxidasa y una lisina cetoglutarato reductasa, para la formación de ácido pipercolico y sacaropina. Esta última es la ruta para la degradación de L-lisina; ambas rutas convierten a los alfa-amino a N y CO_2 .⁵⁶ Por otro lado, la treonina no participa en la transaminación y esta sirve como materia prima para otros aminoácidos.^{13, 27, 54, 56}

1.3 Análisis multivariado.

En forma general, el análisis multivariado se refiere a todos los métodos estadísticos que simultáneamente analizan múltiples mediciones en cada individuo u objeto en investigación. Muchas técnicas multivariadas son extensiones de los análisis univariado y bivariado (correlación, análisis de varianza y regresión simple). En muchas ocasiones, las técnicas multivariadas se utilizan para realizar en un solo análisis lo que incorrectamente se hace usando varias técnicas univariadas.

Otras técnicas multivariadas, como el análisis de factores, están diseñadas exclusivamente para tratar temas multivariados⁴⁰.

Por otro lado el uso de modelos univariados por separado en repetidas ocasiones aumenta inevitablemente la probabilidad del error tipo I, cuando el investigador involucra muchas variables. Por ejemplo, al evaluar cinco variables dependientes a un mismo individuo por separado. Cada vez que se prueben se utiliza un nivel de significancia de 0.05 para las variables dependientes, esperando respuesta significativa en las variables dependientes a un nivel de 95% de probabilidad. Como utiliza 5 pruebas por separado, la probabilidad del error tipo I debe ser de 5% (si todas las variables dependientes están perfectamente correlacionadas) y de $1-0.95^5$ (si todas las variables dependientes no están correlacionadas). De esta manera una serie de pruebas estadísticas por separado no permiten controlar el error experimental, si el investigador decidiera mantener el control sobre todas las variables y sobre el error experimental y tener un menor grado de correlación entre las variables dependientes, el análisis multivariado es el apropiado.

Otra razón por la que se debe de utilizar el análisis multivariado es porque una serie de análisis univariados también ignoran la posibilidad de algunas combinaciones de las variables dependientes que proporcionan evidencias de todo lo que esta alrededor de un grupo y que no puede ser detectado por un solo análisis a cada variable por separado; las pruebas individuales ignoran la correlación entre las variables dependientes y de esta manera existe un menor empleo del total de la información generada en los experimentos para encontrar diferencias entre todos los grupos. El análisis multivariado resulta ser más poderoso que las pruebas univariadas de esta manera, así el análisis multivariado puede detectar diferentes combinaciones no encontradas en las pruebas univariadas. Por otra parte, si múltiples variables son medidas, se puede tener una mejor dimensión de las diferencias que no se pueden distinguir en un análisis con una sola variable ⁴⁰.

Una de las razones por las cuales el análisis multivariado es difícil de definir es que el término *multivariado* no se usa consistentemente en la literatura. Para algunos investigadores *multivariado* significa sencillamente examinar relaciones entre más de dos variables. Otros usan el término únicamente para problemas donde se supone que todas las múltiples variables tienen una distribución normal multivariada. Sin embargo, para que se consideren verdaderamente multivariadas,

las variables deben ser aleatorias y estar interrelacionadas de tal manera que sus diferentes efectos no puedan ser interpretados por separado ⁴⁰.

El material de construcción del análisis multivariado es la combinación lineal de variables con pesos determinados empíricamente. Las variables son especificadas por el investigador y el peso es determinado por el objetivo específico de la técnica multivariada. Una combinación lineal de variables con sus respectivos pesos (x_1 a x_n) puede expresarse matemáticamente como:

$$V = w_1x_1 + w_2x_2 + w_3x_3 + \dots + w_nx_n$$

donde:

V = la combinación lineal de variables formada mediante la técnica multivariada por la aplicación de un peso

w_n = peso determinado por la técnica multivariada

x_n = variable

El resultado es un valor único que representa una combinación del conjunto completo de variables que cumple de la mejor manera posible con el objetivo del análisis multivariado específico. En regresión múltiple, V se determina para que se correlacione de la mejor manera posible con la variable que está siendo predicha, mientras que en el análisis de factores, las V s se forman para representar de la mejor manera posible la estructura subyacente o dimensionalidad de las variables, de acuerdo con sus intercorrelaciones. En cada instancia, V captura el carácter multivariado del análisis y, por lo tanto, en muchos aspectos, es el punto focal del análisis. Es importante entender no sólo su impacto colectivo en cumplir con el objetivo de la técnica, sino también la contribución de cada variable por separado al efecto en conjunto de V ⁴⁰.

1.3.1 Componentes principales y correlación canónica

En este estudio se utilizaron los análisis de **componentes principales** y **correlación canónica**. El primero examina las relaciones dentro de un solo

conjunto de variables cuantitativas, mientras que la correlación canónica busca la relación entre dos conjuntos de variables ⁸⁴.

El propósito del análisis de componentes principales es derivar un número pequeño de combinaciones lineales (componentes principales) de un conjunto de variables que retengan lo más posible de la información en las variables originales. También puede verse como un intento por encontrar dependencias lineales entre las variables. Los componentes principales pueden usarse para reducir el número de variables en análisis de regresión y otros tipos de análisis ⁸⁴

El propósito del análisis de correlación canónica es explicar o resumir la relación entre dos conjuntos de variables encontrando un número pequeño de combinaciones lineales para cada conjunto, llamadas *variables canónicas (VC)*, de tal manera que la correlación entre las dos VC se maximice. Esta correlación entre las dos VC es la primera correlación canónica. Los coeficientes de las combinaciones lineales son coeficientes canónicos o pesos canónicos. El proceso continúa, encontrando un segundo par de VC, no correlacionadas con el primer par, que produce el segundo coeficiente de correlación más alto y así sucesivamente hasta que el número de pares de VC es igual al número de variables en el conjunto más pequeño ⁸⁴

1.3.2 Multicolinealidad

Cuando las variables independientes están relacionadas entre ellas mismas se presenta el fenómeno de *multicolinealidad* o intercorrelación. Uno de los efectos de la multicolinealidad es que no existe una suma de cuadrados única para las variables independientes ⁷⁶, lo que ocasiona que los estimadores sean inestables, tengan errores estándares elevados y que, al adicionar al modelo o remover de él variables independientes, fluctúen ampliamente ^{81,84}.

1.4 Justificación

La gallina de postura moderna inicia la postura a una edad mucho más temprana, produce mayor masa de huevo y consume menos alimento que las ponedoras del pasado. El conocimiento de las necesidades de aminoácidos digestibles (lisina, aminoácidos azufrados y treonina) permite formular alimentos que cubran estas nuevas exigencias, sin que se impacte en el costo de producción o en la eliminación de nitrógeno de proteínas, que repercuta en el medio ambiente.^{89, 91, 97}

Es necesario evaluar si los requerimientos de aminoácidos esenciales para las gallinas ponedoras actuales son mayores. Los aminoácidos de mayor importancia a considerar en las dietas prácticas para aves son aminoácidos azufrados (comúnmente el primer limitante), lisina (segundo limitante) y treonina (tercer limitante)^{7,32}.

Pocos trabajos se han realizado para conocer las necesidades en base digestible para evaluar la aplicación del concepto de formulación con base en proteína ideal en dietas para gallina de postura.

Por otro lado formular raciones al perfil completo de aminoácidos hace imposible aplicar el concepto de la proteína ideal, por lo que basta con solo con los 3 o 4 primeros limitantes en las dietas para aves: metionina + cistina, lisina y treonina y triptófano dependiendo de los ingredientes. Sin embargo, estos principios de formulación de los alimentos deben ser desarrollados para cada explotación, porque habrá particularidades a considerar por los ingredientes y porque los consumos de alimento serán diferentes.²¹

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo general

Determinar las necesidades de los aminoácidos digestibles más limitantes (lisina, metionina + cistina y treonina) en la gallina de postura, para una máxima producción y conocer las relaciones de los aminoácidos azufrados y de la treonina con la lisina para sustentar las bases a la formulación de raciones con base en el concepto de proteína ideal.

1.5.1.1 Objetivos particulares

1. Determinar el nivel óptimo de cada uno de los aminoácidos para un máximo comportamiento productivo.
2. Determinar el efecto de cada uno de los aminoácidos en la composición proteica del huevo completo.
3. Determinar el efecto de cada uno de los aminoácidos en los componentes estructurales del huevo (cascarón, yema y clara).
4. Determinar el efecto de cada aminoácido en el grosor de cascarón.
5. Determinar la concentración de ácido úrico en plasma con los diferentes niveles de cada uno de los aminoácidos.

1.6 HIPÓTESIS

1. Existe una relación entre la lisina, aminoácidos azufrados y treonina y las variables productivas.
2. Al aumentar los niveles de lisina, aminoácidos azufrados y treonina cambia la composición de los componentes del huevo.
3. La proteína cruda del huevo completo y el ácido úrico se alteran cuando se cambia el contenido de lisina, aminoácidos azufrados y treonina digestibles en la dieta.

2 MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizaron tres experimentos, empleando diseños completamente al azar con gallinas alojadas en jaulas en una caseta de ambiente natural tipo convencional, los cuales se describen a continuación:

2.1 Localización de los experimentos

Los experimentos se realizaron en el Centro de Enseñanza Investigación y Extensión en Producción Avícola (C.E.I.E.P.A) de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México, que se encuentra ubicada en Santiago Zapotitlán, delegación Tláhuac, Distrito Federal, a una altitud de 2,250 m.s.n.m., entre los paralelos 19° y 17' de latitud norte y los meridianos 99° 00' 30" longitud oeste, bajo condiciones de clima templado subhúmedo, y bajo grado de humedad C (wo)(w), con una precipitación pluvial media anual de 747 mm. El mes más frío es enero y mayo el más caluroso. La temperatura media anual es de 16 °C^{33,47}.

2.2 Metodología general

En cada experimento se emplearon gallinas Leghorn blancas de la línea Isa Babcock B-300. Para cada experimento las aves se distribuyeron aleatoriamente en cinco tratamientos, con cuatro réplicas de doce gallinas cada una, con un total de 240 gallinas. En la caseta, la luz natural fue complementada con luz artificial para contar con un fotoperiodo de 16 hrs²⁹.

En todos los experimentos, el agua y el alimento se ofrecieron a libertad. Las dietas basales estuvieron compuestas por sorgo, pasta de soya y gluten de maíz. Las raciones empleadas en los experimentos se formularon con el paquete computacional de formulación NUTRION. Los aminoácidos esenciales de las dietas cubrieron las necesidades, a excepción del aminoácido a probar, el cual se dió a diferentes niveles en la dieta, encontrándose el nivel basal de cada aminoácido por debajo de lo recomendado por el NRC de 1994⁷⁵, que expresa el requerimiento en

base total y no digestible, pero que señala que las necesidades de aminoácidos digestibles son un 10% menores a los totales.

Se hicieron análisis del contenido de proteína cruda en el alimento mediante la técnica que marca el AOAC⁴ y se realizó la determinación de aminoácidos en los laboratorios de la empresa DEGUSSA Hüls. Los valores de la digestibilidad de los aminoácidos se tomaron del material publicado por Mariscal *et al.*⁶⁴

Los experimentos tuvieron una duración de 10 semanas. Diariamente se recogió el huevo a las 11.00 hrs. Se contabilizó, se pesó y se resumió semanalmente el porcentaje de postura, peso promedio del huevo, masa de huevo diaria [% de postura por peso del huevo en g / 100], consumo de alimento y conversión alimenticia (variables productivas), para cada réplica posteriormente, se obtuvo un promedio de cada una de estas variables para su análisis.

También se midió, a la mitad y al final de cada experimento, el grosor del cascarón. Para esto se tomaron 6 huevos al azar por réplica, por semana, para un total de 240 huevos. La mitad se midió el grosor del cascarón: con un micrómetro, tomando una muestra de la zona ecuatorial del huevo, previa separación de las membranas coquiliarias.

En la otra mitad de los huevos muestreados, se determinó el peso los componentes del huevo, (cascarón, yema y clara) del huevo, para lo cual primero se pesó cada uno de los huevos, se abrieron, se separaron la clara, la yema y el cascarón se pesaron en forma individual. El cascarón se limpió con papel y se secó en estufa a 55°C durante 24 horas. La albúmina se retiró de la yema con un clareador; la yema se secó con papel filtro para quitar residuos de clara. El peso de la albúmina fue determinado por resta del peso del huevo menos el peso de la yema y menos el peso del cascarón⁵³. Las mediciones se realizaron siguiendo la metodología

empleada por Keshavarz (1998)⁵³. finalmente, a todas las variables antes mencionadas se les calculó su promedio para los análisis estadísticos.

Adicionalmente, se liofilizó el huevo completo de la última semana de cada uno de los experimentos, tomando 12 huevos por tratamiento, es decir tres huevos por repetición. Para liofilizar el huevo se utilizaron frascos de 120 ml, hielo seco, acetona y una liofilizadora Heto FD3 Equip Laboratoriment de 12 entradas. Al huevo completo liofilizado se le realizó la determinación de proteína cruda ⁴.

Otra medición realizada al final de los experimentos fue la determinación sérica de ácido úrico. Primero, se determinó nitrógeno en plasma, mediante la prueba de ácido úrico, utilizando un equipo Cobas Mira, en el Departamento de Diagnóstico Clínico de la Facultad de Medicina Veterinaria de la UNAM. Debido a que la concentración de ácido úrico en el plasma es variable, se tomó la muestra a las dos de la tarde, ya que por esta hora el 90% de las aves ya ovopositaron^{77, 104}. Se extrajo una muestra de 1 ml de sangre completa con EDTA, para evitar que se coagulara, de 3 gallinas por réplica, para dar un total de 60 muestras. Las muestras se centrifugaron a 800G por cinco minutos, para separar el paquete globular del plasma; posteriormente, se extrajo el plasma con una jeringa para poder analizarse en el laboratorio.

2.3 Experimento 1. Necesidades de lisina digestible para gallinas de postura

Se emplearon 240 gallinas de 24 semanas de edad divididas en cinco tratamientos, con cuatro repeticiones cada uno. En el Cuadro 4 se muestra la composición de la dieta basal utilizada, con base en sorgo, pasta de soya, gluten de maíz y aminoácidos con 15.69% de proteína cruda, 2907 kcal/kg de EM y 0.47% de lisina digestible (Cuadro 5). Los niveles de lisina digestible en la dieta variaron de 0.47 a 0.87 %, con incrementos de 0.1 de lisina. La complementación con L- Lisina HCl se

hizo a expensas del azúcar de la dieta basal (Cuadro 6), con objeto de no alterar el valor nutricional de las diferentes dietas.

2.4 Experimento 2. Necesidades de metionina + cistina digestibles para la gallina de postura

Se utilizaron 240 gallinas de 24 semanas de edad, divididas en cinco tratamientos, con cuatro repeticiones cada uno. La composición de la dieta basal y su contenido nutricional se muestran en los Cuadros 4 y 5, respectivamente. Los niveles de aminoácidos azufrados digestibles (AAD) variaron de 0.41 a 0.65%, con incrementos de 0.06 (Cuadro 7) y las complementaciones con DL- metionina se hicieron a expensas del azúcar de la dieta basal.

2.5 Experimento 3. Necesidades de treonina digestible para la gallina de postura

Se utilizaron 240 gallinas con 40 semanas de edad, divididas en cinco tratamientos, con cuatro repeticiones cada uno. La composición de la dieta basal y su contenido nutricional se muestra en los Cuadros 4 y 5, respectivamente. Los niveles de treonina digestible variaron de 0.45 a 0.555%, con incrementos de 0.025% y la complementación con L-treonina se hizo a expensas del azúcar de la dieta basal (Cuadro 8), con objeto de no alterar el valor nutricional de la dieta.

CUADRO 4. Composición de las dietas basales para determinar las necesidades de lisina, aminoácidos azufrados y treonina digestible en gallinas de postura.

INGREDIENTES	Exp 1. Kg	Exp 2. Kg	Exp 3. Kg
SORGO (9%)	699.862	647.856	683.913
PASTA DE SOYA (46%)	88.361	181.736	123.181
GLUTEN DE MAÍZ (60%)	80.000	20.000	50.000
ACEITE VEGETAL	10.000	30.172	19.026
CARBONATO DE CALCIO	89.944	89.525	88.328
FOSFATO DE CALCIO	13.472	13.012	14.745
SAL COMÚN	3.364	3.744	3.553
VITAMINAS POSTURA*	2.500	2.500	2.500
MINERALES *	1.000	1.000	1.000
AVIRED**	1.000	1.000	1.000
AVELUT**	0.500	0.500	0.500
PROMOTOR	0.500	0.500	0.500
ANTIOXIDANTE	0.400	0.400	0.400
CLORURO DE COLINA 60 %	0.300	0.300	0.300
FUNGICIDA	0.250	0.250	0.250
DL-METIONINA 99	1.230	0	1.897
L-LISINA HCL 78.8	0.812	1.344	2.907
L-TREONINA 98.5	0.505	0.161	0
L- TRIPTÓFANO	0	0	0.100
AZÚCAR	6.000	6.000	5.900
TOTAL	1000	1000	1000

*Premezcla de vitaminas y minerales por Kg: VITAMINA A, 4 MUI; VITAMINA D-3, 1,1 MUI; VITAMINA E, 4,000 UI; VITAMINA K-3, 0,9 g; TIAMINA, 0,5 g; RIBOFLAVINA, 2,0 g; PIRIDOXINA, 0,5 g; VITAMINA B-12, 4,0 mg; NIACINA, 9,0 g; AC. PANTOTENICO, 6,0 g; BIOTINA, 20,0 mg; AC. FÓLICO, 0,2 g; ANTIOXIDANTE, 10,0 g; (TBHQ, BHT y ETQ) HIERRO, 110 g; ZINC, 50, g; MANGANESO, 110, g; COBRE, 12, g; YODO, 0,300 g; SELENIO, 0,1 g; COBALTO, 0,2 g.
 **15 g amarillo y 5 g de rojo (Cortesía de Pigmentos Vegetales del Centro S.A. de C.V).

CUADRO 5. Análisis químico de las dietas basales para determinar las necesidades de lisina (Exp.1), metionina + cistina (Exp. 2) y treonina (Exp. 3) digestibles en gallinas de postura.

NUTRIENTE	EXP 1	EXP 2.	EXP 3.
PROTEÍNA CRUDA (%)	15.69	15.19	15.71
ENERGÍA METABOLIZABLE (Kcal. /Kg)	2907	2900	2900
LISINA (%)	0.540	0.788	0.790
LISINA DIGESTIBLE (%)*	0.470	0.686	0.687
METIONINA (%)	0.420	0.240	0.440
METIONINA DIGESTIBLE (%)*	0.365	0.208	0.382
METIONINA + CISTINA (%)	0.690	0.490	0.720
METIONINA + CISTINA DIGESTIBLE (%)*	0.573	0.407	0.600
TREONINA (%)	0.600	0.540	0.550
TREONINA DIGESTIBLE (%)*	0.496	0.447	0.455
CALCIO TOTAL (%)	3.500	3.500	3.500
FÓSFORO DISPONIBLE (%)	0.380	0.380	0.380

*La lisina digestible representó aproximadamente el 87% de la total; la metionina digestible el 86.8% de la total; los aminoácidos azufrados digestibles el 83.2% y la treonina digestible el 82.7% de la total. En base a las tablas de Mariscal et al.⁶⁴

CUADRO 6. Complementación de L-lisina HCl en la dieta basal. (Exp.1)¹

Tratamientos	Lisina digestible %	Azúcar, g	L-lisina HCl, g
1	0.47	600	0
2	0.57	472	128
3	0.67	345	255
4	0.77	217	383
5	0.87	90	510

¹De la dieta basal se agregaron 99.4 Kg

CUADRO 7. Complementación de DL-metionina en la dieta basal.(Exp.2)¹

Tratamiento	Relación metionina /AAD % ²	Azúcar, g.	DL-Metionina, g.
1	0.21/0.41	600.0	0
2	0.27/0.47	539.4	60.6
3	0.33/0.53	478.9	121.2
4	0.39/0.59	418.2	181.8
5	0.45/0.65	357.6	242.4

¹De la dieta basal se agregaron 99.4 Kg

²AAD = aminoácidos digestibles

CUADRO 8. Complementación de L-treonina en la dieta basal.(Exp.3)¹

Tratamiento	treonina digestible %	Azúcar, g.	L-Treonina, g.
1	0.455	590	0
2	0.480	565	25
3	0.505	539	51
4	0.530	513	77
5	0.555	487	103

¹De la dieta basal se agregaron 99.41 Kg

2.6 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el paquete estadístico de SPSS⁹⁵ y se consideraron 11 variables, que fueron: porcentaje de postura, peso promedio del huevo, consumo de alimento, índice de conversión alimenticia, masa de huevo, porcentaje de clara, porcentaje de yema, porcentaje de cascarón, grosor del cascarón, proteína cruda del huevo completo y ácido úrico.

Se realizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov para determinar si estas 11 variables en los tres experimentos se podían modelar como una distribución normal.

Para observar el grado de asociación entre las 11 variables en cada uno de los experimentos, se calculó el coeficiente de correlación de Pearson. Además, tomando en consideración que en los tres experimentos se incluyeron todos los aminoácidos en estudio, se decidió analizar la información generada en esos estudios de manera conjunta, como si se hubiera tratado de un solo experimento, lo cual contribuyó a aumentar el tamaño de muestra. Por lo tanto, el coeficiente de correlación de Pearson no sólo se calculó por separado para cada experimento, sino también para el estudio en su conjunto.

Los análisis multivariados que se realizaron fueron:

1. *Análisis de componentes principales*: Se obtuvieron los componentes principales y para cada uno de estos, se realizó una regresión cuadrática con los aminoácidos, utilizando el siguiente modelo:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 (x_1)^2 + \beta_3 x_2 + \beta_4 (x_2)^2 + \beta_5 x_3 + \beta_6 (x_3)^2$$

donde,

Y = componente principal

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ y β_6 = coeficientes de regresión

x_1 = nivel de lisina digestible

x_2 = nivel de aminoácidos azufrados digestibles

x_3 = nivel de treonina digestible

En caso de encontrarse una relación entre los componentes principales y los aminoácidos, se buscó un máximo o un mínimo por medio de su derivada, igualándola a cero: ³¹

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 (x_1)^2$$

$$\beta_1 + 2\beta_2 (x_1) = 0$$

Al despejar a x_1 , la incógnita, el resultado es el nivel máximo del aminoácido en cuestión: $x_1 = -\beta_1 / 2\beta_2$

2. *Correlación canónica*, para encontrar la combinación lineal de las variables explicativas y de respuesta que maximizara a la correlación de Pearson.

3 RESULTADOS

La prueba de Kolmogorov-Smirnov sobre las variables de respuesta no mostró evidencia estadística significativa de que las variables en estudio tuvieran una distribución diferente de la normal ($P > 0.05$, Anexo 1).

El análisis de correlación de Pearson (Cuadros 9 a 12) indicó que las variables de respuesta se asociaban en tres grupos, a saber:

1. Variables productivas: porcentaje de postura, peso promedio del huevo, consumo de alimento, índice de conversión alimenticia y masa de huevo.
2. Componentes del huevo: porcentaje de clara, porcentaje de yema y porcentaje de cascarón.
3. Otras variables: grosor del cascarón, proteína cruda del huevo completo y ácido úrico.

En el Experimento I, de lisina digestible, las variables productivas estuvieron altamente relacionadas entre sí ($P < 0.01$, Cuadro 9). Con relación a los componentes del huevo, el porcentaje de yema estuvo altamente relacionado ($P < 0.01$) con la conversión alimenticia y el porcentaje de clara tuvo una correlación intermedia ($P < 0.05$) con el porcentaje de postura y el consumo de alimento. La concentración de ácido úrico en sangre se relacionó con la conversión alimenticia ($P < 0.01$), el porcentaje de postura y el peso promedio del huevo ($P < 0.05$). Todas las asociaciones estadísticamente significativas entre las variables estudiadas y la conversión alimenticia fueron negativas (a excepción del ácido úrico), lo que significa que a mayor valor de esas variables (porcentaje de postura, peso del huevo, consumo de alimento, masa del huevo y porcentaje de yema), menor

conversión alimenticia. En el caso de ácido úrico, su concentración plasmática disminuyó al aumentar el porcentaje de postura y el peso del huevo y disminuir la conversión alimenticia.

En el Cuadro 10 se encuentran los resultados de la correlación de Pearson para el Experimento 2, con aminoácidos azufrados digestibles. Al igual que en el Experimento 1 con lisina, hubo una elevada asociación ($P < 0.01$) entre las variables productivas. Para los componentes del huevo, el porcentaje de clara se relacionó con el porcentaje de yema ($P < 0.01$) y de cascarón ($P < 0.05$). Este último, a su vez, se relacionó moderadamente ($P < 0.05$) con el grosor del cascarón y con el porcentaje de proteína cruda del huevo.

En el Experimento 3, con treonina digestible, la correlación de Pearson (Cuadro 11) mostró una fuerte relación ($P < 0.01$) entre el porcentaje de postura y el consumo de alimento, la conversión alimenticia y la masa de huevo. Esta última, a su vez, estuvo altamente asociada ($P < 0.01$) con el consumo de alimento y la conversión alimenticia. Finalmente, los componentes del huevo estuvieron fuertemente ($P < 0.01$) correlacionados entre sí.

Por último, en el Cuadro 12 se muestran las correlaciones para los datos de los tres experimentos en su conjunto. Puede apreciarse una relación de elevada a intermedia ($P < 0.01$) entre algunas de las variables productivas y entre éstas y los componentes del huevo y el grosor del cascarón. Para los componentes del huevo se encontró una correlación ($P < 0.01$) entre el porcentaje de yema y el de clara, entre éste y el porcentaje de cascarón y entre éste y el grosor del cascarón. La proteína del huevo se asoció con todas las variables productivas ($P < 0.01$ para peso de huevo y consumo de alimento; $P < 0.05$ para porcentaje de postura), excepto masa del huevo, con el porcentaje de yema y con el porcentaje de clara ($P < 0.01$).

CUADRO 9. Correlación de Pearson de las variables estudiadas en el experimento de lisina digestible.

	% de Postura	Peso de huevo	Consumo de alimento	Conversión alimenticia	Masa de huevo	% de yema	% de clara	% cascarrón	Grosor de cascarrón	Proteína de huevo completo	Ácido úrico
% de Postura	1.000	0.745**	0.921**	-0.925**	0.990**	0.511*	-0.249	-0.091	-0.373	0.525*	-0.468*
Peso promedio de huevo	0.745**	1.000	0.767**	-0.789**	0.833**	0.376	-0.029	-0.273	-0.585**	0.668**	-0.555*
Consumo de alimento	0.921**	0.767**	1.000	-0.744**	0.929**	0.343	-0.186	-0.035	-0.415	0.560*	-0.376
Conversión alimenticia	-0.925**	-0.789**	-0.744**	1.00	-0.936**	-0.586**	0.199	0.186	0.367	-0.517*	0.565**
Masa de huevo	0.990**	0.833**	0.929**	-0.936**	1.00	0.500*	-0.210	-0.141	-0.439	0.580**	-0.508*
% de yema	0.511*	0.376	0.343	-0.586**	0.500*	1.00	-0.784**	-0.381	-0.298	0.164	-0.396
% de clara	-0.249	-0.029	-0.186	0.199	-0.210	-0.784**	1.00	-0.531*	0.062	0.043	0.199
% de cascarrón	-0.091	-0.273	-0.035	0.186	-0.141	0.381	-0.531*	1.00	0.334	-0.007	0.129
Grosor de cascarrón	-0.373	-0.585**	-0.415	0.367	-0.439	-0.298	0.062	0.334	1.00	-0.409	0.327
Proteína de huevo completo	0.525*	0.668**	0.560*	-0.517*	0.580**	0.164	0.043	-0.007	-0.409	1.00	-0.257
Ácido úrico	-0.468*	-0.555*	-0.376	0.565**	-0.508*	-0.396	0.199	0.129	0.327	-0.257	1.00

*P<0.05

** P<0.01

CUADRO 10. Correlación de Pearson de las variables estudiadas en el experimento de aminoácidos azufrados digestibles.

	<i>% de Postura</i>	<i>Peso de huevo</i>	<i>Consumo de alimento</i>	<i>Conversión alimenticia</i>	<i>Masa de huevo</i>	<i>% de yema</i>	<i>% de clara</i>	<i>% cascarón</i>	<i>Grosor de cascarón</i>	<i>Proteína de huevo completo</i>	<i>Ácido úrico</i>
<i>% de Postura</i>	1.000	0.615**	0.663**	-0.758	0.952	0.232	-0.047	-0.382	-0.458	-0.053	-0.345
<i>Peso promedio de huevo</i>	0.615**	1.00	0.576**	-0.670	0.827	-0.265	0.384	-0.420	-0.449	0.157	-0.434
<i>Consumo de alimento</i>	0.663**	0.576**	1.00	-0.129	0.697	-0.144	0.273	-0.427	-0.497	0.116	-0.407
<i>Conversión alimenticia</i>	-0.758**	-	-0.129	1.00	-0.800	-0.192	0.063	0.235	0.283	0.067	0.229
<i>Masa de huevo</i>	0.952**	0.827**	0.697**	-0.800	1.00	0.063	0.116	-0.438	-0.500	0.024	-0.414
<i>% de yema</i>	0.232	-0.265	-0.144	-0.192	0.063	1.00	-0.830	0.042	0.079	-0.303	0.166
<i>% de clara</i>	-0.047	0.384	0.273	0.063	0.116	-0.830	1.00	-0.535	-0.243	0.374	-0.392
<i>% de cascarón</i>	-0.382	-0.420	-0.427	0.235	-0.438	0.042	-0.535	1.00	0.445	-0.143	0.496
<i>Grosor de cascarón</i>	-0.458*	-0.449*	-0.497*	0.283	-0.500	0.079	-0.243	0.445	1.00	0.241	0.254
<i>Proteína de huevo completo</i>	-0.053	0.157	0.116	0.067	0.024	-0.303	0.374	-0.143	0.241	1.00	-0.061
<i>Ácido úrico</i>	-0.345	-0.434	-0.407	0.229	-0.414	0.166	-0.392	0.496	0.254	-0.061	1.00

*P<0.05

** P<0.01

CUADRO 11. Correlación de Pearson de las variables estudiadas en el experimento de treonina digestible.

	<i>% de Postura</i>	<i>Peso de huevo</i>	<i>Consumo de alimento</i>	<i>Conversión alimenticia</i>	<i>Masa de huevo</i>	<i>% de yema</i>	<i>% de clara</i>	<i>% cascarrón</i>	<i>Grosor de cascarrón</i>	<i>Proteína de huevo completo</i>	<i>Ácido úrico</i>
<i>% de Postura</i>	1.00	0.001	0.824**	-0.756**	0.963**	.004	0.120	-0.268	-0.069	0.152	0.067
<i>Peso promedio de huevo</i>	0.001	1.00	0.292	-0.100	0.269	0.214	-0.018	-0.328	-0.336	-0.541*	-0.203
<i>Consumo de alimento</i>	0.824**	0.292	1.00	-0.342	0.873**	0.093	0.060	-0.292	-0.060	-0.102	-0.086
<i>Conversión alimenticia</i>	-0.756**	-0.100	-0.342	1.00	-0.754**	-0.016	-0.094	0.232	0.179	-0.134	-0.108
<i>Masa de huevo</i>	0.963**	0.269	0.873**	-0.754**	1.00	0.058	0.111	-0.342	-0.156	-0.002	0.012
<i>% de yema</i>	0.004	0.214	0.093	-0.016	0.58	1.00	-0.895**	0.233	0.093	-0.108	-0.387
<i>% de clara</i>	0.120	-0.018	0.060	-0.094	0.111	-0.895**	1.00	-0.642**	-0.407	0.170	-0.269
<i>% de cascarrón</i>	-0.268	-0.328	-0.292	-0.232	-0.342	0.233	-0.642**	1.00	0.730**	-0.185	0.078
<i>Grosor de cascarrón</i>	-0.069	-0.336	-0.060	0.179	-0.156	0.093	-0.407	0.730**	1.00	-0.143	0.162
<i>Proteína de huevo completo</i>	0.152	-0.541*	-0.102	-0.134	-0.002	-0.108	0.170	-0.185	-0.143	1.00	-0.010
<i>Ácido úrico</i>	0.067	-0.203	-0.086	-0.108	.012	-0.387	0.269	0.078	0.162	-0.010	1.00

*P<0.05

** P<0.01

CUADRO 12. Correlación de Pearson de las variables estudiadas como un solo experimento.

	% de Postura	Peso de huevo	Consumo de alimento	Conversión alimenticia	Masa de huevo	% de yema	% de clara	% de cascarrón	Grosor de cascarrón	Proteína de huevo completo	Ácido úrico
% de Postura	1.00	0.190	0.465**	-0.827**	0.844**	0.061	0.165	-0.269*	-0.306*	0.294*	-0.109
Peso promedio de huevo	0.190	1.00	0.879**	0.065	0.686**	0.624**	-0.136	-0.693**	-0.618**	-0.529**	0.072
Consumo de alimento	0.465**	0.879**	1.00	-0.016	0.829**	0.561**	-0.101	-0.659**	-0.580**	-0.412**	0.094
Conversión alimenticia	-0.827**	0.065	-0.016	1.00	-0.569**	0.121	-0.224	0.051	0.130	-0.475**	0.217
Masa de huevo	0.844**	0.686**	0.829**	-0.569**	1.00	0.382**	0.050	-0.580**	-0.564**	-0.078	-0.034
% de yema	0.061	0.624**	0.561**	0.121	0.382**	1.00	-0.767**	-0.172	-0.244	-0.566**	-0.009
% de clara	0.165	-0.136	-0.101	-0.224	0.050	-0.767**	1.00	-0.426**	-0.220	0.437**	0.104
% de cascarrón	-0.269**	-0.693**	-0.659**	0.051	-0.580**	-0.172	-0.426**	1.00	0.714**	0.206	-0.168
Grosor de cascarrón	-0.306*	-0.618**	-0.580**	0.130	-0.564**	-0.244	-0.220	0.714**	1.00	0.153	-0.032
Proteína de huevo completo	0.294*	-0.529**	-0.412**	-0.475**	-0.078	-0.566**	0.437**	0.206	0.153	1.00	-0.189
Ácido úrico	-0.109	0.072	0.094	0.217	-0.034	-0.009	0.104	-0.168	-0.032	-0.189	1.00

*P<0.05

** P<0.01

Mediante el análisis de componentes principales se obtuvo un componente principal para cada uno de los grupos de variables identificados a través de la correlación de Pearson (Cuadro 13). El **primer componente principal** está compuesto por las cinco **variables productivas** ya mencionadas y este componente explica casi el 64% de la variación en conjunto de estas variables. Adicionalmente, el primer componente principal explica prácticamente el 100% de la variación en la masa de huevo, el 70% de la variación en el consumo de alimento y el 69% de la variación en el porcentaje de postura; en menor grado (49 y 31%, respectivamente) explica las variaciones en el peso promedio del huevo y en la conversión alimenticia (Cuadro 13).

CUADRO 13. Resultados del análisis de componentes principales de los tres experimentos en conjunto.

	Primer componente principal (Variables productivas)	Total de variación explicada	Variación individual explicada
		63.95%	
Z ₁ =	% de postura		69.2%
Z ₂ =	Peso promedio de huevo		49.4%
Z ₃ =	Consumo de alimento		70.3%
Z ₄ =	Conversión alimenticia		31.0%
Z ₅ =	Masa de huevo		99.9%
	Segundo componente principal (Componentes del huevo)		
		60.44%	
Z ₆ =	% de yema		73.5%
Z ₇ =	% de clara		96.7%
Z ₈ =	% de cascarón		11.1%
	Tercer componente principal (Otras mediciones)		
		41.98%	
Z ₉ =	Grosor de cascarón		28.1%
Z ₁₀ =	Proteína de huevo completo		58.9%
Z ₁₁ =	Ácido úrico plasmático		39.0%

El **segundo componente principal** está compuesto por los **componentes del huevo** y explica el 60% de la variación en esas tres variables. Además explica casi el 97% y el 74%, respectivamente, de la variación en el porcentaje de clara y en el porcentaje de yema; explica muy poco (11%) de la variación en el porcentaje de

cascarón (Cuadro 13).

El **tercer componente principal** agrupa a las **otras mediciones** y explica el 42% de su variación, siendo la variación en la proteína del huevo la mejor explicada (59%), seguida del ácido úrico plasmático (39% de la variación) y el grosor del cascarón (28% de la variación) (Cuadro 13).

Cada uno de estos componentes principales es una combinación lineal de sus variables respectivas, estandarizadas y multiplicadas por un coeficiente, que se obtiene a través del análisis de componentes principales (Cuadro 14). La estandarización se realiza para evitar el problema que implica trabajar con distintas unidades de medición (porcentaje, mm, etc.) y se consigue utilizando la fórmula:

$$E_i = (x_i - \bar{x}) / s, \text{ donde:}$$

E_i = observación estandarizada, x_i = observación i -ésima, \bar{x} = media de la muestra, s = desviación estándar.

En los coeficientes (Cuadro 14) es importante observar tanto su magnitud, que está estrechamente relacionada con la cantidad de variación en cada variable explicada por el componente principal, como el signo. Así, en el primer componente principal el coeficiente de mayor magnitud es el de masa de huevo porque este componente explicó casi el 100% de la variación en esa variable, mientras que conversión alimenticia tiene signo negativo porque una disminución en esta variable está asociada con mejores características productivas por parte del animal. Por lo tanto, el primer componente principal indica que las variables productivas mejoran si aumentan el porcentaje de postura, el peso promedio del huevo, el consumo de alimento y la masa del huevo y disminuye la conversión alimenticia. Del mismo modo, el tercer componente principal indica que existen beneficios si aumenta el grosor del cascarón y la concentración de proteína en el huevo y disminuye la concentración de ac. úrico plasmático. Lo que no queda tan claro es cuál es el beneficio de aumentar el porcentaje de yema y de cascarón en el huevo y de

disminuir el porcentaje de clara, como lo indica el segundo componente principal. Tampoco es obvio que estas variables sean fáciles de modificar, como lo son, relativamente hablando, las demás.

CUADRO 14. Coeficientes para obtener la combinación lineal de las variables estudiadas.

Variable	Coefficiente
Primer componente principal	
Porcentaje de postura	0.260
Peso promedio de huevo	0.220
Consumo de alimento	0.262
Conversión alimenticia	-0.174
Masa de huevo	0.313
Segundo componente principal	
Porcentaje de yema	0.473
Porcentaje de clara	-0.542
Porcentaje de cascarón	0.184
Tercer componente principal	
Grosor de cascarón	0.421
Proteína de huevo completo	0.609
Ácido úrico plasmático	-0.496

Con la información en el Cuadro 14, entonces, puede obtenerse la combinación lineal para cada uno de los componentes principales:

$$Y_1 = 0.26 * Z_1 + 0.22 * Z_2 + 0.262 * Z_3 - 0.174 * Z_4 + 0.313 * Z_5.$$

$$Y_2 = 0.473 * Z_6 - 0.542 * Z_7 + 0.184 * Z_8.$$

$$Y_3 = 0.421 * Z_9 + 0.609 * Z_{10} - 0.496 * Z_{11}$$

Donde:

Y_1 = Variables productivas.

Y_2 = Componentes del huevo.

Y_3 = Grosor de cascarón, proteína de huevo completo y ácido úrico plasmático.

Z_1 = Porcentaje de postura estandarizado.

Z_2 = Peso promedio del huevo estandarizado.

Z_3 = Consumo de alimento estandarizado.

Z_4 = Conversión alimenticia estandarizada.

Z_5 = Masa de huevo estandarizada.

Z₆= Porcentaje de yema estandarizado.

Z₇= Porcentaje de clara estandarizado.

Z₈= Porcentaje de cascarón estandarizado.

Z₉= Grosor de cascarón estandarizado.

Z₁₀= Proteína cruda de huevo completo estandarizado.

Z₁₁= Ácido Úrico plasmático estandarizado.

Un ejemplo puede ayudar a entender mejor el uso de los componentes principales, a continuación se calcula Y₁, para las variables productivas Y₂ para los componentes del huevo y Y₃ para grosor de cascarón, proteína cruda del huevo completo y ácido úrico plasmático. Se seleccionaron seis lotes, el mejor y peor en cuanto a las variables productivas; los dos lotes con valores extremos de la composición del huevo; y los dos lotes con valores más altos y más bajos en las variables del tercer componente principal.

CUADRO 15. Ejemplo para ilustrar los tres componentes principales encontrados en el estudio.

	Media General	D.E.	Variables productivas		Componentes del huevo		Otras variables ¹	
			Alto	Bajo	Alto	Bajo	Alto	Bajo
Porcentaje de postura.	85.81	5.88	91.19	68.33	90.24	89.29	82.14	85.83
Peso promedio de huevo.	55.82	2.81	59.87	51.43	54.39	55.73	52.54	59.78
Consumo de alimento.	92.66	7.39	104.61	82.0	93.39	90.19	83.5	103.15
Conversión alimenticia.	1.940	0.11	1.919	2.338	1.904	1.820	1.943	2.014
Masa de huevo.	47.93	4.33	54.59	35.16	49.04	49.7	43.11	51.3
Y ₁			1.495	-3.04	0.250	0.38	-1.09	0.811
Porcentaje de yema.	29.05	1.41	30.05	26.35	31.08	26.46	28.15	29.94
Porcentaje de clara.	60.81	1.46	61.32	60.18	57.05	64.23	60.48	61.47
Porcentaje de cascarón.	10.14	0.95	8.63	11.32	11.87	9.31	11.37	8.6
Y ₂			0.117	-0.44	2.418	-2.30	0.061	-0.24
Grosor de cascarón.	0.370	0.02	0.338	0.390	0.373	0.370	0.409	0.333
Proteína cruda de huevo completo.	45.93	4.08	45.32	44.81	44.1	49.02	54.29	39.43
Ácido úrico plasmático.	3.16	0.98	1.5	3.86	2.34	3.82	2.73	4.86
Y ₃			-1.01	-0.07	0.213	0.111	2.38	-2.69

D.E.= desviación estándar

¹Grosor de cascarón, proteína del huevo completo y ácido úrico plasmático.

Como se puede observar en el ejemplo anterior el mejor lote para las variables productivas no necesariamente será el mejor para las demás variables.

El ejemplo también indica que los lotes con la mejor respuesta productiva tendrán un valor de Y_1 cercano a 1.5 mientras que un lote con un comportamiento productivo malo tendrá un valor negativo y cuando un lote se aleje más de 1 en Y_1 peor será el lote. La interpretación del segundo componente principal (Y_2) no es muy clara, ya que no se puede hablar de una composición mejor que otra. El tercer componente principal (Y_3) al aumentar indica valores mayores en proteína cruda y proteína cruda de huevo completo, y menores en ácido úrico plasmático.

Utilizando los resultados de Y_1 , Y_2 y Y_3 se realizó una regresión cuadrática con los niveles de los aminoácidos estudiados (Cuadro 16) para buscar la relación con los diferentes aminoácidos. La regresión reveló una correlación elevada (0.86 y 0.70, respectivamente) y altamente significativa ($P < 0.001$) entre las variables productivas y los niveles de aminoácidos y entre los componentes del huevo y los niveles de aminoácidos. La correlación fue intermedia (0.51, $P < 0.02$) para las otras mediciones y los niveles de aminoácidos.

CUADRO 16. Resultados de la prueba de regresión cuadrática con cada uno de los componentes principales.

Componente principal de variables:	Coefficiente de determinación	F calculada	Significancia
Productivas	0.856	24.313	.000
Componentes del huevo	0.703	8.634	.000
Otros	0.512	3.135	.011

Los modelos resultantes de cada una de estas regresiones aparecen en los Cuadros 17 a 19. Para las variables productivas y los componentes del huevo (Cuadros 17 y 18, respectivamente) sólo un aminoácido fue importante: lisina y lisina² ($P < 0.001$), para las variables productivas, y treonina y treonina² ($P < 0.01$), para los componentes del huevo, aunque no tiene sentido en cambiar las proporciones de los componentes del huevo. Sin embargo, aunque los demás

aminoácidos no resultaron significativos, no pueden descartarse del modelo debido a la multicolinealidad observada entre los aminoácidos estudiados. Para las otras mediciones (Cuadro 19) ninguno de los aminoácidos resultó significativo, pero, como resultado de la multicolinealidad, deben conservarse en el modelo.

Finalmente, a través de cálculo diferencial, se obtuvo el nivel máximo de cada uno de los aminoácidos para cada uno de los componentes principales (Cuadro 20).

CUADRO 17. Modelo resultante de la regresión cuadrática para las variables productivas.

Modelo	Beta	t calculada	Significancia
Constante	-30.925	-1.68	.099
Azufrados	36.053	1.731	.089
Treonina	-23.939	-0.331	.742
Lisina	69.845	8.405	.000
Azuf2	-29.333	-1.497	.140
Treo2	28.085	0.385	.702
Lis2	-47.986	-7.752	.000

CUADRO 18. Modelo resultante de la regresión cuadrática para los componentes del huevo.

Modelo	Beta	t calculada	Significancia
Constante	-81.061	-3.197	.002
Azufrados	-29.837	-1.040	.303
Treonina	339.551	3.412	.001
Lisina	1.825	0.159	.874
Azuf2	28.843	1.068	.290
Treo2	-327.033	-3.253	.002
Lis2	0.0319	0.004	.997

CUADRO 19. Modelo resultante de la regresión cuadrática para el resto de las mediciones.

Modelo	Beta	t calculada	Significancia
Constante	44.807	1.463	.149
Azufrados	-54.909	-1.584	.119
Treonina	-95.781	-0.797	.429
Lisina	-15.131	-1.094	.279
Azuf2	44.896	1.377	.174
Treo2	97.34	0.802	.426
Lis2	11.699	1.136	.261

Para maximizar el componente principal que representa a las variables productivas se necesita 0.728% de lisina digestible y 0.615% de AAD. No se encontró un valor

de treonina que maximice este componente principal, el valor reportado en el cuadro 20 minimiza este valor, así mismo se puede observar que este aminoácido es el que tiene menor relación con este componente principal(17). Para el segundo componente principal que representa a los componentes del huevo, no tienen sentido los valores que se encontraron ya que no se conoce el beneficio de maximizar a la yema o de maximizar a la clara. El cuanto al tercer componente principal, los valores de los aminoácidos encontrados la minimizan por lo que no tiene sentido su interpretación, posiblemente se requiera otra función para encontrar máximos.

CUADRO 20. Nivel de aminoácido para optimizar a los tres componentes principales.

Aminoácido	Variables productivas	Componentes del huevo	Otras mediciones
Lisina digestible	0.728%	-28.61 %	0.647 %
Azufrados digestibles	0.615 %	0.517 %	0.612 %
Treonina digestible	0.426 %	0.519 %	0.492 %

Con el análisis de correlación canónica se obtuvieron seis correlaciones y se decidió trabajar con las dos primeras, considerando su coeficiente de correlación (94.41 y 87.61, respectivamente, Cuadro 21). Cada correlación canónica es una combinación lineal de variables y a esta combinación lineal se conoce como variable canónica (VC). Para conocer qué explica cada una de las VC se utiliza el coeficiente de correlación que existe entre la VC y cada una de las variables originales que contribuyen a la VC. Aunque todas las variables originales aportan una cantidad a la variación total, las que tienen una mayor correlación son las que explican a la VC.

En el cuadro 22 se presentan las correlaciones entre las VC y las variables originales. La lisina, incluyendo su efecto cuadrático, tiene una relación intermedia con la primera VC. Mientras que la segunda VC tiene una fuerte relación con AAD y treonina. Para las variables dependientes(Cuadro 22) en la primera VC esta correlacionada positivamente con todas las variables productivas y negativamente

con, conversión alimenticia porcentaje de cascarón y grosor de cascarón. La segunda VC estuvo relacionada negativamente con peso promedio del huevo, porcentaje de yema, y positivamente con porcentaje de clara y proteína del huevo completo. Estos resultados son parecidos a los obtenidos en componentes principales.

CUADRO 21. Correlación canónica de las variables independientes y dependientes.

No.	Correlación canónica
1	94.41
2	87.61
3	79.15
4	60.26
5	41.92
6	35.13

CUADRO 22. Correlación entre las variables canónicas y las variables originales.

	Variable canónica					
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a
Variables independientes	RELACIÓN					
AAD	0.152	-0.617	0.469	-0.460	0.038	-0.404
Treonina	0.023	-0.940	-0.304	-0.007	0.024	0.152
Lisina	0.586	-0.045	0.174	0.655	0.391	-0.207
AAD ²	0.166	-0.594	0.434	-0.476	0.046	-0.451
Treonina ²	0.039	-0.932	-0.318	-0.023	0.045	0.161
Lisina ²	0.487	-0.082	0.196	0.696	0.430	-0.219
Variables dependientes						
% de postura	0.694	0.163	0.222	0.181	0.024	-0.097
Peso promedio de huevo	0.674	-0.517	0.001	-0.353	-0.057	-0.078
Consumo de alimento	0.715	-0.406	-0.104	-0.136	-0.064	-0.098
Conversión alimenticia	-0.536	-0.297	-0.396	-0.140	-0.035	0.034
Masa de huevo	0.867	-0.169	0.160	-0.070	-0.015	-0.112
% de yema	0.311	-0.667	-0.084	0.103	-0.311	-0.547
% de clara	0.140	0.703	0.076	-0.375	0.361	0.288
% de cascarón	-0.585	-0.147	0.066	0.655	0.104	0.160
Grosor de cascarón	-0.532	-0.001	-0.235	0.299	-0.110	0.094
Proteína de huevo completo	0.093	0.736	-0.136	0.309	0.285	0.084
Ácido úrico	-0.161	0.176	0.424	-0.003	-0.411	-0.115

AAD = aminoácidos azufrados

Los Cuadros 23 y 24 presentan los coeficientes para los pares de variables (independientes y dependientes), respectivamente. En el Cuadro 23 puede

apreciarse que únicamente lisina y lisina² estuvieron asociadas significativamente ($P < 0.01$) con la primera VC, mientras que el Cuadro 24 muestra que la primera VC estuvo asociada ($P < 0.01$) con las variables productivas y con proteína cruda del huevo. La asociación fue mayor con masa de huevo ($t = -6.05$), seguida de peso promedio del huevo ($t = 4.54$), porcentaje de postura ($t = 3.93$), consumo de alimento ($t = 3.50$), conversión alimenticia ($t = -3.47$) y proteína cruda del huevo ($t = 2.80$) (Cuadro 24). Es decir, que estos resultados fueron muy similares a los obtenidos con el análisis de componentes principales, indicando que el nivel de lisina en la ración está íntimamente relacionado con la producción de huevo.

CUADRO 23. Combinación lineal para la primera variable canónica de las variables independientes.

Variable	Coficiente(β)	Error estándar	t	P>t	Intervalo de confianza 95%	
Lisina	85.12	5.62	15.14	0.00	73.87	96.37
Lisina ²	-58.69	4.19	-14.02	0.00	-67.07	-50.31
Azufrados	22.72	14.09	1.61	0.11	-5.47	50.91
Azufrados ²	-19.05	13.26	-1.44	0.16	-45.57	7.49
Treonina	-61.95	48.88	-1.27	0.21	-159.76	35.85
Treonina ²	66.69	49.37	1.35	0.18	-32.09	165.47

CUADRO 24. Combinación lineal para la primera variable canónica de las variables dependientes.

Variable	Coficiente(β)	Error estándar	T	P>t	Intervalo de confianza 95%	
Porcentaje de postura	0.81	0.21	3.93	0.00	0.40	1.22
Peso promedio de huevo	1.4	0.31	4.54	0.00	0.78	2.01
Consumo de alimento	0.37	0.11	3.50	0.00	0.16	0.58
Conversión alimenticia	-17.69	5.09	-3.47	0.00	-27.88	-7.50
masa de huevo	-2.13	0.35	-6.05	0.00	-2.83	-1.42
Porcentaje de yema	-0.20	0.13	-1.47	0.15	-0.46	0.07
Porcentaje de clara	-0.15	0.13	-1.09	0.28	-0.42	0.12
Porcentaje de cascarón	-0.25	0.15	-1.70	0.10	-0.54	0.05
Grosor de cascarón	0.93	4.42	0.21	0.83	-7.91	9.77
Proteína de huevo completo	0.05	0.02	2.80	0.00	0.02	0.09
Ácido úrico	-0.06	0.06	0.32	0.32	-0.17	0.06

Utilizando la información sobre el mejor y el peor lote en el experimento (Cuadro 15) para las variables productivas, se puede calcular el valor de la primera VC con la información de los Cuadros 23 y 24:

CUADRO 25. Ejemplo para ilustrar a la primera variable canónica.

Variables dependientes	Mejor	Peor	Coefficiente(β)
Porcentaje de postura.	91.19	68.33	0.81
Peso promedio de huevo.	59.87	51.43	1.4
Consumo de alimento.	104.61	82.0	0.37
Conversión alimenticia.	1.919	2.338	-17.69
Masa de huevo.	54.59	35.16	-2.13
Porcentaje de yema.	30.05	26.35	-0.20
Porcentaje de clara.	61.32	60.18	-0.15
Porcentaje de cascarón.	8.63	11.32	-0.25
Grosor de cascarón.	0.338	0.390	0.93
Proteína de huevo completo.	45.32	44.81	0.05
Ácido úrico plasmático.	1.5	3.86	-0.06
VC	31.637	27.11	
Variables independientes			
Lisina	0.68	0.47	85.12
Lisina ²	0.46	0.22	-58.69
Azufrados	0.60	0.573	22.72
Azufrados ²	0.36	0.328	-19.05
Treonina	0.53	0.496	-61.95
Treonina ²	0.28	0.246	66.69
VC	23.44	19.48	

VC = variable canónica.

Como se aprecia en este ejemplo(Cuadro 25), al aumentar el valor de la primera VC el lote tendrá un mejor comportamiento y conforme el valor disminuya, será un lote malo.

En las Fig. 3 a 5 se muestra los niveles de lisina, aminoácidos azufrados y treonina digeribles contra el valor de la VC, los máximos y mínimos se obtuvieron al igual que los componentes principales, a saber: 0.725% en la ración o 652 mg/ave/día de lisina digerible; 0.596% en la ración o 536 mg/ave/día de aminoácidos azufrados digeribles (0.464% en la ración o 456 mg/ave/día de treonina digerible aunque este valor minimiza el valor de la primera VC). Las cantidades por ave/día se calcularon con base en un consumo de 90 g por ave por día en los Experimentos 1 y 2 de lisina y aminoácidos azufrados y de 98.2 g para el Experimento 3 de treonina(Cuadro 28).

Figura 3. Nivel óptimo de lisina digestible en base a la variable canónica.

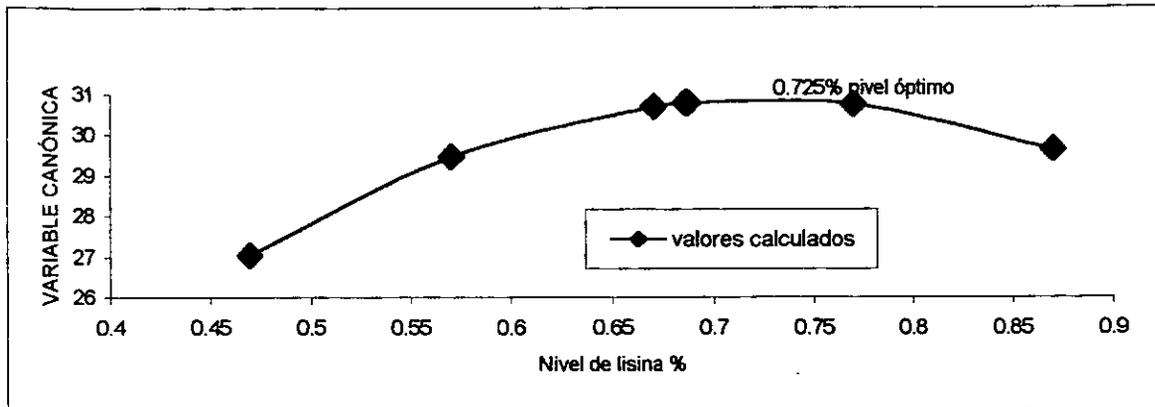
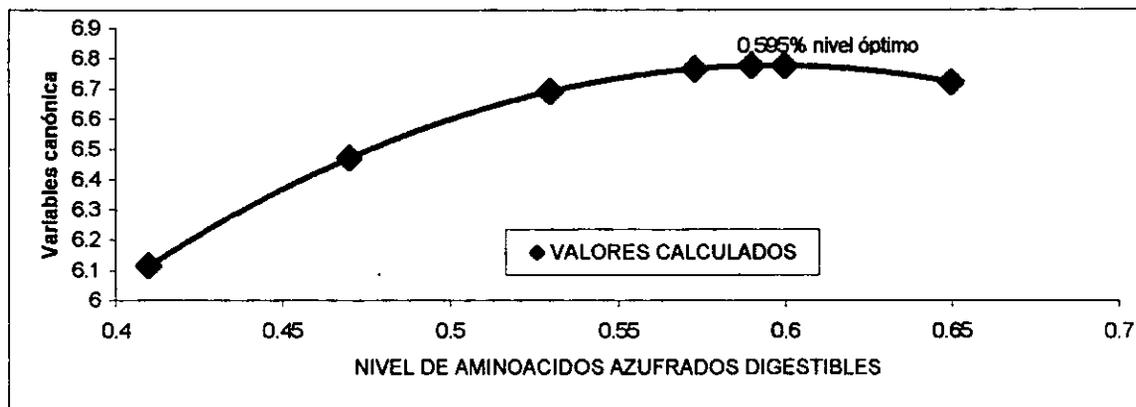
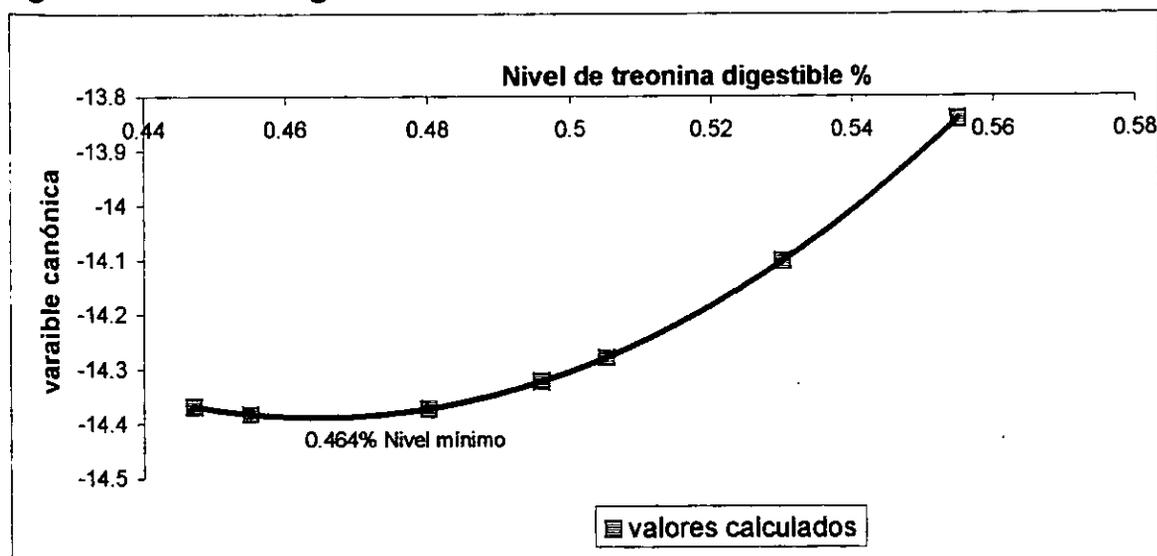


Figura 4. Nivel óptimo de aminoácidos azufrados digestibles en base a la variable canónica.



Los Cuadros 27 y 28 presentan la relación entre la segunda VC y las variables independientes y dependientes, respectivamente. El Cuadro 27 muestra que ninguno de los aminoácidos estuvo asociado significativamente ($P > 0.05$) con la segunda variable VC, mientras que el Cuadro 28 indica que la segunda VC estuvo asociada, de mayor a menor importancia, con el porcentaje de cascarón ($t = -3.82$, $P < 0.01$), la proteína cruda del huevo ($t = 3.27$, $P < 0.01$), la masa del huevo ($t = -2.99$, $P < 0.01$), el nivel de ac. úrico plasmático ($t = 2.74$, $P < 0.01$) y el porcentaje de postura ($t = 2.27$, $P < 0.05$).

Figura 5. Treonina digestible en base a la variable canónica.



CUADRO 26. Ejemplo para ilustrar a la segunda variable canónica.

Variables dependientes	Peor	Mejor	Coefficiente(β)
Porcentaje de postura.	90.23	86.30	0.73
Peso promedio de huevo.	53.88	61.03	0.84
Consumo de alimento.	88.25	106.69	0.15
Conversión alimenticia.	1.816	2.028	-6.72
Masa de huevo.	48.61	52.65	-1.66
Porcentaje de yema.	28.29	30.68	-0.13
Porcentaje de clara.	62.57	59.78	-0.07
Porcentaje de cascarón.	9.12	9.52	-0.89
Grosor de cascarón.	0.352	0.362	-3.17
Proteína de huevo completo.	50.52	39.74	0.01
Ácido úrico plasmático.	3.60	1.41	0.24
VC	20.42	16.00	
Variables independientes			
Lisina	0.687	0.686	4.29
Lisina ²	0.471	0.470	-3.92
Azufrados	0.600	0.410	-22.92
Azufrados ²	0.360	0.168	16.98
Treonina	0.555	0.447	-124.57
Treonina ²	0.308	0.199	102.11
VC	-40.72	-44.22	

VC = variable canónica.

La segunda variable canónica resultó ser una combinación de los tres grupos de variables identificados mediante la correlación de Pearson: otras mediciones (dos variables), variables productivas (dos variables) y componentes del huevo (una

variable), el siguiente ejemplo ayuda para poder entender mejor a la segunda VC (Cuadro 26).

Como se observa en el ejemplo (Cuadro 26) mientras menor sea el valor de la variable canónica mejor será la respuesta a la composición del huevo. Aunque no se encuentra sentido en cambiar las proporciones de la clara y de la yema.

El nivel de lisina digestible para optimizar a estas variables se calculó de igual forma que la de los componentes principales, fue de 0.548% en la ración o 493 mg/ave/día; los valores para aminoácidos azufrados digestibles (0.675% de la ración) y treonina digestible (0.609% de la ración) estuvieron por fuera de la zona de exploración.

En los Cuadros 29 a 31 se presentan los resultados numéricos de los tres experimentos para las variables productivas, los componentes del huevo y las otras mediciones, respectivamente.

CUADRO 27. Combinación lineal para la segunda variable canónica en las variables independientes.

Variable	Coefficiente (β)	Error estándar	T	P>t	Intervalo de confianza 95%	
Lisina	4.29	8.86	-1.03	0.31	-67.33	21.50
Lisina ²	-3.92	6.60	-1.62	0.11	-278.66	29.52
Azufrados	-22.92	22.20	0.49	0.63	-13.43	22.02
Azufrados ²	16.98	20.89	0.81	0.42	-24.82	58.78
Treonina	-124.57	77.01	1.31	0.19	-53.52	257.75
Treonina ²	102.11	77.78	-0.59	0.56	-17.12	9.28

Para las **variables productivas**, el nivel óptimo de **lisina digestible** fue de 0.728% y 0.726%, con componentes principales/regresión cuadrática y con correlación canónica, respectivamente. Estos valores son prácticamente idénticos y se encuentran entre los valores de 0.67% y 0.77% del Exp. 1 (Cuadro 29).

CUADRO 28. Combinación lineal para la segunda variable canónica en las variables dependientes.

Variable	Coefficiente(β)	Error estándar	t	P>t	Intervalo de confianza 95%	
Porcentaje de postura	0.73	0.33	2.27	0.03	0.09	1.39
Peso promedio de huevo	0.84	0.48	1.73	0.09	-0.13	1.81
Consumo de alimento	0.15	0.17	0.89	0.38	-0.18	0.48
Conversión alimenticia	-6.72	8.02	-0.84	0.41	-22.77	9.34
masa de huevo	-1.66	0.55	-2.99	0.00	-2.77	-0.55
Porcentaje de yema	-0.13	0.21	-0.62	0.54	-0.55	0.29
Porcentaje de clara	-0.07	0.21	-0.34	0.73	-0.50	0.35
Porcentaje de cascarón	-0.89	0.23	-3.82	0.00	-1.35	-0.42
Grosor de cascarón	-3.17	6.96	-0.46	0.65	-17.10	10.76
Proteína cruda de huevo	0.01	0.03	3.27	0.00	0.04	0.16
Ácido úrico	0.24	0.09	2.74	0.00	0.06	0.42

Si se promedian los resultados de estos dos tratamientos (Cuadro 29) para consumo de alimento (89.1 g/ave/día), porcentaje de postura (87.4%), peso del huevo (54.7 g), masa de huevo (47.8 g) y conversión alimenticia (1.87), puede verse que se mejoran en 14, 25, 6, 32 y 15%, respectivamente, los resultados obtenidos con el nivel basal de lisina digestible. Para **aminoácidos azufrados digestibles**, los niveles óptimos difirieron un poco entre los dos métodos multivariados utilizados, 0.615% y 0.596%. El promedio de estos dos valores arroja 0.605%, ligeramente superior al penúltimo tratamiento del Exp. 2 (Cuadro 29). Ese tratamiento mejoró en 4, 8, 6, 14 y 9%, respectivamente, el consumo de alimento, el porcentaje de postura, el peso del huevo, la masa de huevo y la conversión alimenticia de las aves comparado con el nivel basal empleado.

Para **treonina digestible**, los valores óptimos oscilaron entre 0.426 y 0.464%, cuyo promedio es 0.445%, por debajo del nivel basal utilizado en el Exp. 3 (Cuadro 29). No hay que perder de vista, sin embargo, que los niveles óptimos de aminoácidos digestibles encontrados en este estudio deben considerarse en su conjunto, es decir, cuando los tres aminoácidos se agregan a la ración simultáneamente en las proporciones recomendadas, lo cual no sucedió en los diferentes experimentos.

CUADRO 29. Promedio de las variables a diferentes niveles de lisina, de aminoácidos azufrados(Met + cist) y treonina digeribles en las variables productivas de gallinas de postura.

Aminoácido digerible	Consumo alimento g/ ave/ día	Postura %	Peso de huevo, g.	Masa de huevo diaria, g.	Conversión alimenticia
Lisina (Exp.1)					
0.47%	78.4	69.9	51.8	36.2	2.19
0.57%	88.1	86.5	53.1	45.9	1.92
0.67%	89.6	88.5	54.7	48.4	1.85
0.77%	88.6	86.2	54.7	47.1	1.88
0.87%	91.0	86.8	54.4	47.2	1.94
EEM	0.49	1.71	0.13	0.42	0.02
AAD(Exp.2)					
0.41 %	86.6	84.1	52.1	43.8	1.98
0.47 %	92.4	87.7	55.0	48.3	1.92
0.53 %	89.4	89.4	54.5	48.8	1.84
0.59 %	90.3	91.1	55.1	50.1	1.80
0.65 %	90.5	89.8	55.0	49.4	1.84
EEM	1.43	1.55	0.28	0.93	0.03
Treonina(Exp.3)					
0.455 %	97.4	82.2	58.8	48.3	2.03
0.480 %	101.0	87.0	58.9	51.3	1.98
0.505 %	103.2	86.7	59.5	51.6	2.01
0.530 %	101.6	85.8	60.4	51.7	1.97
0.555%	102.2	85.7	59.5	51.0	2.01
EEM	1.98	2.15	0.41	1.58	0.03

EEM = error estándar de la media

AAD= aminoácidos azufrados

Para los **componentes del huevo** (Cuadro 30), el panorama es mucho menos claro y cálculos similares a los anteriores, comparando los resultados de los niveles basales de los diferentes tratamientos en los tres experimentos con los resultados de los tratamientos cercanos a los valores óptimos obtenidos por medio de los dos métodos multivariados utilizados (0.548% de lisina digerible, 0.517% de aminoácidos azufrados digeribles y 0.519% de treonina digerible) arrojan cambios entre 0 y 5% en esos componentes.

Para las **otras mediciones** (grosor del cascarón, proteína cruda del huevo y ácido úrico plasmático, Cuadro 31), los valores óptimos para los diferentes aminoácidos fueron dispares entre los dos métodos multivariados. Para **lisina digerible** (0.647% y 0.548%), el promedio estuvo en 0.597%, aproximadamente el valor del tratamiento 2 (0.57%, Cuadro 31), el cual mejoró en 1% el grosor del cascarón y en

8% la proteína cruda del huevo y disminuyó en 11% la concentración de ácido úrico plasmático, comparado con el nivel basal. Para **aminoácidos azufrados** (0.612% y 0.675%), el promedio fue de 0.643%, casi el mismo valor del último tratamiento en el Exp. 2 (Cuadro 31), que disminuyó en 7% el grosor del cascarón y la proteína cruda del huevo y en 15% la concentración de ácido úrico, comparado con el nivel basal. Para **treonina digestible** (0.492% y 0.609%), el promedio estuvo en 0.55%, el valor del último tratamiento del Exp.3 (Cuadro 31), con el cual el grosor del cascarón aumentó 6% y la proteína cruda del huevo 2%, mientras que el ácido úrico plasmático disminuyó casi 53% con respecto al nivel basal.

CUADRO 30. Promedios de la adición de diferentes niveles de lisina, aminoácidos azufrados (met + cist) y treonina digestibles en la composición del huevo durante 70 días de experimentación.

Aminoácido digestible	Yema, %	Clara, %	Cascarón, %
Lisina(Exp.1)			
0.47%	28.1	60.2	11.2
0.57%	28.7	60.0	11.3
0.67%	28.9	60.2	10.9
0.77%	29.4	59.7	11.0
0.87%	29.5	59.6	11.6
EEM	0.47	0.56	0.22
AAD(Exp.2)			
0.41 %	28.2	61.5	10.4
0.47 %	27.0	63.0	9.7
0.53 %	28.0	61.9	10.1
0.59 %	27.7	62.7	9.7
0.65 %	28.3	62.0	9.7
EEM	0.42	0.49	0.23
Treonina(Exp.3)			
0.455 %	29.8	61.1	9.1
0.480 %	30.7	59.8	9.4
0.505 %	30.6	60.0	9.3
0.530 %	30.4	60.7	8.9
0.555%	30.3	59.9	9.8
EEM	0.37	0.39	0.23

EEM = Error estándar de la media

AAD = aminoácidos azufrados

CUADRO 31. Efecto de la adición de diferentes niveles de lisina, met + cist y treonina digestibles en el grosor de cascarón, la proteína cruda del huevo y el ácido úrico plasmático.

AMINOÁCIDO DIGESTIBLE	Grosor de cascarón, mm	% Proteína cruda	Ácido úrico mg/dl
LISINA(Exp.1)			
0.47%	0.370	42.17	3.29
0.57%	0.374	45.37	2.94
0.67%	0.369	47.89	2.34
0.77%	0.370	45.57	2.32
0.87%	0.377	46.11	3.00
EEM	0.005	0.52	3.77
AAD(Exp.2)			
0.41 %	0.389	53.10	2.59
0.47 %	0.362	48.03	2.88
0.53 %	0.361	52.04	2.90
0.59 %	0.370	47.78	3.22
0.65 %	0.362	49.64	2.20
EEM	0.007	1.02	2.59
TREONINA(Exp.3)			
0.455 %	0.351	41.77	4.27
0.480 %	0.362	41.55	3.85
0.505 %	0.361	42.71	3.68
0.530 %	0.345	42.74	1.93
0.555%	0.371	42.54	2.03
EEM	0.006	0.67	2.16

EEM =Error estándar de la media.

AAD = aminoácidos azufrados.

4 DISCUSIÓN

Se ha visto en estudios realizados que cuando se incrementa, por arriba del requerimiento el nivel de metionina en la dieta, se reduce la tasa de crecimiento de las ratas que mejora con la adición de treonina a la ración. Lo anterior se debe a que el exceso de metionina causa la oxidación de la treonina mediante un incremento en la enzima deshidratasa de la treonina.^{34, 52, 54} De la misma manera, se ha notado que niveles elevados de treonina dietaria en cerdos pueden aumentar el catabolismo de lisina (incrementando la actividad de la lisina- cetoglutarato reductasa) y disminuir las concentraciones de lisina plasmática⁵⁵. Por lo tanto, los requerimientos para treonina, metionina y lisina parecen ser interdependientes.

La interdependencia entre la lisina, metionina + cistina y treonina pudiera explicar la correlación que se encontró entre las variables productivas y estos aminoácidos en este estudio. La correlación fue mayor para lisina, intermedia con los aminoácidos azufrados y menor con treonina. Por otro lado, el análisis en el huevo completo indica que este contiene 455 mg de lisina, 365 mg de aminoácidos azufrados y 310 mg de treonina,⁸⁵ lo cual explica por qué la respuesta fue mayor en las variables productivas con lisina que con los otros dos aminoácidos.

Los valores obtenidos como óptimos por la correlación canónica para lisina 652 mg/ ave /día, aminoácidos azufrados, 536 mg/ave/día y treonina 456 mg/ave/día, resultan superiores a los informados por el NRC⁷⁵ y aproximados a lo sugerido recientemente por Coon²⁰.

Por otro lado, en la revisión de la literatura se indicó que existen rangos muy amplios en los niveles de ingestión diaria sugeridas para estos aminoácidos por los investigadores. Entre los factores que afectan la ingestión diaria se encuentra, la variabilidad en los ingredientes de la dieta. Sin embargo al considerar las necesidades de aminoácidos en forma digestible, el rango para las necesidades diarias de los aminoácidos se hace más estrecho que el rango de las necesidades

diarias de los aminoácidos totales, lo que indica una mayor precisión en la estimación de los requerimientos.

También esta información sugiere que con las actuales estirpes de alto rendimiento productivo, se hace necesario suministrar mayores cantidades de aminoácidos en su dieta para que se manifieste todo su potencial genético.

En los experimentos conducidos, las dietas basales deficientes en lisina, aminoácidos azufrados y treonina, además de producir en las gallinas una disminución en su comportamiento productivo, afectaron en forma negativa el consumo de alimento.

El consumo de alimento en estos trabajos se afectó al existir dietas deficientes en un aminoácido, incrementando conforme se cubría la necesidad de ese aminoácido. Este fenómeno fue estudiado en otros por Yoshida *et al.*¹⁰⁶, quienes determinaron la base metabólica de los desbalances de aminoácidos, rastreando a los aminoácidos limitantes marcados con ¹⁴C en ratas que consumían cantidades iguales de dietas balanceadas o desbalanceadas. Estos autores concluyeron que los desbalances de aminoácidos generan una incorporación más eficiente del aminoácido que más limita el crecimiento en los tejidos, lo que ocasiona una deficiencia plasmática del aminoácido y las ratas prefieren consumir una dieta sin proteína a una dieta desbalanceada para protegerse de esa deficiencia plasmática¹⁰⁶. D'Mello²⁴ demostró que el desbalance de aminoácidos en la rata disminuye el consumo voluntario de alimento en las ratas, con modificaciones mínimas en la utilización de la treonina, lo cual pudo apreciarse en el Cuadro 29, donde el consumo de alimento no se vió tan afectado como en los otros dos experimentos.

La relación lisina-proteína en este estudio para un máximo comportamiento productivo fue de 4.6% de lisina digestible. Este resultado es mayor a lo que marca

el NRC⁷⁵ (4.1%) y menor a lo encontrado por Morris et al.⁷¹ Esto posiblemente se debe a que la gallina actual, por su mayor producción, requiere de mayor cantidad de lisina para la formación de huevo. Considerando a la concentración de lisina digestible requerida como 100% en este estudio, se encontró que los aminoácidos azufrados deberían estar presentes en la dieta a razón del 82.2% del total de lisina y la treonina a razón de 69.9%. Al comparar estas proporciones de aminoácidos con las relaciones en el cuerpo de la gallina y en el huevo completo (Cuadro 32), se observa que en la gallina tanto los aminoácidos azufrados como la treonina guardan una relación muy similar a la encontrada, pero en el huevo hay un mayor contenido de aminoácidos azufrados y menor contenido de treonina. Esto quizá explica el porqué en la segunda VC, que representa a los componentes del huevo, no se pudo encontrar el nivel óptimo de estos aminoácidos.

CUADRO 32. Comparación de la relación de lisina con otros aminoácidos en el cuerpo de la gallina, el huevo y parámetros productivos.

Aminoácido	Gallina completa ¹	Huevo completo ¹	Experimento 1, 2 y 3. variables de producción
Lisina	100	100	100
Aminoácidos azufrados	83.1	89.4	82.2
Treonina	73.4	68.5	69.9

¹ Cole y Van Lumen.¹⁹

Esta información también señala que cuando se quiera alimentar a las gallinas para optimizar las variables productivas, no se tendrá el mismo efecto de optimización en los componentes del huevo y cuando se quiera mejorar éstos, se sacrificará algo de la producción. Esto último ha sido determinado en el caso particular de los aminoácidos azufrados, en donde un mayor nivel en la dieta mejoró el grosor del cascarón en gallinas viejas; sin embargo, esto puede resultar en una menor producción^{15,16}.

Con relación a la composición del huevo, el consumo de lisina necesario para maximizar estas variables fue similar(493 mg/ave/día) al contenido de lisina en el huevo completo (455 mg/ ave /día), lo cual muestra que la mayor cantidad de lisina

en la dieta se dedica a la formación de huevo. Para los aminoácidos azufrados (675 mg/ ave/ día) y la treonina (609 mg/ ave /día) el valor calculado fue mucho mayor que al valor encontrado en el contenido del huevo (365 mg para azufrados y 310 mg para treonina) debido a que estos aminoácidos, además de participar en la formación de huevo, realizan otras funciones a nivel corporal.

La proteína cruda del huevo completo se encontró dentro del rango de 45.8-53.8% descrito en la literatura^{48,80,82} para el huevo deshidratado. Sin embargo, para el Experimento 1 de lisina en el nivel más bajo de inclusión y en el Experimento 3 de treonina todas las dietas tuvieron una concentración menor a este rango, que pudo deberse a que las aves consumieron 368 mg por día de lisina, un consumo deficiente para producción de acuerdo al NRC⁷⁵, y en el Experimento 3 de treonina existió un desbalance entre la lisina y la treonina en los tratamientos. Al haber un desbalance, hay una mayor destrucción de aminoácidos, lo que ocasiona una pérdida de tejido y a que la gallina deposite menos proteína en el huevo. Si la pérdida de tejido continua, la gallina suspende la producción de huevo.²³

Esto puede explicar porqué en la segunda VC existió una relación positiva entre porcentaje de clara (0.703) y proteína de huevo completo (0.736), ya que la mayor cantidad de proteína del huevo se encuentra en la clara¹⁵ y al aumentar esta en la composición del huevo, automáticamente aumenta la concentración de proteína del huevo. También explica por qué fue más importante la treonina que los aminoácidos azufrados y que lisina, ya que existió un desbalance de treonina y de lisina, lo que pudo ocasionar una destrucción de treonina y, por consecuencia, una disminución de la cantidad de proteína que se depositó en el huevo, causando que aumentara o disminuyera la concentración de ácido úrico.

En cuanto al ácido úrico, su disminución plasmática al incrementar los niveles de lisina en el Experimento 1, posiblemente se debió a que el organismo, al no obtener mediante la dieta la cantidad de aminoácidos esenciales, cataboliza la

proteína tisular para obtener los aminoácidos faltantes. Este proceso natural incrementa la excreción de nitrógeno en forma de ácido úrico. Cuando se aumentan los niveles del aminoácido limitante, disminuye la excreción de ácido úrico hasta llegar a la completa utilización del aminoácido deficiente.⁹⁶ En el Experimento 2 de aminoácidos azufrados ocurrió lo contrario: al ir aumentando su nivel de inclusión, aumentó la concentración de ácido úrico plasmático hasta llegar al nivel más elevado de inclusión, que produjo un 15% de disminución en la concentración de ácido úrico, comparado con el nivel basal. En el Experimento 3, en la treonina se encontró el efecto más dramático: con el nivel de 0.53% de inclusión se redujo en 55% la concentración de ácido úrico. La relación de lisina con los AAD fue de 87% y con la treonina, de 66%; sin embargo, no existió un efecto fuerte sobre componentes del huevo ni sobre variables productivas.

En estudios realizados se ha encontrado que el ácido úrico no es una variable que pueda predecir el requerimiento de un aminoácido; únicamente puede indicar si existe algún desbalance^{68,96}.

Con respecto a la relación encontrada en estos experimentos entre la lisina digestible (100%) con los aminoácidos azufrados digestibles(82.9%) y la treonina (69.9%) con los resultados existentes de la literatura; estos se muestran en el Cuadro 33. Los valores con base en un consumo diario fueron más altos que el presente estudio que los del NRC⁷⁵ y menores a los de Coon²⁰. Esto se debe a que el NRC⁷⁵ fue publicado hace algunos años y las líneas genéticas tenían una menor producción. Por otro lado la discrepancia entre los valores de Coon²⁰ y los hablados en este estudio es pequeño especialmente si se consideran que Coon²⁰ utilizó a la masa de huevo como única variable de respuesta y en el presente estudio participan once variables de respuesta. Por lo tanto, los valores de lisina digestible, AAD y treonina digestible encontrados aquí se ajustan mejor a lo que ésta sucediendo en la gallina en producción. Sin embargo hay que recordad también que el primer componente principal que representó a las variables productivas

explicó el 99% de la variación en la masa de huevo (Cuadro 13) y de ahí, la similitud con los resultados de Coon²⁰. Así mismo, esto indica que la producción de masa de huevo puede ser un mejor criterio para evaluar los requerimientos de aminoácidos que el peso del huevo o que la cantidad de huevos producidos, pues el tamaño del huevo puede limitar la cantidad de piezas producidas, reduciendo así la masa.

Si se acepta el perfil de aminoácidos de la proteína ideal, entonces el requerimiento de otros aminoácidos puede ser calculado para mantener la proporción con lisina, pero es necesario cuidar la relación en base digestible, porque en la generalidad de los ingredientes, la digestibilidad de la metionina es mayor que la de la lisina y mayor que la del triptófano y la digestibilidad de este aminoácido es similar a la de la treonina^{63,21}

CUADRO 33. Perfil ideal de lisina, aminoácidos azufrados y treonina digestibles para gallinas

Aminoácido	NRC(1994) mg/d		Coon(1998)	Exp. 1,2 y 3
	Total ¹	Digestible ²	Digestible	Digestible
Lisina	690	621(100)	675(100)	652(100)
AA	580	522(84.1)	547(81)	536(82.2)
Treonina	470	423(68.1)	495(73)	456(69.9)

¹con base en 100 gramos de consumo de alimento por día.

²NRC aminoácidos digestibles con base en total, multiplicado por 90%.

AA = aminoácidos azufrados.

4.1 CONCLUSIONES

1. De los resultados obtenidos y bajo las condiciones empleadas se puede inferir que las necesidades ideales de lisina, metionina + cistina y treonina digestible para una máxima producción de huevo son: Lisina digestible (100%) 652mg por ave por día, metionina + cistina digestible (82.2%)536 mg por ave por día y treonina digestible (69.9%) 456 mg por ave por día, valores mayores al NRC de 1994.
2. Existió una mayor relación entre la lisina, aminoácidos azufrados y treonina digestibles con los parámetros productivos; que con el ácido úrico, proteína del huevo completo y sus componentes.
3. La lisina, treonina y met + cist tienen efecto sobre el % de yema y sobre el % de clara.
4. La cantidad de proteína cruda del huevo completo fue afectada por la cantidad de aminoácidos que consume el ave.
5. La concentración de ácido úrico fue solo un indicador de un consumo desbalanceado de lisina, treonina, y aminoácidos azufrados.

5 Literatura citada

1. ADM. La lisina en la nutrición avícola y porcina. 1992
2. Akrabawi SS, Kratser FH. Effects of arginine or serine on the requirement for glycine by the chick. *J Nutr.* 1968;95:41-48.
3. Antillón RA, López CC. Enfermedades nutricionales de las aves. 1ª ed. México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Sistema de Universidad Abierta. 1987.
4. AOAC, 1990: Official Methods of Analysis. 15ed Association of Official Analytical Chemists. Washington D.C.
5. Avila GE. Alimentación de las aves. 1er ed. México D.F.: Trillas, 1986.
6. Babcock. Guía de manejo Babcock B-300. 1998.
7. Baker DH, Chung TK. Ideal protein for swine and poultry. *Fermex technical review-4.* 1992;4.
8. Baker DH, Han Y. Ideal amino acid profile for chicks during the first three weeks posthatching. *Poultry Sci.* 1994;73:1441-1447.
9. Baker DH, Hill TM, Keiss AJ. Nutritional evidence concerning formation of glycine from threonine in the chick. *J Anim. Sci.* 1972;34:582-586.
10. Baker DH. Utilization of isomers and analogs of amino acids and other sulfur compounds. In: R.K. Chandra, editor. *Progress in food and nutrition science.* New York: Pergamon Press, 1986;10:137-178.
11. Baker DH. Ideal amino acid profiles for swine and poultry their applications in feed formulation. *Fermex technical review-9.* 1997;9.
12. Baker DH. Utilization of precursors for L-amino acids. In: J.P.F. D'Mello, editors. *Amino acids in farm animal nutrition.* London, U.K: cab intl, 1994:37-63.
13. Balleve O, Cadenhead A, Calder AG, Ress WD, Loblely GE, Fuller MF, Garlick PJ. Quantitative partition of threonine oxidation in pigs: effect of dietary threonine. *Am J. Physiol.* 1990;259: E483-E491.

14. Boorman KN, Burgess AD. Responses to amino acids. Poultry Science Symposium 19. Nutrient requirements of poultry and nutritional research. Butterworths. 1986:99-123.
15. Buxadé, C.C.: La gallina ponedora: sistemas de explotación y técnicas de producción. Ediciones Mundi-prensa, Madrid, España, 1987.
16. Calderón VM, Jensen LS. The requirement for sulfur amino acids by laying hens as influenced by the protein concentration. Poultry Sci 1990 ;69: 934-944.
17. CANACINTRA .1998-1999 Anuario. La industria alimenticia. animal en México. Sección de fabricantes de alimentos balanceados para animales.
18. Cao, Z, Cai H, Coon C. Methionine and cystine requirements and metabolism for layers and broilers. 56 th Minnesota Nutrition Conference & IPC technical symposium; 1995 september 18-20; Bloomington, Minnesota. E.U.: University of Minnesota Extension Service. 1995:257-289.
19. Cole DJA, Van Lumen TA. Ideal amino acid patterns in: Editors. J.P.F. D Mello Amino Acids in farm animal nutrition. London, U.K: cab intl, 1994: 21-40.
20. Coon C, Zhang B. Ideal amino acid profile and metabolizable energy requirements for layers. 59 Th Minnesota Nutrition Conference & IPC Technical Symposium; 1998 September 21-23; Bloomington, Minnesota. E.U.: University of Minnesota Extension Service. 1998:263-278.
21. Cuarón IJA. Los requerimientos y la producción. Energía, aminoácidos y crecimiento magro. Memorias del XXXVI año académico; 2000 diciembre, México (DF) México. México (DF) Academia Veterinaria Mexicana AC, 2000:258-269.
22. Cuca GM, Avila GE, Pro MA. Alimentación de las aves. 8ed. México: Universidad Autónoma de Chapingo, 1996.
23. Chi MS, Speers GM. Effects of dietary protein and lysine levels on plasma amino acids, nitrogen retention and egg production in laying hens. J. Nutr. 1976 (106): 1192-1201.

24. D'Mello JPF. Amino acid imbalances, antagonisms, and toxicities. J.P.F. D'Mello, editors. Amino acids in farm animal nutrition. London, U.K: cab Intl, 1994:63-97.
25. D'Mello JPF, Lewis D. Amino acid interactions in chick nutrition interdependence in amino acid requirements. Poultry Sci. 1970;49:367-385.
26. D'Mello JPF. Aspects of threonine and glycine metabolism in the chick (*gallus domesticus*). Nutr metab. 1973;15:357-363.
27. Davis AJ, Austic RE. Dietary threonine imbalance alters threonine dehydrogenase activity in isolated hepatic mitochondria of chicks and rats. J Nutr. 1994;124:1667-1677.
28. Davis AJ, Austic RE. Threonine-degrading enzymes in the chicken. Poultry Sci. 1982;61: 2107-2111.
29. De Blas C, Mateos GG. Nutrición y alimentación de gallinas ponedoras. Editorial AEDOS, 1991.
30. De la Fuente HJM, González HML, Jiménez E y Mascorro EV. La ganadería nacional, nueva encrucijada en su desarrollo. Crisis, modernización y TLC. In: Cámara de Diputados (editor). La disputa por los mercados, TLC y sector agropecuario. Ed Diana, México D.F., 1992:221-283.
31. Denis GZ. Cálculo con geometría analítica. Editorial Iberoamericana. México D.F. 1987: 92-196.
32. Fernández S, Aoyagi S, Han Y, Parsons MC and Baker HD. Limiting order of amino acids in corn and soybean meal for growth of the chick. Poul. Sci. 1994 (73): 1887-1896.
33. García M, E. Modificaciones al sistema de clasificación climáticas de Köppen para adaptarlo a las condiciones particulares de la República Mexicana. México D.F. Ed talleres Offset Larios. 1988.
34. Girard-Globa, Robin AP, Forestier M. Long-term adaptation of weaning rat to high dietary levels of methionine and serine. J Nutr. 1972;102:209-218.
35. Goldberg, M.E., 1985. The second translation of the genetic message: protein folding and assembly. Trends Biochem. Sci. 10:388-391.

36. González AMJ, Dorfman JH, Pesti G. Maximizing profit in broiler production as prices change: A simple approximation with practical value. *Agribusiness*.1994; 10:389-399.
37. González AMJ. La formulación econométrica: un beneficio para el productor. *Memorias del V Simposium de Avances Tecnológicos*. Novus; Cancún (Quintana Roo) México: Novus S.A, 1994:22-29.
38. Graber,g and Baker DH. Sulfur amino acid nutrition of the growing chick: quantitative aspects concerning the efficacy of dietary methionine, cysteine and cystine. *J. Anim. Sci.* 1971;70:1005-1011
39. Griminger P, Scanes CG. Protein metabolism.In: Sturke Editor. *Avian Physiology* 1986:326-344.
40. Hair JH, Anderson RE, Tathan RL, Black WC. *Multivariate data analysis*. Prentice Hall. United States. 1995.
41. Harms RH, Russell GB. Optimizing egg mass with amino acid supplementation of a low-protein diet. *Poultry Sci.* 1993 ; 72:1892-1896.
42. Harms RH. A new method approach to defining amino acid requirements. III *Simposium de Avances Tecnológicos Modernos*; 1992 junio 18-21;Ixtapa Zihuatanejo(Guerrero) México: NOVUS, 1992: 2-23.
43. Hebert JA, Achee VN. Effect of high levels of dietary arginine, threonine and tryptophan in laying hens. *Poultry Sci.* 1999 (suppl 1): 136.
44. Hijikuro SM, Yamazaki M. Available lysine requirement of laying hens. *Japanese poultry Sci.* 1991;28:95-100.
45. Huyghebaert G, Butler EA. Optimum threonine requirement of laying hens. *Br. Poult. Sc.* 1991(32): 575-582.
46. Ibañez C, Potter LM. Estimación de los niveles económicamente óptimos de nutrientes en la dieta de gallinas ponedoras: aminoácidos azufrados. *Memorias de X Ciclo de Conferencias Internacionales sobre Avicultura*;1991 junio 27-28; México D.F.: Asociación Mexicana de Especialistas en Nutrición Animal, AC,1991:13-25.

47. INEGI. Tláhuac: Cuaderno de información básica delegacional. INEGI, México 1992.
48. INNSZ. Tablas de composición de alimentos. Edición de aniversario Subdirección de Nutrición Experimental y Ciencias de los Alimentos. 1996.
49. Ishibashi T, Ogawa Y, Itoh T, Fujimura S; Koide K, Watanabe R. Threonine requirements of hens. *Poultry Sci* 1998 ;77: 998-1002.
50. Jason LE, Baker DH. Use of the ideal protein concept for precision formulation. *J. Appl. Poultry Res* 1998; 3: 98-103. .
51. Karplus, M. Y Mc Cammon, J.A,. The dynamics of proteins.. *Sci. Amer.* 1986:254 (4): 42-51. (Disponible como *Sci. Amer. Separata* 1569.)
52. Katz RS, Baker DH. Methionine toxicity in the chick: nutritional and metabolic implications. *J Nutr.* 1975;105:1168-1175.
53. Keshavarz, K. Investigation on the possibility of reducing protein, phosphorus and calcium requirements of laying hens by manipulation of time of access to these nutrients. *Poultry Sci.* 1998; 77: 1320-1332.
54. Kidd MT, Kerr BJ. L-threonine for poultry: a review. *J Appl. Poultry Res.* 1996 (5) : 358-367. .
55. Kidd, M.T.:L-treonina para aves. Séptimo ciclo de conferencias sobre aminoácidos sintéticos. *Fermex* 22 de sep. de 1995: 66-68.
56. Lehninger AL. *Biochemistry.* 2nd ed. New York N.Y.: Worth Publishers 1981.
57. Leonard RP, Speer VC. Threonine requirement for reproduction in swine. *J Anim Sci* 1983(56): 1345-1348.
58. Lewandowshi AH, Campbell WT, Harrison GJ. Clinical chemistries. In: Harrison GJ, Harrison LR, Donna W, editors. *Clinical avian medicine and surgery.* Philadelphia: 1986:192-204.
59. López CC. Los aminoácidos sintéticos. En: *Temas de actualidad para la industria avícola.* 1998. Balconi IR editor. Ed MIDIA Relaciones S.A. de C.V. México D.F.
60. Maenz DD, Engele-Schaan CM, Methionine and 2-hydroxy-4-methylthiobutanoic acid are partially converted to nonabsorbed compounds

during passage through the small intestine and heat exposure does not affect small intestinal absorption of methionine sources in broiler chicks. *J Nutr* 1996; 126: 529-536.

61. Maenz DD. Amino acid absorption in poultry. *Memorias de DEGUSSA Technical symposium 1997 Mayo 14; Indianapolis (Indiana) EUA: DEGUSSA 1997: 1-8.*
62. Maenz, DD, Chenu C, Breton S, Berteloot A. Ph-dependent heterogeneity of acidic amino acid transport in rabbit jejunal brush border membrane vesicles. *Journal of Biol. Chem.* 1992;267:1510-1516.
63. Mariscal LG. Digestibilidad ileal, una herramienta para formular a proteína ideal. *Noveno Ciclo de conferencias sobre aminoácidos sintéticos; 1997 septiembre; D.F. México: Fermex, 1997:47-58.*
64. Mariscal, G. Avila E, Tejada I, Cuarón JA, y Vásquez C. Contenido de aminoácidos totales y digestibles verdaderos para pollos de los principales ingredientes utilizados en Latinoamérica. *INIFAP, México. 1995.*
65. Martínez AC, Laparra VJL, Avila GE, Fuente MB, Jinez MT, Kidd MT. Dietary L- threonine responses in laying hens. *J. Appl. Poultry Res.* 1999 (8): 236-241.
66. Maynard AL, Loosli JK, Hintz FH y Warner GR. *Nutrición Animal. 7Ed Mc Graw-Hill. México D.F. 1981.*
67. Mc Naughton JL, Deaton JW, Reece FN. Lysine and sulfur amino acid requirements of egg type laying hens. *Feedstuff.* 1980; 52(53): 17-18.
68. Miles RD, Featherston WR. Uric acid excretion by the chick as an indicator of dietary protein quality. *Poultry Sci.* 1976 (55): 98-102.
69. Moore MK, Jackwood MW, Hilt DA. Identification of amino acids involved in serotype and neutralization specific epitope within the s1 subunit of avian infectious bronchitis virus. *Arch Virol.* 1997 (142): 2249-2256.
70. Morales BEJ. Evaluación de aminoácidos digestibles en ingredientes y el comportamiento productivo de pollos de engorda y gallinas de postura con dietas en base aminoácidos totales, y aminoácidos digestibles mediante el

concepto de proteína ideal.(Tesis de doctorado).Colima(Colima) México: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia Univ. Colima,1999.

71. Morris TR, Al-Azzawi K, Gous RM, Glenda LS. Effects of protein concentration on responses to dietary lysine by chicks. *Poultry Sci.* 1987(2): 185-195.
72. Munck LK, Munck BG. The rabbit jejunal "imino carrier" and the ileal "imino acid carrier" describe the same epithelial function. *Biochem. Biophys. Acta* . 1992;1116:91-96.
73. Muramatsu K, Takeuchi H, Sahurai K. The relationship between weight gain and free amino acid concentration of plasma and liver in rats fed a diet supplemented with various amount of lisine. *J. Nutrition* 1973:277-281.
74. National Research Council, 1984. *Nutrient Requirements of Poultry 8 th rev. Ed.* National Academic Press, Washington, DC.
75. National Research Council, 1994. *Nutrient Requirements of Poultry 9 th rev. Ed.* National Academic Press, Washington, DC.
76. Neter J, Wasserman W, Kutner M H. *Applied linear statistical models.* 2nd ed. Homewood. Illinois; Richard D Irwin, Inc 1985.
77. North MO. *Manual de producción avícola.* 2a edición, El Manual Moderno, México, D.F. 1986.
78. Noyola ADH, Avila GE, Vásquez PC. Determinación de las necesidades de lisina en gallinas Leghorn en producción. *Vet Méx.* 1990 (3): 274-283.
79. Okazaki Y, Totsuka K, Fukazawa A, Watanabe E, Toyomizu M, Ishibashi T. Relationships of oviposition, feed consumption and body weight to plasma amino acid concentration of laying hens. *Anim. Sci. Technol. (Jpn).*1993; 64: 364-370.
80. Osuga DT, Feeney RE. Egg protein. In Whitaker J.R & Tannenbaum S.R. *Foods proteins.* The Avi Publishing Co. Inc. Westport, Connecticut, USA. 1977:209-266.
81. Rawlings, J.O.: *Applied Regression Analysis.* Wodsworth and Brooks/Cole, Belmont, CA, 1988, p. 163.

82. Robinson DS, Monsey JB. Studies on the composition of egg-white ovomucin. *Biochem J.* 1971; 121: 537-547.
83. SAGAR. Situación actual y perspectiva de la producción en México. [Citado septiembre 1998]; [34 paginas]. [http://www. Sagar.gob.mx](http://www.Sagar.gob.mx).
84. SAS Institute Inc.: *SAS/STAT User's Guide, Version 6, Fourth Edition, Volume 1*, Cary, NC, SAS Institue Inc., 1989, 943 pp.
85. Sauveur Bernard. *El huevo para consumo base productiva* Ed. Mundiprensa, AEDOS España.1993.
86. Scott ML, Nesheim MC, Young JR. *Nutrition of chicken*. 3^{ra} ed. New York. Scott & Associates, 1982.
87. Schutte JB, Jung DE J. Requirement of the laying hen for sulfur amino acids. *Poultry Sci.* 1994;73:274-280.
88. Schutte JB, Smink W. Requirement of the laying hen for apparent fecal digestible lysine. *Poultry Sci* 1998 ;77: 697-701.
89. Schutte JB, Van Der Klis JD. Veevoedkundige mogelijk-heden om de stikstof- en fosforuitscheiding bij pluimvee te reduceren. In: *Naar veehouderij en milieu in balans 10 jaar foma onderzoek*. Ede, 4. Oktober; NL. 1994.
90. Schutte JB, Van Weerden EJ, Bertram HL. Sulphur amino acid requirement of laying hens and the effects of excess dietary methionine on laying performance. *Br Poultry Sci* 1983; 24:319-326.
91. Schutte JB. Controlling nitrogen pollution practical applications of free amino acids in poultry diets. *Feed Mix.* 1994;2(4):28-31.
92. Sheideler SE. Dietary lysine and taa supplementation in layer diets interactions and effects on egg yields. *Degussa Technical symposium*.1997 may 14; Indianapolis (Indiana) EUA. DEGUSSA. 1997:9-17.
93. Sohail MA, Cole DJA, Lewis D. Amino acid requirements of the breeding sow.2. The dietary lysine requeriment of the lactating sow. *Brit. J. Nutr.* 1978;40: 369-373.

94. Sosa EM. Sulfato de sodio en la alimentación del pollo de engorda.(Tesis Maestría en Ciencias Especialidad en ganadería). Montecillo (Edo. De México): México: Colegio de postgraduados,1985.
95. SPSS for windows release 8.0.0
96. Sturkie PD editor. Avian Physiology. 4ª ed. New York:Springer-Verlag, 1986:326-344.
97. Summers DJ. Reducing nitrogen excretion of the laying hen by feeding lower crude protein diets. Poultry Sci. 1993; 72:1473-1478.
98. Unión Nacional de Avicultores /Gerencia de Estudios Económicos. Consumo de insumos agrícolas. UNA México D.F. 1999.
99. Unión Nacional de Avicultores /Gerencia de Estudios Económicos. Estadística mensual de precios promedio de huevo blanco al productor en el D.F. UNA. México D.F. 1999.
100. Unión Nacional de Avicultores. Compendio de indicadores económicos del sector avícola en 1999. Dirección de estudios económicos. Noviembre de 1999. México, D.F.
101. Unión Nacional de Avicultores: perspectivas de la avicultura mexicana hacia el año 2000. México D.F.1999.
102. Waldroup PW, Mitchell RJ, Payne JR, Hazen R . Performance of chicks fed diets formulated to minimize excess levels of essential amino acids. Poultry Sci. 1976;55:243-253.
103. White MF. The transport of cationic amino acids across the plasma membrane of mammalian cells. Biochim. Biophys. Acta. 1985;822:355-374.
104. Wilson HR, Miles RD. Research note: plasma uric acid of broiler breeder and Leghorn male chickens: effect of feeding time. Poultry Sci. 1988(67):345-347
105. Yamazaki MH, Ohguchi H, Murakami M, Takemasa MA. Available threonine requirement of laying hens. Jpn. Poultry Sci. 1997;34:52-57.
106. Yoshida A, Leung P M-B, Rogers QR, Harper AE. Effect of amino acid imbalance on the fate of the limiting amino acid. J Nutr. 1966;89:66.

107. Zollitsch W, Jevne C, Leske K, Coon C. Utilización de aminoácidos cristalinos en las dietas de gallinas ponedoras. Quinto Ciclo de Conferencias sobre Aminoácidos Sintéticos; 1993 septiembre 24; México D.F.: FERMEX, 1993: 85 –121.

Anexo 1. Pruebas de normalidad de las variables estudiadas

Prueba de Kolmogorov- Smirnov para las variables productivas.

	% de Postura	Peso promedio de huevo	Consumo de alimento	Conversión alimenticia	Masa de huevo
Lisina					
Kolmogorov-Smirnov	1.078	0.616	1.167	1.10	0.982
Nivel de significancia	0.196	0.842	0.131	0.178	0.290
Aminoácidos azufrados					
Kolmogorov-Smirnov	0.576	1.040	0.420	0.940	0.791
nivel de significancia	0.895	0.229	0.995	0.340	0.559
Treonina					
Kolmogorov-Smirnov	1.118	0.489	0.639	0.613	0.801
nivel de significancia	0.164	0.971	0.809	0.846	0.543

Prueba de Kolmogorov- Smirnov para los componentes del huevo.

	% de yema	% de clara	% de cascarón
Lisina			
Kolmogorov-Smirnov	0.527	0.397	0.680
nivel de significancia	0.944	0.997	0.745
Aminoácidos azufrados			
Kolmogorov-Smirnov	0.447	0.400	1.001
nivel de significancia	0.988	0.997	0.269
Treonina			
Kolmogorov-Smirnov	0.454	0.760	0.867
nivel de significancia	0.986	0.610	0.440

Prueba de Kolmogorov- Smirnov para el grosor de cascarón (mm), la proteína de huevo completo y la concentración de ácido úrico en plasma sanguíneo.

	Grosor de cascarón	Proteína de huevo completo	Ácido úrico
Lisina			
Kolmogorov-Smirnov	0.640	0.576	0.708
nivel de significancia	0.807	0.894	0.697
Aminoácidos azufrados			
Kolmogorov-Smirnov	0.579	0.533	0.497
nivel de significancia	0.890	0.939	0.966
Treonina			
Kolmogorov-Smirnov	0.668	0.597	0.859
nivel de significancia	0.763	0.868	0.451