

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA



DIRECCIÓN ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES

**MODELO MULTIFACTORIAL DE ENERGÍA, PROTEÍNA,
METIONINA Y LISINA EN DIETAS PARA POLLOS DE
ENGORDA**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN
PRODUCCIÓN ANIMAL**

PRESENTA:

FRANCISCO MERCADO LABASTIDA

AGOSTO DE 1999

CHAPINGO, ESTADO DE MÉXICO



91140

DEDICATORIA

A mis padres:

Juan Mercado Arredondo (q.e.p.d.) que gracias a su gran ejemplo y consejos motivó culminar mis esfuerzos. Y a mi madre Ana María Labastida Rivera que con tu amor supiste darme ánimos para llegar a este objetivo.

A mis hermanos:

Fabiola, Nely, Hugo y Juan gracias por todos los buenos momentos que hemos compartido durante toda la vida. A mi sobrina Ana Laura por ser la luz que nos dio alegría.

A mi esposa:

Celene, porque eres el más hermoso motivo de mi vida, por tu gran amor y apoyo que siempre recibo de ti.

A mis familiares:

Emilio Labastida, Emilio Reynoso, Reyna Mercado, Felipe Labastida, Yolanda Ayala y todos aquellos que de alguna u otra manera me han ayudado.

A mis amigos:

Sergio Ramírez, Miguel A. Mata, Silvestre Martínez y todos mis compañeros de Posgrado, y en especial a Manuel Estrada por todo el apoyo que me ha dado, siempre estaré agradecido.

34479

AGRADECIMIENTOS

Al Posgrado en Producción Animal de la Universidad Autónoma Chapingo, por todos los conocimientos recibidos y el apoyo para poder culminar mis estudios de posgrado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico brindado para poder realizar mis estudios de Maestría en Ciencias.

Al Ph. D. Mariano González Alcorta por todos sus valiosos conocimientos compartidos, su gran amistad y por todo su tiempo dedicado para poder realizar el presente trabajo.

Al Ph. D. Miguel Angel Martínez Damian por el tiempo dedicado y valiosas aportaciones para mejorar el contenido de esta investigación.

Al Dr. Ernesto Avila González por su gran disposición y acertados comentarios en el desarrollo del trabajo.

A Ernesto Miñon, Alberto Santos y Leidy Golen que gracias a ellos fue posible realizar los trabajos experimentales, gracias por todo.

Al Ing. Meliton Cordoba e Ing. Silvestre Martínez por todas las facilidades prestadas para poder llevar a cabo este trabajo.

MODELO MULTIFACTORIAL DE ENERGÍA, PROTEÍNA, METIONINA Y LISINA EN DIETAS PARA POLLOS DE ENGORDA

Tesis realizada por **Francisco Mercado Labastida** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN ANIMAL

DIRECTOR



Ph. D. Mariano J. González Alcorta

ASESOR



Ph. D. Miguel A. Martínez Damian

ASESOR



Dr. Ernesto Avila González

MODELO MULTIFACTORIAL DE ENERGÍA, PROTEÍNA, METIONINA Y LISINA EN DIETAS PARA POLLOS DE ENGORDA

El jurado que revisó y aprobó el examen de grado de **Francisco Mercado Labastida** autor de la presente tesis de Maestría en Ciencias en Producción Animal estuvo constituido por:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN ANIMAL

PRESIDENTE



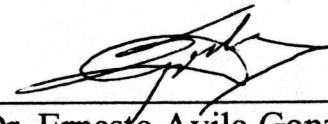
Ph. D. Mariano J. González Alcorta

ASESOR



Ph. D. Miguel A. Martínez Damian

ASESOR



Dr. Ernesto Avila González

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos generales:

Nombre: Francisco Mercado Labastida

Lugar de origen: Ecatepec, México

Profesión: Ingeniero Agrónomo Zootecnista

Cédula Profesional: 2108351

Formación académica:

Escuela Secundaria Federal Emiliano Zapata. Col. Emiliano Zapata, Ecatepec México
(1982-1985).

Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
(1986-1989).

Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
(1989-1993).

RESUMEN

Mercado, L. F, M. González A., M. A. Martínez D. y E. Avila G.

MODELO MULTIFACTORIAL DE ENERGÍA, PROTEÍNA, METIONINA Y LISINA EN DIETAS PARA POLLOS DE ENGORDA

(Agosto, 1999)

Importantes utilidades extras pueden ser obtenidas cuando se utiliza el método de formulación de máxima utilidad (FMU) en lugar del método de formulación de mínimo costo (FMC). Considerando lo anterior, se realizó esta investigación para estimar los niveles óptimo biológicos (NOB) y económicos (NOE) de energía, proteína, metionina y lisina. Con datos de dos ensayos biológicos y de la literatura se estimaron los NOB y NOE. Los NOB estimados para energía (kcal EM/kg), proteína (%), metionina (%) y lisina (%) fueron: 3000, 22, .6359 y 1.2487 para 1 a 21 días; 3000, 20, .5654 y 1.0271 para 22 a 42 días, y 3000, 20, .3969 y 1.1110 para 43 a 49 días. Los NOE estimados fueron: 3000, 21.73, .5189 y 1.2186 para 1 a 21 días; 3000, 19.06, .4909 y .9707 para 22 a 42 días, y 3000, 20, .3038 y 1.0225 para 43 a 49 días. Las utilidades extras obtenidas por aplicar la FMU en lugar de la FMC fue 0.13 dólares (\$1.25 pesos) por ave.

PALABRAS CLAVE: Pollo, Nivel óptimo biológico, nivel óptimo económico, energía, proteína, metionina y lisina.

ABSTRACT

Mercado, L. F; M. González A., M. A. Martínez D. y E. Avila G

MULTIFACTORIAL MODEL FOR BROILER DIETARY ENERGY, PROTEIN, METHIONINE AND LYSINE

(August, 1999)

Important producer extra profits can be obtained applying maximum profit feed formulation (MPFF) instead of minimum cost feed formulation (MCFF). Under that assumption, it was carried out a research to estimate the biological (NOB) and economics (NOE) dietary levels of energy, protein, methionine and lysine. Data of two experiments and from the literature were used to estimate the NOB and NOE values. The estimate NOB energy (kcal EM/kg), protein (%), methionine (%) and lysine (%) optimal values were 3000, 22, .6359 and 1.2487 for 1 to 21 days; 3000, 20, .5654 and 1.0271 for 22 to 42 days, and 3000, 20, .3969 and 1.1110 for 43 to 49 days. The estimate NOE values were 3000, 21.73, .5189 and 1.2186 for 1 to 21 days; 3000, 19.06, .4909 and .9707 for 22 to 42 dyas, and 3000, 20, .3038 and 1.0225 for 43 to 49 days. The calculated extra profit for appplying MPFF instead MCFF was \$0.13 dolars (1.25 pesos) per bird.

INDEX WORDS: Broiler, biological dietary levels, economics dietary levels, energy, protein, methionine and lysine

ÍNDICE

	Página
ÍNDICE DE CUADROS.....	v
ÍNDICE DE GRÁFICAS Y FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE ANEXOS.....	x
I INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Marco contextual.....	3
2.1.1. Situación actual de la avicultura.....	3
2.1.2. Situación actual de la industria de alimentos balanceados.....	6
2.1.3. Posible impacto de la formulación de máxima utilidad sobre los ingresos extras de los avicultores (Justificación).....	9
2.2. Marco conceptual.....	10
2.2.1 Niveles óptimo biológicos (NOB) y económico (NOE) de nutrimentos	10
2.2.2 Niveles óptimo económico (NOE) y variabilidad de precios.....	13
2.2.3 Modelos unifactoriales vs modelos multifactoriales en la formulación de máxima utilidad.....	14
2.2.4 Energía.....	17
2.2.4.1 Importancia de la energía en nutrición de aves.....	17
2.2.4.2 Metabolismo energético.....	18
2.2.4.3 Fuentes de energía para las aves.....	20
2.2.4.4 Influencia de la energía en el comportamiento de las aves.....	21
2.2.5 Proteína.....	23

2.2.5.1 Importancia de la proteína en nutrición de aves.....	23
2.2.5.2 Metabolismo de proteínas.....	24
2.2.5.3 Fuentes de proteína para las aves.....	25
2.2.5.4 Influencia del nivel de proteína sobre el comportamiento de pollos de engorda.....	26
2.2.6 Metionina.....	28
2.2.6.1 Generalidades de la metionina.....	28
2.2.6.2 Metabolismo de la metionina.....	28
2.2.6.3 Fuentes naturales y sintéticas de metionina.....	29
2.2.6.4 La metionina y su influencia en el comportamiento productivo de pollos de engorda.....	31
2.2.7 Lisina.....	32
2.2.7.1 Generalidades de la lisina.....	32
2.2.7.2 Metabolismo de la lisina.....	33
2.2.7.3 Fuentes naturales y sintéticas de lisina.....	34
2.2.7.4 La lisina y su influencia en el comportamiento productivo de pollos de engorda.....	34
2.2.8 Relación entre energía, proteína, metionina y lisina en el comportamiento de pollos de engorda.....	36
III. HIPÓTESIS.....	39
IV. OBJETIVOS.....	40
V. METODOLOGÍA.....	41
5.1 Recopilación de datos de la literatura y ensayos biológicos.....	41

5.1.1 Primer ensayo biológico.....	41
5.1.1.1 Localización.....	41
5.1.1.2 Tratamientos.....	42
5.1.1.3 Diseño experimental.....	42
5.1.1.4 Variables respuesta.....	44
5.1.1.5 Dietas.....	44
5.1.2 Segundo ensayo biológico.....	45
5.1.2.1 Localización.....	45
5.1.1.2 Tratamientos.....	45
5.1.1.3 Diseño experimental.....	46
5.1.1.4 Variables respuesta.....	47
5.1.1.5 Dietas.....	48
5.2 Estimación de parámetros de los modelos multifactoriales de regresión lineales, linealizables y no lineales.....	48
5.3 Selección de modelos de regresión.....	49
5.4 Construcción del modelo econométrico.....	49
5.5 Estimación del NOE y NOB de nutrimentos.....	52
5.6 Análisis de sensibilidad.....	52
VI. RESULTADOS.....	53
6.1 Análisis de varianza.....	53
6.2 Análisis de regresión.....	63

6.3 Selección de modelos de regresión.....	66
6.4 Estimación de los NOE y NOB de nutrimentos.....	67
6.5 Análisis de Sensibilidad.....	70
VII. DISCUSIÓN.....	73
7.1 NOB de metionina y lisina (Experimento 1) y de energía y metionina (Experimento 2) basados en el análisis de varianza.....	73
7.2 Análisis de regresión y selección de modelos.....	78
7.3 Estimación y comparación de los NOE y NOB de nutrimentos basados en modelos de regresión y modelos econométricos.....	80
7.4 Análisis de Sensibilidad.....	83
VIII. CONCLUSIONES.....	86
IX. LITERATURA CITADA.....	87

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Consumo de insumos agrícolas para la avicultura.....	8
Cuadro 2. Precios promedio mensual por tonelada de algunos ingredientes.....	9
Cuadro 3. Niveles óptimo biológicos (NOB) de energía, proteína, metionina y lisina en dietas para pollo de engorda.....	11
Cuadro 4. Niveles óptimo económicos (NOE) de energía proteína, metionina y lisina para situaciones específicas en dietas para pollo de engorda.....	12
Cuadro 5. Energía Metabolizable de fuentes energéticas que varían dependiendo de los ácidos grasos saturados que contienen y la edad de pollos de engorda.....	21
Cuadro 6. Composición de fuentes proteicas comúnmente usadas en aves.....	26
Cuadro 7. Ingredientes ricos en metionina (%)......	30
Cuadro 8. Ingredientes ricos en lisina (%)......	34
Cuadro 9. Diseño de tratamientos para el ensayo biológico uno.....	42
Cuadro 10. Diseño de tratamientos para el ensayo biológico dos.....	46
Cuadro 11. Efectos principales para consumo de alimento (CAC), peso vivo (PV) y conversión alimenticia (CA) a los 21 días de edad de pollos con diferentes niveles de metionina y lisina en la dieta.....	53
Cuadro 12. Consumo de alimento (g) a los 21 días de edad en pollos alimentados con diferentes combinaciones de metionina y lisina en la dieta.....	55
Cuadro 13. Peso vivo (g) a los 21 días de edad en pollos alimentados con diferentes combinaciones de metionina y lisina en la dieta.....	55
Cuadro 14. Conversión alimenticia a los 21 días de edad en pollos alimentados con diferentes combinaciones de metionina y lisina en la dieta.....	55

Cuadro 15. Efectos principales para consumo de alimento (CAC), ganancia de peso (GP) y conversión alimenticia (CA) en el periodo de 22 a 49 días de edad de pollos alimentados con diferentes niveles de metionina y lisina en la dieta.....	56
Cuadro 16. Consumo de alimento (g) en el periodo de 22 a 49 días de edad en pollos alimentados con diferentes combinaciones de metionina y lisina en la dieta.....	57
Cuadro 17. Ganancia de peso (g) en el periodo de 22 a 49 días de edad en pollos alimentados con diferentes combinaciones de metionina y lisina en la dieta.....	57
Cuadro 18. Conversión alimenticia en el periodo de 22 a 49 días de edad en pollos alimentados con diferentes combinaciones de metionina y lisina en la dieta.....	57
Cuadro 19. Efectos principales para consumo de alimento (CAC), peso vivo (PV) y conversión alimenticia (CA) a los 21 días de edad de pollos con diferentes niveles de energía y metionina en la dieta.....	58
Cuadro 20. Consumo de alimento (g) a los 21 días de edad en pollos alimentados con diferentes combinaciones de energía y metionina en la dieta.....	60
Cuadro 21. Peso vivo (g) a los 21 días de edad en pollos alimentados con diferentes combinaciones de energía y metionina en la dieta.....	60
Cuadro 22. Conversión alimenticia a los 21 días de edad en pollos alimentados con diferentes combinaciones de energía y metionina en la dieta.....	60
Cuadro 23. Efectos principales para consumo de alimento (CAC), ganancia de peso (GP) y conversión alimenticia (CA) en el periodo de 22 a 49 días de edad de pollos alimentados con diferentes niveles de energía y metionina en la dieta.....	61
Cuadro 24. Consumo de alimento (g) en el periodo de 22 a 49 días de edad en pollos alimentados con diferentes combinaciones de energía y metionina en la dieta.....	62

Cuadro 25. Ganancia de peso (g) en el periodo de 22 a 49 días de edad en pollos alimentados con diferentes combinaciones de energía y metionina en la dieta.....	62
Cuadro 26. Conversión alimenticia en el periodo de 22 a 49 días de edad en pollos alimentados con diferentes combinaciones de energía y metionina en la dieta.....	62
Cuadro 27. Niveles optimo biológicos de energía, proteína metionina y lisina encontrados a partir del análisis de varianza.....	63
Cuadro 28. Análisis de regresión para consumo de alimento y peso vivo a los 21 días de edad en pollos alimentados con diferentes niveles de metionina y lisina en la dieta.....	64
Cuadro 29. Análisis de regresión para consumo de alimento y ganancia de peso en el periodo de 22 a 49 días de edad en pollos alimentados con diferentes niveles de metionina y lisina en la dieta.....	64
Cuadro 30. Análisis de regresión para consumo de alimento y peso vivo a los 21 días de edad en pollos alimentados con diferentes niveles de energía y metionina en la dieta.....	64
Cuadro 31. Análisis de regresión para consumo de alimento y peso vivo en el periodo de 22 a 49 días de edad en pollos alimentados con diferentes niveles de energía y metionina en la dieta.....	65
Cuadro 32. Cuadrado medio del error (CME) de los modelos de regresión utilizados para consumo de alimento.....	67
Cuadro 33. Cuadrado medio del error (CME) de los modelos de regresión utilizados para peso vivo.....	67
Cuadro 34. Niveles optimo biológicos y económicos de cuatro nutrimentos para tres etapas de producción en pollo de engorda.....	68
Cuadro 35. Dietas con los NOB de nutrimentos para cada una de las etapas.....	69
Cuadro 36. Dietas con los NOE de nutrimentos para cada una de las etapas.....	69

Cuadro 37. Análisis de sensibilidad para el nivel óptimo económico (NOE) de cuatro nutrimentos en tres etapas de producción al variar el precio del pollo.....	71
Cuadro 38. Análisis de sensibilidad para el nivel óptimo económico (NOE) de cuatro nutrimentos en tres etapas de producción al variar el precio del sorgo.....	71
Cuadro 39. Análisis de sensibilidad para el nivel óptimo económico (NOE) de cuatro nutrimentos en tres etapas de producción al variar el precio de la pasta de soya.....	71
Cuadro 40. Análisis de sensibilidad para el nivel óptimo económico (NOE) de cuatro nutrimentos en tres etapas de producción al variar el precio de la DL-Metionina.....	72
Cuadro 41. Análisis de sensibilidad para el nivel óptimo económico (NOE) de cuatro nutrimentos en tres etapas de producción al variar el precio de la HCl-Lisina.....	72

ÍNDICE DE GRÁFICAS Y FIGURAS

	Página
Gráfica 1. Precios de pollo en pie.....	5
Gráfica 2. Producción de alimento balanceado por especie en México.....	7
Figura 1. Estructura de la metionina.....	28
Figura 2. Estructura de la lisina.....	32

ÍNDICE DE ANEXOS

	Página
Anexo 1. Gráficas de consumo de alimento y peso vivo a partir de niveles de metionina y lisina (Experimento 1) o energía y metionina (Experimento 2) en la dieta.....	95
Gráfica 1. Consumo de alimento acumulado a los 21 días de edad Experimento 1.....	95
Gráfica 2. Peso vivo final a los 21 días de edad Experimento 1.....	95
Gráfica 3. Consumo de alimento en el periodo de 22 a 49 días de edad Experimento 1.....	96
Gráfica 4. Ganancia de peso en el periodo de 22 a 49 días Experimento 1.....	96
Gráfica 5. Consumo de alimento acumulado a los 21 días de edad Experimento 2.....	97
Gráfica 6. Peso vivo final a los 21 días de edad Experimento 2.....	97
Gráfica 7. Consumo de alimento en el periodo de 22 a 49 días de edad Experimento 2.....	98
Gráfica 8. Ganancia de peso en el periodo de 22 a 49 días Experimento 2.....	98
Anexo 2. Composición de las dietas experimentales.....	99
Cuadro 1. Composición de las dietas experimentales del experimento uno en la etapa de iniciación 1 a 21 días.....	99
Cuadro 2. Composición de las dietas experimentales del experimento uno en la etapa de finalización 22 a 49 días.....	100
Cuadro 3. Composición de las dietas experimentales del experimento dos en la etapa de iniciación 1 a 21 días.....	101
Cuadro 4. Composición de las dietas experimentales del experimento dos en la etapa de finalización 22 a 49 días.....	102

Anexo 3. Parámetros de los modelos de regresión utilizados para la construcción de los modelos econométricos.....	103
Cuadro 1. Parámetros estimados para consumo de alimento.....	103
Cuadro 2. Parámetros estimados para peso vivo final.....	104

I. INTRODUCCIÓN

La preparación de alimentos balanceados para animales en México, se basa en la formulación de mínimo costo, este método consiste en minimizar el costo de la dieta con niveles de nutrimentos donde el animal expresa su máximo nivel productivo, a dichos niveles se les conoce como niveles óptimo biológicos (NOB). Sin embargo, recientemente se ha investigado el método de formulación de máxima utilidad. Este método es un procedimiento donde se usan diferentes niveles de nutrimentos conocidos como niveles óptimo económicos (NOE) que varían de acuerdo al precio del pollo finalizado y de los ingredientes. Este procedimiento de formulación tiene la ventaja de que considera las utilidades del productor y las maximiza. Debido a que en México existe una gran variabilidad en el precio de venta del pollo finalizado y de los ingredientes para la formulación de alimentos puede ser de mucha utilidad y justificable la formulación de máxima utilidad (González, 1994).

Es importante recalcar que la forma tradicional de formulación de mínimo costo es una metodología útil, y que una de sus principales desventajas es que no considera el máximo beneficio económico para el productor. Sin embargo, bajo las condiciones actuales donde se exige la máxima eficiencia productiva y económica, es necesario perfeccionar la metodología de formulación de máxima utilidad para obtener el máximo beneficio económico del sistema de producción animal.

En el contexto de formulación de máxima utilidad, se han hecho investigaciones con el objetivo de conocer los NOE de algunos nutrimentos como: lisina (Callejas y Luis,

1996; Barrera, 1998) energía, proteína (Mota y Salinas, 1999) y metionina (Chávez y Ovando, 1999) para poder utilizarlos en la formulación de máxima utilidad.

En la actualidad no existe un modelo que integre los NOE de los nutrimentos estudiados (energía, proteína, metionina y lisina) para estimar parámetros como consumo de alimento y ganancia de peso que maximicen utilidades. Un modelo multifactorial tiene como beneficio que los principales nutrimentos en una dieta para pollo de engorda varían en función del NOE de cada uno de ellos hasta encontrar la máxima utilidad. Un modelo unifactorial es aquel donde se considera el NOE de un nutrimento de la dieta para formular hasta encontrar la máxima utilidad. En el modelo unifactorial se tiene una dieta basal y un nutrimento que varía su nivel. Un modelo multifactorial es aquel donde el NOE de los nutrimentos se estima simultáneamente, en este modelo la dieta basal desaparece porque varios nutrimentos varían.

En el presente trabajo se estimaron los niveles óptimo biológicos y económicos de energía, proteína, metionina y lisina a partir de modelos multifactoriales. Además se realizó un análisis de sensibilidad para conocer el efecto de la variación de los precios de ingredientes y del pollo finalizado sobre el comportamiento de los NOE.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 MARCO CONTEXTUAL

2.1.1 Situación actual de la avicultura.

La actividad avícola es una de las ramas pecuarias más importantes en nuestro país, ya que representa el 57% del total de la producción pecuaria nacional. Prueba de esto es que nuestro país ocupa el quinto lugar como productor de carne de pollo a nivel mundial, además es uno de los principales productores de Latinoamérica, después de Brasil (Unión Nacional de Avicultores, 1998).

Actualmente la industria avícola 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 (SAGAR, 1998). 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 (González, 1994). Además de mejorar aspectos técnicos entre ellos disminuir enfermedades como síndrome ascítico que causa pérdidas considerables dentro de la actividad (Mercado, 1994).

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 (De la Fuente *et al.*, 1992). Durante el periodo de 1972 a 1995 la producción de carne de pollo

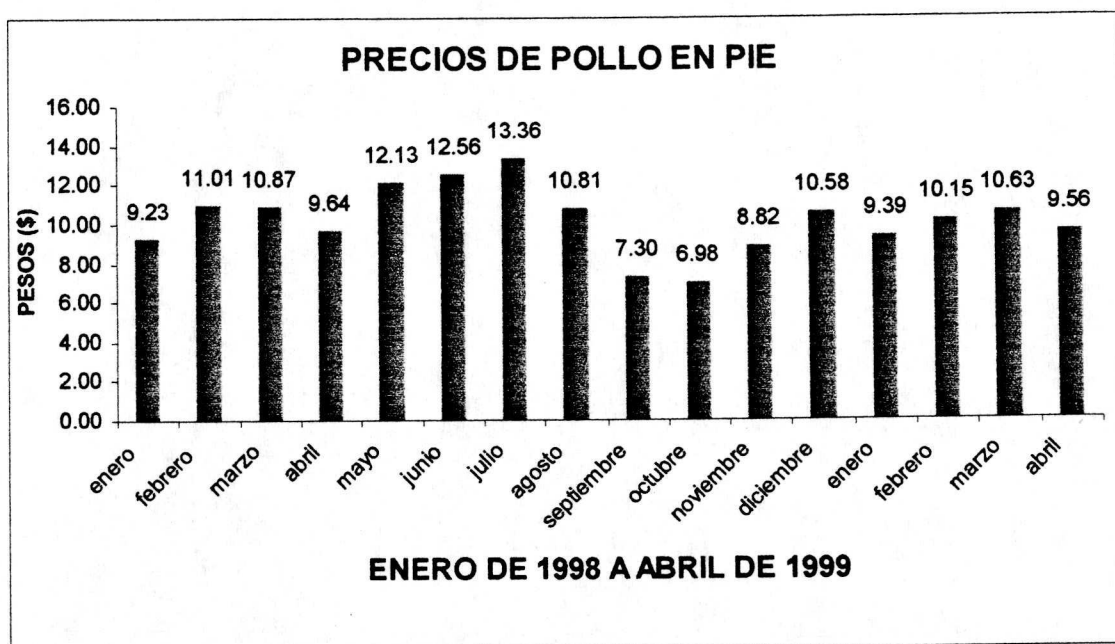
creció a una tasa anual de 8.59 % y el consumo per-cápita paso en 1972 de 3.975 kg a 15.7 kg en 1995 (Alonso y Domínguez, 1997). Este acelerado crecimiento y ampliación de la capacidad productiva, se debe en parte al incremento en la demanda, ocurrida por el desplazamiento de otros alimentos de origen animal debido a su menor precio relativo en comparación con las carnes bovina y porcina. Aunado a la creciente preferencia de carnes blancas por rojas (De la Fuente *et al.*, 1992).

La avicultura de carne participó con 18.51% en el PIB pecuario, además con el 28% de la producción pecuaria en 1998 (Unión Nacional de Avicultores, 1998). Es de importancia mencionar que la avicultura de carne es la única rama pecuaria que presenta ESPS (Subsidios) positivos, sin afectarse con las políticas de control de precios (De la Fuente *et al.*, 1992).

El año de 1998 fue de crecimiento total para la avicultura mexicana, la producción de pollo registró un incremento del 6.2%, el consumo per cápita de pollo creció 4.43%. En tanto la parvada nacional registró un crecimiento de 8.11% y los empleos que genera la avicultura crecieron 4.93% respecto al año anterior (Unión Nacional de Avicultores, 1999).

Para el año de 1998 el volumen de la producción de pollo de engorda en México fue de 1 586 841 ton, con un valor de 16 344 462 millones de pesos, con lo anterior se tuvo un incremento de 20.44% del valor de la producción respecto a 1997 (Unión Nacional de Avicultores, 1999).

Los precios promedio de pollo de 1990 a 1996, pasaron de \$3.61/kg a \$8.80/kg, lo que represento un incremento acumulado de 154%, en tanto que la carne en canal evolucionó de \$4.73/kg a \$9.96/kg, con un incremento de 104% (SAGAR, 1998). En la Gráfica 1, se presentan los precios de pollo en pie para 1998 y parte de 1999, es claro que existe variación con alzas y caídas a lo largo del año. Según la SAGAR (1998), un factor que ha sido determinante en el comportamiento de los precios es el propio desarrollo del precio de los insumos alimenticios empleados para la engorda de aves, los cuales en su conjunto representan aproximadamente el 65% de los costos de producción.



Gráfica 1. Precios de pollo en pie
UNA. GEE 1999.

Cuando se calculó los precios constantes (deflactados) para las aves en pie y en canal, se observó que ambos han disminuido en términos reales de enero de 1990 a diciembre de 1996, en 28.8% y 41.2% respectivamente (SAGAR, 1998).

Los cambios que ocurren en el comportamiento de los precios del pollo (Gráfica 1), justifica probar la hipótesis de que el precio del pollo afecta el NOE de nutrientes, con esto se debe pensar que la formulación de raciones, se debe ajustar de acuerdo a la variabilidad de precios para constantemente maximizar las utilidades del productor en los diferentes ciclos productivos a lo largo del año.

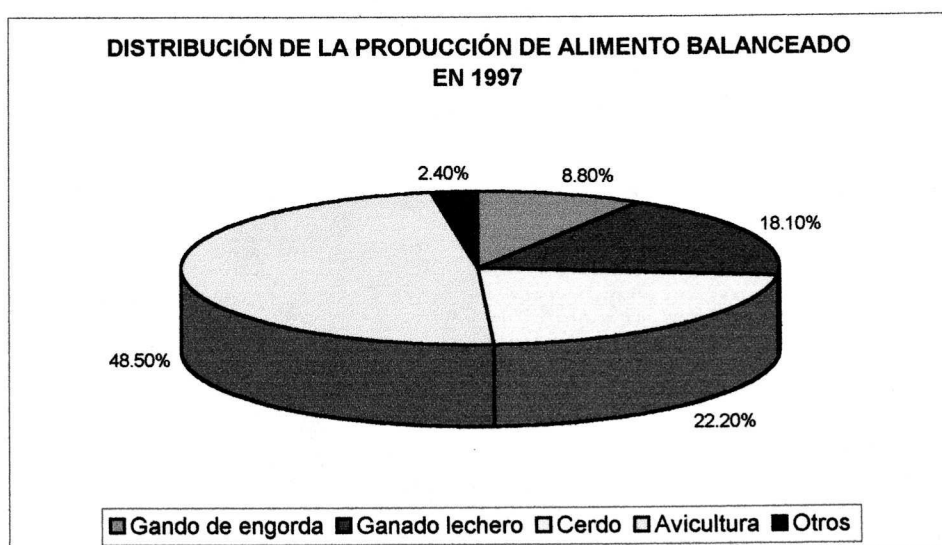
2.1.2 Situación actual de la industria de alimentos balanceados.

La industria de alimentos balanceados en México, debe de 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, trajo la detención de este crecimiento que se venía dando desde 1988, y hasta 1995, ya que para el año siguiente la producción nacional se vió disminuida pero afortunadamente hacia finales de ese mismo año y durante 1997 ha mostrado una tendencia alcista en la producción (CANACINTRA, 1998).

En el año de 1997 la capacidad de producción fue de 20 millones de ton con 360 plantas, aunque solo se produjeron 14.8 millones de tn, lo que indica que la utilización del total de la capacidad instalada llegó a 74% y el 26% permaneció ociosa (CANACINTRA, 1998).

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 Gráfica 2.



**Gráfica 2. Producción de alimento balanceado por especie en México.
CANACINTRA, 1998**

Las importaciones de alimentos en la presente década ha estado entre los rangos de 300,000 y 700,000 ton, siendo el año de 1994, donde se ha importado 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 estas fueron tan sólo 146,800 ton lo cuál no representó ni el 1% del consumo total (CANACINTRA, 1998). Sin embargo, González (1995) 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 de carne de pollo es gran demandante de insumos alimenticios de alta calidad, ya sean de producción nacional o importados, ya que absorbe 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 (SAGAR, 1998). 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 necesidad de materias primas para la elaboración del alimento necesario en tan solo un año. Según la SAGAR (1998) y basándose en el Programa de Producción Pecuaria 1997 se estima que la avicultura de carne requiere 3 millones de toneladas de granos forrajeros y 1 millón de toneladas de pastas de oleaginosas. Se estima que esto representa el 22.6% de la demanda pecuaria de granos y el 36% de la de pastas oleaginosas.

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
Pasta 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 de alimento balanceado	8,934,332.5	9,623,689.4	7.72

Unión Nacional de Avicultores, 1999.

La producción agrícola y en especial la de granos básicos es importante para la economía del país, esto porque de esta actividad depende 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 (CANACINTRA, 1998).

En el Cuadro 2 se presentan los precios de los principales ingredientes utilizados en las dietas para pollos de engorda, 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. Lo anterior es la pauta para nuevamente recalcar que es necesario ajustar los niveles de nutrimentos para obtener la máxima utilidad para el productor basándose en un método de formulación de máxima utilidad, y tomar las decisiones lo más acertadamente posible.

Cuadro 2. Precios promedio mensual por tonelada de algunos ingredientes.

Ingrediente	Ago-97	Sep-97	Oct-97	Nov-97	Dic-97	Ene-98	Feb-98	Mar-98	Abr-98
Maiz	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.

2.1.3 Posible impacto de la formulación de máxima utilidad sobre los ingresos extras de los avicultores (Justificación).

Debido a la variabilidad existe de precios de venta del pollo y de los ingredientes, en nuestro país que anteriormente fue demostrada es justificable la formulación de máxima utilidad, además de que esta es ideal bajo estas condiciones (González, 1994).

Considerando que al aplicar la formulación de máxima utilidad se obtuviera un incremento en la utilidad de \$0.10/ pollo, en un mediano productor que tuviera 400,000 pollos/ciclo obtendría un ingreso extra de \$ 40,000 por el simple hecho de aplicar la metodología de formulación de máxima utilidad. Si se considera que esta metodología de formulación se usara en todo el país se podrían obtener ingresos extras de \$16,620,000 por ciclo (considerando 166 200 000 pollos de engorda por ciclo).

2.2 MARCO CONCEPTUAL

2.2.1 Niveles óptimo biológicos (NOB) y económico (NOE) de nutrimentos.

El nivel óptimo biológico (NOB), de algún nutrimento es aquel nivel de este, con el cual el animal expresa su máximo potencial productivo como máxima ganancia de peso, baja conversión alimenticia y mínima mortalidad. Tradicionalmente el NOB, se ha utilizado para la formulación de mínimo costo donde se busca el mejor desarrollo productivo de los animales, a partir de una dieta que contenga estos niveles al menor costo posible. Algunos valores del NOB para diferentes nutrimentos se muestran en el Cuadro 3. En cambio el nivel óptimo económico (NOE) de los nutrimentos es aquel donde el productor maximiza sus utilidades (González, 1994). El NOE es específico para cada situación de producción y algunos valores encontrados por diferentes autores se presentan en el Cuadro 4.

El mayor beneficio económico para el productor (máxima utilidad), está en función de los ingresos que obtengan de la venta del pollo finalizando menos los costos de producción (costo del alimento principalmente), esta máxima utilidad depende directamente del NOE de los nutrimentos, el cual es diferente al NOB según varios autores, Callejas y Luis (1996) encontraron que el NOB y el NOE para lisina es diferente en pollos de engorda, resultados similares encontraron Martínez y Medina (1995), para treonina y triptófano.

Cuadro 3. Niveles óptimo biológicos (NOB) de energía, proteína, metionina y lisina en dietas para pollo de engorda.

FUENTE	ETAPA (Días)	ENERGÍA (Kcal/kg)	PROTEÍNA (%)	MET. (%)	MET. + CIS. (%)	LISINA (%)
Avila y Cuca (1971)	7-28	2865	20	--	--	1.07
NRC (1984)	1-21	3200	23	0.50	0.93	1.20
	22-42	3200	20	0.38	0.72	1.00
	43-56	3200	18	0.32	0.60	0.85
Halpin (1992) (machos)	1-21	--	--	--	0.87	1.18
	22-42	--	--	--	0.81	1.02
	43-52	--	--	--	0.67	0.77
Halpin (1992) (hembras)	1-21	--	--	--	0.87	1.10
	22-42	--	--	--	0.73	0.97
	43-52	--	--	--	0.60	0.73
Summers <i>et al.</i> , (1992)	1-21	3082	23.2	--	--	1.38
		3286	23.0	--	--	1.39
NRC (1994)	1-21	3200	23	0.50	0.90	1.10
	22-42	3200	20	0.38	0.72	1.00
	43-56	3200	18	0.32	0.60	0.85
Morales y Avila (1994)	1-21	--	--	--	--	0.90
Callejas y Luis (1996)	1-21	--	--	--	--	1.2494
						1.3966
Cuca <i>et al.</i> , (1996)	1-28	3000-3200	21-23	0.48	0.90	1.25
	29-56	3000-3200	18-20	0.38	0.71	1.00
Barrera (1998)	1-21	--	--	--	--	1.139
Mota y Salinas (1999)	1-21	3079	22.8	--	--	--
Chavez y Ovando (1999)	1-18	--	--	0.5732	--	--

Cuadro 4. Niveles óptimo económicos (NOE) de energía, proteína, metionina y lisina para situaciones específicas en dietas para pollo de engorda.

FUENTE	ETAPA (Días)	ENERGÍA (kcal/kg)	PROTEÍNA (%)	MET (%)	MET.+ CIS. (%)	LISINA
González <i>et al.</i> (1992)	28-56	3102	21.3	--	0.71	--
Wagner (1993)	14-38	3200	22.0	0.47-0.49	0.83-0.85	--
González y Pesti (1994)	1-18	3200	23.0	0.6776	1.033	--
Callejas y Luis (1996)	1-21	--	--	--	--	1.2729 a 1.4067
Barrera (1998)	1-21	--	--	--	--	1.135
Mota y Salinas (1999)	1-21	2984	22.6	--	--	--
Chavez y Ovando (1999)	1-21	--	--	0.5986 a 0.6018	--	--

La teoría microeconómica fundamenta el concepto de NOB de nutrimentos en la dieta desde el punto de vista de la ley de rendimientos decrecientes. De acuerdo a la mencionada ley el NOB es el punto máximo en la curva del producto total en función de la variación del insumo (nivel de nutrimento en la dieta). Al variar el nivel de nutrimento en la dieta varía el producto total (ganancia de peso) de los pollos hasta llegar a un máximo (NOB) después la curva que explica esta función empieza a declinar al seguir aumentando el nivel de nutrimento en la dieta. Algebraicamente el NOB se obtiene a partir de la función de producción que representa el fenómeno y esta en el nivel en que la derivada de la función con respecto al nivel de nutrimento vale cero. El NOE y el NOB pueden coincidir cuando el producto marginal es constante a los aumentos en el nivel de nutrimento en la dieta hasta el punto donde se alcanza el valor máximo del producto total (NOB). Situación no muy factible en un proceso biológico ya que las respuestas no son lineales al aumento de nutrimento de la dieta a lo largo de la función de producción. Por el contrario el NOE y NOB no coinciden si a cantidades crecientes del nutrimento en la dieta el producto marginal (aumento en el producto total debido a un aumento en una unidad del nutrimento con respecto al nivel anterior) va

disminuyendo hasta llegar a cero. Bajo esta situación el NOE es menor al NOB, porque el aumento en una unidad de nutrimento la respuesta a este en la ganancia de peso (producto total) va decreciendo y el costo de la unidad de nutrimento permanece constante (Ferguson y Gould, 1992; Parkin, 1995).

2.2.2 Niveles óptimo económico (NOE) y variabilidad de precios.

El NOE de los nutrimentos es característico para cada explotación avícola. El productor puede variar los niveles de nutrimentos conforme a su disponibilidad y/o precio de los ingredientes que los proveen, esto si tiene la opción de variar el peso del pollo en pie o procesado conforme a la demanda y precios en el mercado, con la finalidad de maximizar las utilidades. Condición que es factible en México, donde gran parte de la comercialización del pollo, esta en un contexto de libre mercado, donde los precios varían conforme a la oferta y la demanda (González, 1994).

Los NOE de nutrimentos no son los mismos para todas las situaciones, como se mencionó anteriormente dependen de la variabilidad de precios (venta del pollo e ingredientes) que son particulares para cada empresa, por lo tanto estos deben ser calculados para cada situación (González, 1994), lo anterior coincide con Callejas y Luis (1996), quienes concluyeron que el NOE para lisina se vió influenciado por las variaciones del precio del pollo de engorda y los ingredientes bajo las condiciones de su trabajo de investigación.

2.2.3 Modelos unifactoriales vs modelos multifactoriales en la formulación de máxima utilidad.

En la producción de pollo de engorda muchos factores influyen en las utilidades que pueda generar esta industria. Muchas de las decisiones se hacen a través de la experiencia, intuición o de recomendaciones de asesores. Los modelos de crecimiento proveen un mecanismo a través del cual estos factores pueden ser identificados científicamente y con esto ayudar en la toma de decisiones más acertadamente (Harlow y Ivey, 1994).

La integración de la información acerca de las características del ave, de la dieta y el medio ambiente puede ser usada en modelos de simulación para predecir el consumo de alimento y ganancia de peso de las aves. Con estos modelos es posible determinar el método más eficiente para alimentar a los pollos en determinadas condiciones económicas, esta es solo una de las bondades de los modelos de simulación que pueden aprovechar los nutriólogos (Gous, 1998).

Un modelo multifactorial es aquel que considera varios factores (energía, proteína, metionina y lisina) para predecir una variable de interés (peso vivo o consumo de alimento). Por el contrario un modelo unifactorial es un modelo que considera solo un factor para predecir una variable de interés.

En la formulación de máxima utilidad, basada en requerimientos variables, se requiere crear modelos de regresión para predecir consumo de alimento y ganancia de peso a partir de niveles de nutrimentos en la dieta. Con ayuda de estas regresiones se genera un

modelo econométrico y la programación no lineal determina el nivel de nutrientes que maximizan utilidades (González y Orozco, 1996).

En la actualidad los trabajos de investigación se han hecho considerando un nutrimento principalmente (modelos unifactoriales) y de ahí se estiman ganancia de peso (GP) y consumo de alimento (CA) para maximizar utilidades (Wagner, 1993; González *et al.*, 1994; Callejas y Luis, 1996; Martínez y Medina, 1995; Barrera, 1998). Los modelos que se han utilizado para estimar los parámetros mencionados son los siguientes:

1) Modelo "lineal" (Steel y Torrie, 1985)

$$CA, GP = \beta_0 + \beta_1 (\text{lisina}) + \text{Error}$$

2) Cuadrático (Steel y Torrie, 1985)

$$CA, GP = \beta_0 + \beta_1 * Lis + \beta_2 (lis * lis) + \text{Error}$$

3) Lineal con meseta (Morris y Blackburn, 1982)

$$CA, GP = MAX + RC * (REQ - lis) * I + \text{Error}$$

4) Cuadrático con meseta (Gallan y Fuller, 1973)

$$CA, GP = MAX + RC * (REQ - lis)^2 * I + \text{Error}$$

5) Logístico (Guardabasso *et al.*, 1987)

$$CA, GP = \{ [A - D / 1 + (lis/C)^B] \} + D + \text{Error}$$

6) Exponencial (Noll *et al.*, 1984)

$$CA, GP = \beta_0 + \beta_1 * (1 - e^{(-\beta_2 * lis)}) + Error$$

7) Exponencial (Wood, 1979)

$$CA, GP = a * lis^B * (e^{(-c * lis)}) + Error$$

8) Exponencial (Sikka, 1950)

$$CA, GP = a * e^{(-b * lis * (c * lis * lis))} + Error$$

9) Exponencial (Brody *et al.*, 1923)

$$CA, GP = a * (e^{(b * lis)} + Error$$

10) Exponencial (Cooby y Le Du, 1978)

$$CA, GP = a * (1 - e^{(-c * lis)}) - b * lis + Error$$

En donde β_0 representa el intercepto, β_1 , β_2 , β_3 , **MAX**, **RC**, **REQ**, **A**, **B**, **C** y **D** fueron los parámetros a estimar y **e** una constante.

Sin embargo, **CA** y **GP** probablemente pueden predecirse de una mejor manera; si en lugar de usar modelos unifactoriales, se utiliza para su predicción un modelo multifactorial que de manera simultánea considere dos o más nutrimentos. Un modelo multifactorial que incluya energía, proteína, metionina y lisina podría estimar mejor estos parámetros y así obtener una formulación de máxima utilidad más precisa, real y con aplicación práctica; sin embargo, aún falta evidencia para asegurar lo anterior. Al

utilizar un modelo multifactorial, podemos variar los principales nutrimentos de la dieta, con esto la dieta basal que se generaba en un modelo unifactorial desaparece. La representación de lo anterior se puede observar en las siguientes funciones:

$$GP = f(\text{Energía, proteína, metionina y lisina})$$

$$CA = g(\text{Energía, proteína, metionina y lisina})$$

2.2.4 Energía

2.2.4.1 Importancia de la energía en nutrición de aves

Para realizar sus funciones vitales y de producción las aves requieren de un combustible adecuado. Los sistemas no biológicos pueden utilizar la energía calorífica para realizar trabajo, pero los sistemas biológicos son isotérmicos y emplean la energía química para el proceso de la vida (Murray *et al.*, 1994). La energía no es un nutrimento, pero es una propiedad de ellos cuando son oxidados en el metabolismo (NRC, 1994).

El valor de energía es la característica más importante dentro de una dieta. Es el mayor constituyente de la dieta, ya que el 75 a 85% de los nutrimentos dentro de una dieta están designados para suplir la energía al ave. La energía puede llegar a ser el primer nutrimento limitante que inhiba la expresión de los demás como aminoácidos, vitaminas y minerales, debido a una falta de ingesta o a las limitaciones físicas de la capacidad digestiva del ave (Mann, 1999).

2.2.4.2 Metabolismo energético

Según el NRC (1994) la energía metabolizable (EM) es el valor de energía más comúnmente utilizado en aves. La EM es la energía bruta (EB) de la dieta menos la energía bruta de las heces, orina y gases producto de la digestión. La determinación de la energía de los gases es difícil y a la vez de poca importancia para las aves. Además las aves excretan conjuntamente heces y orina, por ello la EM en aves se calcula de la siguiente forma:

$$\text{EM} = \text{EB (MS consumida)} - \text{EB (MS excretada)}$$

Donde:

MS es la materia seca.

Los carbohidratos son constituyentes importantes del alimento y los tejidos animales. La glucosa es el carbohidrato más importante, ya que casi todo el carbohidrato de los alimentos se convierte a glucosa y esta es la principal fuente de energía de los no rumiantes (Murray *et al.*, 1994).

La digestión de los carbohidratos comienza con la enzima amilasa salival seguida por la amilasa pancreática en el intestino. Los oligosacáridos y maltosa resultantes junto con otros disacáridos de los alimentos son atacados por hidrolasas específicas para formar monosacáridos en su mayor parte glucosa, fructosa y galactosa (Murray *et al.*, 1994). La absorción de estos monosacáridos es un proceso activo que utiliza una proteína transportadora específica, la fructosa es transportada más lentamente que otras,

sugiriendo un mecanismo algo diferente. Estos procesos requieren energía y iones Na^+ y K^+ (Maynard *et al.*, 1981).

Casi todos los productos de la digestión de carbohidratos, lípidos y proteínas son catabolizados a acetil-CoA a través del ciclo del ácido cítrico. La acetil-CoA puede ser utilizado para la biosíntesis de ácidos grasos de cadena larga, colesterol y otros esteroides. La glucosa proporciona esqueletos de carbono para la fracción glicerol de las grasas y para la síntesis de varios aminoácidos no esenciales. El glucógeno es la principal forma de almacenaje de carbohidratos en el cuerpo y se localiza en el hígado y músculo. La glucogenogénesis es la vía a partir de la cuál la glucosa se convierte en glucógeno y es degradado por una vía separada conocida como glucogenólisis (Murray *et al.*, 1994).

En los no rumiantes la digestión de los triglicéridos y la absorción de sus productos de hidrólisis son dependientes de las secreciones pancreáticas y biliares la primera asegura la secreción de la enzima lipasa y la segunda contribuye con las sales biliares que tiene propiedades dispersantes que favorecen las interfaces hidrosolubles y liposolubles (Reis, 1997). La lipasa pancreática hidroliza los ácidos grasos de la posición 1 y 3 de los triglicéridos. Los diferentes procesos de la digestión de los lípidos convierten a estos en derivados más polares que son capaces de interaccionar con el agua. Los lípidos que existen en el lumen intestinal están en equilibrio entre la fase de aceite y la fase micelar esto es promovido por la incorporación de sales biliares. La digestión de los monogliceridos continua y los ácidos grasos ionizados salen de la superficie de la gota de aceite para ser incorporados a las micelas. La fase micelar es transportada a la

superficie de los enterocitos para su absorción y esta se da por un proceso que no gasta energía. Mucha de la absorción se lleva a cabo en el yeyuno, y las sales biliares son absorbidas en el íleon distal (Brindley, 1984).

Las condiciones de lumen intestinal pueden afectar la digestión y absorción de algunos nutrimentos. El pH de la digesta puede influir en la absorción de los lípidos, si las condiciones son ácidas se reduce la solubilización micelar. Lo anterior es muy importante considerar cuando se utilizan ácidos orgánicos como inhibidores y aditivos que puedan modificar el pH (Leeson, 1995).

La síntesis de ácidos grasos en los pollos es a partir de glucosa o acetato y se realiza en el hígado al igual que en los humanos. En los cerdos la mayoría de la síntesis de ácidos grasos se realiza en el tejido adiposo (Leveille *et al.*, 1975).

2.2.4.3 Fuentes de energía para las aves

Los carbohidratos de la dieta son una importante fuente de energía para las aves. Los granos como maíz, sorgo, trigo y cebada contribuyen con gran cantidad de carbohidratos en la dieta de las aves. La mayoría de los carbohidratos en los cereales es el almidón que es altamente digestible para las aves. Los cereales tienen en pequeñas cantidades celulosa hemicelulosa, xilosa, arabinosa y rafinosa que el ave tiene una capacidad limitada para digerirlas (NRC, 1994).

Los lípidos son constituyentes importantes de la alimentación no solo por su elevado valor energético, sino también por las vitaminas liposolubles y los ácidos grasos

esenciales contenidos en la grasa de los alimentos naturales (Murray *et al.*, 1994). Las grasas y aceites proveen la única oportunidad de aumentar significativamente la densidad energética de la dieta de las aves. Contiene dos veces o más de energía que la mayoría de los ingredientes, mejoran la palatabilidad de ciertos ingredientes, reducen la polvosidad de las dietas y en general son fácilmente digestibles además que su digestión y metabolismo produce el mínimo de incremento calórico lo cuál es particularmente importante en situaciones de estrés calórico (Leeson, 1995). El aporte energético de las grasas a la dieta depende del nivel de grasa utilizado en la ración, la proporción de ácidos grasos del aceite y la edad del ave (Pearl, 1995), tal como se muestra en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Energía Metabolizable de fuentes energéticas que varían dependiendo de los ácidos grasos saturados que contienen y la edad de pollos de engorda.

	Energía Metabolizable (kcal/kg)	
	<u>Aves menores de 21 días</u>	<u>Aves mayores de 21 días</u>
Sebo	7400	8000
Manteca de cerdo	7600	8400
Grasa de pollo	8200	9000
Grasa de pescado	8600	9000
Aceite vegetal	8800	9200
Aceite de coco	6000	7500
Aceite de palma	7100	7300

Leeson, 1995.

2.2.4.4 Influencia de la energía en el comportamiento de las aves

Un nivel apropiado de energía en la dieta lo determina el costo de esta. El objetivo es producir una unidad de producto (kg de pollo) al menor costo posible por concepto de alimentación. En algunos lugares, donde los granos y aceites son baratos dietas altas en energía son las más apropiadas, lo contrario sucede si estos ingredientes energéticos son

caros lo mejor es usar dietas bajas en energía para no aumentar el costo de esta (NRC, 1994).

Los mecanismos fisiológicos con que el ave responde a diferentes concentraciones de energía en la dieta aún no se conocen, por lo que manejar una concentración de energía en la dieta depende de muchos factores (NRC, 1994). Se ha encontrado que los requerimientos de energía para los machos es de 5 a 10% mas alto que para las hembras, esta diferencia puede atribuirse a la diferencia en los requerimientos para mantenimiento, además las hembras requieren 13% menos alimento para mantenimiento que los machos por kilogramo de peso metabólico (Shalev y Pasternak, 1998).

Se evaluó el efecto de tres niveles de energía (2800, 3000 y 3200 kcal de EM/kg) en el comportamiento de pollos, se encontró que el nivel de energía no afecta el peso vivo y consumo de alimento a los 28 días de edad de los pollos. Entre los 28 y 56 días de edad de los pollos la ganancia de peso incrementa significativamente y el consumo de alimento y agua disminuye significativamente cuando el nivel de energía aumenta (Ayorinde, 1994). Sin embargo Leeson *et al.*, (1996) al ofrecer dietas con niveles de energía de 2700, 2900, 3100 y 3300 kcal de EM/kg *ad libitum* menciona que no se afectó la ganancia de peso y el consumo de energía fue constante concluyendo que los pollos tienen una buena habilidad para controlar el consumo de energía, sin embargo este puede disminuir o incrementar la ingestión de proteína

Jones y Wiseman (1985) al evaluar diferentes niveles de energía 10.78, 12.78 y 14.78 MJ/kg en dietas de iniciación y finalización, encontraron en la fase de iniciación (1 a 24

días) que las aves que consumieron dietas con niveles bajos de energía fueron significativamente ($P<0.05$) más ligeras y el contenido de grasa abdominal y total de la canal fue menor que las aves que consumieron dietas con el mayor contenido de energía. En la fase de finalización no se encontraron efectos significativos en el peso final, pero la cantidad de grasa abdominal y grasa total de la canal fue menor en las aves que consumieron dietas con bajos niveles de energía. Deaton *et al.* (1983) menciona que la mayor cantidad de grasa abdominal (2.29% del peso vivo) se obtiene con pollos alimentados con dietas con 3325 kcal EM/kg y con dietas con 3100 y 3175 se obtiene 1.92% de grasa abdominal. Además decrece significativamente la conversión alimenticia cuando el nivel de energía de la dieta aumenta.

2.2.5 Proteína

2.2.5.1 Importancia de la proteína en nutrición de aves

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 reposición (Maynard *et al.*, 1981). Las proteínas proveen una gran cantidad de funciones dentro del animal: son constituyentes de todos los tejidos del animal, sangre, músculos, plumas y piel. Constituye alrededor de la quinta parte del peso del ave, y aproximadamente la séptima parte del peso del huevo (Cuca *et al.*, 1996).

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 (Cuca *et al.*, 1996; Maynard *et al.*, 1981).

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 les llama residuos de aminoácidos, la adición de varios cientos de aminoácidos por este enlace peptídico covalente forman un polipeptido de cadena larga al que se le llama estructura primaria de la proteína. Los polipeptidos se ordenan posteriormente en estructura secundaria, terciaria y cuaternaria, esta última son las proteínas ya propiamente formadas (Maynard *et al.*, 1981).

La deficiencia de proteína en las aves tiene diversos efectos sobre estas, 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 y muerte (Cuca *et al.*, 1996).

2.2.5.2 Metabolismo de proteínas

La digestión de las proteínas es iniciada por la endopeptidasa pepsina en el medio ácido del estómago y continuada por otras endopeptidasas que secreta el páncreas (tripsina, quimotripsina, y elastasa) junto con la exopeptidasa carboxipeptidasa, que desprende aminoácidos sucesivos del extremo carboxilo polipeptídico. La digestión concluye con ayuda de secreciones intestinales incluyendo la exopeptidasa aminopeptidasa, más

dipeptidasas dando como resultado aminoácidos libres (Murray *et al.*, 1994) y oligopéptidos, estos últimos son absorbidos en forma directa por la mucosa intestinal donde son hidrolizados por peptidasas en aminoácidos y después transportados a la circulación portal (Maynard *et al.*, 1981).

La tasa de absorción de aminoácidos no es uniforme y sucede en los tercios proximales del intestino delgado. La absorción es de tipo activa, al igual que la de la glucosa e implica también el transporte de sodio. Los tripéptidos son absorbidos más rápido que los dipéptidos, los que a su vez se absorben en menor tiempo que los aminoácidos libres (Maynard *et al.*, 1981).

Los aminoácidos incorporados al organismo sirven para diferentes funciones como síntesis de proteínas, son catabolizados a intermediarios anfibólicos para usarse como energéticos o como sustratos para biosíntesis de carbohidratos y lípidos. Los aminoácidos además de cubrir funciones estructurales y funcionales en proteínas y polipéptidos, participan en la síntesis de productos especializados por ejemplo, la glicina participa en la biosíntesis de grupos hem, purinas y creatinina. La arginina sirve como donador de formamidina para la biosíntesis de creatinina y a través de la ornitina, participa en la biosíntesis de poliaminas. Los metabolitos importantes del triptófano incluyen a serotonina y melatonina (Murray *et al.*, 1994).

2.2.5.3 Fuentes de proteína para las aves.

Las fuentes de proteína son todos aquellos alimentos que contiene más de 20% de proteína cruda, ya sean de origen animal o vegetal (Campabadal y Navarro, 1996). En el

Cuadro 6 se presentan las principales fuentes de proteína, que pueden ser utilizadas en raciones para no rumiantes, en México la pasta de soya es la más utilizada en dietas para pollos de engorda, la cuál es rica en el aminoácido lisina y deficiente en metionina.

Cuadro 6. Composición de fuentes proteicas comúnmente usadas en aves

INGREDIENTE	PC(%)	Arg	Lis	Met	Cis	Tre	Tri
Harina de sangre	81.1	3.63	7.05	0.55	0.52	3.15	1.29
Pasta de canola	38.0	2.08	1.94	0.71	0.87	1.53	0.44
Pasta de coco	19.2	1.97	0.50	0.28	0.28	0.58	0.12
Harinolina	41.4	4.66	1.76	0.51	0.62	1.34	0.52
H. de pescado (anchoveta)	64.2	3.81	5.07	1.95	0.64	2.82	0.78
Harina de carne	54.4	3.73	3.00	0.75	0.66	1.74	0.36
Harina de carne y hueso	50.4	3.28	2.61	0.69	0.69	1.74	0.27
Harina de aves	60.0	3.94	3.10	0.99	0.98	2.17	0.37
Gluten de maíz	62.0	1.82	1.03	1.49	1.10	2.00	0.36
Pasta de cártamo	23.4	2.21	0.90	0.42	0.45	0.85	0.37
Pasta de soya-44	44.0	3.14	2.69	0.62	0.66	1.72	0.74
Pasta de soya-48	48.50	3.48	2.96	0.67	0.72	1.87	0.74
*Pasta de maní	43.20	4.79	1.48	0.50	0.50	1.16	0.41
*Pasta de girasol	33.51	2.75	1.19	0.77	0.59	1.25	0.40
*Harina de plumas	81.10	5.62	2.08	0.61	4.13	3.82	0.54

NRC (1994) y *DEGUSSA (1996).

La cantidad de aminoácidos esta expresada como % en el ingrediente.

2.2.5.4 Influencia del nivel de proteína sobre el comportamiento de pollos de engorda

El nivel de proteína tiene efectos diversos sobre los requerimientos de aminoácidos indispensables, existen diversos puntos de vista al respecto, los más importantes son los siguientes: a) el requerimiento de un aminoácido indispensable se incrementa en función de su porcentaje en la concentración de la proteína en la ración, b) existe poca necesidad de controlar el contenido de proteína en la dieta siempre y cuando se hayan satisfecho los requerimientos de los aminoácidos indispensables (Kerr, 1993).

Con dietas basadas en maíz y pasta de soya, alimentando a pollos de 1 a 21 días de edad, la proteína cruda se redujo de dos en dos unidades porcentuales. La ganancia de peso

máxima requirió 19% de proteína cruda, mientras que la eficiencia alimenticia máxima se obtuvo con 21% de proteína cruda (Adams *et al.*, 1991).

Se ha encontrado en machos de engorda Cobb de 3 a 6 semanas de edad alimentados con dietas con 16% de proteína en vez de 20%, que tuvieron una eficiencia alimenticia deficiente, la suplementación con lisina no mejoró esta situación (Stilborn *et al.*, 1990). La administración de una ración con 16% de proteína cruda suplementada con metionina y lisina de 28 a 49 días de edad, produjo un crecimiento igual al de una dieta con 20% de proteína, sin embargo la eficiencia alimenticia fue inferior y los pollos depositaron más grasa en el abdomen independientemente de la suplementación con aminoácidos limitantes (Uzu, 1982).

Variando el nivel de proteína de 17.5% a 22% con un nivel de energía de 13.18 MJ/kg la ganancia de peso se mejora de 986 a 1090g, la grasa abdominal baja de 40.7 a 35.2g y la grasa total de la canal se reduce de 140 a 118g en el periodo de 21 a 42 días (Pesti y Fletcher, 1984).

Parece ser que la suplementación adecuada de las dietas de pollos de engorda con los dos primeros aminoácidos limitantes (metionina y lisina) permite tomar la decisión de reducir la proteína a niveles aceptables basándose en la ganancia de peso, eficiencia alimenticia y la composición de la canal (Kerr, 1993)

2.2.6 Metionina

2.2.6.1 Generalidades de la metionina

Los aminoácidos son derivados de los ácidos grasos de cadena corta y contienen un grupo básico amino ($-\text{NH}_2$) y un grupo carboxilo ácido ($-\text{COOH}$) (Maynard *et al.*, 1981).

En un L- α -aminoácido los grupos amino y carboxilo están unidos al mismo carbono, solo los L- α -aminoácidos forman las proteínas, aunque en la naturaleza también existen los D-aminoácidos (Murray *et al.*, 1994).

La estructura de la metionina es presentada en la Figura 1, este se clasifica como un aminoácido con cadena lateral que contiene átomos de azufre (Murray *et al.*, 1994).

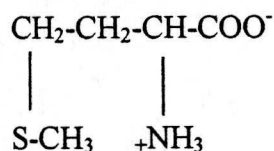


Figura 1. Estructura de la metionina.

El primer aminoácido limitante en dietas para pollo de engorda y pavos es la metionina.

La pasta de soya es la principal fuente de proteína y el maíz y sorgo la principal fuente de energía en dietas para pollos de engorda. La combinación de estos dos ingredientes crea una deficiencia de metionina en la dieta (Thomas *et al.*, 1983).

2.2.6.2 Metabolismo de la metionina

En el metabolismo de la metionina, esta primero se condensa con ATP formando S-adenosilmetionina (SAM), que es el donador más importante de grupos metilo en el ave, además el SAM se requiere para la síntesis de muchos compuestos importantes

involucrados en el crecimiento del ave como son: creatinina, carnitina, poliaminas, epinefrina, colina y melatonina. Las aves son más ineficientes que los mamíferos en sintetizar colina de fosfatidil aminoetanol. Como resultado, las aves tienen un más alto requerimiento de colina que los mamíferos. Las funciones de la colina involucran síntesis de fosfolípidos, formación de acetil colina y como betaina la remetilación de homocisteína a metionina (Baker, 1991).

Cuando los aminoácidos están en exceso a las necesidades metabólicas ocurre su catabolismo y succinil-CoA es el producto terminal anfibólico de la metionina contribuyendo para esto tres quintas partes de los carbonos de este aminoácido y sus carbonos carboxílicos forman CO₂ y el grupo metilo es eliminado como tal (Murray *et al.*, 1994).

La metionina es un aminoácido esencial en la estructura de las proteínas para la formación de tejidos como músculos, plumas o pelo, además es componente de enzimas y hormonas necesarias para el crecimiento de las aves (Thomas *et al.*, 1983). La deficiencia de este aminoácido puede causar retraso en el crecimiento, problemas de emplume y deposición de grasa en la canal (Morales y Avila, 1994).

2.2.6.3 Fuentes naturales y sintéticas de metionina

En dietas para pollos de engorda se usan como fuentes sintéticas de metionina algunos de los siguientes productos: 1) DL-metionina, 2) DL-metionina sal de sodio, 3) metionina hidroxianálogo de calcio y 4) metionina hidroxianálogo ácido libre. La DL-metionina es un compuesto cristalino que garantiza una pureza de 99% de metionina. La

DL-metionina sal de sodio su presentación es líquida (Liquimet®) y garantiza 40% de equivalente de metionina. La metionina hidroxianálogo de calcio es usada en las de pollos de engorda por varios años esta compuesta por 7% de material inerte, 82% de equivalente de metionina y 11% de calcio. La metionina hidroxianálogo ácido libre esta disponible en forma líquida (Alimet®) con 88% de equivalente de metionina y alrededor de 12% de agua (Pooter *et al.*, 1984). Los productos más importantes en la industria de alimentos balanceados son DL-metionina en polvo con 99% de metionina y metionina hidroxianálogo (MHA) que contiene 88% de una mezcla de monómero y formas poliméricas de metionina hidroxianálogo ácido libre. Los polímeros de MHA líquida tienen que ser desdoblados a monómeros, antes que puedan ser transformados a metionina (DEGUSSA, 1995).

En el Cuadro 7, se presentan algunos de los ingredientes ricos en metionina, es de importancia recalcar que la harina de pescado que es comúnmente usada en dietas para aves es una importante fuente de metionina para las aves y que el resto de los ingredientes del cuadro son poco utilizados en la práctica de producción avícola en México.

Cuadro 7. Ingredientes ricos en metionina (%)

g a.a./16 g N						
Ingrediente	Lis	Met	Cis	M + C	Tre	Trip
Mijo	1.98	3.06	1.83	4.89	3.62	1.48
Caseína	8.29	3.04	0.47	3.51	4.49	1.26
Har. de Pesc.	7.62	2.81	0.91	3.72	4.19	1.04
Har. sésamo	2.47	2.80	2.00	4.79	3.51	1.38
Arroz	3.59	2.70	2.36	5.06	3.58	1.29

DEGUSSA (1996)

2.2.6.4 La metionina y su influencia en el comportamiento productivo de pollos de engorda

Los aminoácidos sintéticos metionina y lisina se emplean desde hace varios años como aditivos en la alimentación animal, su uso ha permitido utilizar en forma óptima los ingredientes proteicos disponibles (Avila, 1992). La metionina (aminoácidos azufrados totales) y la lisina son los dos aminoácidos más limitantes para el crecimiento de las aves (Halpin, 1992).

Cuando se determinaron los requerimientos de aminoácidos azufrados totales en una dieta con 20% de PC y 3200 kcal EM/kg, en pollos de engorda durante el periodo de 3 a 6 semanas de edad, el requerimiento estimado para la máxima eficiencia alimenticia fue más alto que para máximo peso vivo. Se sugiere que el nivel de aminoácidos azufrados sea de 0.61% en términos de aminoácidos digestibles. Sin embargo realizando los ajustes para el contenido energético, la eficiencia de utilización de una dieta maíz y soya, el requerimiento debería estar alrededor de 0.72% de la dieta. Además se recomienda que la cistina digestible puede suplir no más del 52% del total de requerimientos de aminoácidos azufrados digestibles totales para pollos de 3 a 6 semanas de edad (Baker *et al.*, 1996).

Se evaluó el nivel de metionina en dietas para pollos de engorda de 1 a 18 días de edad a partir de dos fuentes de metionina (DL-Metionina y MHA-Ca) sobre las variables consumo de alimento y peso vivo, se encontró que el nivel de este aminoácido no afecta el consumo de alimento ($P>0.05$) pero si el peso vivo independientemente de la fuente

de metionina utilizado. El NOB estimado fue de .5732% de metionina en la dieta (Chávez y Ovando, 1999).

Schutte y Pack (1995) probaron diferentes niveles de metionina y aminoácidos azufrados totales sobre la productividad y características de la canal de pollos de engorda, encontrando que el requerimiento de azufrados totales es mayor para la máxima eficiencia alimenticia y rendimiento de la carne de pechuga. Estimaron un requerimiento en 0.88% para el periodo de 14 a 34 días de edad.

2.2.7 Lisina

2.2.7.1 Generalidades de la lisina

La lisina fue aislada de la caseína en 1889 por Drechsel. La producción comercial de lisina involucra aislar y desarrollar microorganismos que puedan oxidar glucosa a lisina a escala comercial (ADM, 1995).

La estructura de la lisina se presenta en la Figura 2, contiene dos grupos amino y se clasifica como un aminoácido con cadena lateral básica (Murray *et al.*, 1994).

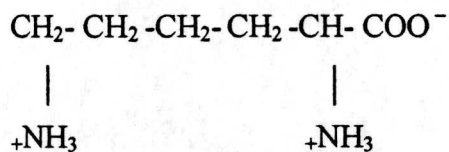


Figura 2. Estructura de la lisina.

2.2.7.2 Metabolismo de la lisina

La lisina tiene importantes funciones dentro del organismo, durante la digestión la lisina se libera principalmente por la acción de la tripsina pancreática (endocarboxipeptidasa), una vez liberada es un aminoácido indispensable para la síntesis de proteínas particularmente músculo esquelético y enzimas, además se sabe que la lisina es uno de los más abundantes aminoácidos del músculo. Es uno de los pocos aminoácidos glucogénicos y cetogénicos, es decir puede ser metabolizada para producir glucosa o cuerpos cetónicos cuando hay una deficiencia en la disponibilidad de carbohidratos. Es precursor de la carnitina, la cuál es importante en el metabolismo de los ácidos grasos. El exceso de lisina puede ser una importante fuente de energía (4600 kcal de EM/kg) y el componente que no es nitrógeno puede utilizarse en el ciclo de Krebs y oxidarse a CO₂, agua y producir ATP (ADM, 1995; Murray *et al.*, 1994; Zubay, 1988).

El exceso de lisina en la dieta, incrementa la actividad de la enzima arginasa con el consecuente aumento en la degradación de la arginina. Si la dieta contiene bajos niveles de arginina el exceso de lisina puede causar un decremento en el crecimiento de las aves, por lo que se recomienda en las dietas para pollos de engorda que el nivel de lisina no exceda en más del 20% el nivel de arginina (ADM, 1995).

Cuando los aminoácidos ocurren en exceso a las necesidades metabólicas, sus esqueletos de carbono son catabolizados a intermediarios anfibólicos para usarse como energéticos o como sustratos para biosíntesis de carbohidratos y lípidos (Zubay, 1988).

2.2.7.3 Fuentes naturales y sintéticas de lisina

Los ingredientes que son fuentes importantes de lisina se encuentran en el Cuadro 8, se considera generalmente que aumenta la compra de L-lisina sintética en la medida que se incrementa el costo de la pasta de soya o cuando baja el precio del maíz.

Cuadro 8. Ingredientes ricos en lisina (%)

Ingrediente	g a.a./16 g N					
	Lis	Met	Cis	M + C	Tre	Trip
Harina sangre	8.97	1.17	1.28	2.44	4.34	1.59
Caseína	8.29	3.04	0.47	3.51	4.49	1.26
H. sardina	8.04	2.88	0.87	3.75	4.30	----
Proteína papa	7.90	2.27	1.62	3.90	5.83	1.39
Leche en polvo	7.71	2.49	0.79	3.28	4.41	1.37

DEGUSSA (1996)

La forma cristalina comercial de la lisina es monoclórhidrato (HCl-Lisina) con una actividad de 79% sobre la base de peso.

2.2.7.4 La lisina y su influencia en el comportamiento productivo de pollos de engorda

La lisina es un aminoácido usado en el metabolismo del ave en la formación de músculo principalmente, de manera hipotética se menciona que el requerimiento de lisina para obtener un máximo rendimiento de carne de pechuga es mayor que el referente al crecimiento o a la conversión alimenticia (Halpin, 1992). La suplementación de lisina con diferentes niveles, afecta de manera significativa la composición de la canal, se ha observado que niveles crecientes de lisina reducen la grasa abdominal (Leclercq, 1998). Los niveles de lisina deberían incrementarse de un 25 a un 35% por encima de las recomendaciones del NRC (1984), para obtener un máximo rendimiento en el peso de la

carne de la pechuga en pollos de engorda machos. Con un nivel de lisina superior en un 5% a la recomendación del NRC (1984), se obtuvo el máximo peso corporal (Halpin, 1992).

Niveles de lisina de 1.3% en dietas con 23% de proteína, o de 1.2% con 20 o 22% de proteína, proporcionaron el mejor comportamiento en pollos en iniciación. Para pollos en finalización un nivel de lisina de 1.1% en dietas con 18 o 20% de proteína son adecuados para el mejor comportamiento de los pollos (Zorrilla, 1987). Al estimar el NOB y NOE de lisina en dietas para pollos de engorda de 1 a 2 días de edad, Callejas y Luis (1996) encontraron que el NOE se ubica entre 1.2729 a 1.4067% y el NOB de 1.2494 a 1.3966%.

Barrera (1998), al evaluar en la etapa de 1 a 21 días en pollos de engorda una dieta con 3200 kcal de EM/kg, y 22.5% de proteína cruda y siete niveles de lisina en la dieta (0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3 y 1.4%) encontraron que los niveles de lisina afectaron ($P < 0.05$) el consumo de alimento, ganancia de peso y eficiencia alimenticia. El máximo consumo de alimento fue a partir de 0.9% de lisina en la dieta, excepto para el nivel de 1.3% y la máxima ganancia de peso se obtuvo con niveles de 1.0 a 1.3%. El NOB estimado fue de 1.139% y el NOE de 1.135%.

Latshaw, (1993) al evaluar la respuesta de pollos de 1 a 21 días de edad a la concentración de lisina en la dieta encontró que el requerimiento de lisina para máximo peso vivo fue de 12 g/kg, los pollos que recibieron 13.9 g/kg y 14.4 g/kg respondieron negativamente.

Se determinó el requerimiento de lisina de dos líneas de pollos de engorda una de rápido crecimiento (Hubbard x Hubbard) y una de lento crecimiento (New Hampshire x Columbian) durante el periodo de 8 a 21 días de edad. Los requerimientos de lisina digestible para un máximo crecimiento fueron determinados en 1.01% en ambas líneas genéticas. La máxima conversión alimenticia se obtuvo con 1.21% de lisina digestible también en ambas líneas genéticas (Han y Baker, 1991).

2.2.8 Relación entre energía, proteína, metionina y lisina en el comportamiento de pollos de engorda

Los niveles de energía, proteína y aminoácidos en las dietas de aves son un tema aún discutido en la literatura mundial. Esto lleva al problema de la inexistencia de datos concretos con sus respectivos parámetros productivos y rendimientos económicos (Mann, 1999).

El exceso de aminoácidos no solo produce desperdicio, pues el animal no tiene la capacidad de convertirlo en proteínas para el cuerpo, sino que además se ha sugerido que deprime el rendimiento, generando una producción de carne ineficiente y antieconómica (Kerr, 1993).

Existe una relación directa entre el crecimiento del ave conforme aumentan los niveles de proteína y energía en la dieta (Kerr, 1993). Se ha encontrado al usar modelos de regresión que el crecimiento y la eficiencia de utilización del alimento dependen lineal y cuadráticamente de la energía metabolizable, y del contenido de proteína de la dieta (Pesti y Smith, 1984). Existe la hipótesis de que niveles altos de proteína pueden

incrementar el gasto de energía debido a una mayor excreción de nitrógeno y a un incremento en el peso de los órganos. De tal manera que podría haber menos energía disponible de la dieta para el anabolismo, esto resultaría en una disminución del crecimiento y de la eficiencia alimenticia (Kerr, 1993).

En un trabajo realizado por Olomu y Offiong (1980), encontraron que un nivel de proteína de 23 % y 2800 a 3000 Kcal de EM/Kg para pollos en iniciación es recomendable; mientras que para finalización los niveles adecuados fueron de 20% de proteína y 3000 Kcal de EM/Kg. Al respecto Zorrilla (1987), menciona que al aumentar la energía en la dieta, el peso de las aves se incrementa linealmente, tanto en la etapa de iniciación como en la de finalización, independientemente del nivel de proteína en la dieta, siendo aconsejable dar 3200 Kcal de EM/kg en cualquiera de las dos etapas. Además se puede disminuir el nivel de proteína en la dieta de 22 a 20% en dietas de iniciación y de 20 a 18% en la etapa de finalización, sin detrimento del crecimiento siempre y cuando se suplan cantidades adecuadas de lisina y metionina.

Abebe y Morris (1990), mencionan que los requerimientos de lisina para un máximo crecimiento o máxima eficiencia alimenticia esta en función lineal de la concentración de proteína de la dieta en un rango de 140 a 280g de proteína cruda/kg y ellos concluyen que los requerimientos de lisina de los pollos podría especificarse en proporción a la proteína de la dieta y no en relación a la dieta total.

Jeroch y Pack (1995) encontraron que el nivel de aminoácidos azufrados totales no es afectado constantemente por el nivel de proteína cruda. Al subir el nivel de 18.0% a

21.5% tiende a elevarse el requerimiento de azufrados totales para la óptima conversión alimenticia. Dietas con 18% de proteína cruda soportaron los mismos parámetros productivos que dietas con 20.4% y 21.5% de proteína cruda, asumiendo que el nivel de aminoácidos azufrados totales es adecuado.

El efecto de la suplementación con DL-Metionina y L-Lisina en dietas con 23% de proteína cruda y 3200 kcal de EM/kg (Dieta basal) en pollos de engorda de 1 a 21 días, resultó en que la ganancia de peso, consumo de alimento y eficiencia alimenticia decrecieron linealmente cuando se suplementa con niveles de DL-metionina entre 1.9 y 4.0%. La ganancia de peso de los pollos alimentados con dietas suplementadas con mas de 1.6% de L-Lisina fue menor que los pollos alimentados con la dieta basal, pero la eficiencia alimenticia no fue significativamente afectada (Han y Baker, 1993).

III. HIPÓTESIS

1. El nivel óptimo biológico de energía, proteína, metionina y lisina (EPML) que maximiza el peso vivo, no coincide con el nivel óptimo económico de EPML que maximiza las utilidades del productor, esto se debe a que el nivel de nutrimentos para obtener el máximo peso vivo (NOB) su respuesta es diferente cuando se analiza conjuntamente con consumo de alimento y ganancia de peso (NOE).

2. El nivel óptimo económico de EPML es sensible a la variación del precio de los ingredientes y del precio de venta del pollo finalizado, ya que la respuesta productiva de los animales depende directamente del nivel de nutrimentos de la dieta. Con un nivel de nutrimento se obtiene una determinada ganancia de peso de las aves (ingresos), si varia el costo de los nutrimentos pueden ajustarse a un nivel de producción para así asegurar una máxima utilidad. El precio de venta del pollo puede afectar el NOE ya que determina en gran parte los ingresos, los cuales están afectados por el nivel de producción y directamente por el nivel de nutrimentos de la dieta.

IV. OBJETIVOS

1. Estimar los niveles óptimos biológicos y económicos de EPML en el periodo de iniciación (1-21 días), desarrollo (22-42 días) y finalización (43-49 días), bajo un sistema de formulación múltiple.
2. Elaborar un análisis de sensibilidad del NOE de EPML a partir de la variación de los precios de los ingredientes y del pollo finalizado.

V. METODOLOGÍA

5.1 Recopilación de datos de la literatura y ensayos biológicos

Con la finalidad de estimar la respuesta de consumo de alimento y ganancia de peso, con diferentes niveles de energía, proteína, metionina y lisina en la dieta, se recopilieron datos de la literatura (Martínez, 1994) y de dos ensayos biológicos para crear una base de datos. La cual permite tener suficientes datos para correr diferentes modelos de regresión que ayuden a predecir ganancia de peso y consumo de alimento.

5.1.1 Primer ensayo biológico

“Diferentes niveles de metionina y lisina en las etapas de iniciación y finalización en dietas de pollo de engorda”

5.1.1.1 Localización

Se realizó en las instalaciones del Departamento de Avicultura del CENID Fisiología en el campo experimental Valle de México, ubicado en el Horno, Chapingo, México. El lugar se encuentra a una altitud de 2,250 msnm, con un clima Cb(Wo)(W)(i')g el cuál se define como el más húmedo de los templados con una temperatura promedio de 15.2 °C y con una precipitación anual de 636.5 mm (García, 1988). El experimento inició el 25 de julio y finalizó el 12 de septiembre de 1998, teniendo una duración de 49 días.

5.1.1.2 Tratamientos.

Se utilizaron 540 pollos de un día de edad sin sexar de la línea Peterson x Avian distribuidos en 15 tratamientos, con 3 repeticiones cada uno, cada repetición con 12 aves, el experimento se realizó en jaulas en batería par cría y desarrollo.

Cuadro 9. Diseño de tratamientos para el ensayo biológico uno.

Tratamientos	Iniciación				Finalización			
	EM	PC	Met	Lis	EM	PC	Met	Lis
1	3000	20	0.35	0.9	3000	18	0.30	0.82
2	3000	20	0.43	0.9	3000	18	0.34	0.82
3	3000	20	0.50	0.9	3000	18	0.38	0.82
4	3000	20	0.58	0.9	3000	18	0.42	0.82
5	3000	20	0.65	0.9	3000	18	0.46	0.82
6	3000	20	0.35	1.1	3000	18	0.30	1.00
7	3000	20	0.43	1.1	3000	18	0.34	1.00
8	3000	20	0.50	1.1	3000	18	0.38	1.00
9	3000	20	0.58	1.1	3000	18	0.42	1.00
10	3000	20	0.65	1.1	3000	18	0.46	1.00
11	3000	20	0.35	1.3	3000	18	0.30	1.18
12	3000	20	0.43	1.3	3000	18	0.34	1.18
13	3000	20	0.50	1.3	3000	18	0.38	1.18
14	3000	20	0.58	1.3	3000	18	0.42	1.18
15	3000	20	0.65	1.3	3000	18	0.46	1.18

EM. Energía metabolizable en kcal/kg

PC. Proteína cruda en % de la dieta.

Met. Metionina en % de la dieta.

Lis. Lisina en % de la dieta.

El periodo de iniciación comprendió de 1 a 21 días, mientras que el periodo de finalización fue de 22 a 49 días. La presentación del alimento fue en harina y se ofreció *ad libitum*.

5.1.1.3 Diseño experimental.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con un arreglo factorial de 5x3. Se empleo el siguiente modelo estadístico para el análisis de los resultados con el

objetivo solo de conocer el efecto global de los tratamientos sobre las variables respuesta.

$$Y_{ij} = \mu + M_i + L_j + ML_{ij} + E_{ijk}$$

Donde:

Y_{ij} = Variable respuesta.

μ = Media general.

M_i = Efecto del i-ésimo nivel de metionina sobre la variable respuesta.

L_j = Efecto del j-ésimo nivel de lisina sobre la variable respuesta.

ML_{ij} = Efecto de la interacción $M \times L$.

E_{ijk} = Error experimental.

Las variables se sometieron a un análisis de varianza de acuerdo al diseño utilizado, después se procedió a la prueba de comparación de medias de tukey. Además se realizó un análisis de regresión con el objetivo de conocer el efecto de los factores sobre las variables de respuesta, para esto se utilizó el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1(M) + \beta_2(M \times M) + \beta_3(L)_i + \beta_4(L \times L) + \beta_5(M \times L) + \text{Error}$$

Donde:

Y_{ij} = Variable de respuesta.

β_0 = Intercepto.

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$, y β_5 = Parámetros a estimar.

M = Nivel de metionina de la dieta.

L = Nivel de lisina de la dieta.

$M*L$ = Interacción del nivel de metionina y lisina en la dieta.

5.1.1.4 Variables respuesta.

Estas fueron consumo de alimento, ganancia de peso y conversión alimenticia. Las cuales se midieron semanalmente; para el caso de consumo de alimento, se pesó el alimento ofrecido y rechazado cada semana además de que este se corrigió por la mortalidad semanal.

5.1.1.5 Dietas.

Estas se realizaron por programación lineal, el modelo fue determinístico de mínimo costo. Se resolvieron por el método simplex implementado en el paquete UFFDA 93. Para aumentar los niveles de metionina y lisina, se utilizó arena como relleno y esta fue sustituida gradualmente por aminoácidos sintéticos en una dieta basal (Anexo 2 Cuadros 1 y 2).

5.1.2 Segundo ensayo biológico

“Diferentes niveles de energía y metionina en las etapas de iniciación y finalización en dietas para pollos de engorda”

5.1.2.1 Localización

Se realizó en la caseta avícola de la Granja Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo. El lugar se encuentra a una altitud de 2,250 msnm, con un clima Cb(Wo)(W)(i')g el cual se define como el más húmedo de los templados con una temperatura promedio de 15.2 °C y con una precipitación anual de 636.5 mm (García, 1988). El experimento inició el 22 de febrero y finalizó el 11 de abril de 1999, teniendo una duración de 49 días.

5.1.1.2 Tratamientos.

Se utilizaron 648 pollos de un día de edad sin sexar de la línea Avian distribuidos en 12 tratamientos, con 3 repeticiones cada uno, cada repetición con 18 aves, el experimento se realizó en piso de cemento con paja de trigo.

Cuadro 10. Diseño de tratamientos para el ensayo biológico dos.

Tratamientos	Iniciación				Finalización			
	EM	PC	Met	Lis	EM	PC	Met	Lis
1	2800	20	0.40	1.1	2800	18	0.28	1.00
2	2800	20	0.50	1.1	2800	18	0.38	1.00
3	2800	20	0.60	1.1	2800	18	0.48	1.00
4	2800	20	0.70	1.1	2800	18	0.58	1.00
5	3000	20	0.40	1.1	3000	18	0.28	1.00
6	3000	20	0.50	1.1	3000	18	0.38	1.00
7	3000	20	0.60	1.1	3000	18	0.48	1.00
8	3000	20	0.70	1.1	3000	18	0.58	1.00
9	3200	20	0.40	1.1	3200	18	0.28	1.00
10	3200	20	0.50	1.1	3200	18	0.38	1.00
11	3200	20	0.60	1.1	3200	18	0.48	1.00
12	3200	20	0.70	1.1	3200	18	0.58	1.00

EM. Energía metabolizable en kcal/kg⁸¹

PC. Proteína cruda en % de la dieta.

Met. Metionina en % de la dieta.

Lis. Lisina en % de la dieta.

El periodo de iniciación comprendió de 1 a 21 días, mientras que el periodo de finalización fue de 22 a 49 días. La presentación del alimento fue en harina y se ofreció *ad libitum*.

5.1.1.3 Diseño experimental.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con un arreglo factorial de 4x3. Se empleo el siguiente modelo estadístico para el análisis de los resultados:

$$Y_{ij} = \mu + E_i + M_j + EM_{ij} + E_{ijk}$$

Donde:

Y_{ij} = Variable respuesta.

μ = Media general.

E_i = Efecto del i-ésimo nivel de energía sobre la variable respuesta.

M_j = Efecto del j-ésimo nivel de metionina sobre la variable respuesta.

EM_{ij} = Efecto de la interacción $E * M$.

E_{ij} = Error experimental.

Las variables se sometieron a un análisis de varianza de acuerdo al diseño utilizado, después se procedió a la prueba de comparación de medias de tukey. También se realizó un análisis de regresión con el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1(E) + \beta_2(E * E) + \beta_3(M) + \beta_4(M * M) + \beta_5(E * M) + \text{Error}$$

Donde:

Y_{ij} = Variable de respuesta.

β_0 = Intercepto.

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ y β_5 = Parámetros a estimar.

E = Nivel de energía en la dieta.

M = Nivel de metionina en la dieta.

$E * M$ = Interacción del nivel de energía y metionina en la dieta.

5.1.1.4 Variables respuesta.

Estas fueron consumo de alimento, ganancia de peso y conversión alimenticia. Las cuales se midieron semanalmente para el caso de consumo de alimento, se pesó el alimento ofrecido y rechazado cada semana; además, de que este se corrigió por la mortalidad semanal.

5.1.1.5 Dietas.

Estas se resolvieron por programación lineal, el modelo fue determinístico de mínimo costo. Se resolvieron a través del método simplex implementado en el paquete UFFDA 93. Para aumentar los niveles de metionina, se utilizó arena como relleno y esta fue sustituida gradualmente por el aminoácido en forma de DL-Metionina a tres dietas básicas cada una con un nivel de energía diferente (Anexo 2 Cuadros 3 y 4).

5.2 Estimación de parámetros de los modelos multifactoriales de regresión lineales, linealizables y no lineales.

A partir de datos de la literatura (Martínez, 1994) y experimentales (dos ensayos biológicos), se estimaron los parámetros de los modelos de regresión que se utilizaron para la construcción del modelo econométrico. Los modelos se ajustaron por regresión lineal y no lineal para evaluar la respuesta de consumo de alimento y ganancia de peso con diferentes niveles de energía, proteína, metionina y lisina en la dieta. Los modelos de regresión utilizados fueron los siguientes:

I) Modelo "lineal" (Steel y Torrie, 1985)

$$\mathbf{CA, GP} = \beta_0 + \beta_1 (\text{EM}) + \beta_2 (\text{PC}) + \beta_3 (\text{MET}) + \beta_4 (\text{LIS}) + \text{Error}$$

II) Cuadrático (Steel y Torrie, 1985)

$$\mathbf{CA, GP} = \beta_0 + \beta_1(\text{EM}) + \beta_2(\text{EM} * \text{EM}) + \beta_3 (\text{PC}) + \beta_4(\text{PC} * \text{PC}) + \beta_5(\text{MET}) + \beta_6(\text{MET} * \text{MET}) + \beta_7(\text{LIS}) + \beta_8 (\text{LIS} * \text{LIS}) + \text{Error}$$

III) Exponencial (Kmenta, 1986)

$$CA, GP = \beta_0 + \beta_1(EM^{A1}) + \beta_2(PC^{A2}) + \beta_3(MET^{A3}) + \beta_4(LIS^{A4}) + \text{Error}$$

En donde β_0 representa el intercepto, $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6, \beta_7, \beta_8, A1, A2, A3$ y $A4$ fueron los parámetros a estimar.

5.3 Selección de modelos de regresión.

El criterio para realizar las comparaciones fue la magnitud de los cuadrados medios del error (CME). El mejor modelo de predicción fue aquel que tuviera el valor más pequeño del CME obtenido al momento de hacer la estimación de los parámetros. Una vez realizada la selección del mejor modelo, el siguiente paso fue la construcción del modelo econométrico para optimizar los niveles de energía, proteína, metionina y lisina para obtener los niveles óptimo económico y biológicos de estos nutrimentos.

Algunos de los criterios utilizados para la selección del modelo de regresión son: el coeficiente de determinación (R^2), la suma de cuadrados del error (SCE) y el porcentaje de curvas atípicas (%A). La utilización del CME como criterio requiere que los modelos tengan la misma escala (Ramírez, 1994).

5.4 Construcción del modelo econométrico.

Para estimar el nivel óptimo económico de los nutrimentos, se construyó un modelo econométrico para maximizar las utilidades, mientras que para estimar el nivel óptimo biológico se construirá un modelo econométrico para maximizar la ganancia de peso.

Modelo econométrico para maximizar utilidades (MU)

Maximizar:

$$MU = (\text{Precio del pollo/kg}) * (\text{Peso vivo}) - (\text{Precio del alimento/kg}) * (\text{Consumo}).$$

Sujeto a:

$$A_1X_1 - B_1Z \geq 0$$

$$A_2X_2 - B_2Z \geq 0$$

$$A_3X_3 - B_3Z \geq 0$$

$$\text{Consumo de alimento} = f(\text{energía, proteína, metionina y lisina})$$

$$\text{Peso vivo} = f(\text{energía, proteína, metionina y lisina})$$

Condición de no negatividad:

$$X_1X_2X_3 \geq 0$$

Donde A_1 , A_2 y A_3 es el vector de aporte de nutrimentos (energía, proteína, metionina y lisina) de los ingredientes en las dietas 1, 2 y 3 (iniciación, desarrollo y finalización). X_1 , X_2 y X_3 es el vector de ingredientes usados en cada una de las dietas. B_1 , B_2 y B_3 es el vector estimado de nutrimentos que maximiza las utilidades. Z es la cantidad de dieta.

Las ecuaciones de consumo de alimento y peso vivo son la respuesta de estos parámetros productivos en función del nivel de energía, proteína metionina y lisina.

Modelo econométrico para maximizar el peso vivo (PV)

Maximizar:

$PV = f(\text{energía, proteína metionina y lisina})$

Sujeto a:

$$A_1X_1 - B_1Z \geq 0$$

$$A_2X_2 - B_2Z \geq 0$$

$$A_3X_3 - B_3Z \geq 0$$

Condición de no negatividad:

$$X_1X_2X_3 \geq 0$$

Donde A_1 , A_2 y A_3 es el vector de aporte de nutrimentos (energía, proteína, metionina y lisina) de los ingredientes en las dietas de iniciación, desarrollo y finalización. X_1 , X_2 y X_3 es el vector de ingredientes usados en cada una de las dietas. B_1 , B_2 y B_3 es el vector estimado de nutrimentos que maximiza el peso vivo en función de la energía, metionina, y lisina en la dieta. Z es la cantidad de dieta.

5.5 Estimación del NOE y NOB de nutrimentos.

La solución al modelo econométrico se hizo con la ayuda del optimizador de Excel 97, el cuál simula y optimiza la función objetivo. Lo anterior se realizó con el objetivo de tener una forma de solución práctica para todos los usuarios.

Con la solución de los modelos econométricos se obtiene la máxima ganancia de peso, el nivel óptimo biológico estimado y la dieta. Además el nivel óptimo económico, la utilidad y la dieta respectiva.

5.6 Análisis de sensibilidad.

Consiste en variar el precio del pollo e ingredientes (sorgo, soya, DL-Metionina y L-Lisna) 10, 20 y 30% por arriba y debajo de su precio actual en el mercado, con el objetivo de conocer el efecto de la variación de precios sobre el comportamiento de los NOE de los nutrimentos.

VI. RESULTADOS

6.1 Análisis de Varianza

El análisis de varianza de los efectos principales a los 21 días de edad mostró que se obtuvo un menor ($P<0.05$) consumo de alimento con 0.65% de metionina en comparación con el resto de los niveles. Todos los niveles de lisina probados en el presente experimento no afectaron significativamente ($P>0.05$) el consumo de alimento. El mayor ($P<0.05$) peso vivo y la menor ($P<0.05$) conversión alimenticia se obtuvieron con niveles de lisina de 1.1 y 1.3% de la dieta (Cuadro 11).

Cuadro 11. Efectos principales para consumo de alimento (CAC), peso vivo (PV) y conversión alimenticia (CA) a los 21 días de edad de pollos alimentados con diferentes niveles de metionina y lisina en la dieta.

	CAC	EE	PV	EE	CA	EE
Metionina (%)	g		g			
0.35	850.0 a	± 7.82	566.3 a	± 11.05	1.50 a	± .02
0.43	822.0 ab	± 14.15	573.8 a	± 12.66	1.43 ab	± .02
0.50	822.7 ab	± 13.49	584.0 a	± 12.70	1.41 b	± .04
0.58	833.5 ab	± 5.41	577.8 a	± 12.86	1.44 ab	± .03
0.65	808.8 b	± 12.84	584.3 a	± 14.92	1.39 b	± .02
Lisina (%)						
0.9	815.0 a	± 7.77	540.3 b	± 4.11	1.51 a	± .01
1.1	833.0 a	± 9.15	593.0 a	± 9.52	1.41 b	± .02
1.3	834.1 a	± 9.93	598.5 a	± 6.30	1.39 b	± .02
Interacción						
Metionina*lisina	*		*		NS	

ab Medias con diferente literal dentro de la misma columna son diferentes ($P<0.05$).

* significativo ($P<0.05$).

EE Error estándar.

Por otra parte el análisis de varianza de las combinaciones mostró que la variable consumo de alimento a los 21 días de edad, la combinación de 1.1% de lisina y 0.35% de metionina tuvo un consumo de alimento superior ($P<0.05$) que la combinación con

0.9% de lisina y 0.65% de metionina (Cuadro 12). Para el caso de esta variable no se encontró una clara tendencia de su comportamiento a partir de las combinaciones de aminoácidos (Gráfica 1 del Anexo 1).

El peso vivo a los 21 días fue afectado significativamente ($P < 0.05$) por las combinaciones de metionina y lisina en la dieta. El máximo peso vivo se obtuvo con la combinación de 1.1% de lisina y 0.65% de metionina y este fue superior ($P < 0.05$) al peso obtenido en las combinaciones donde se usó un nivel de lisina de 0.9% excepto para la combinación con 0.43% de metionina. Con un nivel de lisina de 1.1%, se observa una clara tendencia de aumentar el peso vivo conforme se aumentan los niveles de metionina en la dieta (Cuadro 13). La conversión alimenticia fue afectada significativamente ($P < 0.05$) por las combinaciones de metionina y lisina en la dieta (Cuadro 14), existe una tendencia numérica a tener las mejores conversiones con un nivel de metionina de 0.5% en todos los niveles de lisina.

Cuadro 12. Consumo de alimento (g) a los 21 días de edad en pollos alimentados con diferentes combinaciones de metionina y lisina en la dieta.

Metionina y Lisina en la dieta												
Metionina (%)			0.35		0.43		0.50		0.58		0.65	
Lisina (%)	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE		
0.9	823.8 ab	±11.50	826.4 ab	±11.83	816.1 ab	±5.00	833.1 ab	±12.04	775.7 b	±25.10		
1.1	867.5 a	±3.83	780.0 ab	±25.83	841.5 ab	±6.85	843.2 ab	±8.25	833.0 ab	±6.92		
1.3	858.8 ab	±7.08	859.4 ab	±2.45	810.6 ab	±42.91	824.3 ab	±7.01	817.6 ab	±20.54		

abcde Medias con diferente literal dentro de la misma columna son diferentes (P<0.05).

EE Error estándar.

Cuadro 13. Peso vivo (g) a los 21 días de edad en pollos alimentados con diferentes combinaciones de metionina y lisina en la dieta.

Metionina (%)		0.35		0.43		0.50		0.58		0.65	
Lisina (%)	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE	
0.9	536.5	de ±13.25	553.2	abcde ±8.25	539.4	de ±4.57	538.7	de ±4.43	533.6	e ±13.87	
1.1	566.1	abcde ±11.68	555.2	abcde ±24.68	608.8	abcd ±13.19	614.8	ab ±14.69	620.1	a ±15.29	
1.3	596.3	abcde ±16.05	613.1	abc ±9.55	603.9	abcde ±15.47	579.8	abcde ±17.29	599.3	abcde ±14.27	

abcde Medias con diferente literal dentro de la misma columna son diferentes (P<0.05).

EE Error estándar.

Cuadro 14. Conversión alimenticia a los 21 días de edad en pollos alimentados con diferentes combinaciones de metionina y lisina en la dieta.

Metionina y lisina en la dieta.											
Metionina (%)		0.35		0.43		0.50		0.58		0.65	
Lisina (%)	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE	
0.9	1.54 ab	±.02	1.50 abcd	±.04	1.51 abcd	±.01	1.55 a	±.01	1.45 abcd	±.01	
1.1	1.53 abc	±.04	1.41 abcd	±.03	1.38 abcd	±.04	1.38 abcd	±.04	1.35 d	±.02	
1.3	1.44 abcd	±.03	1.40 abcd	±.02	1.34 d	±.07	1.42 abcd	±.04	1.36 cd	±.01	

abcde Medias con diferente literal dentro de la misma columna son diferentes (P<0.05).

EE Error estándar.

Cuadro 15. Efectos principales para consumo de alimento (CAC), ganancia de peso (GP) y conversión alimenticia (CA) en el periodo de 22 a 49 días de edad de pollos alimentados con diferentes niveles de metionina y lisina en la dieta.

	CAC	EE	GP	EE	CA	EE
Metionina (%)	g		g			
0.30	3600.9	a ± 55.96	1381.7	c ± 26.47	2.61	a ± .06
0.34	3569.7	a ± 89.86	1438.6	bc ± 30.79	2.48	ab ± .03
0.38	3707.1	a ± 69.82	1548.0	ab ± 27.05	2.40	bc ± .06
0.42	3472.3	a ± 81.60	1530.8	ab ± 24.78	2.27	c ± .04
0.46	3598.2	a ± 86.08	1602.5	a ± 50.04	2.25	c ± .04
Lisina (%)						
0.82	3561.4	a ± 41.75	1475.7	a ± 29.63	2.43	a ± .05
1.00	3595.9	a ± 67.31	1530.5	a ± 39.83	2.36	a ± .04
1.18	3611.5	a ± 71.94	1494.7	a ± 25.72	2.42	a ± .05
Interacción						
Metionina*lisina	*		NS		NS	

ab Medias con diferente literal dentro de la misma columna son diferentes ($P < 0.05$).

* significativo ($P < 0.05$).

EE Error estándar.

En el periodo de 22 a 49 días los niveles de metionina solo afectaron ($P < 0.05$) significativamente la ganancia de peso y conversión alimenticia. La ganancia de peso fue superior ($P < 0.05$) con 0.46% de metionina que con 0.30 y 0.34%. Los niveles de lisina no tuvieron ningún efecto ($P > 0.05$) sobre las variables respuesta evaluadas. (Cuadro 15).

La prueba de comparación de medias para conocer el efecto de las combinaciones de metionina y lisina sobre las variables respuesta en este mismo periodo, mostró que solo se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) para ganancia de peso y conversión alimenticia. La ganancia de peso fue superior ($P < 0.05$) con niveles de metionina de 0.38 y 0.42% en todos los niveles de lisina al compararlos con el resto de las combinaciones, excepto para la combinación con 0.46% de metionina con 0.82 y 1.0% de lisina (Cuadro 17).

Cuadro 16. Consumo de alimento (g) en el periodo de 22 a 49 días de edad en pollos alimentados con diferentes combinaciones de metionina y lisina en la dieta.

Combinaciones de metionina y lisina en la dieta:											
Metionina (%)		0.30		0.34		0.38		0.42		0.46	
Lisina (%)	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE	
0.82	3610.1 a	±78.08	3531.9 a	±43.24	3724.1 a	±63.39	3433.4 a	±103.51	3507.5 a	±117.47	
1.00	3597.8 a	±168.15	3424.9 a	±249.73	3699.8 a	±144.99	3536.6 a	±121.06	3720.5 a	±159.02	
1.18	3594.8 a	±56.06	3752.2 a	±69.27	3697.2 a	±182.31	3447.0 a	±226.70	3566.5 a	±194.27	

abcde Medias con diferente literal dentro de la misma columna son diferentes (P<0.05).

EE Error estándar.

Cuadro 17. Ganancia de peso (g) en el periodo de 22 a 49 días de edad en pollos alimentados con diferentes combinaciones de metionina y lisina en la dieta.

Combinaciones de metionina y lisina en la dieta.												
Metionina (%)			0.30		0.34		0.38		0.42		0.46	
Lisina (%)	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE		
0.82	1296.5 d	±45.41	1444.0 bcd	±19.27	1567.1 ab	±2.97	1521.9 abcd	±60.49	1549.1 abcd	±10.94		
1.00	1451.3 bcd	±10.31	1401.0 bcd	±85.39	1531.3 abcd	±69.48	1507.9 abcd	±20.44	1761.1 a	±67.09		
1.18	1397.3 bcd	±8.45	1470.9 bcd	±49.71	1545.5 abcd	±60.14	1562.7 abc	±49.80	1497.3 bcd	±76.69		

abcde Medias con diferente literal dentro de la misma columna son diferentes (P<0.05).

EE Error estándar.

Cuadro 18. Conversión alimenticia en el periodo de 22 a 49 días de edad en pollos alimentados con diferentes combinaciones de metionina y lisina en la dieta.

combinaciones de metionina y lisina en la dieta.												
Metionina (%)			0.30		0.34		0.38		0.42		0.46	
Lisina (%)	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE
0.82	2.79 a	±.05	2.45 abcd	±.01	2.38 bcd	±.04	2.26 bcd	±.06	2.27 bcd	±.07		
1.00	2.48 abcd	±.10	2.44 abcd	±.03	2.42 abcd	±.03	2.35 bcd	±.07	2.11 d	±.01		
1.18	2.57 ab	±.03	2.55 abc	±.07	2.41 abcd	±.19	2.20 bcd	±.09	2.38 bcd	±.01		

abcde Medias con diferente literal dentro de la misma columna son diferentes (P<0.05).

EE Error estándar.

En el ensayo biológico 2 en el cuál se evaluaron diferentes niveles de energía metabolizable (EM) y metionina en la dieta, se encontraron diferencias significativas ($P<0.05$) por efecto del nivel de EM sobre las variables respuesta a los 21 días de edad, el mayor consumo de alimento se obtuvo con el menor contenido de EM de la dieta y este fue diferente ($P<0.05$) que el resto de los niveles, el peso vivo fue superior ($P<0.05$) con 3200 kcal EM/kg al compararlo con los demás niveles de EM. La mejor ($P<0.05$) conversión alimenticia también se obtuvo con este mismo nivel. Los niveles de metionina evaluados no afectaron ($P>0.05$) las variables respuesta evaluadas a los 21 días de edad en el presente experimento (Cuadro 19).

Cuadro 19. Efectos principales para consumo de alimento (CAC), peso vivo (PV) y conversión alimenticia (CA) a los 21 días de edad de pollos alimentados con diferentes niveles de energía y metionina en la dieta.

	CAC	EE	PV	EE	CA	EE
Energía (kcal/kg)	g		g			
2800	685.6 a	± 12.49	471.9 b	± 5.50	1.45 a	± .02
3000	641.2 b	± 9.71	471.0 b	± 7.26	1.36 b	± .02
3200	604.0 c	± 19.97	499.1 a	± 8.71	1.21 c	± .03
Metionina (%)						
0.4	632.4 a	± 33.39	469.2 a	± 6.22	1.34 a	± .06
0.5	633.1 a	± 11.30	488.5 a	± 11.88	1.30 a	± .04
0.6	666.0 a	± 13.23	487.1 a	± 10.04	1.37 a	± .02
0.7	642.8 a	± 15.36	478.0 a	± 8.13	1.35 a	± .05
Interacción						
Energía*Met	*		*		*	

ab Medias con diferente literal dentro de la misma columna son diferentes ($P<0.05$).

* significativo ($P<0.05$).

EE Error estándar.

Las diferentes combinaciones de EM y metionina en la dieta afectaron significativamente ($P<0.05$) el consumo de alimento, peso vivo y conversión alimenticia a los 21 días de edad.

Existe una clara tendencia a disminuir el consumo de alimento conforme aumenta el nivel de EM en la dieta en cada nivel de metionina (Gráfica 3 del Anexo 1).

El peso vivo no fue afectado ($P>0.05$), por el nivel de metionina al comparar independientemente cada nivel de energía, excepto el grupo de dietas con 3200 kcal de EM/kg donde con un nivel de metionina de 0.5% se obtiene un mayor ($P<0.05$) peso vivo, que con la dieta con 0.4% de metionina (Cuadro 21).

Cuadro 20. Consumo de alimento (g) a los 21 días de edad en pollos alimentados con diferentes combinaciones de energía y metionina en la dieta.

Energía (kcal/kg)	Metionina (%)							
	0.4		0.5		0.6		0.7	
	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE
2800	741.6 a	±27.18	644.7 bcdfg	±6.61	669.9 abcd	±10.67	686.1 abc	±2.91
3000	625.9 bcdefgh	±30.97	657.2 abcde	±15.06	624.6 bcdefghi	±16.75	657.0 abcdef	±10.01
3200	529.7 j	±20.66	597.4 defghij	±16.36	703.6 ab	±11.66	585.2 defghij	±4.47

abcde Medias con diferente literal dentro de la misma columna son diferentes (P<0.05).

EE Error estándar.

Cuadro 21. Peso vivo (g) a los 21 días de edad en pollos alimentados con diferentes combinaciones de energía y metionina en la dieta.

Energía (kcal/kg)	Metionina (%)							
	0.4		0.5		0.6		0.7	
	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE
2800	484.1 abc	±1.37	450.8 c	±13.10	478.5 abc	±8.23	474.1 abc	±10.06
3000	466.5 c	±12.85	493.0 abc	±9.45	467.6 abc	±20.34	456.9 c	±11.54
3200	457.0 c	±10.38	521.6 a	±12.86	515.2 ab	±10.26	502.9 abc	±4.22

abcde Medias con diferente literal dentro de la misma columna son diferentes (P<0.05).

EE Error estándar.

Cuadro 22. Conversión alimenticia a los 21 días de edad en pollos alimentados con diferentes combinaciones de energía y metionina en la dieta.

Energía (kcal/kg)	Metionina (%)							
	0.4		0.5		0.6		0.7	
	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE
2800	1.53 a	±.06	1.43 abcd	±.03	1.40 abcde	±.03	1.45 ab	±.04
3000	1.34 bcdefg	±.04	1.33 bcdefgh	±.01	1.34 bcdefg	±.06	1.44 abc	±.02
3200	1.16 hi	±.03	1.15 i	±.03	1.37 abcdef	±.01	1.16 hi	±.01

abcde Medias con diferente literal dentro de la misma columna son diferentes (P<0.05).

EE Error estándar.

El comportamiento productivo de pollos en el periodo de 22 a 49 días se presenta en el Cuadro 23. El mayor consumo de alimento, la menor ganancia de peso y el valor más alto de conversión alimenticia se obtiene con niveles de 2800 y 3000 kcal de EM/Kg y son diferentes ($P<0.05$), a los parámetros obtenidos con el nivel de energía de 3200 kcal de EM/kg de alimento.

Cuadro 23. Efectos principales para consumo de alimento (CAC), ganancia de peso (GP) y conversión alimenticia (CA) en el periodo de 22 a 49 días de edad de pollos alimentados con diferentes niveles de energía y metionina en la dieta.

	CAC	EE	GP	EE	CA	EE
Energía (kcal/kg)	g		g			
2800	3753.4	a ±52.35	1531.6	b ±22.05	2.46	a ±0.07
3000	3655.0	ab ±48.08	1574.1	b ±19.05	2.35	a ±0.04
3200	3550.5	b ±50.64	1639.4	a ±17.75	2.17	b ±0.03
Metionina (%)						
0.28	3743.0	a ±69.35	1555.9	a ±38.19	2.42	a ±0.10
0.38	3725.6	a ±54.67	1613.4	a ±25.32	2.31	a ±0.06
0.48	3564.3	a ±43.82	1593.7	a ±21.62	2.26	a ±0.04
0.58	3578.9	a ±65.82	1563.8	a ±16.83	2.29	a ±0.06
Interacción						
Energía* Met	NS		*		NS	

ab Medias con diferente literal dentro de la misma columna son diferentes ($P<0.05$).

* significativo ($P<0.05$).

EE Error estándar.

Las combinaciones de EM y metionina afectaron el comportamiento productivo en el periodo de 22 a 49 días edad (Cuadros 24, 25 y 26). La máxima ganancia de peso se obtiene con un nivel 0.38% de metionina y 3200 kcal de EM/kg y esta solo fue superior ($P<0.05$) a las siguientes combinaciones: 0.28%, 2800; 0.28%, 3000; 0.38%, 3000; y 0.58%, 2800 de metionina y EM respectivamente. La mejor conversión alimenticia (2.11) fue obtenida con el nivel más alto de metionina y energía (0.58% y 3200) y esta fue diferente ($P<0.05$) a la conversión (2.75) obtenida con los niveles más bajos de nutrimentos (0.28% y 2800).

Cuadro 24. Consumo de alimento (g) en el periodo de 22 a 49 días de edad en pollos alimentados con diferentes combinaciones de energía y metionina en la dieta.

Energía (kcal/kg)	Metionina (%)		0.28		0.38		0.48		0.58	
			Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE
2800			3985.9 a	± 19.50	3702.5 ab	±121.60	3657.3 b	±65.69	3667.7 ab	±64.65
3000			3629.9 b	±98.05	3719.9 ab	±131.36	3573.0 b	±93.69	3697.2 ab	±92.47
3200			3613.4 b	±58.37	3754.4 ab	±55.92	3462.7 b	±21.01	3371.7 b	±82.75

abcde Medias con diferente literal dentro de la misma columna son diferentes (P<0.05).

EE Error estándar.

Cuadro 25. Ganancia de peso (g) en el periodo de 22 a 49 días de edad en pollos alimentados con diferentes combinaciones de energía y metionina en la dieta.

Energía (kcal/kg)	Metionina (%)		0.28		0.38		0.48		0.58	
			Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE
2800			1452.1 d	±49.11	1592.6 abcd	±29.38	1559.2 abcd	±39.54	1522.5 cd	±20.37
3000			1535.5 bcd	±36.17	1546.0 bcd	±16.04	1644.8 abc	±36.15	1570.0 abcd	±38.30
3200			1679.9 ab	± 22.52	1701.6 a	±14.00	1577.1 abcd	±26.48	1599.1 abcd	±4.60

abcde Medias con diferente literal dentro de la misma columna son diferentes (P<0.05).

EE Error estándar.

Cuadro 26. Conversión alimenticia en el periodo de 22 a 49 días de edad en pollos alimentados con diferentes combinaciones de energía y metionina en la dieta.

Energía (kcal/kg)	Metionina (%)		0.28		0.38		0.48		0.58	
			Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE
2800			2.75 a	±.08	2.34 b	±.11	2.35 ab	±.10	2.41 ab	±.07
3000			2.36 ab	±.06	2.41 ab	±.11	2.25 b	±.08	2.36 ab	±.10
3200			2.15 b	±.06	2.21 b	±.05	2.20 b	±.05	2.11 b	±.05

abcde Medias con diferente literal dentro de la misma columna son diferentes (P<0.05).

EE Error estándar.

Cuadro 27. Niveles óptimo biológicos de energía, proteína metionina y lisina encontrados a partir del análisis de varianza.

Etapa	Experimento 1		Experimento 2	
	Metionina (%)	Lisina (%)	Energía kcal de EM/kg	Metionina (%)
1 a 21 días	0.65	1.3*	3200*	0.50
22 a 49 días	0.46*	1.0	3200*	0.38*

Significativo ($P < 0.05$).

Los NOB corresponden al nivel de nutrimento con que se obtiene el valor más alto en peso vivo a partir del análisis de varianza de efectos principales.

6.2 Análisis de regresión

El análisis de regresión con un modelo cuadrático para explicar el comportamiento del consumo de alimento y peso a los 21 días se muestra en el Cuadro 28. Se encontró que el nivel de metionina y su efecto cuadrático no tienen ningún efecto ($P > 0.05$) sobre las dos variables estudiadas. El nivel de lisina afecta ($P < 0.05$) las dos variables, el efecto cuadrático de la lisina indica que a niveles crecientes de este aminoácido en la dieta se deprime el consumo de alimento y peso vivo.

Los coeficientes de determinación encontrados fueron de 0.15 y 0.52 para consumo de alimento y peso vivo. González y Pesti (1993) mencionan que coeficientes de determinación entre 0.79 y 0.97, se deben de buscar cuando se trata de predecir consumo de alimento y peso vivo basándose en energía y proteína de la ración de pollos de engorda. En el periodo de 22 a 49 días de edad no se encontró ningún efecto del nivel de metionina y lisina sobre las variables respuesta (Cuadro 29).

Cuadro 28. Análisis de regresión para consumo de alimento y peso vivo a los 21 días de edad en pollos alimentados con diferentes niveles de metionina y lisina en la dieta.

Parámetro	Consumo de alimento		Peso vivo	
	Estimador	EE	Estimador	EE
Intercepto	577.1355 NS	±385.89	-379.3996 NS	±307.44
Metionina	-231.4635 NS	±636.41	316.1437 NS	±507.04
Metionina* Metionina	242.9920 NS	±544.23	-233.7285 NS	±433.60
Lisina	560.9178 NS	±616.97	1459.1163 *	±491.55
Lisina* Lisina	-211.2167 NS	±271.82	-591.0167 *	±216.56
Metionina* Lisina	-96.5429 NS	±295.84	-26.5464 NS	±235.70
R ²	0.15		0.52	
CME	1182.17		750.38	

NS. No significativo (P>.05)

* significativo (P<.05)

EE. Error estándar.

Cuadro 29. Análisis de regresión para consumo de alimento y ganancia de peso en el periodo de 22 a 49 días de edad en pollos alimentados con diferentes niveles de metionina y lisina en la dieta.

Parámetro	Consumo de alimento		Peso vivo	
	Estimador	EE	Estimador	EE
Intercepto	2744.15 NS	±3515.48	-1807.6479 NS	±1403.19
Metionina	2111.93 NS	±11401.16	6650.5335 NS	±4550.74
Metionina* Metionina	-2585.22 NS	±13790.0	-4331.3988 NS	±5504.26
Lisina	875.98 NS	±5126.76	3616.8024 NS	±2046.33
Lisina* Lisina	-291.58 NS	±2417.28	-1397.4588 NS	±964.85
Metionina* Lisina	-404.14 NS	±4440.82	-2023.9120 NS	±1772.54
R ²	0.10		0.44	
CME	61339.77		9772.55	

NS. No significativo (P>.05)

* significativo (P<.05)

EE. Error estándar.

Cuadro 30. Análisis de regresión para consumo de alimento y peso vivo a los 21 días de edad en pollos alimentados con diferentes niveles de energía y metionina en la dieta.

Parámetro	Consumo de alimento		Peso vivo	
	Estimador	EE	Estimador	EE
Intercepto	3559.2718 NS	±3901.09	3862.0872 NS	±1957.80
Energía	-1.3118 NS	±2.56	-2.2913 NS	±1.29
Energía* Energía	0.0001 NS	±0.00	0.0004 NS	±0.00
Metionina	-2380.0283 NS	±1590.06	-197.6433 NS	±797.99
Metionina* Metionina	-598.8611 NS	±803.31	-709.17 NS	±403.15
Energía* Metionina	1.0343 *	±0.44	0.3342 NS	±0.22
R ²	0.45		0.35	
CME	2323.08		585.10	

NS. No significativo (P>.05)

* significativo (P<.05). EE. Error estándar.

En el segundo ensayo biológico en las variables estudiadas a los 21 días de edad de los pollos, no se encontraron efectos significativos ($P>0.05$) del nivel de energía o metionina sobre estas. La interacción energía metionina resulta significativa para esta variable lo que indica que la influencia de energía y proteína explica el fenómeno pero no lo explican por separado cada nutrimento (Cuadro 30). Sin embargo, en el periodo de 22 a 49 días el modelo cuadrático detecta efectos significativos del nivel de metionina sobre la ganancia de peso que el análisis de varianza no había detectado, ya que este tipo de análisis solo detecta efectos lineales de los factores sobre las variables respuesta, además la interacción energía metionina resulta significativa ($P>0.05$). Los coeficientes de determinación indican que el consumo de alimento y ganancia de peso están afectados en un 35 y 49% respectivamente por los niveles de energía y metionina de la dieta (Cuadro 31).

Cuadro 31. Análisis de regresión para consumo de alimento y peso vivo en el periodo de 22 a 49 días de edad en pollos alimentados con diferentes niveles de energía y metionina en la dieta.

Parámetro	Consumo de alimento			Peso vivo		
	Estimador	EE		Estimador	EE	
Intercepto	4859.90	NS	±13199.35	1203.9944	NS	±4954.82
Energía	-0.0350	NS	±8.74	-0.8605	NS	±3.28
Energía* Energía	-0.0001	NS	±0.00	0.0003	NS	±0.00
Metionina	-1215.6261	NS	±5087.06	5967.2828 *		±1909.60
Metionina* Metionina	799.3889	NS	±2739.73	-2184.9722 *		±1028.45
Energía* Metionina	-0.0419	NS	±1.50	-1.3613 *		±0.56
R ²	.35			.49		
CME	27022.06			3807.75		

NS. No significativo ($P>.05$)

* significativo ($P<.05$)

EE. Error estándar.

Con el objeto de predecir y explicar en un contexto más amplio, se realizaron regresiones conjuntas considerando cuatro factores (energía, proteína, metionina y

lisina) para predecir consumo de alimento y ganancia de peso juntando los dos ensayos biológicos y los datos de Martínez (1994). Las regresiones conjuntas se usaron en la construcción de los modelos econométricos para maximizar utilidades y peso vivo (Cuadros 5 y 6 del Anexo 3).

A partir de este paso en adelante las regresiones son conjuntas y el objetivo es para la construcción de modelos econométricos. El análisis de regresión anterior solo se hizo con el objetivo de explicar el comportamiento productivo de las aves a partir de niveles de metionina y lisina (Experimento 1) o energía y metionina (Experimento 2) en la dieta.

6.3 Selección de modelos de regresión

Los parámetros de los modelos de regresión para predecir consumo de alimento y ganancia de peso se muestran en el Cuadro 32 y 33. Se encontró que el modelo que tuvo un mejor ajuste a los datos para predecir las variables respuesta es el modelo cuadrático, ya que presentó los menores valores de cuadrado medio del error. Así para la construcción del modelo econométrico se utilizó con el modelo cuadrático.

La diferencia en los CME de los modelos es mínima, sin embargo el modelo cuadrático presentó los valores más pequeños para predecir las variables en las dos primeras etapas. En la última etapa el modelo lineal presentó menores valores del CME, pero, debido a la poca diferencia se tomó al modelo cuadrático para construir el modelo econométrico. Para el caso de la variable consumo de alimento y en la última etapa el modelo exponencial presentó los valores más pequeños del CME, pero debido a que el error

asintótico fue cero para la mayoría de los parámetros estimados este modelo no fue seleccionado.

Cuadro 32. Cuadrado medio del error (CME) de los modelos de regresión utilizados para consumo de alimento.

MODELO LINEAL			
ETAPA	21 días	42 días	49 días
CME	1373	22884	14983
r²	0.79	0.61	0.19
MODELO CUADRÁTICO			
ETAPA	21 días	42 días	49 días
CME	1248	22582	15247
r²	0.82	0.64	0.22
MODELO EXPONENCIAL			
ETAPA	21 días	42 días	49 días
CME	3631	28818	12826

Cuadro 33. Cuadrado medio del error (CME) de los modelos de regresión utilizados para peso vivo.

MODELO LINEAL			
ETAPA	21 días	42 días	49 días
CME	934	6445	4853
r²	0.47	0.30	0.10
MODELO CUADRÁTICO			
ETAPA	21 días	42 días	49 días
CME	888	6458	5006
r²	0.53	0.33	0.11
MODELO EXPONENCIAL			
ETAPA	21 días	42 días	49 días
CME	1090	10919	6044

6.4 Estimación de los NOE y NOB de nutrimentos

Respecto a la hipótesis de que los NOB y NOE pueden no coincidir, la comparación de ambos y la diferencia encontrada se muestra en el Cuadro 34.

Para resolver los modelos econométricos se hizo con la ayuda del optimizador de EXCEL97®. Con la solución de los modelos se obtiene los NOB y NOE de energía,

proteína, metionina y lisina para cada etapa, las dietas respectivas un grupo para maximizar utilidades y otro para maximizar el peso vivo; los valores predichos de consumo de alimento, peso vivo, conversión alimenticia y las utilidades.

Cuadro 34. Niveles óptimo biológicos y económicos de cuatro nutrimentos para tres etapas de producción en pollo de engorda.

	1 A 21 DÍAS				22 A 42 DÍAS				43 A 49 DÍAS				U/P*
	EM	PC	MET	LIS	EM	PC	MET	LIS	EM	PC	MET	LIS	
NOB	3.00	22.00	.6359	1.2487	3.00	20.00	.5654	1.0271	3.00	20.00	.3969	1.1110	5.02
NOE	3.00	21.73	.5189	1.2186	3.00	19.06	.4909	.9707	3.00	20.00	.3038	1.0225	6.27
DIF	0.00	00.27	.1170	0.0301	0.00	00.94	.0745	.0564	0.00	00.00	.0931	.0885	1.25

Cálculos realizados considerando un precio de venta de \$8.00/kg de pollo en pie

*U/P utilidad por pollo en pesos.

La diferencia en utilidad encontrada es de \$1.25/pollo, cuando se formula para maximizar utilidades o peso vivo. Lo anterior indica la importancia y magnitud de beneficios que se tienen con la formulación econométrica de máxima utilidad. La variación en los niveles de nutrimentos se da solo en proteína, metionina y lisina. El nivel de proteína difiere solo en las dos primeras etapas y los niveles de metionina y lisina cambian en los tres periodos de producción.

Los valores predichos para consumo de alimento, peso vivo y conversión alimenticia son: de 4486.2 g, 2171.6 g y 2.07 respectivamente cuando se formula con los NOE de nutrimentos. En cambio con los NOB de nutrimentos se tienen los siguientes valores predichos: 4911.4 g, 2184.9 g y 2.25. Como se nota el peso vivo con los NOB es superior al peso vivo obtenido con los NOE, entonces el producir un pollo un poco más grande resulta en menores utilidades para el productor. La diferencia en los pesos obtenidos es de tan solo 13.3 g, con lo cuál no se tiene ningún problema en la

comercialización del producto, ya que el mercado acepta pollos desde 2.3 kg e inclusive de menor peso hasta pollos de 2.6 kg a las siete semanas de edad.

En los Cuadros 35 y 36 se presenta la composición de las dietas calculadas basándose en los NOB Y NOE de nutrimentos, estimados por el optimizador de EXCEL 97®.

Cuadro 35. Dietas con los NOB de nutrimentos para cada una de las etapas.

Ingrediente	Iniciación 1-21 días	Desarrollo 22-42 días	Finalización 43-49 días
Sorgo	.5208	.5965	.6061
Soya	.3958	.3352	.3333
Aceite	.0433	.0312	.0283
Carbonato de Ca	.0171	.0181	.0170
Ortofosfato	.0113	.0049	.0017
DL-Metionina	.0031	.0027	.0009
L-lisina HCl	.0010	.0000	.0012
Pigmento	.0000	.0040	.0040
Sal	.0040	.0040	.0040
Vitaminas	.0025	.0025	.0025
Minerales	.0010	.0010	.0010

Dietas basadas en un kilogramo en base tal como se ofrece.

Cuadro 36. Dietas con los NOE de nutrimentos para cada una de las etapas.

Ingrediente	Iniciación 1-21 días	Desarrollo 22-42 días	Finalización 43-49 días
Sorgo	.5327	.6302	.6104
Soya	.3874	.3071	.0269
Aceite	.0412	.0260	.0269
Carbonato de Ca	.0172	.0183	.0171
Ortofosfato	.0112	.0047	.0016
DL-Metionina	.0020	.0020	.0000
L-lisina HCl	.0009	.0002	.0000
Pigmento	.0000	.0040	.0040
Sal	.0040	.0040	.0040
Vitaminas	.0025	.0025	.0025
Minerales	.0010	.0010	.0010

Dietas basadas en un kilogramo en base tal como se ofrece.

6.5 Análisis de Sensibilidad

El efecto de la variación de precios de pollo e ingredientes sobre los NOE de energía, proteína, metionina y lisina puede observarse a continuación.

En el Cuadro 36 se muestra la variación en los NOE de los nutrimentos por efecto de la variación del precio del pollo finalizado. De todos los nutrimentos estudiados la energía es el menos sensible, ya presenta una variación mínima cuando se cambia el precio del pollo. En cuanto a las etapas la etapa de finalización es menos sensible a la variación del precio del pollo. Solo cuando el precio del pollo es muy bajo los niveles de proteína, metionina y lisina bajan respecto a los niveles que se tenían con precios del pollo más altos. Para el caso de la etapa de iniciación proteína y lisina bajan gradualmente cuando baja el precio del pollo.

Cuando varía el precio de la pasta de sorgo, soya, DL-Metionina y L-Lisina el cambio de los NOE es menor que cuando varía el precio del pollo, además en la etapa de finalización los NOE de todos los nutrimentos no cambian (Cuadros 37, 38, 39, 40 y 41).

Cuadro 37. Análisis de sensibilidad para el nivel óptimo económico (NOE) de cuatro nutrientes en tres etapas de producción al variar el precio del pollo.

		1-21 días				22-42 días				43-49 días				U/P
		EM	PC	MET	LIS	EM	PC	MET	LIS	EM	PC	MET	LIS	
30	10.4	3000.00	22.00	.6014	1.3000	3000.01	18.99	.4856	.9712	3000.00	20.00	.3038	1.0225	11.43
20	9.6	3000.00	21.90	.6255	1.2832	2999.99	19.05	.4911	.9705	3000.00	20.00	.3038	1.0225	9.67
10	8.8	3000.00	21.82	.5315	1.2075	2999.75	19.06	.4904	.9775	3000.00	20.00	.3038	1.0225	8.00
Actual	8.0	3000.00	21.73	.5189	1.2186	3000.00	19.06	.4909	.9707	3000.00	20.00	.3038	1.0225	6.27
-10	7.2	3000.00	21.81	.5318	1.1911	2999.78	19.07	.4915	.9623	2999.99	20.00	.3038	1.0225	4.52
-20	6.4	2999.99	21.80	.5278	1.1916	2999.97	18.79	.4933	.9392	3000.00	19.92	.3027	1.0593	2.81
-30	5.6	2999.99	21.76	.5178	1.1866	2999.97	18.77	.4940	.9375	2999.99	19.74	.3004	1.0916	1.11

Cuadro 38. Análisis de sensibilidad para el nivel óptimo económico (NOE) de cuatro nutrientes en tres etapas de producción al variar el precio del sorgo.

		1-21 días				22-42 días				43-49 días				U/P
		EM	PC	MET	LIS	EM	PC	MET	LIS	EM	PC	MET	LIS	
30	2.34	3000.01	21.48	.5212	1.2383	2999.96	18.83	.4934	.9675	3000.00	20.00	.3038	1.0225	4.83
20	2.16	3000.00	21.83	.5388	1.1949	3000.01	18.81	.4936	.9686	3000.00	20.00	.3038	1.0225	5.31
10	1.98	3000.00	21.69	.5156	1.2245	2999.72	19.15	.4917	.9694	3000.00	20.00	.3038	1.0225	5.75
Actual	1.80	3000.00	21.73	.5189	1.2186	3000.00	19.06	.4909	.9707	3000.00	20.00	.3038	1.0225	6.27
-10	1.62	3000.00	21.75	.5205	1.2146	2999.81	18.93	.4901	.9719	3000.00	20.00	.3038	1.0225	6.79
-20	1.44	3000.00	21.74	.5190	1.2122	2999.89	18.77	.4891	.9728	3000.00	20.00	.3038	1.0225	7.31
-30	1.26	3000.00	21.80	.5378	1.1949	2999.98	18.57	.4880	.9734	3000.00	20.00	.3038	1.0225	7.83

Cuadro 39. Análisis de sensibilidad para el nivel óptimo económico (NOE) de cuatro nutrientes en tres etapas de producción al variar el precio de la pasta de soya.

		1-21 días				22-42 días				43-49 días				U/P
		EM	PC	MET	LIS	EM	PC	MET	LIS	EM	PC	MET	LIS	
30	3.9	3000.00	21.76	.5310	1.1920	2999.73	19.11	.4926	.9659	3000.00	20.00	.3038	1.0225	4.93
20	3.6	3000.00	21.31	.5077	1.2425	2999.65	19.08	.4919	.9675	3000.00	20.00	.3038	1.0225	5.40
10	3.3	3000.00	21.60	.5109	1.2312	2999.71	19.07	.4914	.9691	3000.00	20.00	.3038	1.0225	5.83
Actual	3.0	3000.00	21.73	.5189	1.2186	3000.00	19.06	.4909	.9707	3000.00	20.00	.3038	1.0225	6.27
-10	2.7	3000.00	21.80	.5254	1.2101	2999.79	19.04	.4905	.9723	3000.00	20.00	.3038	1.0225	6.71
-20	2.4	3000.00	21.90	.6153	1.2670	3000.00	19.00	.4908	.9617	3000.00	20.00	.3038	1.0225	7.11
-30	2.1	3000.00	21.92	.5895	1.2578	3000.00	18.96	.4889	.9590	3000.00	20.00	.3038	1.0225	7.57

Cuadro 40. Análisis de sensibilidad para el nivel óptimo económico (NOE) de cuatro nutrimentos en tres etapas de producción al variar el precio de la DL-Metionina.

Producción al variar el precio de la DE Nacional.														
1-21 días						22-42 días				43-49 días				
%	\$/kg	EM	PC	MET	LIS	EM	PC	MET	LIS	EM	PC	MET	LIS	U/P
30	42.90	3000.00	21.74	.5106	1.2182	2999.72	19.15	.4877	.9702	3000.00	20.00	.3038	1.0225	6.18
20	39.60	3000.00	21.74	.5135	1.2183	2999.73	19.12	.4888	.9704	3000.00	20.00	.3038	1.0225	6.21
10	36.30	3000.00	21.74	.5162	1.2184	2999.74	19.09	.4895	.9705	3000.00	20.00	.3038	1.0225	6.24
Actual	33.00	3000.00	21.73	.5189	1.2186	3000.00	19.06	.4909	.9707	3000.00	20.00	.3038	1.0225	6.27
-10	29.70	3000.00	21.73	.5216	1.2188	2999.77	19.03	.4919	.9708	3000.00	20.00	.3038	1.0225	6.30
-20	26.40	3000.00	21.72	.5241	1.2190	2999.79	18.99	.4930	.9710	3000.00	20.00	.3038	1.0225	6.33
-30	23.10	3000.00	21.72	.5266	1.2193	2999.81	18.96	.4940	.9711	3000.00	20.00	.3038	1.0225	6.36

Cuadro 41. Análisis de sensibilidad para el nivel óptimo económico (NOE) de cuatro nutrimentos en tres etapas de producción al variar el precio de la HCl-Lisina.

Producción al variar el precio de la REP El Niño.														
1-21 días						22-42 días				43-49 días				
%	\$ /kg	EM	PC	MET	LIS	EM	PC	MET	LIS	EM	PC	MET	LIS	U/P
30	29.90	3000.00	21.85	.5363	1.1992	3000.00	18.75	.4901	.9592	3000.00	20.00	.3038	1.0225	6.30
20	27.60	3000.00	21.83	.5379	1.1903	2999.97	18.79	.4909	.9630	3000.00	20.00	.3038	1.0225	6.30
10	25.30	3000.00	21.67	.5158	1.2204	2999.85	18.90	.4909	.9670	3000.00	20.00	.3038	1.0225	6.30
Actual	23.00	3000.00	21.73	.5189	1.2186	3000.00	19.06	.4909	.9707	3000.00	20.00	.3038	1.0225	6.27
-10	20.70	3000.00	21.76	.5200	1.2174	2999.70	19.21	.4908	.9742	3000.00	20.00	.3038	1.0225	6.22
-20	18.40	3000.00	21.81	.5379	1.1952	3000.00	18.75	.4896	.9783	3000.00	20.00	.3038	1.0225	6.32
-30	16.10	3000.00	21.78	.5288	1.2136	3000.00	18.74	.4909	.9822	3000.00	20.00	.3038	1.0225	6.32

VII. DISCUSIÓN

7.1 NOB de metionina y lisina (Experimento 1) y de energía y metionina (Experimento 2) basados en el análisis de varianza

En el primer ensayo biológico se encontraron diferencias ($P<0.05$) del nivel de metionina sobre consumo de alimento, con un nivel de metionina de 0.35% en la dieta se obtienen consumos superiores ($P<0.05$) que con niveles de 0.65% de metionina, pero el nivel de lisina no afectó el consumo de alimento. Lo anterior posiblemente se debe a que el ave necesita consumir más alimento para satisfacer su necesidad de metionina. Sin embargo Chávez y Ovando (1999) no encontraron diferencias significativas ($P>0.05$) en el consumo de alimento a los 18 días de edad en pollos de engorda al variar el nivel de metionina de la dieta de 0.3777 a 0.6777%. Barrera (1998) encontró que el nivel de lisina en la dieta afecta ($P<0.05$) el consumo de alimento a los 21 días de edad.

Considerando los efectos principales el peso vivo se maximizó significativamente ($P<0.05$) con niveles de lisina en la dieta, de 1.1 y 1.3%. En cambio solo se observaron tendencias numéricas a maximizar el peso vivo con niveles de metionina de .50 a .65% además la interacción metionina lisina resulta significativa lo que indica que los mejores niveles de metionina no son los mismos dentro de cada nivel de lisina.

En las combinaciones (Cuadro 13), se observó que el peso vivo máximo se obtiene con 0.65% de metionina y 1.1% de lisina valores que concuerdan con lo mencionado para

los efectos principales lo que indica que la interacción entre los dos aminoácidos es muy débil.

Los niveles de lisina que maximizan el peso vivo coinciden con lo que reporta Barrera (1998), donde con niveles de lisina de 1.0, 1.1, 1.2 y 1.3% de lisina obtuvo ganancias de peso superiores ($P < 0.05$) que con niveles de 0.8 y 0.9% de lisina en la dieta. Leclercq, (1998) menciona que niveles bajos de lisina deprimen la tasa de crecimiento e incrementan la conversión alimenticia. En la Gráfica 2 (Anexo 1) se observa una clara tendencia a obtener pesos mayores con 1.1 y 1.3% de lisina dentro de cada nivel de metionina. Lo anterior probablemente se debe a que con una dieta baja en lisina, se disminuye la cantidad de este aminoácido para la formación de proteínas o el crecimiento y desarrollo de tejido magro (Zubay, 1988), con lo cual los pollos de engorda no expresan su máximo potencial genético de rápido crecimiento, aunado a que el balance de aminoácidos es uno de los factores que más afecta la ganancia de peso (Baker y Han, 1994).

Las tendencias encontradas con metionina a obtener un peso vivo mayor con niveles de metionina entre .50 a .65% de metionina, coincide con Chávez y Ovando (1999) los cuales obtuvieron un máximo peso vivo a los 18 días de edad con .5777% de metionina en la dieta al utilizar DL-Metionina como fuente en la suplementación.

Es claro que los menores pesos se obtuvieron con las dietas donde el nivel de lisina es de 0.9% y los mayores pesos se obtuvieron con los niveles mas altos de metionina (0.58 y 0.65%) y con niveles de lisina de 1.1% (Gráfica 2 del Anexo 1).

Cuando se aumentan los niveles de aminoácidos de la dieta se encontró un comportamiento pobre de los animales similar ($P>0.05$) a las dietas con niveles bajos en aminoácidos. Al respecto Kerr (1993) menciona que el exceso de aminoácidos no solo produce desperdicio, pues el animal no tiene la capacidad de convertirlo en proteínas para el cuerpo, sino que además se ha sugerido que deprime el rendimiento generando una producción de carne ineficiente y antieconómica. De igual forma Han y Baker (1993) mencionan que el aumento gradual en la suplementación de metionina y lisina reduce linealmente la ganancia de peso y consumo de alimento.

En el periodo de 22-49 días de edad el nivel de metionina afectó ($P<0.05$) la ganancia de peso, el NOB se ubicó en 0.46% y fue diferente ($P<0.05$) solo a los niveles de 0.30 y 0.34% de metionina en la dieta, NRC (1994) recomienda un valor de 0.38% para el periodo de 21 a 42 días y 0.32% para el periodo de 43 a 46 días. Cuca *et al.* (1996) sugieren 0.38% para el periodo de 28 a 56 días.

Las tendencias numéricas indican que el NOB de lisina se ubica en 1.0%, NRC (1994) recomienda un valor de 1.0% para el periodo de 21 a 42 días y 0.85% para el periodo de 43 a 46 días. Cuca *et al.* (1996) mencionan que 1.0% de lisina para el periodo de 28 a 56 días es adecuado.

Hickling *et al.* (1990), al probar en un experimento factorial 2 niveles de metionina (100 y 112% del NRC, 1984) y 4 niveles de lisina (100, 106, 112 y 118% del NRC, 1984), encontraron que el rendimiento cárnico de la pechuga se incrementó con el nivel más

elevado de metionina. La lisina tendió a mejorar el rendimiento cárnico de la pechuga ante el nivel más elevado de metionina, pero no ante el nivel más bajo de esta última.

Las combinaciones de metionina y lisina no afectaron significativamente ($P>0.05$) el consumo de alimento. Para la variable ganancia de peso se encontró que con niveles bajos de metionina (0.30 y 0.34%) al combinarlos con cualquier nivel de lisina se obtienen ganancias de peso inferiores ($P<0.05$) que el resto de los niveles de metionina. El NOB se ubica con 1.0% de lisina y 0.46% de metionina.

En el segundo experimento donde se evaluaron diferentes niveles de EM y metionina, se encontró para los dos periodos estudiados (1 a 21 días y 22 a 49 días), que el consumo de alimento se deprime, aumenta la ganancia de peso y se mejora la conversión alimenticia significativamente ($P<0.05$) cuando se incrementa el nivel de energía de la dieta a 3200 kcal de EM/Kg (NOB).

Lo anterior coincide con Zorrilla (1987), él menciona que al aumentar la energía en la dieta, el peso de las aves se incrementa linealmente, tanto en la etapa de iniciación como en la de finalización, independientemente del nivel de proteína en la dieta, siendo aconsejable dar 3200 Kcal de EM/kg en cualquiera de las dos etapas. Sin embargo Ayorinde, (1994) encontró que el nivel de energía no afecta el peso vivo y consumo de alimento a los 28 días de edad de los pollos y entre los 28 y 56 días de edad la ganancia de peso incrementa significativamente y el consumo de alimento disminuye significativamente cuando el nivel de energía aumenta. Leeson *et al.* (1996) mencionan que cuando se varía el nivel de energía no se afecta la ganancia de peso y el consumo de

energía es constante. Jones y Wiseman (1985) encontraron en la fase de iniciación (1 a 24 días) que las aves que consumieron dietas con niveles bajos de energía fueron significativamente ($P<0.05$) más ligeras y en la fase de finalización no se encontraron efectos significativos en el peso final. Deaton *et al.* (1983) comentan que decrece significativamente la conversión alimenticia cuando el nivel de energía de la dieta aumenta.

A partir del análisis de varianza y considerando como efecto principal la energía el NOB se ubica en 3200 kcal de EM/kg, sin embargo al combinarlo con otros nutrimentos (Proteína, metionina y lisina) de la dieta y estimar este nivel se ubica en 3000 kcal de EM/kg (Cuadro 34), lo que indica que la combinación con otros nutrimentos es importante para estimar NOB de nutrimentos, ya que evaluar un solo nutrimento no considera el efecto de los otros sobre el comportamiento productivo de las aves.

Los niveles de metionina no afectaron las variables respuesta estudiadas en ninguno de los dos periodos, las tendencias numéricas indican que en el periodo de iniciación el nivel de metionina que maximiza el peso vivo se ubica entre 0.5 a 0.6% y en la etapa de finalización entre 0.38 a 0.48%. Lo anterior no coincide con el primer ensayo biológico donde el nivel de metionina afectó significativamente ($P<0.05$) el consumo de alimento y conversión alimenticia en la etapa de iniciación y la ganancia de peso y conversión alimenticia en el periodo de finalización. Además Morales *et al.* (1991), al evaluar los niveles de metionina en el periodo de 6 a 26 días encontraron que los niveles de metionina mejoran ($P<0.05$) la ganancia de peso y conversión alimenticia. Chávez y

Ovando (1999) encontraron efecto ($P < 0.05$) del nivel de metionina sobre el peso vivo a los 18 días de edad.

Morales y Avila (1994), evaluaron las necesidades de metionina más cistina en dietas para pollos en iniciación de la conclusión de tres trabajos de experimentación observaron que el nivel de estos aminoácidos azufrados afecta significativamente ($P < 0.01$) la ganancia de peso, consumo de alimento y eficiencia alimenticia, y con 0.90 % de metionina + cistina totales lo que equivale a 0.81% de metionina + cistina digestible se traduce en mayores aumentos de peso y mejores eficiencias alimenticias.

7.2 Análisis de regresión y selección de modelos.

La coincidencia o no de los NOB y NOE de energía, proteína, metionina y lisina fue influida por la precisión de los modelos de regresión utilizados, también la sensibilidad del NOE a la variación de precios de los ingredientes y pollo finalizado esta influida por la precisión de los modelos de regresión.

EL CME es el criterio que se utilizó para la selección de los modelos de regresión, este valor indica la magnitud de la diferencia entre los valores reales y predichos para modelos de regresión lineales y no lineales. Además el coeficiente de determinación indica la proporción del efecto de los factores sobre las variables respuesta evaluadas y es un indicador de la precisión solo para modelos de regresión lineales (Kmenta, 1986). Para el caso de la etapa de finalización aunque los CME son menores que para la segunda etapa, sus coeficientes de determinación son más pequeños ya que fluctúan de .10 a .22 para las dos variables evaluadas. Este es un indicador de la precisión del

modelo, probablemente por esto los NOB y NOE de energía y proteína coinciden en la etapa de finalización, además en la última etapa al variar el precio de sorgo, soya, DL-Metionina y L-Lisina los NOE no varían.

Lo anterior indica la falta de investigación para esta etapa, se debe de investigar más el efecto de los nutrimentos sobre el consumo de alimento y ganancia de peso y modelos de predicción apropiados. La mayor parte de la investigación se ha enfocado a estudiar un nutrimento y solo en la etapa de iniciación (Callejas y Luis, 1996; Chavez y Ovando, 1999 y Barrera, 1998) y en algunos casos dos nutrimentos pero solo en la etapa de iniciación (Mota y Salinas, 1999).

El modelo de regresión seleccionado fue el cuadrático, ya que presentó los menores valores del CME, y en algunos casos fue el lineal, pero debido a que la diferencia era mínima, se generalizó la utilización del cuadrático. Alguno de los modelos seleccionados por otros autores son el cuadrático (Callejas y Luis, 1996; Mota y Salinas, 1999; González *et al.*, 1994); modelo exponencial de Sikka (Chávez y Ovando, 1999); exponencial de Wood (Barrera, 1998).

En la presente investigación se utilizaron solo tres modelos de regresión y de ahí se eligió el mejor. Esto debido a que los otros modelos utilizados por demás autores (Apartado 2.2.3 de la Revisión de Literatura) son unifactoriales, y al generalizarlos para convertirlos en multifactoriales el número de parámetros a estimar resultó muy grande, con ello su solución no fue posible porque la matriz para su solución resultó ser singular.

7.3 Estimación y comparación de los NOE y NOB de nutrientes basados en modelos de regresión y modelos econométricos

Los NOB y NOE de energía coincidieron mientras que los de proteína, metionina y lisina no coincidieron. Desde el punto de vista biológico la coincidencia del NOB y NOE de los nutrientes puede explicarse por las respuestas en ganancia de peso (NOB) y del consumo de alimento conjuntamente con la ganancia de peso (NOE). Y desde el punto de vista econométrico el NOB y NOE coinciden cuando para llegar a su solución los dos cumplen con las condiciones de Kuhn-Tucker (Kmenta, 1986).

La solución del modelo econométrico para maximizar utilidades para el productor estimó un nivel óptimo económico de lisina de 1.2186, 0.9707 y 1.0225% para las etapas de iniciación, desarrollo y finalización respectivamente. Barrera (1998) encontró un nivel óptimo económico de 1.135% de lisina en la etapa de iniciación, mientras que Callejas y Luis (1996) encontraron que este valor fluctúa entre 1.2715 a 1.406% en la etapa de iniciación para los diferentes experimentos que analizaron. Es importante recordar que el NOE es específico para cada situación y debe calcularse en cada explotación (González, 1994).

Para metionina los NOE calculados fueron: 0.5189, 0.4909 y 0.3038% para las tres etapas respectivas, mientras que Chávez y Ovando (1999) encontraron un NOE para la etapa de 1 a 18 días de 0.5986 a 0.6018% que dependió del tipo de fuente sintética de metionina utilizada.

Los NOE de energía estimado fueron de 3000 kcal de EM/kg en todas las etapas y para proteína de 21.73, 19.06 y 20% para cada una de las etapas, los valores reportados por Mota y Salinas (1999), para el periodo de iniciación son de 2984 kcal de EM/kg de alimento y 22.60% de PC. La diferencia de los NOE estimados se debe a las condiciones de cada experimento, además de que en la presente investigación se estimaron en forma simultánea junto con las otras etapas, mientras que Mota y Salinas (1999) estimaron los NOE solo para la etapa de iniciación.

La solución del modelo econométrico para maximizar la ganancia de peso estimó un nivel óptimo biológico de lisina en la dieta de 1.2487, 1.0271 y 1.110% y de metionina de 0.6359, 0.5654 0.3969% para cada una de las tres etapas respectivamente. Barrera (1998) estimó un nivel optimo biológico de 1.139% de lisina en la dieta para la primera etapa, Callejas y Luis (1996) reportan valores de 1.2494 a 1.3966% de lisina en la dieta en el periodo de 1-21 días, NRC (1994) reporta 1.10, 1.00 y 0.85% de lisina y 0.50, 0.38 y 0.32% de metionina para las tres etapas respectivamente. El NRC (1994) que es un estándar usado en muchas partes del mundo subestima los requerimientos para lisina y metionina de acuerdo a la presente investigación. Sin embargo, Summers *et al.* (1992) recomienda un NOB para lisina más alto en la primera etapa 1.38 a 1.39%, y Cuca *et al.* (1996) recomiendan un nivel de 1.25% de lisina y .48% de metionina en la etapa de 1 a 28 días y 1.0% de lisina y .38% de metionina en la etapa de 28 a 56 días.

Se estimó un NOB de energía de 3000 kcal de EM/kg y para proteína 22, 20 y 20%, los valores reportados por Mota y Salinas para la primera etapa son de 3079 Kcal de EM/kg y 22.78% de PC, NRC (1984 y 1994) informa un NOB para energía de 3200 Kcal de

EM/kg para todas las etapas y 23, 20 y 18% de PC para cada etapa respectivamente. Cuca *et al.* (1996) recomiendan un valor de 3000 a 3200 kcal de EM/kg de 1 a 56 días de edad.

Con lo anterior se nota la gran variabilidad entre los NOB reportados entre los diferentes autores esto probablemente se debe a el método utilizado para estimar los NOB, interrelaciones con otros nutrimentos, las condiciones de producción empleadas, calidad de los ingredientes, línea genética de las aves entre otros.

Es necesario estandarizar la información disponible, además de regularizarse los criterios bajo los cuales se diseñan los experimentos en campo para estimar los NOB de los nutrimentos. En la practica avícola diaria ahí es donde los nutriólogos debaten diariamente los niveles de nutrimentos de las raciones de acuerdo a objetivos específicos. Es dentro de este contexto de prueba y error es donde se practica diariamente el reto de la maximizacion productiva del animal (Mann, 1999).

Es también de importancia notar que los NOB y NOE para energía coinciden para todas las etapas, lo que hace suponer que se necesita realizar más trabajos de investigación para detectar si realmente son los mismos. Ya que probablemente existen dos factores que llevan a este resultado. El primero podría ser que el modelo de regresión utilizado no sea preciso para detectar los posibles cambios del nivel de energía que maximiza utilidades o peso vivo. O probablemente en el contexto de esta investigación donde se estudiaron cuatro nutrimentos, la energía no sea tan determinante como los demás para maximizar las utilidades o el peso vivo.

7.4 Análisis de Sensibilidad

El NOE fue sensible a la variación de precios debido a que el precio del pollo finalizado e ingredientes esta directamente relacionado con los ingresos y costos de producción. La energía no fue sensible a la variación de precios debido a que probablemente el modelo usado no tiene la precisión necesaria para detectar estos cambios. Además dentro del contexto de esta investigación posiblemente la energía es el nutrimento menos determinante en el comportamiento productivo del ave cuando se analiza junto con proteína, metionina y lisina y para tres etapas de producción simultáneamente.

A partir del análisis de sensibilidad se observó que el precio del pollo es más determinante en la variación de los NOE, la máxima variación observada fue para la lisina en la etapa de iniciación la cual varía de 1.1866% a 1.3% variando el precio del pollo en un rango de \$5.6 a \$10.4, lo que indica que este aminoácido tiene un efecto significativo en maximizar la cantidad de producto vendido (kg de pollo) para obtener la mayor cantidad de ingresos posible. Al respecto Barrera (1998) al variar el precio de venta del pollo de \$ 7.0 a \$13.0 solo encontró una variación del NOE de lisina de 1.133 a 1.136%.

Mota y Salinas (1999) encontraron que el variar el precio del sorgo, soya y pollo existe una mayor variación para proteína y mínima para energía. González *et al.* (1994) encontraron que al variar el precio del pollo y maíz tuvo un cambio mínimo el nivel de energía y en el caso de la proteína cruda cambió un poco más. En la presente investigación no se encontró cambios en el NOE para energía y sí para proteína.

Chávez y Ovando (1999) demuestran que la variación del precio del pollo afecta el NOE de metionina en la etapa de iniciación, lo anterior coincide con la presente investigación donde se observaron cambios en el NOE de metionina al variar el precio del pollo e ingredientes en el NOE de metionina.

Al cambiar el precio de L-lisina se observó que el NOE de lisina fue menos afectado que cuando se cambio el precio de venta del pollo, lo que probablemente se deba a que el precio de venta del pollo tiene mucho más efecto sobre las utilidades que el precio de la L-lisina lo mismo ocurrió con DL-Metionina, sin embargo Barrera (1998) observó que el NOE de lisina tuvo una mayor variación cuando se cambio el precio de la HCl-Lisina que cuando varió el precio del pollo.

El orden de la sensibilidad de los nutrimentos es: lisina, metionina y proteína, lo que hace suponer que los aminoácidos tienen mayor impacto en las utilidades que energía y proteína. Esto probablemente se debe a que los aminoácidos sintéticos son los ingredientes más caros. Bajo las condiciones del presente trabajo es importante revisar los niveles de nutrimentos en este orden cuando varia el precio del pollo e ingredientes para no afectar las utilidades del productor o tratar de incrementarlas.

El precio del pollo e ingredientes afecta los NOE de los nutrimentos por lo cual, bajo el contexto de formulación de máxima utilidad es necesario ajustarlos continuamente para obtener continuamente la mayor utilidad posible hacia el productor.

La diferencia en las utilidades al usar los NOB o NOE de los nutrimentos es de \$1.25/ave (0.13 dólares) lo que al multiplicarlo por el numero de aves que tenga un productor es una cantidad considerable. Como ejemplo un productor con 100,000 pollos por ciclo, por el simple hecho de usar los NOE de los nutrimentos y hacer sus dietas por el método de **Formulación Econométrica de Máxima Utilidad** obtendría ingresos extras por \$125,000.00/ciclo (13, 158 dólares).

VIII. CONCLUSIONES

1. Los NOB estimados para proteína, metionina y lisina no coinciden con los NOE estimados y el NOB de energía coincide con el NOE estimado en los periodos de iniciación (1- 21 días), desarrollo (22- 42 días) y finalización (43-49 días).
2. El NOE de proteína, metionina y lisina están en función de la variación de los precios del pollo finalizado, no así el NOE de energía.

IX. LITERATURA CITADA

- Abebe, S. y T. R. Morris. 1990. Note on the effects of protrein concentration on responses to dietary lysine by chicks. *British Poultry Science*. 31:255-260.
- Adams, M. H., H. L. Stilborn, A. A. L. Izat, and P. W. Waldroup. 1991. Effect of dietary crude protein level of diets adequate in lisine, methionine, treonine and triptophan on performance of broilers chickes. *Poultry Science* 70 (Suppl. 1): 1 (Abstr.).
- ADM, 1995. Lysine. ADM bioproducts Company. USA. 21 p.
- Alonso P., F. y C. Domínguez M. C. 1997. Estudio histórico de algunas variables productivas y económicas de la avicultura nacional hasta 1995. *Correo Avícola*, No. 5. México D. F. pp: 17-23.
- Avila G., E. y M. Cuca G. 1971. Efecto de la suplementación de HCl-lisina y DL-metionina en dietas con triticale para pollos de engorda en iniciación. *Técnica Pecuaria en México*. 18: 62-69.
- Avila G., E. 1992. Avances recientes sobre las necesidades de aminoácidos de los pollos de engorda. Cuarto ciclo de conferencias sobre aminoácidos sintéticos. *FERMEX*. México, D. F. pp: 13-19.
- Ayorinde, K. L. 1994. Effects of genotype and dietary energy on performance of broilers. *Nigerian Journal of Animal Production*. 21:5-10.
- Baker, H. D. 1991. Partitioning for growth and other metabolic function efficiency and priority considerations. *Poultry Science*. 70:1797-1805.
- Baker, H. D., S. R Fernández, D. M. Webel y C. M. Parsons. 1996. Sulfur amino acid requirement and cystine replacement value of broiler chicks during the period three to six weeks posthatching. *Poultry Science*. 75:737-742.
- Baker, H. D. y Y. Han. 1994. Ideal amino acid profile for chicks during the firsts three weeks postatching. *Poultry. Science*. 73:1441-1447.
- Barrera G., J. G. 1998. Niveles óptimos biológico y económico de lisina para pollos de engorda con alimentación *ad libitum* y restringida. Tesis de Maestría. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma de Chapingo. México 105 p.
- Brindley, N. D. 1984. Digestion, absorption and transport of fats: General principles. In: *Fats in animal nutrition*. Ed. J. Wiseman. Butterworths. UK. pp: 85-103.
- Brody, S., A. D. Ragsdale y C. W. Turner. 1923. The rate of decline of milk secretion with the advance of the period of lactation. *J. Gen. Physiol*. 5:441.

- Callejas L., M. A. y M. Luis L. 1996. Estimación de los niveles óptimos biológico y económico de lisina en dietas para pollo de engorda. Tesis Profesional. Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo. México. 75 p.
- Campabadal C., y H. Navarro G. 1996. Clasificación de los ingredientes utilizados en la elaboración de alimentos para animales. Asociación Americana de Soya. ASA/México No. 150. 21 p.
- CANACINTRA. 1998. La industria alimenticia animal en México. Sección de Fabricantes de Alimentos Balanceados para Animales. 40 p.
- Cobby, J. M. y L. P. Le Du. 1978. On fitting curves to lactation data. *Animal Production*. 26:127.
- Cuca G., M., E. Avila G. y A. Pro M. 1996. Alimentación de las aves. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Zootecnia, Chapingo, México. 154 p.
- Chávez E., J. y H. Ovando G. 1999. Formulación de dietas para maximizar peso vivo o utilidades en respuesta a L-Metionina en pollo de engorda. Tesis Profesional. Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo. México. 65 p.
- Deaton, J. W., J. McNaughton L. y B. Lott D. 1983. The effect of dietary energy level and broiler body weight on abdominal fat. *Poultry Science*. 62:2394-2397.
- DEGUSSA, 1996. Composición de aminoácidos en piensos. Degussa Feed Additives. Base de Datos.
- DEGUSSA, 1995. DL-metionina y Metionina hidroxí análoga. Boletín técnico. 8 p.
- De la Fuente H., J., M. González H., M. L. Jiménez E. y E. Mascorro V. 1992. La ganadería nacional, nueva encrucijada en su desarrollo. Crisis, modernización y TLC. In: Cámara de Diputados LV legislatura (Editor). La disputa por los mercados, TLC y sector agropecuario. Editorial. Diana, México, D. F. pp: 221-283.
- Ferguson, C. E. y P. Gould J. 1992. Teoría Microeconómica. Fondo de cultura económica. México, D. F. 551 p.
- Gallan, A. R. y W. A. Fuller. 1973. Fitting segmented polynominal regression models whose join points have to be estimated. *J. Of the American Stastical Association*. 68: 144-147.
- García M., E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climáticas de Koppen para adaptarlo a las condiciones particulares de la República Mexicana. Talleres Offset Larios México, D. F. 277 p.

- González A., M. J. 1994. La formulación econométrica: un beneficio para el productor. En Memorias del V Symposium de Avances Tecnológicos. Novus. Cancún, Q. R. México. pp: 22-29.
- González A., M. J., G. Pesti y J. H. Dorfman. 1992. Formulating feed for minimum cost versus maximum profits. Proceedings of the 1992 Georgia Nutrition Conference for the Feed Industry. USA. pp: 87-99.
- González A., M. J., H. Dorfman J. y G. Pesti. 1994. Maximizing profit in broiler production as prices change: A simple approximation with practical value. *Agribusiness*. 10:389-399.
- González A., M. J. y G. Pesti. 1993. Evaluation of the protein to energy ratio concept in broiler and turkey nutrition. *Poultry Science*. 72:2115-2123.
- González A., M. J. y G. Pesti. 1994. Determination of the maximum profit dietary levels of DL-Metionine and methionine hydroxy analog. Abstract. Poultry Science Association Annual Meeting. (Publicación pendiente).
- González A., M. J. y R. Orozco M. 1996. Análisis y perspectivas de la formulación de dietas de máxima utilidad (\$) en la alimentación de cerdos. Seminario de Actualización en Nutrición Porcina. Irapuato, Gto., México. pp: 143-163.
- González Y., F. 1995. Síntesis Avícola. Marzo - Abril. Editorial Año dos Mil. México, D. F. pp: 28-29.
- Gous, R. M. 1998. Making progress in the nutrition of broilers. *Poultry Science* 77:111-117.
- Guardabasso, V. D. Rodbar y P. J. Munson. 1987. A model free approach to stimulation of relative potency in dose response curve analysis. *Anim. J. Physiol.* 252 (Endocrinol. Metab. 15): E357-E364.
- Halpin, K. M. 1992. Requerimientos de lisina para un máximo rendimiento de carne de pechuga de pollos de engorda comercial. Cuarto ciclo de conferencias sobre aminoácidos sintéticos. FERMEX, México D. F. pp: 1-12.
- Han, Y. y D. Baker H. 1991. Lysine requirements of fast and slow growing broiler chicks. *Poultry Science* 70:2108-2114.
- Han, Y. y D. Baker H. 1993. Effects of excess methionine or lysine for broilers fed a corn-soybean meal diet. *Poultry Science* 72:1070-1074.
- Harlow H. B. y J. Ivey F. 1994. Accuracy, precision, and commercial benefits of growth modelling for broilers. *J. Appl. Poultry Res.* 3: 391-402.

- Hickling, D., W. Guenter y M. E. Jackson. 1990. The effects of dietary methionine and lysine on broiler chicken performance and breast meat yield. *Can. J. Animal Science*. 70:673-678.
- Jeroch, H. y M. Pack. 1995. Effects of dietary sulfur amino acid and crude protein on the performance of finishing broilers. *Arch. Anim. Nutr.* 48:109-118.
- Jones, L. R. y J. Wiseman. 1985. Effect of nutrition on broiler carcass composition: Influence of dietary energy content in the starter and finisher phases. *Brit. Poultry Science*. 36:381-388.
- Kerr, J. B. 1993. Revisión crítica de la investigación sobre dietas bajas en proteína suplementadas con aminoácidos para pollos de engorda. Quinto ciclo de conferencias sobre aminoácidos sintéticos. FERMEX. México, D. F. pp: 35-83.
- Kmenta, J. 1986. *Elements of Econometrics*. 2nd edition. Macmillan Publishing Company, New York, N. Y., USA. 786 p.
- Latshaw, J. D. 1993. Dietary lysine concentrations from deficient to excessive and the effects on broiler chicks. *Brit. Poultry Science*. 34:951-958.
- Leclercq, B. 1998. Specific effects of lysine on Broiler production: Comparison with Threonine and Valine. *Poultry Science* 77:118-123.
- Leeson, S. 1995. Fats in poultry diets. Fats and proteins research foundation, INC. No. 267. 11 p.
- Leeson, S., L. Caston y J. D. Summers. 1996. Broiler response to diet energy. *Poultry Science* 75:529-535.
- Leveille, G. A., D. R. Romsos, Y. Yeh, y E. K. O'Hea. 1975. Lipid biosynthesis in the chick. A consideration of site of synthesis, influence of diet and possible regulatory mechanisms. *Poultry Science* 54:1075-1093.
- Mann, H. 1999. Interrelaciones de energía, proteína y aminoácidos en nutrición de aves. XIII ciclo de conferencias sobre nutrición y alimentación avícola. AMENA. Guadalajara, Jalisco. México. pp: 87-127.
- Martínez A., O. y R. Medina G. 1995. Estimación de los niveles óptimos biológicos y económico de treonina y triptófano en dietas para pollos de engorda. Tesis Profesional. Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo. México. 107 p.
- Martínez N., S. 1994. Evaluación biológica de dietas con niveles variables de energía metabolizable y proteína cruda para pollo de engorda. Tesis Profesional. Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo. México. 40 p.

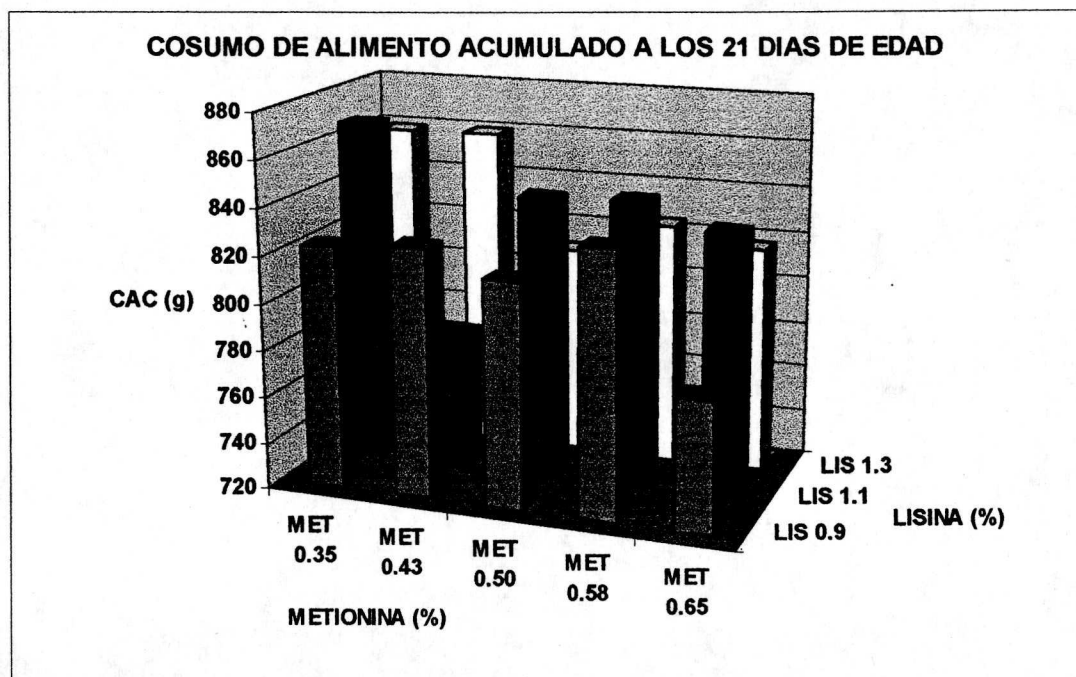
- Maynard, A. L., J. Loosi K., H. Hintz F. y R. Warner G. 1981. *Nutrición Animal*. Ed. McGraw-Hill. México, D. F. 640 p.
- Mercado L., F. 1994. Efecto del programa de alimentación sobre la manifestación del síndrome ascítico. Tesis Profesional. Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo. México. 35 p.
- Morales B., E., E. Avila G. y N. Wagner. 1991. Comparación de dos fuentes de metionina en dietas para pollos de engorda. *Veterinaria México*, XXII: 4:267-271.
- Morales B., E. y E. Avila G. 1994. Necesidades de metionina + cistina para pollos de engorda en iniciación. *Memorias del V Simposium de Avances Tecnológicos*. Novus. Cancún, Q. R. México. pp: 45-51.
- Morris, T. R. y H. A. Blackburn. 1982. The shape of the response curve relating protein intake to eggoutput for flocks of laying hens. *Br. Poultry. Science*. 23: 405.
- Mota V., J. M. y J. Salinas, A. 1999. Estimación de los niveles óptimos biológico y económico de energía y proteína en dietas para pollo de engorda. Tesis Profesional. Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo. México. 68 p.
- Murray, K. R., A. Mayes P., K. Granner D. y W. Rodwell V. 1994. *Bioquímica de Harper*. Ed. Manual Moderno. 13va Edición. México, D. F. 961 p.
- National Research Council, 1984. *Nutrientes Requirements of Poultry*. Eighth Revised Edition. National Academy Press, Washington D. C. 71 p.
- National Research Council, 1994. *Nutrientes Requirements of Poultry*. Ninth Revised Edition. National Academy Press, Washington D. C. 155 p.
- Noll, L. S., P. E. Waibel, R. D. Cook y J. A. Witmer. 1984. Biopotency of methionine sources for young turkeys. *Poultry Science*. 63:2458.
- Olomo, J. M. y A. Offiong. 1980. The effect of different protein and energy levels and time of change from starter to finisher ration on the performance of broiler chickens in the tropics. *Poultry Science* 59: 828-835.
- Parkin, M. 1995. *Microeconomía*. Addison-Wesley Iberoamericana. Wilmington Delaware, E. U. A. 625 p.
- Pearl, G. G. 1995. *Feeding Fats*. Fats and proteins research foundation, INC. No. 269. 23 p.

- Pesti, G. M. y C. F. Smith. 1984. The response of growing broiler chickens to dietary contents of protein, energy and added fat. *Br. Poultry Science*. 25: 127-138.
- Pesti, G. M. y D. L. Fletcher. 1984. The response of male broiler chickens to diets with various protein contents during the grower and finisher phases. *Br. Poultry Science*. 25: 415-423.
- Pooter, L. M., G. P. Schmidt, M. E. Blair, J. R. Shelton y B. A. Bliss. 1984. MCAC versus D-methionine. Part I: The methionine controversy. *Animal Nutrition and Health*. March-April. pp: 14-24.
- Ramírez V., R. 1994. Comparación de ecuaciones y procedimientos para la estimación de curvas de lactancia en angus, suizo pardo y sus cruza. Tesis de Maestría. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma de Chapingo. México 105 p.
- Reis S., T. 1997. Digestión de las grasas y utilización de energía en lechones. In: *Memorias del curso sobre avances recientes en fisiología nutritiva del lechón y taller sobre nutrición de reproductoras*. AMENA. Puerto Vallarta, Jal., México. pp: 30-53.
- SAGAR. 1998. Situación actual y perspectiva de la producción de carne de pollo en México. INTERNET. Sagar.gob.mx 34 p.
- Schutte, J. B. y M. Pack. 1995. Sulfur amino acid requirement of broiler chicks from fourteen to thirty eight days of age: performance and carcass yield. *Poultry Science* 74:480-487.
- Shalev, B. A. y H. Pasternak. 1998. The relative energy requirement of male vs female broilers and turkeys. *Poultry Science*. 77:859-863.
- Sikka, L. C. 1950. A study of lactation as affected by heredity and environment. *J. Dairy Research*. 17:231.
- Steel, R. G. D. y J. H. Torrie. 1985. *Bioestadística: Principios y procedimientos*. Ed. McGrawHill, México, D. F. 622 p.
- Stilborn, H. L., A. L. Izat y P. W. Waldroup. 1990. Lysine and crude protein requirements of male broilers 3 to 6 weeks of age. *Poultry Science* 69 Suppl. 1):131 (Abstr.)
- Summers, J. D., Spratt, D. y J. L. Atkinson. 1992. Broiler weight gain and carcass composition when fed diets varying in amino acid balance, dietary energy and protein level. *Poultry Science* 71:263-273.
- Thomas, O. P., S. D. Crissey, E. H. Bossard y M. B. Sovern. 1983. An evaluation of DL-methionine and related compounds. *Proceedings Maryland Nutrition Conference for Feed Manufacturers*. pp: 26-27.

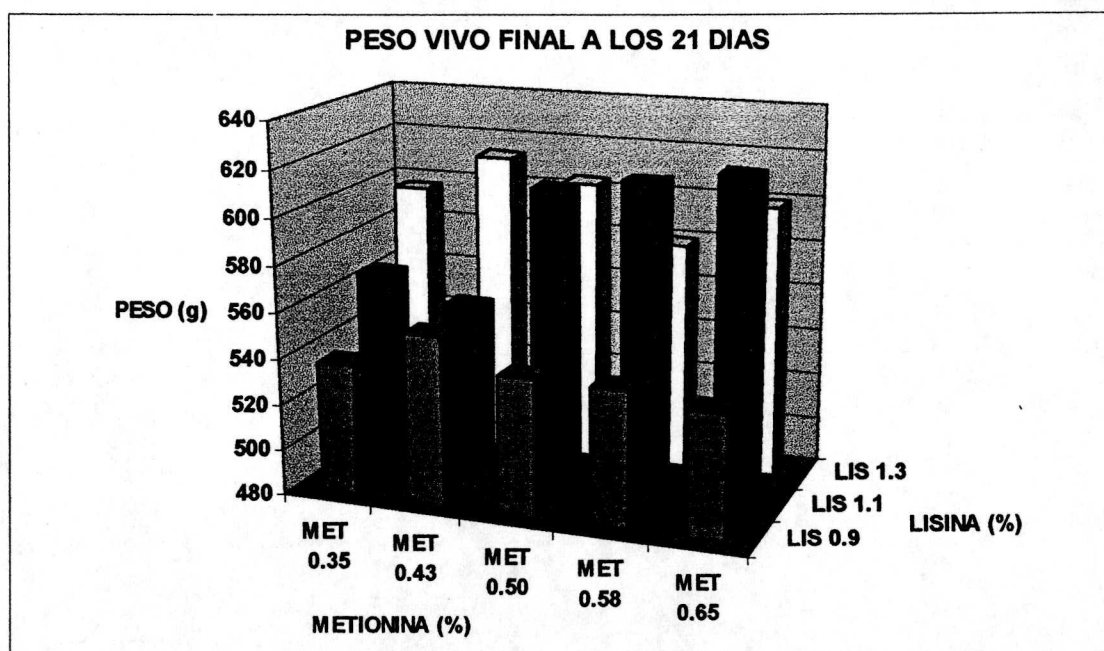
- Unión Nacional de Avicultores. 1998. Compendio de indicadores económicos del sector avícola en 1998. Dirección de Estudios Económicos. Octubre de 1998. México, D.F. 45 p.
- Unión Nacional de Avicultores. 1999. Boletín informativo mensual. Abril de 1999. México, D.F. 4 p.
- Uzu, G. 1982. Limit of reduction of the protein level broiler feeds. Poultry Science 61:1557.
- Wagner, R. 1993. Necesidades de aminoácidos azufrados en dietas para pollos de engorda desde un punto de vista biológico y económico. Memorias del Sexto Congreso Nacional de la Asociación Mexicana de Especialistas en Nutrición Animal A. C. Acapulco Gro. México. pp: 73-78.
- Wood, P. D. P. 1979. A simple model of lactation curves for milk yield, food requirement and body weight. Anim. Prod. 28:55.
- Zorrilla F., F. J. 1987. Diferentes niveles de lisina, energía y/o proteína en dietas para pollos de engorda. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México. 76 p.
- Zubay, G. 1998. Biochemistry. 2nd ed. Macmillan Publishing Company a Division of Macmillan, Inc. USA, 1266 p.

ANEXOS

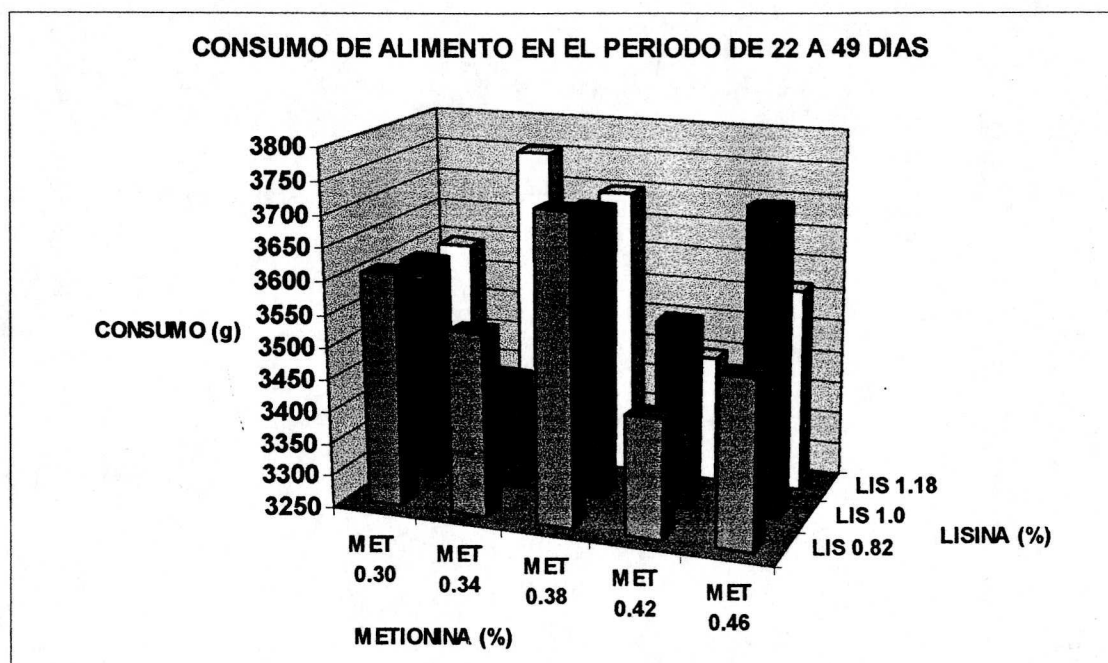
Anexo 1. Gráficas de consumo de alimento y peso vivo a partir de niveles de metionina y lisina (Experimento 1) o energía y metionina (Experimento 2) en la dieta.



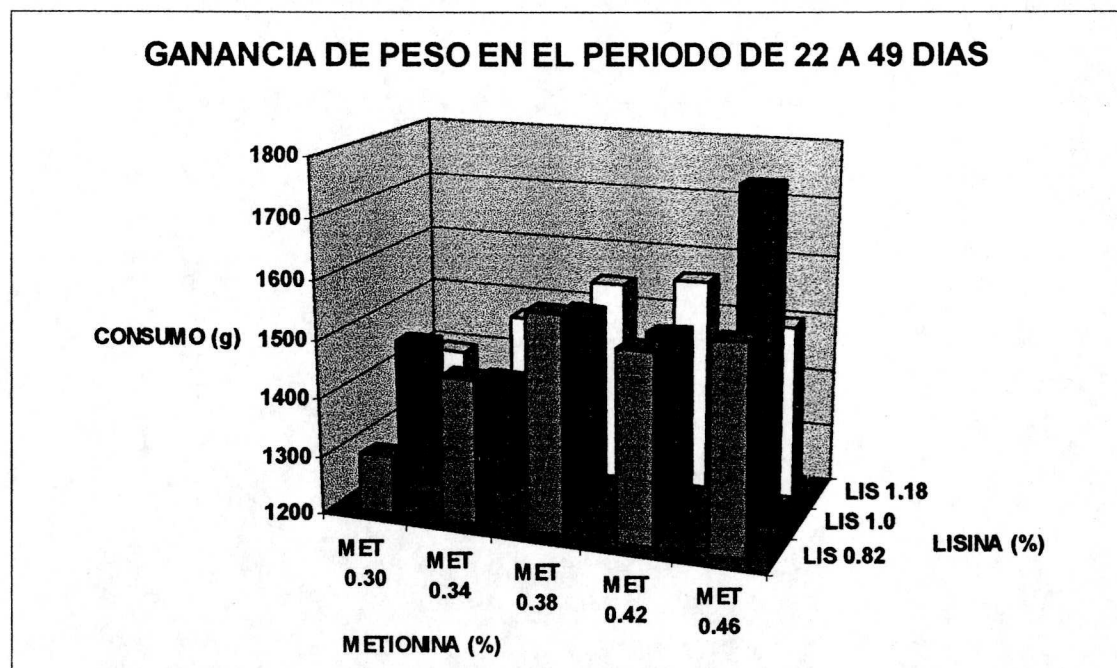
Gráfica 1. Consumo de alimento acumulado a los 21 días de edad Experimento 1.



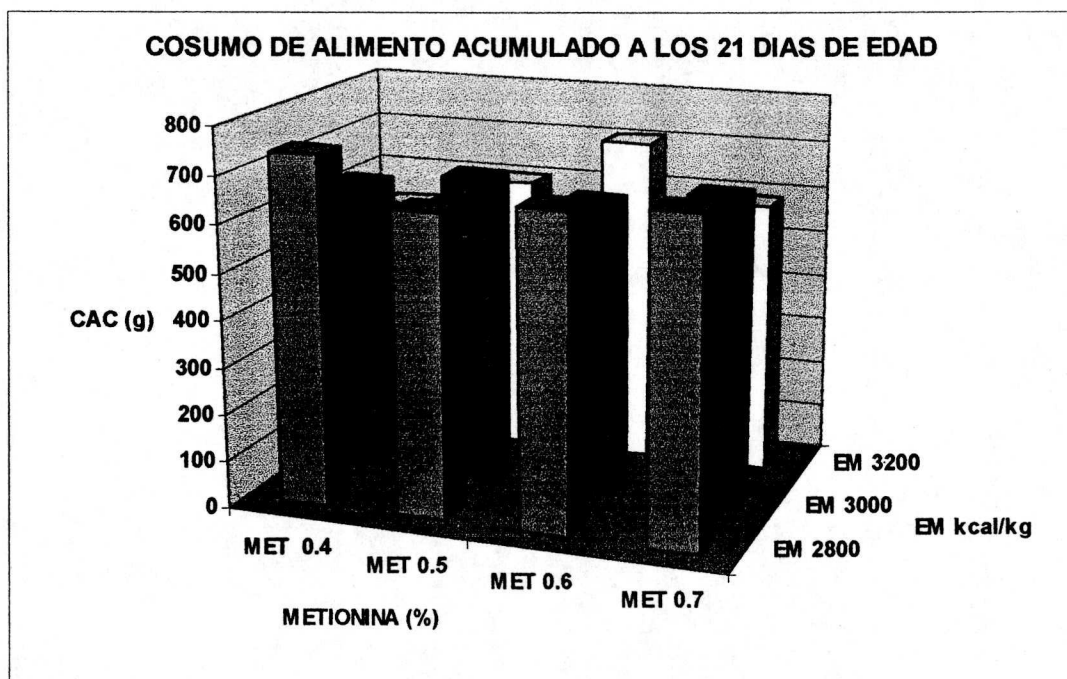
Gráfica 2. Peso vivo final a los 21 días de edad Experimento 1.



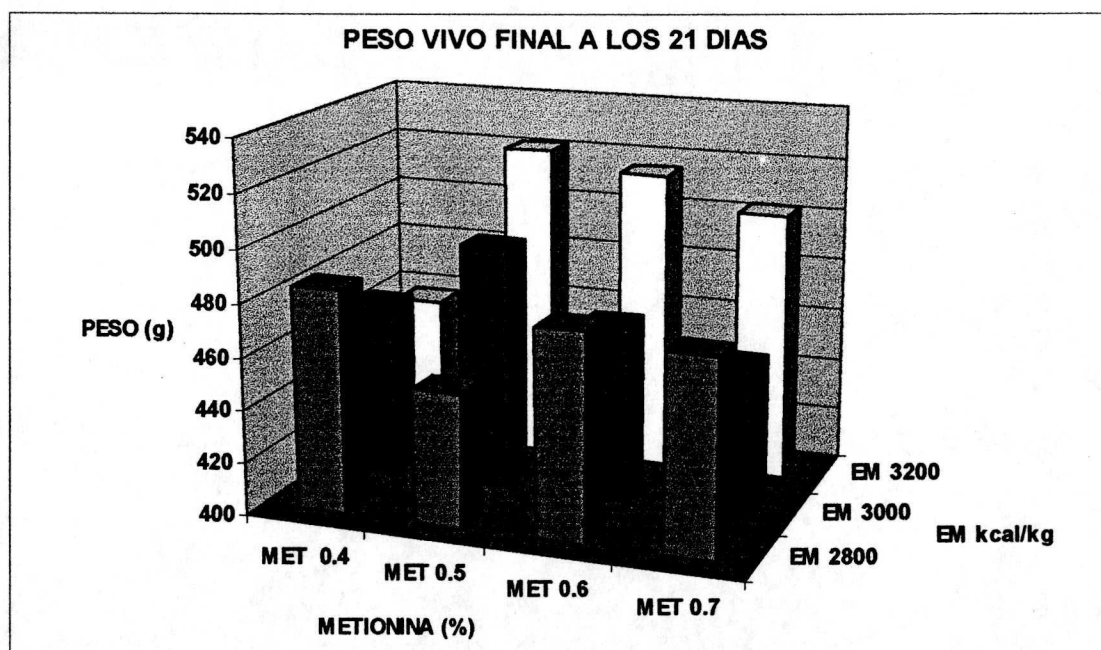
Gráfica 3. Consumo de alimento en el periodo de 22 a 49 días de edad Experimento 1.



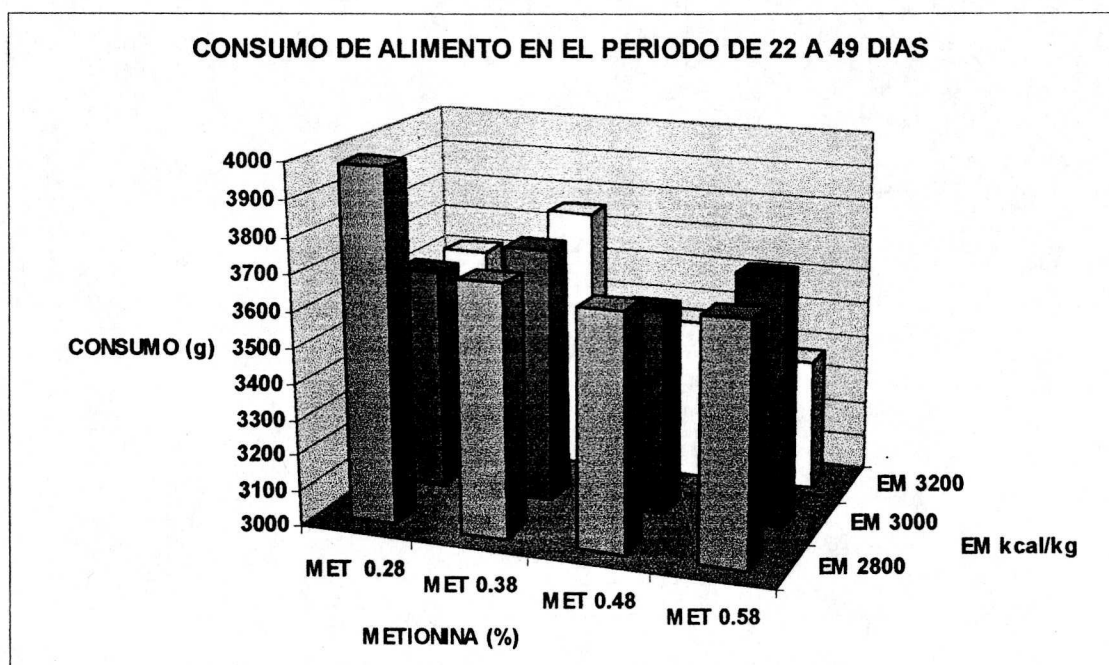
Gráfica 4. Ganancia de peso en el periodo de 22 a 49 días Experimento 1.



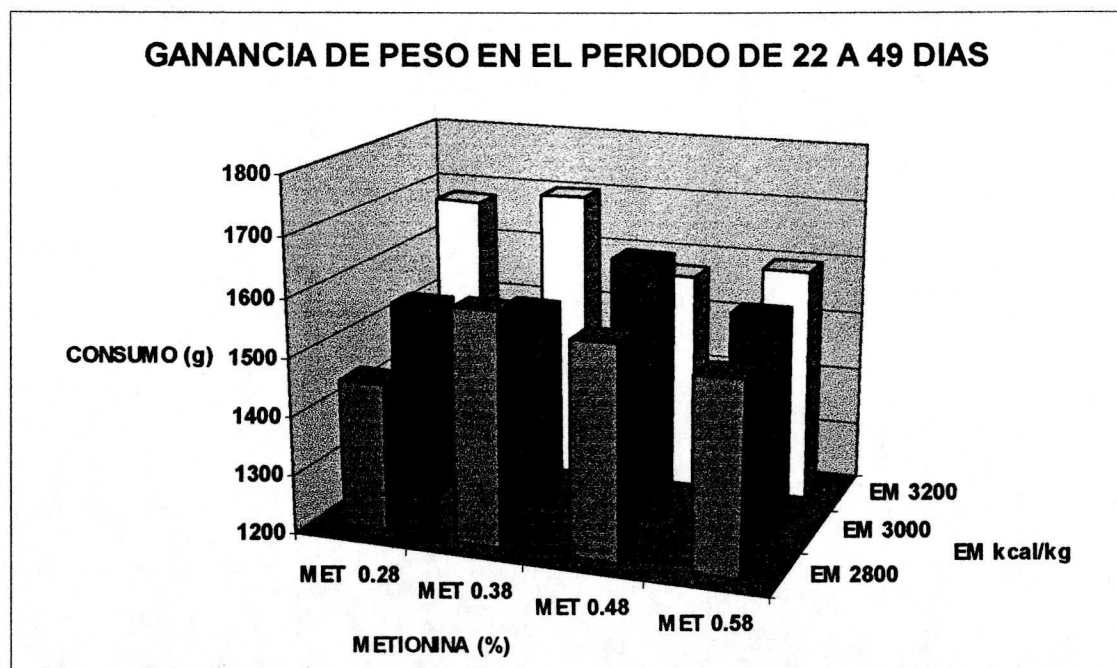
Gráfica 5. Consumo de alimento acumulado a los 21 días de edad Experimento 2.



Gráfica 6. Peso vivo final a los 21 días de edad Experimento 2.



Gráfica 7. Consumo de alimento en el periodo de 22 a 49 días de edad Experimento 2.



Gráfica 8. Ganancia de peso en el periodo de 22 a 49 días Experimento 2.

Anexo 2. Composición de las dietas experimentales.

Cuadro 1. Composición de las dietas experimentales del experimento uno en la etapa de iniciación 1 a 21 días.

Ingredientes	DIETAS														
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15
Sorgo	63.04	63.04	63.04	63.04	63.04	63.04	63.04	63.04	63.04	63.04	63.04	63.04	63.04	63.04	63.04
Soya	25.80	25.80	25.80	25.80	25.80	25.80	25.80	25.80	25.80	25.80	25.80	25.80	25.80	25.80	25.80
Gluten de maíz	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Aceite	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68
DL-Metionina	0.01	0.09	0.17	0.25	0.33	0.01	0.09	0.17	0.25	0.33	0.01	0.09	0.17	0.25	0.33
L-lisina HCl	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53
Carbonato de Ca	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81
Ortofosfato	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11
Sal	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Premezcla vitamínica*	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Premezcla Mineral**	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Arena	0.82	0.74	0.66	0.58	0.50	0.57	0.49	0.41	0.33	0.25	0.32	0.24	0.16	0.08	0.00
Análisis calculado															
EM Kcal/kg	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Proteína cruda %	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Metionina %	0.35	0.43	0.50	0.58	0.65	0.35	0.43	0.50	0.58	0.65	0.35	0.43	0.50	0.58	0.65
Lisina %	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3

*La premezcla vitamínica aporta: vitamina A 4800 MUI, vitamina D₃ 1000 MUI, vitamina E 12000 UI, vitamina K₃ 0.8 g, Tiamina 0.9 g, Riboflavina 3 g, Piridoxina 1.4 g, vitamina B₁₂ 8.0 mg, Niacina 18 g, Acido pantoténico 5 g, Biotina 50 mg, Acido fólico 0.6 g, Antioxidante 10 g y vehículo cbp 1000 g.

** La premezcla mineral aporta: Hierro 110 g, Zinc 50 g, manganeso 110 g, Cobre 2 g, Yodo 0.3 g, Selenio 0.1 g, Cobalto 0.2 g y excipiente cbp 1000 g.

NOTA: las dietas contenían 1.0% de calcio y 0.45% de fósforo disponible.

Cuadro 2. Composición de las dietas experimentales del experimento uno en la etapa de finalización 22 a 49 días.

Ingredientes	DIETAS														
	%														
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15
Sorgo	68.73	68.73	68.73	68.73	68.73	68.73	68.73	68.73	68.73	68.73	68.73	68.73	68.73	68.73	68.73
Soya	23.23	23.23	23.23	23.23	23.23	23.23	23.23	23.23	23.23	23.23	23.23	23.23	23.23	23.23	23.23
Gluten de maíz	2.79	2.79	2.79	2.79	2.79	2.79	2.79	2.79	2.79	2.79	2.79	2.79	2.79	2.79	2.79
Aceite	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
DL-Metionina	0.00	0.04	0.08	0.12	0.16	0.00	0.04	0.08	0.12	0.16	0.00	0.04	0.08	0.12	0.16
L-lisina HCl	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49
Carbonato de Ca	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88
Ortofosfato	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47
Sal	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Premezcla vitamínica*	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Premezcla Mineral**	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Pigmento	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Arena	0.62	0.58	0.54	0.50	0.46	0.39	0.35	0.31	0.27	0.23	0.16	0.12	0.08	0.04	0.00
Análisis calculado															
EM Kcal/kg	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Proteína cruda %	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Metionina %	0.30	0.34	0.38	0.42	0.46	0.30	0.34	0.38	0.42	0.46	0.30	0.34	0.38	0.42	0.46
Lisina %	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18

*La premezcla vitamínica aporta: vitamina A 4800 MUI, vitamina D₃ 1000 MUI, vitamina E 12000 UI, vitamina K₃ 0.8 g, Tiamina 0.9 g, Riboflavina 3 g, Piridoxina 1.4 g, vitamina B₁₂ 8.0 mg, Niacina 18 g, Acido pantoténico 5 g, Biotina 50 mg, Acido fólico 0.6 g, Antioxidante 10 g y vehículo cbp 1000 g.

** La premezcla mineral aporta: Hierro 110 g, Zinc 50 g, manganeso 110 g, Cobre 2 g, Yodo 0.3 g, Selenio 0.1 g, Cobalto 0.2 g y excipiente cbp 1000 g.

NOTA: las dietas contenían 0.8% de calcio y 0.30% de fósforo disponible.

Cuadro 3. Composición de las dietas experimentales del experimento dos en la etapa de iniciación 1 a 21 días.

Ingredientes	DIETAS											
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	% T7	T8	T9	T10	T11	T12
Sorgo	62.86	62.86	62.86	62.86	59.22	59.22	59.22	59.22	55.24	55.24	55.24	55.24
Soya	32.88	32.88	32.88	32.88	33.61	33.61	33.61	33.61	34.41	34.41	34.41	34.41
Aceite	0.00	0.00	0.00	0.00	3.07	3.07	3.07	3.07	6.25	6.25	6.25	6.25
DL-Metionina	0.10	0.20	0.30	0.40	0.10	0.20	0.30	0.40	0.10	0.20	0.30	0.40
L-lisina HCl	0.11	0.11	0.11	0.11	0.09	0.09	0.09	0.09	0.07	0.07	0.07	0.07
Carbonato de Ca	1.78	1.78	1.78	1.78	1.76	1.76	1.76	1.76	1.72	1.72	1.72	1.72
Ortofosfato	1.04	1.04	1.04	1.04	1.11	1.11	1.11	1.11	1.16	1.16	1.16	1.16
Sal	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Premezcla vitamínica*	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Premezcla Mineral**	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Arena	0.48	0.38	0.28	0.18	0.30	0.20	0.10	0.00	0.30	0.20	0.10	0.00
Análisis calculado												
EM Kcal/kg	2800	2800	2800	2800	3000	3000	3000	3000	3200	3200	3200	3200
Proteína cruda %	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Metionina %	0.4	0.5	0.6	0.7	0.4	0.5	0.6	0.7	0.4	0.5	0.6	0.7
Lisina %	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1

*La premezcla vitamínica aporta: vitamina A 4800 MUI, vitamina D₃ 1000 MUI, vitamina E 12000 UI, vitamina K₃ 0.8 g, Tiamina 0.9 g, Riboflavina 3 g, Piridoxina 1.4 g, vitamina B₁₂ 8.0 mg, Niacina 18 g, Acido pantoténico 5 g, Biotina 50 mg, Acido fólico 0.6 g, Antioxidante 10 g y vehículo cbp 1000 g.

** La premezcla mineral aporta: Hierro 110 g, Zinc 50 g, manganeso 110 g, Cobre 2 g, Yodo 0.3 g, Selenio 0.1 g, Cobalto 0.2 g y excipiente cbp 1000 g

NOTA: las dietas contenían 1.0% de calcio y 0.45% de fósforo disponible.

Cuadro 4. Composición de las dietas experimentales del experimento dos en la etapa de finalización 22 a 49 días.

Ingredientes	DIETAS											
	%											
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
Sorgo	66.42	66.42	66.42	66.42	65.14	65.14	65.14	65.14	61.15	61.15	61.15	61.15
Soya	27.62	27.62	27.62	27.62	27.88	27.88	27.88	27.88	28.68	28.68	28.68	28.68
Aceite	0.00	0.00	0.00	0.00	2.4	2.4	2.4	2.4	5.57	5.57	5.57	5.57
DL-Metionina	0.00	0.10	0.20	0.30	0.00	0.10	0.20	0.30	0.00	0.10	0.20	0.30
L-lisina HCl	0.15	0.15	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.13
Carbonato de Ca	1.83	1.83	1.83	1.83	1.81	1.81	1.81	1.81	1.78	1.78	1.78	1.78
Ortofosfato	1.06	1.06	1.06	1.06	1.08	1.08	1.08	1.08	1.14	1.14	1.14	1.14
Sal	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Pigmento	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Premezcla vitamínica*	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Premezcla Mineral**	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Arena	1.77	1.67	1.57	1.47	0.40	0.30	0.20	0.10	0.40	0.30	0.20	0.10
Análisis calculado												
EM Kcal/kg	2800	2800	2800	2800	3000	3000	3000	3000	3200	3200	3200	3200
Proteína cruda %	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Metionina %	0.28	0.38	0.48	0.58	0.28	0.38	0.48	0.58	0.28	0.38	0.48	0.58
Lisina %	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

*La premezcla vitamínica aporta: vitamina A 4800 MUI, vitamina D₃ 1000 MUI, vitamina E 12000 UI, vitamina K₃ 0.8 g, Tiamina 0.9 g, Riboflavina 3 g, Piridoxina 1.4 g, vitamina B₁₂ 8.0 mg, Niacina 18 g, Acido pantoténico 5 g, Biotina 50 mg, Acido fólico 0.6 g, Antioxidante 10 g y vehículo cbp 1000 g.

** La premezcla mineral aporta: Hierro 110 g, Zinc 50 g, manganeso 110 g, Cobre 2 g, Yodo 0.3 g, Selenio 0.1 g, Cobalto 0.2 g y excipiente cbp 1000 g.

NOTA: las dietas contenían 0.8% de calcio y 0.30% de fósforo disponible.

Anexo 3. Parámetros de los modelos de regresión utilizados para la construcción de los modelos econométricos.

Cuadro 1. Parámetros estimados para consumo de alimento.

MODELO	LINEAL					
	21 días		42 días		49 días	
	CME = 1373	$r^2=.79$	CME = 22884	$r^2=.61$	CME = 14983	$r^2=.19$
Parámetro	Estimado		Estimado		Estimado	
Intercepto	2291.541769	*	6106.814601	*	776.6165407	NS
Autor	91.332539	*	176.670449	*	157.6685337	*
EM	-0.526682	*	-1.055448	*	-0.1085269	NS
Proteína	-3.781727	NS	-48.035094	NS	19.3665168	NS
Metionina	-94.546744	NS	-529.554731	NS	264.2308610	NS
Lisina	51.218588	NS	307.013777	*		

MODELO	CUADRÁTICO					
	21 días		42 días		49 días	
	CME = 1248	$r^2=.82$	CME = 22582	$r^2=.64$	CME = 15247	$r^2=.22$
Parámetro	Estimado		Estimado		Estimado	
Intercepto	20369.94037	NS	2740.20209	NS	145836.0292	NS
Autor	126.20724	*	246.08042	NS	219.8007	NS
EM	1.01082	NS	64.79155	NS	-43.5223	NS
EM*EM	-0.00026	NS	-0.01073	NS	0.0071	NS
PC	-2004.19569	*	-10435.03547	NS	-8404.0198	NS
PC*PC	48.37868	*	275.06775	NS	222.7583	NS
MET	-323.69341	NS	482.80673	NS	1141.2423	NS
MET*MET	228.70983	NS	-1318.13293	NS	-1154.3646	NS
LIS	521.28838	NS	143.95524	NS	646.3422	NS
LIS*LIS	-215.35824	NS	77.62440	NS	-403.5943	NS

Cuadro 2. Parámetros estimados para peso vivo final.

MODELO LINEAL						
	21 días		42 días		49 días	
	CME=934	r²=,47	CME = 6445	r²=,30	CME = 4853	r²=,10
Parámetro	Estimado		Estimado		Estimado	
Intercepto	916.2877305	*	-595.255128	NS	33.3633936	
Autor	27.3242855	*	150.987004	*	25.6426257	
EM	-0.2768979	*	0.284083	NS	0.0014265	
Proteína	12.4748361	*	1.990390	NS	14.2545997	
Metionina	52.3839244	NS	1006.956646	*	326.6410438	
Lisina	146.5595755	*	119.054860	NS	-65.8144118	

MODELO CUADRÁTICO						
	21 días		42 días		49 días	
	CME = 888	r²=,53	CME = 6458	r²=,33	CME = 5006	r²=,11
Parámetro	Estimado		Estimado		Estimado	
Intercepto	-5593.234949	NS	8290.188000	NS	68176.84952	NS
Autor	42.397218	*	133.547976	NS	51.16377	NS
EM	6.049129	NS	8.093792	NS	-21.64567	NS
EM*EM	-0.001034	NS	-0.001268	NS	0.00354	NS
PC	-368.956765	NS	-2379.251747	NS	-3735.89405	NS
PC*PC	9.201725	NS	62.489469	NS	99.15749	NS
MET	300.423604	NS	3782.178392	NS	831.29622	NS
MET*MET	-247.561576	NS	-3649.112344	NS	-664.47426	NS
LIS	1438.548055	*	2631.656919	NS	242.79419	NS
LIS*LIS	-587.710204	*	-1257.013160	NS	-154.25966	NS

