

**UNIVERSIDAD DE COSTA RICA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROALIMENTARIAS**  
**Escuela de Zootecnia**

***Formulación de Dietas de Pollos de Engorde con y sin Harinas de Origen Animal con Aminoácidos Totales y Digestibles Medidos por NIRS***

**Javier Otárola Böcker**

**Tesis presentada para optar por el título de Ingeniero Agrónomo en el grado académico de Licenciatura con énfasis en Zootecnia**

**CIUDAD UNIVERSITARIA RODRIGO FACIO**

**Agosto 2008**

## TRIBUNAL EXAMINADOR

M. Sc. Mario Zumbado Alpízar  
Director de Tesis

---

M. Sc. Jorge Sánchez González  
Miembro del Tribunal

---

M. Sc. Lizbeth Mata Arias  
Miembro del Tribunal

---

M. V. Rebeca Zamora Sanabria  
Miembro del Tribunal

---

M. Sc. Carlos Arroyo Oquendo  
Director Escuela

---

Javier Otárola Böcker  
Sustentante

---

## **DEDICATORIA**

A mi Padre Celestial, quien con mucho Amor me sustenta y da la fortaleza para ser mejor persona cada día.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al M sc. Mario Zumbado Alpizar por permitirme desarrollar la presente investigación de tesis bajo su orientación profesional.

Al Dr. Henry Soto por su valiosa y desinteresada colaboración en el análisis estadístico de los datos experimentales.

Al Ing. Oscar Cambronero por su gran participación y apoyo a lo largo del trabajo de campo y en planta de proceso.

A las Ing. Catalina Salas y M.V. Rebeca Zamora por su colaboración y sugerencias durante la revisión del documento de tesis.

A Andrea, por tu amor, apoyo y desinteresada orientación profesional.

A mis padres, quienes con mucho esfuerzo y paciencia me han apoyado para alcanzar una meta más para mi vida profesional.

A todos aquellos funcionarios de la Corporación PIPASA y los que de alguna forma hicieron posible que este proyecto se haya llevado a cabo, muchas gracias.

# ÍNDICE GENERAL

## Página

DEDICATORIA.....	.ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
ÍNDICE GENERAL.....	iv
ÍNDICE DE CUADROS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS ANEXO I.....	x
ÍNDICE DE CUADROS ANEXO II.....	xi
RESUMEN.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	4
General .....	4
Específicos.....	4
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO.....	5
1.1 Proteína Ideal.....	6
1.2 Digestibilidad de aminoácidos en pollos de engorde.....	10
1.2.1 Definiciones de Digestibilidad Aparente y Digestibilidad Verdadera ileal de los aminoácidos.....	10
1.2.2 Factores que afectan los coeficientes de digestibilidad en broilers.....	12
1.2.2.1 Factores propios de la materia prima.....	13
1.2.2.1.1 Factores independientes a la proteína del ingrediente.....	13
1.2.2.1.2 Factores propios de la proteína del ingrediente.....	14
1.2.2.2 Factores externos a la materia prima.....	15
1.3 Características proteínicas y digestibilidades de diversas materias primas utilizadas para la alimentación de broilers.....	16
1.3.1 Subproductos del maíz.....	16
1.3.2 Harina de soya.....	18
1.3.3 Harina de pescado.....	22
1.3.4 Harina de carne y hueso.....	24
1.3.5 Subproductos avícolas (Tortave).....	27
1.4 Uso del NIRS en el análisis de materias primas.....	30

CAPÍTULO II. PROCEDIMIENTO Y METODOLOGÍA.....	33
2.1 Lugar de experimentación.....	34
2.2 Metodología de trabajo.....	34
2.2.1 Muestreo y evaluación nutricional de materias primas de origen vegetal como animal vía NIRS.....	34
2.2.2 Formulación de dietas experimentales.....	35
2.2.2.1 Tratamientos.....	36
2.2.3 Diseño experimental.....	38
2.2.4 Variables evaluadas.....	38
2.3 Modelo estadístico.....	38
CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	40
3.1 Evaluación de variables experimentales en granja.....	41
3.1.1 Ganancia de peso semanal.....	43
3.1.2 Consumo semanal.....	44
3.1.3 Conversión alimenticia semanal.....	45
3.1.4 Mortalidad acumulada.....	46
3.2 Resultados en Planta de Proceso.....	46
3.2.1 Peso promedio y rendimiento en pie y en canal.....	48
3.2.2 Peso promedio en grasa abdominal.....	51
3.2.3 Peso y rendimiento de alas.....	52
3.2.4 Peso y rendimiento promedio en muslos.....	53
3.2.5 Peso y rendimiento en pechuga y en filete.....	54
3.4 Evaluación de los rendimientos productivos finales.....	55
3.3 Análisis de costos por alimentación.....	56
CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES.....	59
CAPÍTULO V. RECOMENDACIONES.....	62
BIBLIOGRAFÍA.....	64
ANEXO I.....	70
ANEXO II.....	73

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>CUADRO</b>	<b>Página</b>
1. Formulación de dietas para pollos de engorde con maíz y soya, con o sin la adición de harinas animales basadas en AAT y AAD medidos por NIRS.....	36
2. Niveles de AAT y AAD calculados a partir de las materias primas obtenidos por NIRS.....	37
3. Fuentes de variación del modelo matemático y sus correspondientes números de grados de libertad.....	39
4. Rendimientos acumulados promedio de pollos de engorde con dietas formuladas con AAT o AAD medidos por NIRS, con o sin harinas de origen animal (1-42 días).....	41
5. Parámetros semanales de los broilers alimentados durante 6 semanas con dietas en base a AAT como AAD medidos por NIRS y su análisis estadístico.....	42
6. Valores promedio de los parámetros evaluados en la planta de proceso en pollos de 42 días de edad.....	47
7. Cálculo de índices de eficiencia productiva (IPE) de la población de los broilers de 42 días de edad por tratamiento una vez finalizada la prueba de campo.....	56
8. Costos (¢) promedio por kilogramo de alimento y de alimento por kilogramo de peso vivo de los pollos de engorde, con o sin HA y formulación con AAT o AAD.....	57
9. Costos (*¢) promedio por kilogramo de alimento para pollos de engorde, con o sin HA y formulación con AAT o AAD medidos por NIRS.....	58

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
1. Distribución de peso promedio por tratamiento por semana	43
2. Distribución de consumo promedio por tratamiento por semana.....	44
3. Distribución de conversión alimenticia promedio por semana	45
4. Peso vivo en planta de proceso.....	48
5. Rendimiento promedio de canal caliente por tratamiento	49
6. Porcentaje de rendimientos promedio de las canales por tratamiento.....	49
7. Rendimiento promedio de las canales post-chiller por tratamiento.....	50
8. Porcentaje de rendimientos promedio de las canales post-chiller por tratamiento.....	50
9. Rendimiento promedio por tratamiento de grasa abdominal.....	51
10. Porcentaje de rendimientos promedio en grasa abdominal por tratamiento.....	51
11. Rendimiento promedio de alas por tratamiento .....	52
12. Porcentaje de rendimientos promedio en alas por tratamiento	52
13. Rendimiento promedio de muslo por tratamiento ....	53
14. Porcentaje de rendimientos promedio en muslo por tratamiento.....	53
15. Rendimiento promedio de pechuga por tratamiento	54
16. Porcentaje de rendimientos promedio en pechuga por tratamiento .....	54
17. Rendimiento promedio de filete por tratamiento .....	55
18. Porcentaje de rendimientos promedio en filete por tratamiento	55

## ÍNDICE DE FIGURAS ANEXO I

<b>Cuadro</b>		<b>Página</b>
I.1	Distribución al azar de los tratamientos en los corrales a lo largo de 6 semanas de experimentación.....	72
I.2	Distribución de consumo acumulado promedio por tratamiento.....	72
I.3	Distribución de conversión alimenticia acumulada por tratamiento...	73
I.4	Distribución de mortalidad semanal por tratamiento	73

## ÍNDICE DE CUADROS ANEXO II

<b>Cuadro</b>	<b>Página</b>
II.1 Análisis de varianza de los tratamientos para la ganancia de peso de los broilers en la semana 1.....	75
II.2 Análisis de varianza de los tratamientos para la ganancia de peso de los broilers en la semana 2.....	75
II.3 Análisis de varianza de los tratamientos para la ganancia de peso de los broilers en la semana 3.....	75
II.4 Análisis de varianza de los tratamientos para la ganancia de peso de los broilers en la semana 4.....	76
II.5 Análisis de varianza de los tratamientos para la ganancia de peso de los broilers en la semana 5.....	76
II.6 Análisis de varianza de los tratamientos para la ganancia de peso de los broilers en la semana 6.....	76
II.7 Análisis de varianza de los tratamientos para el consumo de los broilers en la semana 1.....	77
II.8 Análisis de varianza de los tratamientos para el consumo de los broilers en la semana 2.....	77
II.9 Análisis de varianza de los tratamientos para el consumo de los broilers en la semana 3.....	77
II.10 Análisis de varianza de los tratamientos para el consumo de los broilers en la semana 4.....	78
II.11 Análisis de varianza de los tratamientos para el consumo de los broilers en la semana 5.....	78
II.12 Análisis de varianza de los tratamientos para el consumo de los broilers en la semana 6.....	78
II.13 Análisis de varianza de los tratamientos para el consumo acumulado de los broilers en la semana 2.....	79
II.14 Análisis de varianza de los tratamientos para el consumo acumulado de los broilers en la semana 3.....	79
II.15 Análisis de varianza de los tratamientos para el consumo acumulado de los broilers en la semana 4.....	79

II.16	Análisis de varianza de los tratamientos para el consumo acumulado de los broilers en la semana 5.....	80
II.17	Análisis de varianza de los tratamientos para conversión alimenticia de los broilers en la semana 1.....	80
II.18	Análisis de varianza de los tratamientos para conversión alimenticia de los broilers en la semana 2.....	80
II.19	Análisis de varianza de los tratamientos para conversión alimenticia de los broilers en la semana 3.....	81
II.20	Análisis de varianza de los tratamientos para conversión alimenticia de los broilers en la semana 4.....	81
II.21	Análisis de varianza de los tratamientos para conversión alimenticia de los broilers en la semana 5.....	81
II.22	Análisis de varianza de los tratamientos para conversión alimenticia de los broilers en la semana 6.....	82
II.23	Análisis de varianza de los tratamientos para conversión alimenticia acumulada de los broilers en la semana 2	82
II.24	Análisis de varianza de los tratamientos para conversión alimenticia acumulada de los broilers en la semana 3	82
II.25	Análisis de varianza de los tratamientos para conversión alimenticia acumulada de los broilers en la semana 4	83
II.26	Análisis de varianza de los tratamientos para conversión alimenticia acumulada de los broilers en la semana 5	83
II.27	Análisis de varianza de los tratamientos para mortalidad acumulada de los broilers en la semana 6.....	83
II.28	Análisis de varianza de los tratamientos para peso de canal caliente en planta de proceso.....	84
II.29	Análisis de varianza de los tratamientos para porcentaje de canal caliente en planta de proceso.....	84
II.30	Análisis de varianza de los tratamientos para peso de canal post-chiller en planta de proceso.....	84
II.31	Análisis de varianza de los tratamientos para porcentaje de canal post-chiller en planta de proceso.....	85
II.32	Análisis de varianza de los tratamientos para peso de grasa abdominal en planta de proceso.....	85

II.33	Análisis de varianza de los tratamientos para porcentaje de grasa abdominal en planta de proceso.....	85
II.34	Análisis de varianza de los tratamientos para peso de alas en planta de proceso.....	86
II.35	Análisis de varianza de los tratamientos para porcentaje de alas en planta de proceso.....	86
II.36	Análisis de varianza de los tratamientos para peso de muslo en planta de proceso.....	86
II.37	Análisis de varianza de los tratamientos para porcentaje de muslo en planta de proceso.....	87
II.38	Análisis de varianza de los tratamientos para peso de pechuga en planta de proceso.....	87
II.39	Análisis de varianza de los tratamientos para porcentaje de pechuga en planta de proceso.....	87
II.40	Análisis de varianza de los tratamientos para peso de filete en planta de proceso.....	88
II.41	Análisis de varianza de los tratamientos para porcentaje de filete en planta de proceso.....	88

## RESUMEN

Se evaluó en pollos de engorde el efecto de la formulación por aminoácidos totales y digestibles medidos con NIRS, utilizando la base de datos *NIRSA* de la Compañía Adisseo, en dietas con y sin la inclusión de harinas de subproductos animales.

Los tratamientos consistieron de 4 dietas: T1) Harina de maíz amarillo (MZ) más harina de soya 48% (SY) y formulación con aminoácidos totales (AAT), T2) MZ–SY con formulación por aminoácidos digestibles (AAD), T3) MZ – SY más harinas animales (HA) con formulación por AAT y T4) MZ–SY–HA formulando en base a AAD. Las HA utilizadas fueron harina de pescado (HP) [5% en preinicio y 2,5% en inicio], harina de carne y hueso (HCH) [2,5% en inicio y 7,5% en crecimiento y finalizador] y harina de subproductos avícolas (HSA) [2,5% en crecimiento y finalizador]. Se diseñó un modelo de campo irrestricto al azar, con 9 repeticiones por tratamiento a fin de evaluar en los pollos de engorde las siguientes variables semanales y acumuladas: Consumo de alimento, ganancia de peso, conversión alimenticia y mortalidad.

La ganancia de peso promedio mostró diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) durante las semanas 2 y 3. La dieta 4 (MZ–SY–HA AAD) contribuyó con mayores ganancias promedio, mientras que la dieta 1 (MZ–SY AAT) proporcionó menores rendimientos. No existieron diferencias significativas ( $P \geq 0,05$ ) en la ganancia de peso en las restantes semanas.

Se registraron diferencias ( $P < 0,05$ ) en el consumo de alimento en las semanas 3 y 5 por efecto de los tratamientos. Se observó que las dietas 3 (MZ–SY–HA AAT) y 1 (MZ–SY AAT) mostraron los mayores consumos promedio, mientras que las dietas con máximos y mínimos consumos promedio fueron la 1 (MZ–SY AAT) y 4 (MZ–SY–HA AAD) respectivamente, durante la semana 5.

Hubo diferencias ( $P < 0,05$ ) en la conversión alimenticia de las semanas 2, 3 y 4. Los tratamientos 3 y 1 formulados en base a AAT proporcionaron las conversiones alimenticias promedio más elevadas en las semanas 2 y 4, mientras que en las semanas 2 y 3 la dieta 4 (AAD) influyó en menores índices de conversión alimenticia. En la semana 4 el menor índice se logró con la dieta 1 (AAT). Los índices acumulados fueron máximos y mínimos con las dietas T3 (AAT) y T4 (AAD), respectivamente.

La mortalidad acumulada final no fue significativa ( $P \geq 0,05$ ) ya que resultaron eventos muy aleatorios y no asociados al efecto de ningún tratamiento.

Se registraron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) sobre los rendimientos en canal de los pollos de engorde mixtos por efecto directo de los tratamientos. Hubo porcentajes promedio con máximo de 74,09% con el tratamiento 3 (AAT) y mínimo de 72,03% con el 1 (AAT). No se encontraron diferencias

significativas ( $P \geq 0,05$ ) entre los rendimientos de canal para las dietas 2 (AAD), 3 (AAT) y 4 (AAD).

No se encontraron efectos significativos ( $P \geq 0,05$ ) de los tratamientos sobre los rendimientos de ninguna otra variable productiva obtenida en planta de proceso.

El análisis final de costos mostró que las dietas 3 (AAT) y 4 (AAD) formuladas con harinas animales resultaron las más económicas, tanto en el precio promedio por kilogramo de alimento ( $(\phi)/\text{kg}$ ) como en el costo promedio de alimento por kilogramo de peso vivo de broiler ( $\phi/\text{kg}$  de PV) en comparación con las dietas elaboradas únicamente de harinas vegetales a base de AAT y AAD.

Los índices de eficiencia productiva (IEP) a los 42 días de prueba de los pollos de engorde sometidos a cada uno de los cuatro tratamientos resultaron en un valor mayor para la dieta 4 (AAD) y menor para la dieta 3 (AAT).

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la consigna es mejorar la eficiencia productiva y económica en las empresas avícolas, las cuales buscan satisfacer a una población en creciente demanda por alimentos.

Un componente muy importante que se considera dentro de este ámbito de eficiencia productiva es el de la alimentación de pollos de engorde a partir del concepto de proteína ideal. Bajo este concepto se busca optimizar la utilización de la proteína en la dieta mediante el aumento de la relación retención/consumo de la proteína, y así minimizar la excreción de nitrógeno, formulando dietas en base a requerimientos de aminoácidos digestibles y no por proteína cruda o aminoácidos totales, tal como lo señala Leclercq (2006).

Los conceptos de proteína ideal, digestibilidad y disponibilidad de aminoácidos en las dietas para pollos de engorde están muy difundidos a través de las empresas avícolas y entre los nutricionistas. No obstante, parece que en la práctica su uso no es tan extendido como se esperaría debido a múltiples razones. Algunas de ellas descritas por muchos nutricionistas son las siguientes, según Creswell (2001).

“Lo he hecho así por muchos años y parece que trabaja”

“Cambiar de AAT a AAD envuelve un riesgo y no me pagan por tomar riesgos”

“No es necesario, ya que uso ingredientes de alta digestibilidad como harina de soya, maíz y harina de pescado”

En la realidad, los alimentos formulados en base a AAT (aminoácidos totales) traen consigo problemas ya que los aminoácidos que componen los distintos ingredientes presentan diferentes grados de digestibilidad. Por ejemplo, Salvador y García (2006) señalan que entre el 85-90% de la lisina que viene en la pasta de soya y en la harina de pescado es digestible, mientras que la contenida en harina de carne y hueso varía entre 75 – 80%.

Los alimentos formulados a partir de AAT para pollos de engorde presentan dos problemas importantes. Primero, no logran favorecer el rendimiento productivo en los animales ya que no aportan las cantidades exactas que el metabolismo necesita para una máxima asimilación de la proteína. De hecho, estas dietas solamente logran satisfacer los requerimientos nutricionales, sin embargo no existe un uso efectivo de la proteína suministrada que favorezca tanto una adecuada eficiencia proteica como un incremento en la Energía Neta para Producción. Segundo, se da una inadecuada valoración de los niveles de aminoácidos digestibles que se encuentran en los ingredientes, ya que estos son subvaluados y viceversa, ocasionando que se tomen decisiones inapropiadas a la hora de comprar los ingredientes para formular los alimentos.

Por otra parte la formulación de alimentos en base a AAD (aminoácidos digestibles) presenta una serie de ventajas que garantizan una máxima retención de la proteína. Se logran utilizar dietas compuestas tanto de harinas de origen vegetal como animal que logran satisfacer los requerimientos de proteína ideal, expresados como porcentajes de lisina digestible correspondientes para cada etapa del ciclo de engorde en los pollos. Así se incrementa el uso de subproductos alternativos de proteína de menor calidad tales como la harina de carne y hueso, harina de pescado, harina de plumas y tortave, con los que se pueden abaratar los costos por alimentación.

Existen tres razones fundamentales que motivan el uso de alimentos dirigidos a satisfacer las necesidades específicas de aminoácidos en los pollos de engorde:

1. El elevado precio de la proteína, que probablemente continuará aumentando en el futuro.
2. El problema ambiental que genera la excreción excesiva de nitrógeno.
3. La creciente disponibilidad y precios más asequibles de aminoácidos sintéticos (lisina, metionina, triptofano y treonina) para alimentación animal.

Estas consideraciones han motivado diversas investigaciones con las diferentes materias primas de origen animal y vegetal utilizadas en la alimentación avícola, para evaluar la composición y calidad de la proteína. La medición de aminoácidos en alimentos siempre ha sido una limitante ya que los equipos necesarios son de alto costo y los procedimientos lentos y costosos. Una de las más recientes técnicas para medir aminoácidos es la determinación cuantitativa por el método de NIRS (Espectroscopia de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano), que permite obtener espectros de banda infrarroja correspondientes a las concentraciones de aminoácidos presentes en las materias primas evaluadas. Mediante un "paquete" de cómputo (software) se correlacionan los espectros con matrices estadísticas altamente calibradas y se traduce el contenido exacto de los distintos aminoácidos que constituyen las materias primas. Con esta información se formulan alimentos mezclando estos ingredientes y se ajustan las cantidades necesarias de AAD. Esto presumiblemente permite contar con mejores rendimientos productivos al obtener mejores curvas de conformación corporal y uniformidad entre las parvadas. Asimismo se logra maximizar la digestibilidad de la proteína ingerida y se reduce la excreción de nitrógeno al medio ambiente.

La presente investigación se plantea con el propósito de evaluar en pollos de engorde los rendimientos productivos obtenidos tanto en finca como en planta de proceso, y así determinar el beneficio económico y productivo de formular las dietas con requerimientos basados en proteína ideal y con valores de aminoácidos totales y digestibles.

## **OBJETIVOS**

### ***General***

Evaluar los rendimientos de pollos de engorde con dietas a base de maíz y harina de soya, con y sin harinas de origen animal, formuladas con aminoácidos totales y digestibles medidos por NIRS.

### ***Específicos***

- 1) Medir el efecto de dietas que contienen harinas vegetales con y sin harinas animales sobre los rendimientos productivos de pollos de engorde.
- 2) Medir el efecto de dietas formuladas en base a aminoácidos totales y digestibles medidos por NIRS sobre los rendimientos productivos de pollos de engorde.
- 3) Evaluar el efecto de las diferentes dietas sobre los rendimientos en planta de proceso.
- 4) Determinar el beneficio económico de ofrecer dietas formuladas con aminoácidos totales o digestibles en pollos de engorde.

# **CAPÍTULO I**

## **MARCO TEÓRICO**

## 1.1 Proteína Ideal

La proteína ideal se define como una mezcla de proteínas alimenticias donde todos los aminoácidos digestibles, principalmente los aminoácidos esenciales, son limitantes en la misma proporción. Esto significa que ningún aminoácido se encuentra en exceso en comparación con el resto, de acuerdo a lo señalado por Leclercq (2006).

De acuerdo con Bell *et al.* (2002) la retención de la proteína es máxima cuando se suministran las cantidades y niveles ideales de aminoácidos esenciales y no esenciales, lo cual proporciona un adecuado aprovechamiento del alimento consumido al satisfacer los requerimientos nutritivos reales del ave, y los niveles de nitrógeno excretado son nulos.

García *et al.* (2006) señalan la importancia de ofrecer dietas a los pollos de engorde con la máxima precisión posible, es decir, que no hayan deficiencias ni excesos de proteína ofrecida. Cuando existen excesos de aminoácidos en las dietas, éstos sufren una pérdida de sus grupos amino por procesos metabólicos en el ave, y los grupos ó esqueletos carbonados residuales pueden sufrir la conversión a glucosa (gluconeogénesis). Los esqueletos carbonados pueden oxidarse a través del ciclo de los ácidos tricarboxílicos, reduciéndose al mínimo la excreción de nitrógeno. Estos procesos son muy costosos para el metabolismo ya que se produce un mayor gasto energético para el mantenimiento a expensas del crecimiento del animal. Por esa razón es necesario buscar la mayor precisión posible para satisfacer los requerimientos reales del ave.

Baker (1995), citado por García *et al.* (2006), define el concepto de proteína ideal como un balance deseado de la proteína en el alimento que logra cubrir las necesidades absolutas de todos los aminoácidos requeridos para lograr una máxima deposición de tejido muscular. Esto resulta posible mediante la utilización de las cantidades exactas de aminoácidos aprovechables por el ave, expresadas en porcentaje con relación a otro aminoácido limitante de referencia como la Lisina. Se logra establecer una relación constante de los

aminoácidos haciendo posible mantener una calidad de proteína similar que puede ser aportada mediante alimentos formulados de diferentes materias primas y balanceados para proteína ideal, permitiendo cubrir las necesidades fisiológicas y productivas en el animal.

Investigaciones efectuadas por Ravindran *et al.* (1998) y Fernández *et al.* (1999), citados por García *et al.* (2006), en pollos de engorde alimentados con dietas con más de 20% de pasta de canola confirmaron los mejores rendimientos al formular con base en AA digestibles y no AA totales. Kinh (2000), citado por García *et al.* (2006), también obtuvo mejor respuesta al formular dietas con 10% de harina de pescado con base en AA digestibles.

Evaluaciones por parte de Bryden *et al.* (1999), citados por Creswell *et al.* (2001), demostraron mejores rendimientos en pollos de engorde con dietas formuladas con AAD y con la inclusión de diferentes porcentajes de harina de carne y hueso.

Parsons *et al.* (1998) trabajando con pollitos de una semana de edad, provenientes del cruce de machos New Hampshire y hembras Plymouth Rock, encontraron que las aves alimentadas con 10 ó 20% con harinas de carne y hueso de alta ó baja calidad formuladas en base a AAT tuvieron menores rendimientos ( $P < 0,05$ ) que las alimentadas con dietas de maíz y soya. El crecimiento de los pollitos alimentados con harina de carne y hueso de baja o alta calidad, con formulación a base de AAD, fue equivalente al crecimiento obtenido por los alimentados con maíz y soya.

Rostagno *et al.* (2005) señalaron que es posible reducir de 14 a 15% el nivel de proteína bruta de la dieta para pollos de engorde machos y hembras adultos cuando se les suministra alimento formulado en base a AAD.

La utilización de un balance correcto de la proteína y de los aminoácidos en las dietas de pollos de engorde trae consigo una serie de beneficios durante la producción de estos animales. Coon (2007) mencionó que la proteína y los aminoácidos están entre los nutrientes más caros para las empresas avícolas, resultantes en elevadas conversiones alimenticias debido a la relación Consumo de Alimento/Kg de peso vivo. De esta forma la selección de los niveles de aminoácidos que la empresa necesita es un punto crítico de decisión económica. Por otra parte la contaminación ambiental debido a pérdidas de nitrógeno en los desechos metabólicos de las aves afecta las fuentes de agua potable tales como mantos acuíferos aledaños a las granjas avícolas. Además, dietas altas en proteína ocasionan un incremento de calor metabólico que provoca condiciones de estrés calórico debido a una ineficiente incorporación proteica y de los aminoácidos en el organismo del ave, afectando la adecuada condición corporal. Adicionalmente se produce un mayor gasto en energía metabólica durante la conversión del nitrógeno no aprovechado en ácido úrico eliminado en las excretas. En la medida que las aves son alimentadas con formulas basadas en aminoácidos digestibles se produce un menor gasto metabólico por menor cantidad de nitrógeno no aprovechado, lo cual significa que el ave sufre menor estrés calórico y en general la energía metabólica es mayormente aprovechada para satisfacer las necesidades productivas y de mantenimiento corporal (Coon, 2007).

Baker *et al.* (1996) y Coon *et al.* (1998), citados por Coon (2007) demostraron que existen diferencias entre el perfil ideal de aminoácidos que el pollo de engorde requiere para su mantenimiento y para ganancias óptimas de peso. El requerimiento total diario de aminoácidos para mantenimiento de las aves es mínimo cuando éstas se encuentran en fases de preinicio e inicio y va aumentando conforme el animal avanza en edad. Baker *et al.* (1994) expresaron los requerimientos de proteína ideal como una relación respecto a lisina digestible, ya que existen diferencias en los requerimientos de proteína entre sexo, edad, y circunstancias generales de conformación corporal entre parvadas. Ellos recomendaron niveles de aminoácidos azufrados más elevados en relación a la lisina conforme las aves alcanzan mayor edad, determinando que las necesidades netas de aminoácidos azufrados aumentan

con relación a la lisina con el paso del tiempo. Fisher (1993) citado por Baker *et al.* (1994) reveló índices de 65:100 (AA azufrados:lisina) en pollos de engorde jóvenes y de 80:100 y probablemente mayores en aves de 5 a 6 semanas de edad.

Mack *et al.* (1999), citados por Coon (2007), determinaron que los requerimientos para mantenimiento y ganancia de peso de las aves fueron mayores para broilers de 10-21 días que para aquellos de 32-43 días de edad. Ellos observaron que la necesidad de aminoácidos digestibles para mantenimiento respecto a los requerimientos totales diarios incrementó conforme las aves aumentaron en edad. El promedio general de los requerimientos de aminoácidos digestibles para mantenimiento fue de 6% del total de requerimientos diarios de proteína ideal para aves de 10-21 días (oscilando de 1,4% de Histidina hasta 11% Arginina) y de 22% (rangos de 17% Met+Arg hasta 29% Cistina) para aves de 32 a 43 días de edad. Por otra parte, el perfil de aminoácidos digestibles respecto a lisina digestible para crecimiento (Total de requerimientos diarios – Requerimientos diarios para mantenimiento), tanto en broilers de 10-21 días como de 32-43 días resultó asombrosamente similar a las razones de aminoácidos respecto a lisina digestible determinadas para la composición corporal de los pollos de engorde recomendadas por la NRC (1994). Los resultados experimentales mostraron que el grado de utilización y eficiencia de aminoácidos en broilers jóvenes fué 10 veces mayor que en aves adultas.

La lisina es un constituyente estructural de las proteínas de suma importancia metabólica al formar parte de enzimas que intervienen en procesos digestivos y ser también un elemento de formación de tejido conectivo y osificación, componente de nucleótidos y estimulador de la división celular según Caballero (1998) citado por Leeson *et. al* (2000).

Martínez (2006) citó la relación ideal Treonina:Lisina recomendada por varios autores en 65%. No obstante, también señaló que al aumentar dicha relación a un 70% se reduce consistentemente la cantidad de grasa y mejora el contenido de proteína en la canal de los pollos de engorde.

En estudios efectuados en la Universidad de Arkansas por Coon *et al.* (1998) y citados por Coon (2006) se realizaron análisis con la línea genética Cobb 500 a fin de establecer el perfil ideal en modelo de línea quebrada de AAD relativo a lisina digestible para ganancia de peso, conversión alimenticia, desecho de ácido úrico y nitrógeno/crecimiento por aminoácidos. El cálculo para ganancia de peso fue desde 19% Triptófano hasta 125% Fenilalanina. Para conversión alimenticia fue desde 19% Triptófano hasta 127% Leucina. Para la excreción de ácido úrico se calculó desde 19% Triptófano hasta 132% Leucina. Finalmente se calculó el perfil para ganancia de peso de nitrógeno desde 20% Triptófano hasta 142% Glicina+Serina.

## **1.2 Digestibilidad de aminoácidos en pollos de engorde**

Leeson *et al.* (2000) definieron digestibilidad como un parámetro *in vivo* que involucra el análisis cuantitativo del aminoácido antes y después de haber sido ingerido por el ave. Se refiere a la fracción total de un ingrediente ingerido que es absorbido y no excretado. También se conoce como la diferencia entre la cantidad de aminoácidos ingeridos y excretados, según la definición de Machado *et al.* (1993), citados por García *et al.* (2006).

### **1.2.1 Definiciones de Digestibilidad Aparente y Digestibilidad Verdadera ileal de los aminoácidos**

La mayoría de datos de digestibilidad utilizados en la alimentación de pollos de engorde se encuentran como digestibilidad fecal verdadera por la técnica de Sibbald (1979), citado por Pack (1994), quien comparó el contenido de aminoácidos en el alimento y en las excretas de gallos adultos forzados a consumir luego de un ayuno antes y después de la ingesta. Esta técnica presenta deficiencias metodológicas citadas por Lemme *et al.* (2007): Aves adultas, ingestión forzada, incorporación única del ingrediente en evaluación en lugar de una dieta completa, ayuno antes y después de la ingestión (lo cual es contraproducente con la fisiología digestiva y con el funcionamiento normal del intestino). Por otra parte se ignora la degradación y síntesis microbiana de

aminoácidos que ocurre en el intestino grueso y también los excretados, afectando el perfil y la cantidad individual de aminoácidos en los desechos metabólicos y el valor de digestibilidad calculado. Además, se utilizan valores de digestibilidad de aminoácidos en dietas para pollitos de pocos días de edad que fueron evaluados para gallos adultos.

Bryden *et al.* (1999), citados por Coon (2007) propusieron un método que consiste en la determinación ileal de aminoácidos donde pollos en crecimiento reciben una dieta experimental ad libitum que incluye un ingrediente en evaluación como única fuente de aminoácidos. Estas aves son sacrificadas y se recolecta una muestra del material del íleon terminal y se determina el contenido de AA. Se evitan los sesgos por aportes de AA en orina ó de la fermentación en intestino grueso y los resultados son producto de la digestión normal de los pollos. No obstante, no todos los aminoácidos de la digesta intestinal provienen de la dieta sino también de porciones de AA endógenos. Según Jansman (2007) esta fracción de proteína endógena está constituida por proteínas salivares, secreciones de tipo gástrico, pancreático e intestinal, bilis, descamación de células epiteliales y de proteína microbiana resultante de la fermentación de otros constituyentes endógenos. Esta proteína se divide en dos grupos principales:

1. Proteína Basal: Representa la fracción de pérdidas naturales ó inevitables del organismo dependiente sólo del consumo de materia seca.
2. Proteína Específica: Proviene de componentes en la dieta como inhibidores de tripsina, lectinas, taninos condensados y fibras, que incrementan la tasa de pasaje de proteína endógena en el íleon terminal y pueden aumentar las secreciones y descamación de las células epiteliales e impedir su reabsorción por el organismo.

Esta fracción de proteína endógena representa un error en la determinación de la digestibilidad e incorpora el concepto de digestibilidad aparente, ya que el contenido ileal está compuesto de la mezcla de proteínas

alimenticias y endógenas. La digestibilidad aparente considera que todo el aporte de nitrógeno de los aminoácidos en el íleon proviene tanto de la dieta como de origen endógeno, Ravindran *et al.* (2005) y las pérdidas pueden ser compensadas por un mayor aporte de aminoácidos en la dieta. La fracción endógena de AA afecta mayormente los valores de digestibilidad ileal aparente de los ingredientes bajos en proteína como los cereales, contrario a las harinas de soya o de pescado que contienen mayores niveles de proteína, García *et al.* (2006).

Con el fin de obtener digestibilidades más precisas y constantes, y disminuir el error inducido por la proteína endógena, se incorporó el concepto de digestibilidad verdadera como el mecanismo que ignora la porción endógena de AA excretada y agregada a las heces, según García *et al.* (2006) por lo que no se considera la cantidad de proteínas endógenas desechadas por el metabolismo del ave. La digestibilidad verdadera hace una corrección por las pérdidas endógenas secretadas de la dieta al considerar únicamente las pérdidas basales y no las específicas de las materias primas. Leterme (2007) describió matemáticamente cada tipo de digestibilidad mediante las siguientes ecuaciones:

Digestibilidad aparente del N =  $(N_{ing} - N_{exc}) / N_{ing} \times 100$

Digestibilidad verdadera (ó estándar) del N =  $(N_{ing} - (N_{exc} - N_{end\ basal})) / N_{ing} \times 100$

### **1.2.2 Factores que afectan los coeficientes de digestibilidad en broilers**

Existen factores que afectan los valores de digestibilidad de los aminoácidos de ingredientes nutricionales para pollos de engorde. Estos se clasifican en dos principales grupos descritos por (Alonso *et al.* 2000; Abd El-Hady y Habiba, 2003; Duodu *et al.* 2003), citados por Lima (2006), como factores propios y externos a la materia prima.

### **1.2.2.1 Factores propios de la materia prima**

Este grupo está compuesto por factores independientes y propios de la proteína del ingrediente.

#### **1.2.2.1.1 Factores independientes a la proteína del ingrediente**

Son aquellos que dependen directamente de la interacción entre la fracción proteica y los componentes no proteicos del ingrediente. Entre ellos se destacan:

1. La estructura organizacional del grano alimenticio de oleaginosas, ya que puede estar o no cubierto por cascarilla (compuesta a su vez por pericarpio, endospermo y embrión). Cada una de estas estructuras contiene diferentes asociaciones e interacciones entre proteínas, carbohidratos y lípidos, afectando así la digestibilidad de los aminoácidos en cada una de estas fracciones nutritivas.
2. Presencia de compuestos tóxicos tales como los inhibidores de tripsina y los compuestos polifenólicos (taninos). Los inhibidores de tripsina afectan la digestibilidad de la fracción proteica del ingrediente ya que aumentan las secreciones pancreáticas y producen la pérdida de aminoácidos endógenos a nivel intestinal. Los taninos interaccionan con las albúminas, globulinas y prolaminas y reducen su solubilidad al modificar químicamente sus estructuras.
3. Fitatos. Los fitatos pueden ligarse a proteínas. Se han observado mejoras en la digestibilidad de aminoácidos en pollos de engorde con la inclusión de fitasas en las dietas, sin embargo se ha observado un efecto similar al incorporar fitasas en dietas para pollos que presentaron niveles deficitarios de fósforo.

4. Componentes y composición de las paredes celulares. Se refiere a las interacciones que existen entre los carbohidratos de paredes celulares con proteínas, lípidos ó con carbohidratos solubles, ocasionando un incremento de la viscosidad del contenido intestinal. Estas asociaciones pueden disminuir la digestibilidad de la proteína y aminoácidos ya que dificultan el contacto directo entre las proteínas con las enzimas digestivas, y también forman complejos indigestibles entre proteínas y carbohidratos, tales como los polisacáridos diferentes al almidón (NSP).
  
5. Almidón o contenido de carbohidratos reductores presentes en los ingredientes. Existe una asociación directa entre el almidón y las proteínas a nivel del endospermo y en glutelinas ubicadas en las paredes celulares que cubren a los gránulos de almidón. La digestibilidad de los cuerpos proteicos puede verse reducida por su interacción con el almidón y viceversa.
  
6. Lípidos o compuestos derivados de lípidos. Estos compuestos pueden formar complejos con proteínas y afectan su digestibilidad probablemente por bloqueo de la acción de enzimas digestivas. También reducen la toxicidad de las saponinas y su efecto negativo sobre las enzimas digestivas como la lipasa pancreática.

#### **1.2.2.1.2 Factores propios de la proteína del ingrediente**

Representan todas aquellas características propias de la proteína y de los aminoácidos que la componen. Algunos de ellos están conformados por:

1. Enlaces cruzados disulfuro. Se encuentran normalmente en proteínas con alto contenido de aminoácidos azufrados.
  
2. Hidrofobicidad de la proteína. Las proteínas mayormente hidrofóbicas son más inaccesibles al ataque de enzimas digestivas y sus coeficientes de digestibilidad son menores.

### **1.2.2.2 Factores externos a la materia prima**

Este grupo está compuesto de todas aquellas características de procesamientos industriales realizados a las materias primas con tal de modificar la presentación de las mismas, así como la separación de fracciones nutritivas y/o reducción de factores anti-nutricionales. Tal es el caso de los tratamientos físicos, mecánicos, remojo y térmicos para mejorar la digestibilidad de las materias primas.

1. **Tratamientos Mecánicos.** Existen dos tratamientos comúnmente empleados: 1) Decorticación ó separación del pericarpio que reduce la fracción fibrosa de componentes de paredes celulares de oleaginosas, y 2) molienda de ingredientes que permite romper estructuras celulares de materias primas y mejora la digestibilidad de los componentes intracelulares al exponerlos más a la acción de enzimas digestivas.
2. **Remojado, fermentación y suplementación de enzimas.** Se realizan la activación de enzimas endógenas, la incorporación de enzimas exógenas producidas por microorganismos a un medio de fermentación, y también la suplementación directa de enzimas al alimento terminado.
3. **Tratamientos térmicos.** Estos tratamientos desnaturalizan los compuestos antinutricionales como los inhibidores de tripsina o quimotripsinas, lectinas y otros compuestos sensibles a la temperatura. Se realizan de forma controlada a fin de evitar aumentos excesivos de calor por tiempo prolongado que afecten negativamente la digestibilidad de la proteína y de los aminoácidos, especialmente de la lisina.

Algunos efectos negativos producto del exceso térmico sobre el valor nutritivo de materias primas se pueden clasificar en los siguientes mecanismos físico-químicos:

- Racemización y formación de isopéptidos por la incorporación de ingredientes a tratamientos térmicos en espacios alcalinos ó ácidos.
- Cambios en la estructura secundaria de la proteína.
- Formación de complejos Maillard entre carbohidratos reductores y el grupo amino épsilon de la lisina.

### **1.3 Características proteínicas y digestibilidades de materias primas utilizadas para la alimentación de pollos de engorde (broilers)**

En la industria alimenticia actual se elaboran dietas para cada fase de crecimiento de los pollos formuladas con materias primas tanto de origen vegetal como animal. Algunos de estos ingredientes son de alto contenido proteico y logran satisfacer en buena medida los requerimientos de aminoácidos que el ave necesita para su mantenimiento, crecimiento y producción. A continuación se describen características proteicas de distintas materias primas.

#### **1.3.1 Subproductos del maíz**

El gluten y el forraje de maíz (gluten feed) son subproductos del proceso de molienda en húmedo del maíz para la manufactura de la miel ó sirope de maíz alta en fructosa. La remoción tanto del almidón como del germen, hace que estos subproductos sean altamente concentrados en los componentes proteínicos originales. El gluten de maíz es muy alto en proteína (60%) y es comparable con la proteína animal para efectos de formulación, de hecho es el subproducto de maíz más comúnmente empleado en dietas para aves a pesar que es deficiente en lisina; el gluten de maíz se suplementa con fuentes sintéticas de lisina y resulta muy atractivo cuando se requiere formular un alimento con alta densidad de nutrientes. El subproducto de forraje de maíz es mucho más bajo en proteína (20%) debido a la dilución con material fibroso de la cutícula, según lo comentan Leeson *et al.* (2000).

El conocimiento de las características biológicas y químicas de la calidad de la proteína del maíz y su efecto sobre la digestibilidad en broilers es un elemento de suma importancia. Wall *et al.* (1977), citados por CIMMYT-Purdue (1977), señalaron que conforme se alteran las características y tipos de proteína del maíz pueden ocurrir cambios en la digestibilidad de la proteína. Ellos determinaron que la matriz proteica está compuesta de glutelina, que es la fracción soluble en álcali de las proteínas del maíz. También demostraron que los cuerpos proteínicos consistían casi enteramente de zeína, que es la fracción del maíz deficiente en lisina y soluble en alcohol. Finalmente encontraron deficiencias de lisina y triptófano en el endospermo de maíz, mientras que en el embrión la composición de ambos aminoácidos resultó relativamente constante y bien balanceada. Moraes *et al.* (2006) demostraron que las proteínas de mayor valor biológico se acumulan naturalmente en el embrión del grano de maíz y dicen que un aumento en la relación embrión/endospermo proporciona un aumento de proteínas de mejor calidad.

Las proteínas glutelínicas del maíz representan la fracción dura, también conocida como matriz glutelínica insoluble que liga los gránulos de almidón y cuerpos proteínicos del endospermo. Foster *et al.* (1950) y Mertz y Bressani (1957) citados por CIMMYT-Purdue (1977), demostraron que la glutelina está formada por diferentes cadenas de polipéptidos unidas por ligamientos de enlaces disulfuro (debido al aminoácido cistina) para formar una matriz tridimensional insoluble. Concluyeron que un buen balance de la proteína del maíz no es el único requerimiento para determinar el valor nutricional del ingrediente, sino también que esta materia prima sea digerida y biológicamente disponible para el ave. De hecho, la estructura subcelular del grano del maíz y la solubilidad de las proteínas influyen la digestibilidad. Complementariamente Pita (2006), citada por Moraes *et al.* (2006), señaló que la digestibilidad relativa de la proteína del maíz (89%) es inferior a la de proteínas animales, que en promedio es de 95%. Esta digestibilidad es variable en función de la composición proteínica, pudiendo oscilar entre 82 y 88% debido a la presencia de fibra y otros componentes. No obstante pueden haber harinas animales con menores digestibilidades que la proteína del maíz dependiendo del tipo de harina y del procesamiento al cual fue sometida.

Campabadal *et al.* (2002) mencionaron que el maíz posee niveles bajos en proteína y es deficiente en lisina, calcio y fósforo aprovechable. Campabadal *et al.* (1984) determinaron que broilers alimentados con gluten de maíz como única fuente proteica presentaron menores consumos de alimento, menores ganancias de peso y conversiones alimenticias menos eficientes ( $P < 0,05$ ) en comparación con los animales sometidos a los demás tratamientos que no mostraron diferencias significativas entre ellos. Los autores discutieron que el gluten de maíz presentó deficiencias de lisina y esto afectó significativamente el rendimiento tanto de iniciación como finalización, adicionado a problemas de palatabilidad que afectaron el consumo del alimento debido a la consistencia polvosa del mismo; recomendaron que el gluten no se debe suministrar como única fuente proteica a los broilers.

Morales (1982) y Squance *et al.* (1967), citados por Leeson *et al.* (2000), señalaron que hay disminución en los rendimientos en pollos de engorde cuando son alimentados con gluten de maíz como fuente proteica; también Cough *et al.* (1972) citados por Leeson *et al.* (2000) encontraron bajos rendimientos en aves de 4 y 8 semanas alimentadas con niveles subóptimos de lisina, las cuales también presentaron problemas de huesos, piel y músculos.

### **1.3.2 Harina de soya**

El frijol de soya es un alimento rico en proteínas, energía y minerales. Posee de 33 a 45% de proteínas muy nutritivas, excepto por una deficiencia de aminoácidos azufrados como la cistina y metionina, que pueden suplirse combinando el grano con cereales de subproductos del maíz o arroz, según lo comenta Monge (1989). Por otra parte los contenidos de lisina y de triptófano se encuentran en concentraciones elevadas. Estas características nutritivas hacen que la proteína de soya ofrezca un equilibrio adecuado de los aminoácidos esenciales, aproximándose a las normas establecidas por la FAO y basadas en las recomendaciones de la NRC (1994), Carrão *et al.* (1995).

Estudios reportados por Café *et al.* (2000b), citados por Kalinowski (2006), mostraron que la digestibilidad de los aminoácidos en la soya integral es bastante alta en el caso del grano extruido y no difiere mayormente de los valores observados en la torta de soya; sin embargo, los valores resultaron más bien bajos en el caso del grano tostado.

En dietas para pollos de engorde el grano integral de soya se debe procesar y mezclar adecuadamente con distintas fuentes proteicas a fin de suplir las fuentes de aminoácidos azufrados deficientes en el grano. Por ejemplo se realizan suplementaciones con metionina y lisina de harinas animales, o con aminoácidos sintéticos Cãrrao *et al.* (1995).

Leeson *et al.* (2000) explican que el fríjol de soya contiene varios compuestos tóxicos para las aves tales como: Los inhibidores de proteasas, especialmente de tripsina; y en menor importancia lectinas o hemaglutininas, oligosacáridos, fitatos, saponinas y estrógenos, entre otros. Estos inhibidores afectan la digestión de las proteínas y ocasionan hipertrofia compensatoria del páncreas (50-100% del peso normal), además de disminuir el crecimiento y la producción de huevos. Los niveles de inhibidores de tripsina son evaluados indirectamente midiendo la actividad de la ureasa en la torta de soya procesada. Esta enzima es de poca importancia para el ave, sin embargo su sensibilidad al calor es similar a la de los inhibidores de tripsina y su medición resulta sencilla. Su actividad se mide en términos de cambio de pH, siendo el rango aceptado de valores entre 0,05 y 0,2. Si existen valores mayores a este rango significa que aún permanece ureasa residual (e inhibidores de tripsina) y esto confirma la presencia de una torta subprocesada. Es conveniente realizar un adecuado proceso de calentamiento de la materia prima, sin embargo no existe ninguna indicación de un potencial sobrecalentamiento ya que este puede destruir la lisina y reducir la energía metabolizable. Por esta razón es necesario realizar pruebas adicionales con el fin de no afectar significativamente el valor proteico de la soya.

Entre las pruebas que detectan inhibidores de tripsina se destaca la prueba de solubilidad de la proteína con KOH, realizada por Dale *et al.* (2000) citados por Leeson *et al.* (2000). Ellos observaron una buena correlación entre la solubilidad de la proteína en KOH al 0,2% y el crecimiento de los pollitos. El calentamiento tiende a hacer menos soluble la proteína, por lo que valores altos de solubilidad ( $\geq 85\%$ ) sugieren una cocción deficiente y valores bajos ( $\leq 70\%$ ) demuestran un sobrecalentamiento de la muestra. Según evaluaciones de temperaturas en autoclave por Perilla *et al.* (1997), citados por Mateos *et al.* (2007) se determinó que la temperatura óptima para el procesamiento del frijol de soya integral mediante extrusión en húmedo se ubicó entre 122 y 126°C. Temperaturas inferiores dieron como resultado un inadecuado proceso, manifestando depresión en la ganancia de peso y aumento en el peso relativo del páncreas. Por otra parte, temperaturas cercanas a los 140°C comprometen la disponibilidad de la lisina y afectan el desempeño de las aves. En un estudio realizado por Anderson-Hafermann *et al.* (1992), citados por Latorre *et al.* (2007), se evaluó el procesamiento de dietas con 62% de frijol de soya integral en autoclave a 121°C, mediante extrusión en húmedo y correlacionando el tiempo del proceso con la actividad de la ureasa, los inhibidores de tripsina, la solubilidad en KOH al 0,2% y el peso relativo del páncreas. Se observó que los crecimientos e índices de conversión en pollitos de 17 días mejoraron con la duración del tiempo, y la actividad de ureasa, el contenido de inhibidores de tripsina y el peso del páncreas se redujeron de forma lineal con la aplicación de calor.

Existen también tratamientos realizados sobre el frijol de soya tales como el fermentado ó germinado de semillas en ambientes controlados; luego de 48 horas de tratamiento la digestibilidad de la proteína es casi igual a la observada en el frijol de soya calentado de manera convencional. También se realizan el cocido, el tostado y extrusado en seco o en húmedo Carrão *et al.* (1995). El procesado incrementa la utilización de la energía y de la proteína del haba en relación con el grano crudo y el grado de mejora depende del método y de las condiciones del proceso. Tanto la subcocción como el sobreprocesado perjudican la digestibilidad de la fracción proteica. En el primer caso parte de los factores antinutricionales no se destruyen, lo que reduce la utilización de los

aminoácidos. Con el sobreprocesamiento se producen reacciones entre los grupos aminos de ciertos aminoácidos y los azúcares libres presentes en el frijol de soya (reacciones de Maillard), reduciéndose la utilización de la proteína.

En general, el adecuado tratamiento del frijol de soya por calor reduce la actividad de la ureasa y de los factores antitripsicos, lo que mejora la digestibilidad aparente del N y de los aminoácidos esenciales. El objetivo del procesado del haba de soya no es destruir los factores antinutricionales por completo, sino llegar a determinar la presencia residual de los mismos y el mantener la calidad de la proteína, especialmente la disponibilidad de la lisina. No obstante los niveles de mayor exposición de la proteína de las habas mediante estos tratamientos no alcanzan los logrados con la harina de soya, Mateos *et al.* (2007).

Bell *et al.* (2002) señalan que la harina de soya contiene desde 43 al 50% de proteína, y ésta depende del método de procesamiento del grano integral. Entre estos se mencionan:

1. *Harina tipo expeller.* En este proceso no se extrae tanto aceite esencial en forma de solvente como en el caso de otras harinas, no obstante la calidad nutricional con la harina integral es similar. Tiene 43% de proteína.
2. *Harina tipo solvente.* El resultado de esta harina es excelente debido que se realiza una extracción del aceite del frijol de soya. Es más bajo en grasa respecto a las harinas tipo expeller. Contiene 44% de proteína.
3. *Torta de soya.* Es la harina más alta en proteína (47-50%), más baja en fibra cruda (3,3%) y más alta en energía en comparación con las demás harinas resultantes del procesamiento del frijol integral. La metionina es usualmente el único aminoácido limitante de esta materia prima.

Campabadal *et al.* (2002) señalan que existen dos tipos de harinas de soya: de 44% y de 48% de proteína cruda. Esta clasificación depende de la cantidad de cascarilla residual una vez extraídos los aceites del frijol de soya, entendiéndose que a mayor porcentaje de cascarilla (pared celular lignificada) menor es la proporción de proteína cruda del ingrediente.

### **1.3.3 Harina de pescado**

La harina de pescado constituye una excelente fuente de aminoácidos esenciales altamente digestibles para los broilers, particularmente metionina, cistina, lisina, treonina y triptófano. Se encuentran en forma natural de péptidos y pueden ser utilizados con alta eficiencia para mejorar el equilibrio conjunto con los aminoácidos esenciales provenientes de la dieta. El contenido de energía depende en gran medida de su contenido de aceite residual y nivel de cenizas. La ceniza de la harina de pescado contiene principalmente calcio y fósforo 90% disponible. También posee una amplia gama de elementos vestigiales y vitaminas del complejo B, además de A y D, Leeson *et al.* (2000).

El uso de harina de pescado en pollos de engorde permite un rápido crecimiento y mejor conversión del alimento, ocasionando un menor costo de producción; además un incremento de la inmunidad con una menor incidencia de enfermedades, mejor respuesta a vacunas y mejor desarrollo del sistema nervioso y de la estructura ósea, entre otros beneficios.

Bell *et al.* (2002) mencionan que el contenido de proteína cruda de la harina de pescado varía desde 55 a 75% y sus coeficientes de digestibilidad son variables según sea la naturaleza de la materia prima:

1. Harina de pescado blanca: Está compuesta por porciones no comestibles de atún, trucha, entre otros peces que tienen bajos contenidos de grasa saturada.
2. Harina de pescado oscura: Proviene de peces como la sardina, entre otros que son altos en grasa saturada.

El contenido de harina de pescado en dietas de pollos de engorde depende de su precio y disponibilidad, además de su calidad y valor nutricional. Todas las harinas de pescado deben ser estabilizadas con antioxidantes debido a sus contenidos de productos de oxidación y ácidos grasos libres. Generalmente se adicionan 100 mg/kg de etoxiquín como estabilizador durante la elaboración de la harina.

Existen algunos problemas asociados al uso de la harina de pescado sobrecalentada en dietas para broilers, desde el sabor de pescado en carne y huevos (no solo las sobrecalentadas), hasta las erosiones de las mollejas en aves jóvenes, Leeson *et al.* (2000). En broilers de pocos días de edad se pueden producir desde erosiones pequeñas en la capa de coílina que recubre la molleja, hasta ulceraciones y hemorragias que pueden producir perforaciones de la molleja ó de las porciones anteriores al duodeno. La capa de coílina es indispensable para procesar físicamente el alimento y actúa también como una barrera, protegiendo a la mucosa subyacente de los efectos del ácido clorhídrico y pepsinas producidos en el proventrículo. Este fenómeno provoca una disminución en la digestibilidad de la proteína debido a la inadecuada degradación de la misma, desacelerando el ritmo de crecimiento en los broilers. Durante el sobrecalentamiento de la harina de pescado se forma un compuesto químico denominado mollerosina que contiene propiedades similares a la histamina, ya que estimula la secreción ácida del proventrículo. La mollerosina es 10 veces más potente que la histamina (como estimulante de la secreción ácida del proventrículo) y cerca de 300 veces más potente como causante de erosiones de molleja. Está relacionada con el tiempo y temperatura de almacenamiento previos al procesamiento, así como a la duración y temperatura de los procesos de cocción y extracción del aceite. Díaz *et al.* (1995), citados por Leeson *et al.* (2000), observaron que la aflatoxina B<sub>1</sub> puede potencializar la mortalidad inducida por la mollerosina en pollos de engorde jóvenes.

Terrazas *et al.* (2005) evaluaron digestibilidades *in vitro* de la harina de pescado mediante distintos tratamientos térmicos con el fin de determinar la digestibilidad verdadera (DV) de la proteína estimada *in vivo* y los rendimientos

de pollos de engorde con dietas formuladas con aminoácidos digestibles, con niveles prácticos de harina de pescado que fueron calentados a distintos tiempos en autoclave (121 °C y 1 kg/cm<sup>2</sup> de presión). Los resultados mostraron que la digestibilidad promedio disminuyó linealmente al aumentar el tiempo de cocción. La digestibilidad de los aminoácidos evaluados en la harina testigo fue superior al 93%, siendo la digestibilidad de la proteína de 95,9%. La menor digestibilidad por efecto de la cocción se asoció a la reacción de Maillard, ya que se generó un daño en la cadena de aminoácidos con una menor hidrólisis por las enzimas digestivas y se redujo la digestibilidad en los pollos broilers evaluados.

Terrazas *et al.* (2005) realizaron un segundo experimento en pollos hasta los 42 días de edad con el fin de evaluar el efecto del tiempo de calentamiento de la harina de pescado y la formulación con AAT ó AAD sobre los rendimientos productivos. Se observó que el daño térmico en las harinas indujo una respuesta negativa en el crecimiento en las aves alimentadas con dietas con un perfil de AAT pero no así con AAD.

#### **1.3.4 Harina de carne y hueso**

La harina de carne y hueso (HCH) fue definida por la AAFCO (American Association of Feed Control Officials) como un producto obtenido a partir de la extracción de las grasas de los tejidos de mamíferos, incluyendo los huesos pero sin añadir sangre, pelos, pezuñas, cuernos, cueros, excrementos y los contenidos estomacales, excepto en las cantidades que puedan ocurrir inevitablemente aún con las mejores prácticas de proceso. La extracción de la grasa de estos tejidos mamíferos permite aumentar al máximo la digestibilidad de la materia prima, y esto se lleva a cabo mediante procesos de calor y presión, ó bien utilizando enzimas que mejoren la digestibilidad de las proteínas y de los aminoácidos. Dicha extracción puede realizarse mediante drenaje (proceso gravimétrico), por presión (proceso mecánico) o por extracción con disolventes (proceso químico). Según la AAFCO, los productos derivados de la HCH bovina y de cerdo constituyen más del 80% de todos los productos procesados en la actualidad, Hamilton (1996).

Este alimento debe contener un mínimo de 4% de fósforo y el nivel de calcio no debe ser más de 2,2 veces el nivel actual de fósforo. No debe contener más de 12% de pepsina indigestible y no más del 9% de la proteína cruda en el producto podrá ser pepsina indigestible. La proporción de hueso en la harina afecta el valor nutritivo de ésta, ya que entre mayor presencia de hueso se aumenta la proporción de ceniza. El contenido de hueso también afecta la disponibilidad de los aminoácidos debido a que aumenta el contenido de colágeno, el cual se encuentra en los huesos, tendones y ligamentos. Bisplinghoff (1990), citado por Hamilton (1996), señaló que las HCH que contengan menos de 50% de proteína pueden contener colágeno suficiente para reducir la concentración de lisina y de otros aminoácidos esenciales. Las especies animales cuyos derivados se utilizan para elaborar la HCH también influyen el contenido de proteína de la harina; por ejemplo las harinas hechas de productos de aves de corral y de cerdos tienden a contener más proteína que las elaboradas de derivados de carne de res, las cuales generalmente suelen contener menos de un 50% de proteína. En un estudio de Parsons (1995), citado por Hamilton (1996), se reportaron coeficientes de digestibilidad de más del 90% para la lisina y algunos aminoácidos contenidos en HCH de alta calidad para aves de corral. Mas recientemente de Parsons *et al.* (1996), citados por Hamilton (1996), determinaron que la digestibilidad verdadera de HCH de baja y alta calidad fue de 71% y 92%, respectivamente, para la lisina y 83% y 91%, respectivamente, para la metionina.

Monforte *et al.* (2006), determinaron la digestibilidad ileal aparente de aminoácidos en varias materias primas utilizadas en la alimentación de broilers y encontraron valores de digestibilidad aparente de hasta 0,53% para cistina en HCH. En general se encontraron valores bajos de digestibilidad ileal aparente considerando que dicho efecto podía ser producto de la composición química misma de la materia prima. Por ejemplo se obtuvieron contenidos de cenizas mayores a los reportados por Parsons *et al.* (1997) y encontraron una correlación negativa entre la digestibilidad ileal aparente y el contenido de cenizas de la HCH (Parsons *et al.* 1997). Este mismo efecto también fue confirmado por Shirley *et al.* (2001) con once muestras de HCH de dos compañías comerciales. Se observó en varios ensayos *in vivo*, tanto con gallos

adultos cecotomizados como con pollos entre 8 y 18 días de edad, que a mayor porcentaje de ceniza de todas las muestras de HCH los porcentajes en proteína cruda de Ala, Pro, Gli y Arg se incrementaron; los aminoácidos semi-esenciales que mayormente se incrementaron fueron Pro y Gli. En contraste, los niveles de proteína cruda de todos los aminoácidos esenciales, excepto Arg, se redujeron mientras los contenidos de ceniza aumentaron. Por ejemplo, las concentraciones de Lis por unidad de proteína cruda disminuyeron de 5,7 a 4%, mientras que las concentraciones de ceniza aumentaron de 9 a 63%. Hubo un efecto muy pequeño, casi nulo, de la digestibilidad de aminoácidos de las HCH cuya cantidad de cenizas variaban de 9 a 44%. La relación de eficiencia proteica (ganancia de peso por unidad de proteína ingerida) decreció de 3,34 a 0,72 mientras el contenido de cenizas aumentó de 16 a 44%, y los mayores efectos de los porcentajes de ceniza sobre la eficiencia proteica se debieron a las diferencias de los niveles de calcio y fósforo en las dietas.

La elevada presión y temperatura de procesamiento también puede afectar la digestibilidad ileal de la proteína de la HCH, particularmente de los aminoácidos cistina y metionina, lo cual fue demostrado en estudios de Ravindran *et al.* (2005), citados por Monforte *et al.* (2006). Según un estudio efectuado por Haugen *et al.* (1985), citados por Hamilton (1996) la digestibilidad de los aminoácidos de los tejidos blandos (músculos y vísceras) disminuyó conforme se aumentó la temperatura de 110°C a 130°C. Por el contrario la digestibilidad de los aminoácidos de los tejidos duros (huesos y tejidos asociados) mejoró con el respectivo aumento de temperatura. No obstante, la digestibilidad de los AA resultó similar cuando se cocinó una mezcla "normal" de tejidos blandos y duros tanto a 110°C como a 130°C.

Parsons *et al.* (1999) citados por García *et al.* (2006), reportaron variaciones en los coeficientes de digestibilidad de lisina y cistina observada en HCH respecto a la variación de temperatura dentro del proceso de evaluación.

El contenido de nutrientes, y en especial el perfil de aminoácidos en las HCH es muy variable. Esto se debe a que las materias primas utilizadas en la elaboración de la harina no son uniformes ya que los procesos de extracción de

grasa son particulares al *modus operandi* de cada planta industrial. En un estudio efectuado por la empresa Darling International y publicado por Hamilton (2006), se hicieron muestreos de HCH en 4 plantas participantes dentro de una misma región en los Estados Unidos, con el fin de determinar las cantidades de proteína, minerales y lisina. Los coeficientes de variación resultaron desde 2,3% hasta 4,9% para proteína entre las 4 empresas. Parsons (1990), citado por García *et al.* (2006), reportó variaciones en los coeficientes de digestibilidad de distintos aminoácidos de diferentes muestras de HCH.

La lisina y el triptófano son los aminoácidos más limitantes en las dietas que contienen HCH. Las dietas que contienen 10% o más de HCH proporcionan también un exceso de fósforo y calcio; por lo tanto, el alto contenido de minerales, en lugar de niveles de aminoácidos, es el único límite nutricional en la cantidad de dicha harina que se puede utilizar en la mayoría de las dietas, Hamilton (1996).

### **1.3.5 Subproductos avícolas (Tortave)**

La harina de subproductos avícola (HSA) es elaborada a partir de los desechos generados en el procesamiento de la carne de aves. Este producto presenta niveles de calcio y fósforo más bajos en comparación con las harinas de carne y hueso. La variabilidad en la composición de esta materia prima depende de la adición de plumas durante su procesamiento. Es recomendable procesar la HSA y las plumas de forma separada, ya que las plumas requieren de un calentamiento más intenso con el fin de hidrolizar la queratina. En harinas que contienen plumas, es posible que éstas hayan sido calentadas insuficientemente o que el resto de los desechos fueran sobrecalentados, lo cual generalmente hace que el producto tenga un color más oscuro Leeson *et al.* (2000). Según Pearl (2001), esta harina consiste de partes limpias recicladas y molidas de la canal de aves sacrificadas, tales como pescuezos, alimento, huevos no desarrollados e intestinos, excluyendo plumas, excepto en cantidades en las que pueda ocurrir inevitablemente la inclusión de plumas dentro del procesamiento de los subproductos avícolas. La calidad de su proteína y aminoácidos esenciales, ácidos grasos, vitaminas y minerales la

hacen apta para su uso en todas las especies. Comparada con la harina de pescado es más pobre en su contenido de lisina y metionina, y más rica en cistina. Bhargara *et al.* (1975), citados por Zumbado *et al.* (1986), encontraron que con la adición de 10% de tortave en la dieta de iniciación de pollos de engorde bajo experimentación se produjo buenos resultados, siendo éstos superiores cuando se adicionó metionina y lisina sintética a la dieta. No obstante, Keppens *et al.* (1969), citados por Zumbado *et al.* (1986), reportaron que con la inclusión de 15 a 20% de HSA en la dieta de broilers se produjo una depresión significativa del crecimiento y la conversión alimenticia.

La tortave puede contener plumas siempre y cuando éstas sean bien hidrolizadas. Esto se logra mediante tratamientos bajo presión de las plumas no descompuestas y limpias de las aves sacrificadas, libres de aditivos y de aceleradores de crecimiento. No menos del 75% de su contenido de proteína cruda debe ser digestible por el método de digestión en pepsina. Los métodos modernos de procesamiento de las plumas bajo presión por vapor vivo hidrolizan parcialmente la proteína, rompiendo los enlaces disulfuro de la queratina que constituyen la estructura especial de las fibras de la pluma. Grossklaus (2006) señala que la digestibilidad de la harina de plumas depende directamente del tiempo de cocción y de la presión (intensidad de la hidrólisis), consiguiéndose un mayor rendimiento en aminoácidos utilizables, de mayor valor biológico, cuando el proceso se hace intensivo. Las harinas de pluma modernas exceden de manera importante el nivel mínimo recomendado por la AAFCO para porcentajes de digestibilidad entre 64-70% y es altamente digestible en el tracto intestinal. Son excelente fuentes de aminoácidos azufrados, especialmente de cistina, treonina y arginina, pero deficientes en lisina, metionina, histidina y triptófano, según Pearl (2001). El nivel de incorporación en las dietas de pollos es del 0,5-1,5% según Grossklaus (2006).

Zumbado *et al.* (1986) realizaron dos experimentos que evaluaron la sustitución de dietas que contenían harinas de maíz y soya por determinadas cantidades de harina de pescado y tortave en dietas de iniciación de pollos de engorde, con el fin de comparar estas dietas con otras formuladas a base de maíz y harina de soya sin ninguna fuente de proteína animal. No se observaron

diferencias significativas al sustituir la harina de pescado por tortave. Aún así se observaron mejores resultados ( $P < 0,05$ ) cuando se utilizaron mezclas de ambas materias primas, en 33 y 66% de sustitución, que cuando se usaron individualmente (0 y 100% de sustitución). Los autores discutieron que es probable que al mezclar la HP con la tortave se logró un balance óptimo de AA, lo cual estimuló el crecimiento en forma eficiente. En un segundo experimento, donde se sustituyeron distintos niveles de maíz y harina de soya por HP y tortave, se observó que dietas con niveles altos de HSA presentaron menores contenidos de lisina sin que los rendimientos en pollos fueran afectados. Concluyeron que la disponibilidad de la lisina en la tortave era bastante buena (a pesar de ser más pobre en lisina que la HP) y suponía un adecuado procesamiento de la materia prima. También señalaron que es posible sustituir la HP por tortave en dietas para broilers sin que se afecten los rendimientos de las aves, debido que se produjeron mayores consumos de alimento al haber mayor presencia de la tortave, y esto se pudo deber a la mejor palatabilidad de la materia prima, o bien a un inadecuado procesamiento de la HP.

En un estudio reciente de Agiang *et al.* (2006) de la Universidad de Calabar, Nigeria, se evaluaron dos dietas experimentales para determinar el valor de sustitución de la HP por tortave procesada. Los resultados demostraron que tanto las ganancias de peso como las conversiones alimenticias de los broilers fueron significativamente ( $P < 0,05$ ) superiores cuando se alimentaron con mayores proporciones de HP que con las dietas donde se aumentó la HSA. Esto comprobó que el rendimiento en broilers que fueron consumiendo sucesivamente mayores porcentajes de tortave resultó menor que con la HP en raciones de 230g/kg de proteína cruda y 2906 Kcal/kg de cada dieta suministrada.

## 1.4 Uso del NIRS en el análisis de materias primas

El NIRS es un equipo de espectroscopia del infrarrojo cercano que detecta enlaces químicos que constituyen compuestos, principalmente de características C-H, O-H y N-H, en la región que comprende desde los 800 a los 2500 nm en el espectro electromagnético Groenewald (2006). Cada uno de estos enlaces químicos contiene cantidades de energía específicas producto del traslape y combinación de electrones que pasan de un orbital molecular a otro. Este fenómeno provoca liberación de energía producto de la atracción y repulsión de los elementos constituyentes de los enlaces covalentes polares.

Se fundamenta en la quimiométrica, es decir, la aplicación de las matemáticas a la química analítica; combina la espectroscopía, la estadística y la computación, generando modelos matemáticos que relacionan la composición química de grupos químicos activos, con cambios energéticos en la región del espectro infrarrojo. El NIRS utiliza la reflectancia en lugar de la transmitancia debido a que la mayoría de ingredientes contienen elementos opacos y no permiten una transmisión consistente de todos los rayos infrarrojos emitidos por la fuente de poder, provocando sesgos de lectura final de los componentes reales del analito. Este aparato mide la absorción de radiación infrarroja de ciertos componentes de la muestra como enlaces peptídicos, así como factores antinutricionales como glucosinolatos o inhibidores de tripsina, que absorben energía a determinadas longitudes de onda. La interferencia producida por otros componentes de la muestra es minimizada manipulando matemáticamente los datos del espectro a través de regresiones múltiples y procedimientos estadísticos que disminuyen al máximo el error experimental de las fuentes de variación Leeson *et al.* (2000). Se desarrollan ecuaciones de calibración y predicción utilizando el método estadístico de cuadrados mínimos parciales modificados, Shenk *et al.* (1993) citados por Cozzolino (2002).

La capacidad en que el NIRS predice el contenido de aminoácidos de los ingredientes muestreados depende fundamentalmente de la calibración cuidadosa y meticulosa del aparato. Este proceso es exhaustivo y requiere de

un número suficiente de muestras de concentración conocida, a fin de construir una base de datos a partir del muestreo y análisis frecuente de materias primas, piensos y mezclas. La tecnología NIRS reposa sobre el conocimiento científico de la teoría de reflectancia difusa, ya que considera lo propuesto por la ley de Beer-Lambert que establece que la concentración de un analito es directamente proporcional a la absorbancia; por ello es imprescindible el mantener un paso óptico constante de luz a fin de minimizar los fenómenos de radiación dispersa, los cuales modifican el "paso óptico efectivo", según Birth *et al.* (1987), citados por Garrido *et al.* (2001). Por ello es fundamental mantener un paso óptico constante y ello se logra mediante una molienda fina y homogénea. En la literatura se consideran tamaños pequeños de partícula (1 mm) y se recomienda utilizar el mismo tamaño de molienda para el desarrollo de calibraciones para el análisis NIRS de muestras futuras. Estudios de Brimmer *et al.* (2001), citados por Garrido *et al.* (2001) revelaron dificultad en la medición del espectro de partículas copos o pellets de una muestra de proteína bruta de trigo, y esto se debió a la desuniformidad de la muestra, lo que produjo grandes variaciones en la línea base. Ellos recomendaron una mejora de la reproducibilidad de productos pelletizados a fin de obtener mejores espectros NIRS que predijeran con mayor exactitud los componentes de la muestra.

Groenewald (2006) describe el mecanismo de ataque de los rayos infrarrojos sobre el analito; menciona que la muestra es bombardeada con rayos NIRS de diferentes longitudes de onda ( $\lambda$ ). Algunos de estos rayos son absorbidos por uniones químicas específicas, mientras que otros son diseminados y reflejados por otras uniones químicas bajo el proceso denominado reflectancia NIRS; en contraste, el proceso en que los rayos emitidos por la fuente de poder logran pasar a través de la muestra se denomina transmisión NIRS, y es ideal para líquidos transparentes y algunos productos que no son demasiado densos ópticamente. Todos los rayos infrarrojos de determinadas  $\lambda$  que son transmitidos y/o reflejados son concentrados dentro de una célula de medición. Una cantidad importante de rayos reflejados de distintas  $\lambda$  son medidos y convertidos en resultados analíticos, en forma de espectros característicos de absorción para cada componente nutricional de la muestra, elaborados por un microprocesador.

Posteriormente, según Leeson *et al.* (2000) la quimiométrica utiliza el cálculo de coeficientes de correlación para cada  $\lambda$  y simultáneamente selecciona el modelo matemático que mejor se ajuste y explique el nutriente bajo estudio, y de igual forma el mejor modelo para todas las demás frecuencias de absorción, minimizando los problemas de interferencia de la muestra.

## **CAPÍTULO II**

### **PROCEDIMIENTO Y METODOLOGÍA**

## **2.1 Lugar de experimentación**

El experimento se realizó en la Granja Experimental de la Corporación PIPASA S.A., ubicada en San Antonio de Belén, Heredia.

## **2.2 Metodología de trabajo**

### **2.2.1 Muestreo y evaluación nutricional de materias primas de origen vegetal y animal vía NIRS**

Inicialmente se reservaron cantidades suficientes de cada una de las siguientes materias primas: Maíz amarillo, harina de soya, harina de carne y hueso, harina de plumas, harina de pescado y harina de subproductos de aves (tortave); se tomaron muestras representativas de cada ingrediente por separado con el fin de evaluar la composición proteica y de aminoácidos totales y digestibles de dichos alimentos.

Cada lote de materia prima reservado fue muestreado mediante el método de "zig-zag", seleccionando en forma diagonal y al azar diferentes sacos colocados sobre la tarima. Dichas muestras se recolectaron utilizando un muestreador de pico (con el que se extrae una cantidad aproximada de 5-10 gramos por saco), para un máximo de 20 muestras por tarima de cada materia prima y se enviaron a homogenizar en el Laboratorio de Nutrición Animal y Calidad de la Corporación PIPASA.

Las muestras de materias primas molidas se mezclaron por separado y se almacenaron durante 2 horas en un cuarto a temperatura ambiente y humedad por debajo del 60%, esto con el fin de evitar sesgos de lectura NIRS debido que el calor que trae cada materia prima mezclada y homogenizada puede producir excesiva rotación y vibración de los componentes químicos en el infrarrojo. Posteriormente en un equipo NIRS modelo FOSS 500, cuyo rango de calibración ( $\lambda$ ) es de 1200 nm hasta 2500 nm, se procedió a tomar una muestra y se colocó en una celda patrón calibrada donde se capturó el espectro típico de cada materia prima. Los espectros se enviaron a la

Universidad Federal de Santa Maria en Brasil (Laboratorio CEAN - Adisseo) donde se realizó la predicción de los aminoácidos totales y digestibles usando las calibraciones desarrolladas para este fin. Utilizaron la técnica de HPLC (Cromatografía Líquida de Alta Eficiencia) como principal método de referencia para la separación y detección de los aminoácidos, determinando posteriormente mediante quimiométrica la composición correspondiente de los aminoácidos totales y digestibles de cada materia prima.

### **2.2.2 Formulación de las dietas experimentales**

Una vez reportados los resultados de las cantidades de aminoácidos totales y digestibles por parte del laboratorio CEAN - Adisseo para cada materia prima, se procedió a formular las dietas correspondientes a cada una de las cuatro fases de desarrollo utilizando el paquete de cómputo de programación lineal (Brill v7). Para las etapas de preinicio (0-7 días) e inicio (7 - 18 días) se reservó un mismo lote de materias primas para su análisis y fabricación. Para las etapas de crecimiento (19 - 33 días) y finalización (34 - 42 días) se reservaron lotes diferentes de materias primas para ser muestreadas.

Las harinas animales fueron incorporadas en las cuatro fases de desarrollo de los pollos de la siguiente manera (Cuadro 1): En preinicio un 5% de HP, en inicio 2,5% de HP y 2,5% de HCH, en crecimiento 7,5% de HCH y 2,5% HSA y para finalizador 7,5% HCH y 2,5% HSA.

Los sacos de alimento vinieron de la fábrica marcados con etiquetas de color para cada tratamiento. Cada tipo de dieta se asignó entre cuatro grupos de nueve corrales distribuidos al azar e identificados con los colores correspondientes a cada tratamiento.

### 2.2.2.1 Tratamientos

Cuadro 1. Formulación de dietas para pollos de engorde con Maíz y Soya, con o sin la adición de harinas animales basadas en AAT y AAD medidos por NIRS.

Tratamiento	Ingredientes	Formulación
1	MZ-SY	AAT
2	MZ-SY	AAD
3	MZ-SY-HA	AAT
4	MZ-SY-HA	AAD

Preinicio: 5% HP; Inicio: 2,5% HP+2,5% HCH; Crecimiento y Finalización: 7,5% HCH, 2,5% HSA

Terminología: MZ=maíz amarillo, SY= harina soya 48%, HA=harina animal  
HP= harina de pescado, HCH=harina de carne y hueso  
HSA=harina de subproductos avícolas, AAT=aminoácidos  
totales, AAD=aminoácidos digestibles

Cuadro 2. Niveles de AAT y AAD calculados a partir de los valores en las materias primas obtenidas por NIRS.

Fases de Desarrollo	Niveles de AA								
	Lis Total	Lis Dig	Met Dig	M+C Dig	Tre Dig	Trp Dig	Arg Dig	Ile Dig	Val Dig
Preinicio	1,40	1,22	0,451	0,878	0,793	0,195	1,281	0,817	0,939
Inicio	1,30	1,13	0,418	0,813	0,734	0,180	1,186	0,757	0,870
Crecimiento	1,19	1,03	0,391	0,772	0,700	0,175	1,112	0,710	0,824
Finalizador	1,04	0,89	0,356	0,694	0,623	0,160	0,979	0,623	0,721

### **2.2.3 Diseño experimental**

El galpón experimental utilizado tiene dimensiones de 12 metros de frente x 60 m de largo y está conformado por 6 bloques de 7 corrales cada uno, para un total de 42 corrales de 2,5 x 2,8 m, de los cuales únicamente se utilizaron 36 para la distribución uniforme de los cuatro tratamientos (Figura 1.1 del Anexo 1).

Los corrales están contruidos con madera y malla metálica de 1,1 m de altura, forrados por cedazo y acondicionados con cama de granza de arroz; Estos constituyeron las unidades experimentales asignadas irrestrictamente al azar que contenían cada uno 80 pollitos de un día de edad, sin sexar y provenientes de un mismo lote de reproductoras Cobb x Cobb 500.

### **2.2.4 Variables evaluadas**

Las variables evaluadas en la granja fueron las siguientes: Consumo de alimento, peso corporal y ganancia de peso, conversión alimenticia y mortalidad. Para este efecto se llevaron registros por semana y acumulados de cada una de las variables con el fin de evaluar el desarrollo y crecimiento de los broilers en cada fase de alimentación.

Una vez en la Planta de Proceso de PIPASA se evaluaron las siguientes variables post-destace: Peso en canal, porcentaje de rendimiento en canal, peso y porcentaje de muslos, peso y porcentaje de alas, peso y porcentaje de pechuga y de filete y peso y porcentaje de grasa abdominal.

## **2.3 Modelo estadístico**

El modelo estadístico utilizado para el análisis de los resultados del experimento se detalla a continuación:

$$y_{ik} = \mu + T_i + e_{ik}$$

Donde:

$\mu$  = Efecto común o media poblacional de todas las observaciones

$T_i$  = Efecto del i-ésimo tratamiento,  $i=1, 2, 3, 4$

$e_{ik}$  = Error experimental

Las fuentes de variación en el modelo matemático corresponden a los tratamientos y al error experimental. La comparación entre medias de tratamientos se realizó utilizando la prueba de Waller-Duncan al 5% de significancia. A continuación se detallan dichas fuentes con sus respectivos números de grados de libertad.

Cuadro 3. Fuentes de variación del modelo matemático y sus correspondientes números de grados de libertad

Fuente de Variación	Número Grados de Libertad
Tratamientos (T-1)	3
Error Experimental	32
Total (36-1)	35

## **CAPÍTULO III**

# **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Los resultados tanto acumulados como semanales en granja se presentan en los Cuadros 4 a 9 y en las Figuras 1 a 18, además de los anexos I y II.

### Evaluación de variables experimentales en granja

En el Cuadro 3 se resumen los resultados de las variables evaluadas en granja al final del periodo experimental de 42 días. No se encontraron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los diferentes tratamientos estudiados para la ganancia de peso vivo, consumo de alimento y mortalidad. Por su parte, existió diferencia significativa en conversión alimenticia, siendo el tratamiento con harinas animales y formulación con AAD (tratamiento 4) el que presentó el menor valor de conversión alimenticia, mientras que el uso de harinas animales con formulación AAT (tratamiento 3) provocó la peor conversión alimenticia. Cuando no se incluyeron harinas animales en la dieta, la formulación con AAT ó AAD fue indiferente en cuanto al resultado de la conversión alimenticia de los pollos.

Cuadro 4. Rendimientos acumulados promedio de pollos de engorde con dietas formuladas con AAT ó AAD medidos por NIRS, con o sin harinas de origen animal (1-42 días)

	Tratamientos				Pr > F	CV
	T1. MZ-SY AAT	T2. MZ-SY AAD	T3. MZ-SY- HA AAT	T4. MZ-SY- HA AAD		
Ganancia de Peso (g)	2238	2233	2225	2256	0,3775	1,7398
Consumo (g)	4195	4136	4165	4127	0,2146	1,7707
Conversión alimenticia	1,874	1,870	1,899	1,850	0,0037	1,3711
Mortalidad %	1,67	1,38	2,10	0,83	0,1912	81,995

Cuadro 5. Parámetros semanales de los pollos de engorde alimentados durante 6 semanas con dietas con AAT como AAD medidos por NIRS

	Tratamientos				Pr > F	CV
	T1. MZ-SY AAT	T2. MZ-SY AAD	T3. MZ-SY- HA AAT	T4. MZ- SY-HA AAD		
Semana 1 (0-7d)						
Ganancia de Peso (g)	145,25	150,11	149,84	147,23	0,1594	3.4404
Consumo (g)	151,95	150,69	148,27	146,37	0,3411	4,6459
Conversión alimenticia	1,05	1,01	0,99	0,99	0,1478	5.4414
Semana 2 (8-14d)						
Ganancia de Peso (g)	217,27	236,90	243,75	247,73	<0,0001	2,5804
Consumo (g)	370,44	382,71	379,20	382,03	0,5940	5,5871
Conversión alimenticia	1,70	1,62	1,55	1,54	0,0008	5,1549
Semana 3 (15-21d)						
Ganancia de Peso (g)	344,85	364,98	376,01	384,38	<0,0001	3,0259
Consumo (g)	555,67	592,08	600,20	593,04	0,0243	5,4266
Conversión alimenticia	1,61	1,62	1,60	1,54	0,0072	3,0374
Semana 4 (22-28d)						
Ganancia de Peso (g)	461,08	471,28	440,86	436,78	0,0983	4,0667
Consumo (g)	796,89	827,67	838,29	815,05	0,0757	4,1083
Conversión alimenticia	1,74	1,76	1,91	1,88	0,0030	5,8141
Semana 5 (29-35d)						
Ganancia de Peso (g)	539,43	493,36	476,43	482,28	0,4561	2,3828
Consumo (g)	1080,55	1003,39	1004,86	986,16	0,0064	5,5887
Conversión alimenticia	2,00	2,04	2,11	2,06	0,2823	5,8442
Semana 6 (36-42d)						
Ganancia de Peso (g)	870,34	803,31	794,44	836,16	<0,0001	6,2464
Consumo (g)	1239,15	1219,82	1252,35	1250,7	0,5276	4,1740
Conversión alimenticia	2,35	2,37	2,33	2,25	0,2575	5,6421

### 3.1.1 Ganancia de peso semanal

El comportamiento de la ganancia de peso semanal (Cuadro 2 y Figura 2) fue muy inconsistente, encontrándose diferencias significativas ( $P < 0,005$ ) solo para las semanas 2 y 3 en las cuales se observó una mayor ganancia de peso para la dieta con harinas animales y formulación con AAD (tratamiento 4). En la semana 6, por el contrario, la mayor ganancia de peso ocurrió con la dieta sin harinas animales y formulada con AAT (tratamiento 1) lo cual no coincide con los resultados acumulados mostrados en el Cuadro 3.

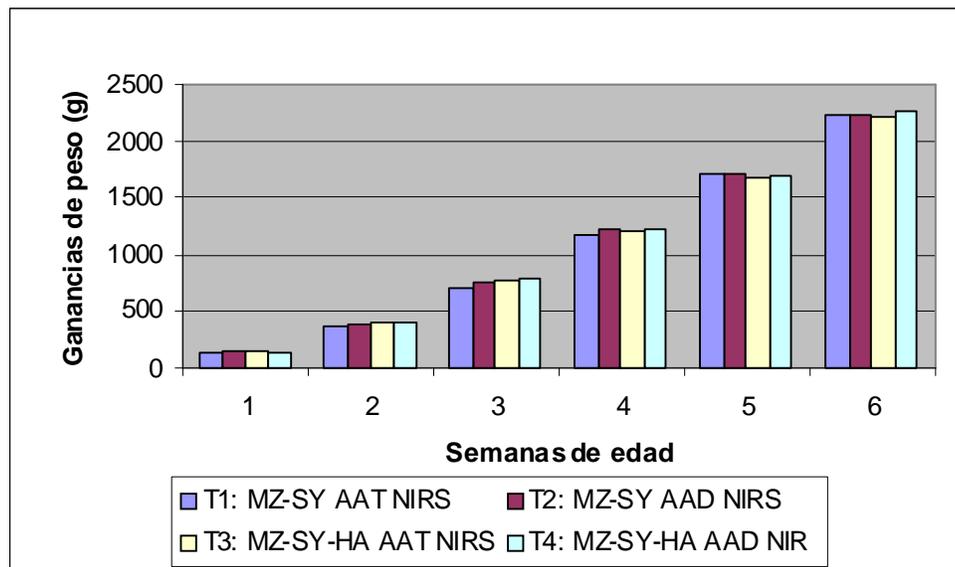


Figura 1. Distribución de peso promedio de pollos de engorde por tratamiento por semana

Para las semanas 2 y 3 se observa que la mayor ganancia de peso promedio se logró con las dietas que contenían harinas animales (T3 y T4) sobre los pesos logrados con las harinas vegetales (T1 y T2). La tendencia observada en ambas semanas fue que el peso vivo promedio fue superior en los pollos sometidos a las dietas formuladas con AAD (T2 y T4) que los que consumieron las dietas formuladas con AAT (T1 y T3), Cuadro 4.

### 3.1.2 Consumo semanal

Con excepción de las semanas 3 y 5, no existieron diferencias significativas entre tratamientos para el consumo de alimento semanal (Cuadro 4 y Figura 3). Esto coincide con los resultados de consumo acumulado a los 42 días mostrados en el Cuadro 3, en donde no se encontraron diferencias significativas.

Tanto para la semana 3 como la 5 se obtuvo un consumo mayor ( $P < 0,05$ ) para la dieta formulada en base a AAT con harinas animales (T3), como con la formulada con AAT sin harinas animales (T1), Cuadro 3.2.

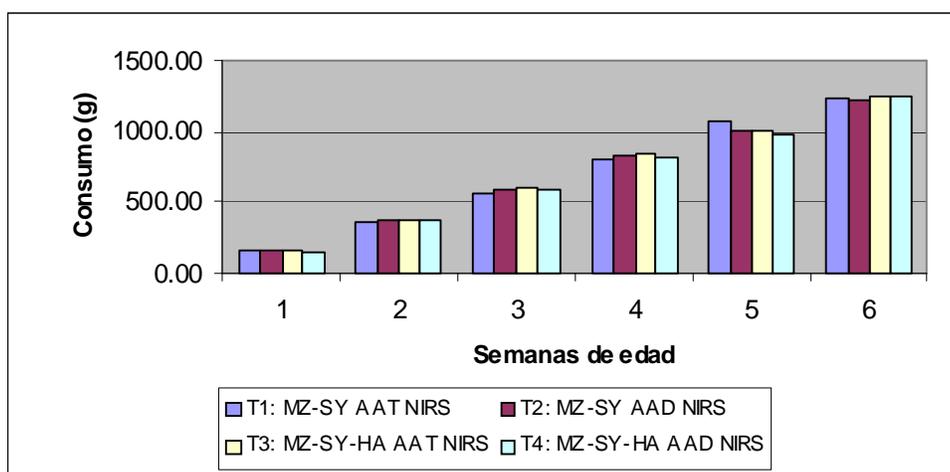


Figura 2. Distribución del consumo promedio de pollos de engorde por tratamiento por semana

El mayor consumo obtenido en la semana 3 con la dieta con harina animal AAT (tratamiento 3) sugiere que ésta estimuló la palatabilidad en broilers, efecto que ha sido demostrado en ensayos efectuados por Zumbado *et al.* (1986). Por su parte el mayor consumo de la semana 5 sugiere que fue debido a un adecuado procesamiento de la harina vegetal AAT (tratamiento 1) y también al aceite vegetal como fuente de reserva energética que los pollos requieren para el mantenimiento de la temperatura corporal.

### 3.1.3 Conversión alimenticia semanal (CA)

Se encontraron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre tratamientos para la conversión alimenticia en las semanas 2, 3 y 4. Dichos datos se observan en el Cuadro 3.2 y el 2.4 del Anexo II, así como en la Figura 4. La tendencia en los valores de CA semanales es inconsistente y no coincide con los datos acumulados del Cuadro 3 donde la dieta con HA AAD (T4) produjo la menor CA acumulada.

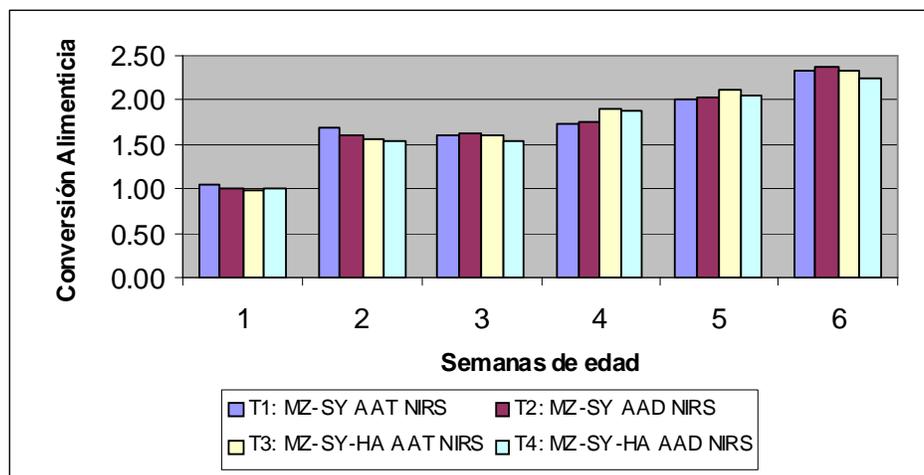


Figura 3. Distribución de conversión alimenticia promedio por tratamiento por semana

Para las semanas 2 y 3 se obtuvo una CA con el tratamiento 1 (sin HA con AAT) y fue muy superior ( $P < 0,05$ ) a los otros tres tratamientos que no resultaron diferentes entre sí. Para la semana 4 se reportaron diferencias ( $P < 0,05$ ) de CA obtenidas entre las dietas con harinas vegetales (T1 AAT y T2 AAD) respecto a las dietas con HA (T3 AAT y T4 AAD). Estas últimas mostraron los índices de CA más elevados de dicha semana.

En general, las conversiones alimenticias promedio por semana y acumuladas entre las semanas 2 y 4 fueron menores al aplicar el tratamiento T4 (AAD).

#### **3.1.4 Mortalidad acumulada**

No hubo diferencias significativas ( $P \geq 0,05$ ) de ninguno de los tratamientos sobre la mortalidad semanal ni acumulada durante todo el proceso de experimentación.

### **3.2 Resultados en Planta de Procesamiento**

En el Cuadro 6 se resumen los valores promedio de los diferentes parámetros evaluados en la Planta de Procesamiento de aves al final del experimento.

Cuadro 6. Valores promedio de los parámetros evaluados en la planta de proceso en pollos de 42 días de edad

	Tratamientos				Pr > F	CV
	T1. MZ-SY AAT	T2. MZ-SY AAD	T3. MZ-SY- HA AAT	T4. MZ-SY- HA AAD		
Peso en pie (g)	2578,22	2519,94	2481,33	2534,56	<0,0001	6,2378
Canal caliente (g)	1858,38	1841,42	1836,57	1873,25	<0,0001	6,8298
% Canal caliente	72,03	73,29	74,09	73,97	0,0061	2,9418
Canal pos-chiller (g)	1991,97	1966,16	1960,12	1997,21	<0,0001	8,2681
Grasa abdominal (g)	40,21	38,42	43,65	38,91	0,0528	26,775
% Grasa abdominal	2,14	2,00	2,26	2,00	0,1064	25,623
Alas (g)	219,30	216,26	212,59	219,38	<0,0001	8,0219
% alas	11,00	11,03	10,91	11,06	0,3924	4,9506
Muslos (g)	875,40	858,97	857,06	881,62	<0,0001	9,1151
% Muslos	43,97	43,61	43,79	44,09	0,0671	3,4505
Pechuga (g)	858,40	852,52	845,56	858,44	<0,0001	9,0383
% Pechuga	43,07	43,29	43,12	42,97	0,5534	3,6148
Filete (g)	614,10	591,32	580,68	587,62	<0,0001	11,242
% Filete	30,93	30,06	29,62	29,44	0,2744	10,181

El mayor peso corporal y peso de la canal en caliente y posterior al enfriado (post chiller) en planta de proceso se obtuvo para las dietas MZ-SY AAT y HA AAD, y menor para la dieta HA AAT sin que existieran diferencias significativas. Sólo se dieron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) asociadas al sexo dado que como es de esperarse, los machos tuvieron mayor peso corporal y mayor peso de la canal.

### 3.2.1 Peso promedio y rendimiento en pie y en canal

Hubo diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) en el peso promedio en pie entre sexos al llegar a la planta (Figura 5) con mayores pesos para machos como era de esperarse; asimismo hubo diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) de las dietas con HA (tratamientos 3 y 4) sobre los porcentajes en rendimientos de canal caliente y post-chiller (Figuras 6 y 7), presumiblemente debido que los contenidos de aminoácidos azufrados pudieron haber aumentado los porcentajes en rendimientos de partes magras y óseas (Pack y Shutte 1994). No hubo diferencias significativas ( $P \geq 0,05$ ) en el peso vivo, ni en el peso de la canal caliente, ni post-chiller (Figuras 6 y 8).

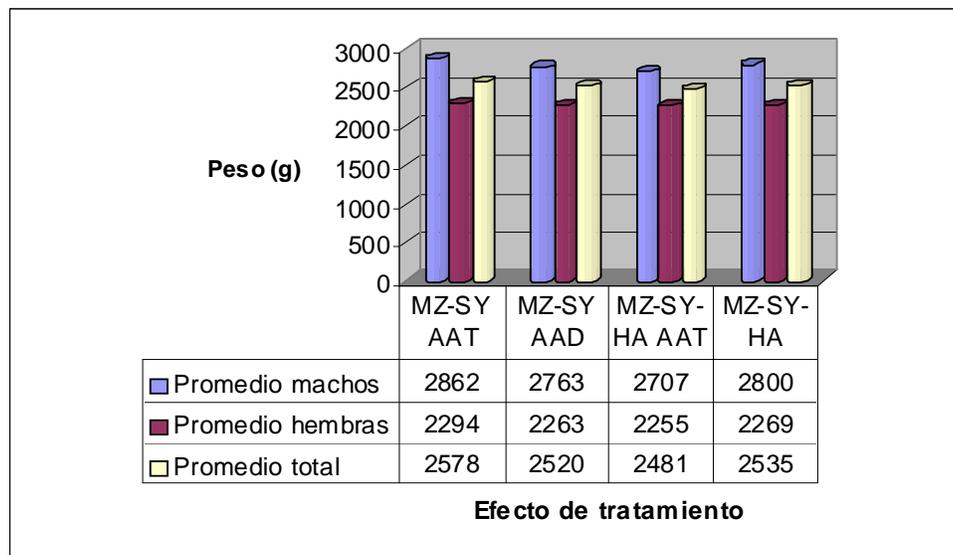


Fig 4. Peso vivo en Planta de Proceso

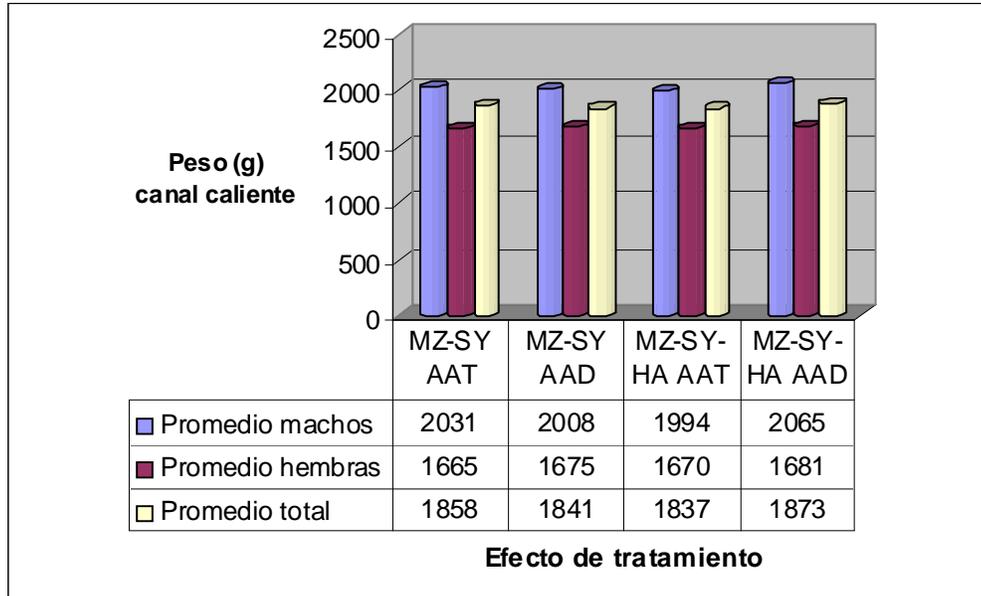


Fig 5. Rendimiento promedio de canal caliente por tratamiento

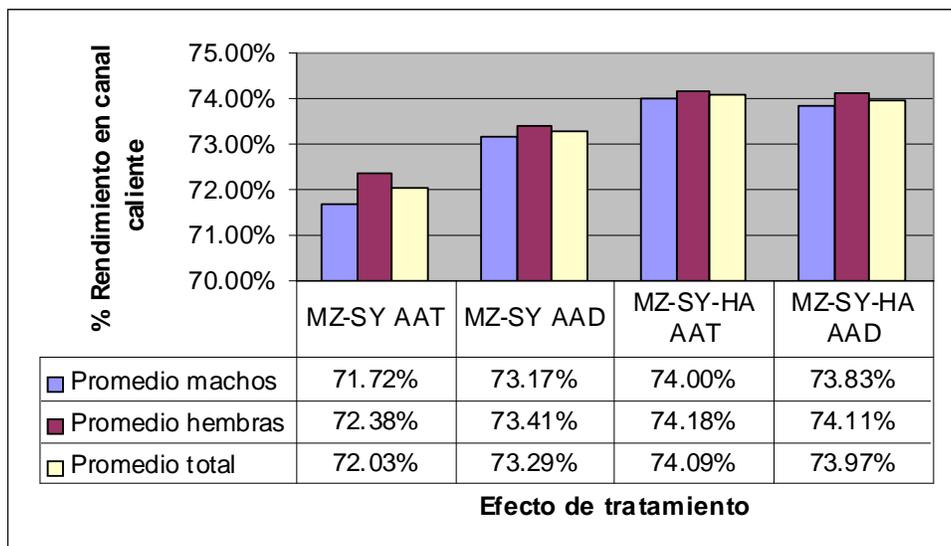


Fig 6. Porcentaje de rendimiento promedio de las canales calientes

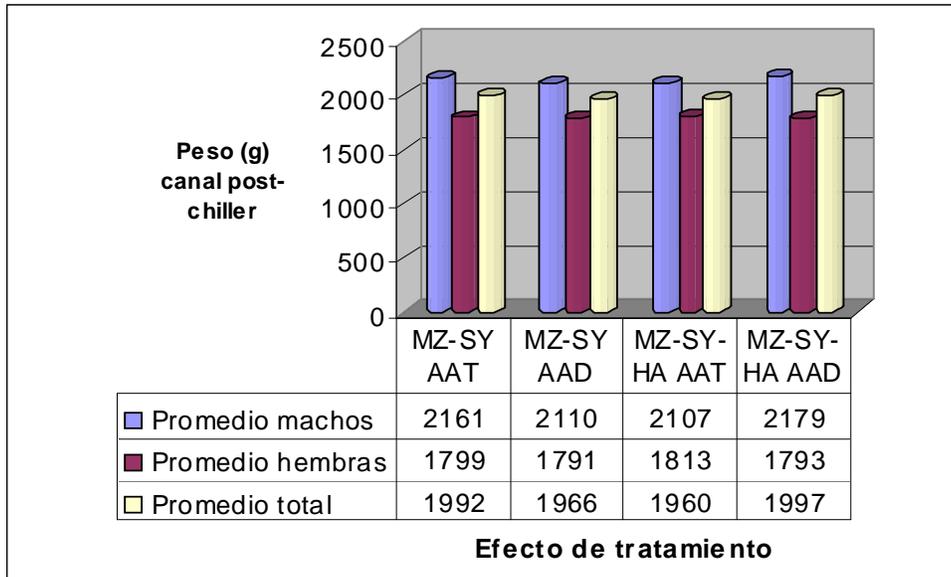


Fig 7. Rendimiento promedio de las canales post-chiller por tratamiento

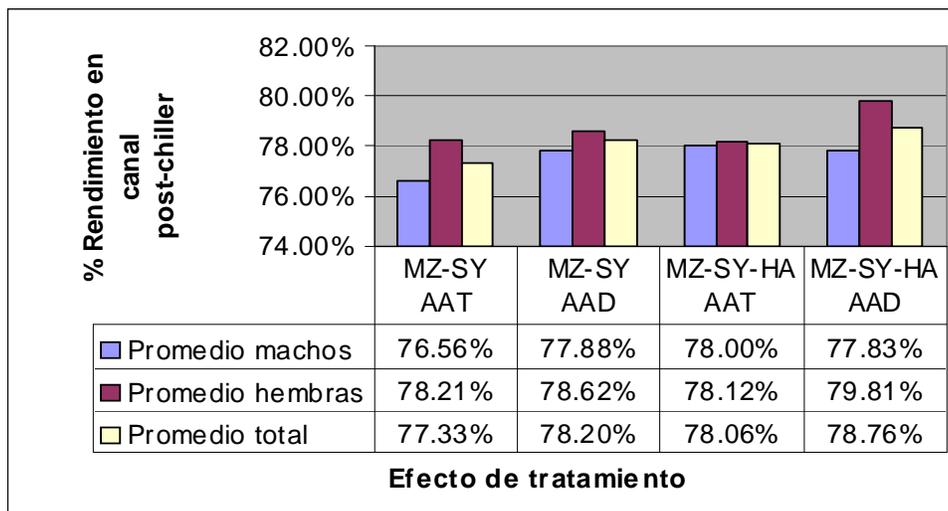


Fig 8. Porcentaje de rendimiento promedio de las canales post-chiller por tratamiento

### 3.2.2 Peso promedio en grasa abdominal

El mayor contenido de grasa abdominal se dio en los pollos que recibieron la dieta con harinas animales formulada con AAT a pesar que estos tuvieron el menor peso vivo al llegar a la planta de proceso. Esta diferencia fue significativa ( $P < 0,05$ ) para el peso de la grasa abdominal pero no así para el porcentaje en relación al peso corporal. El menor contenido de grasa abdominal ocurrió en las aves que recibieron dietas formuladas con aminoácidos digestibles, independientemente de la presencia o no de harinas animales. Esto es reflejo de un mejor balance de AA, lo cual tiene una relación directa con la deposición de grasa corporal (Kenny 2003).

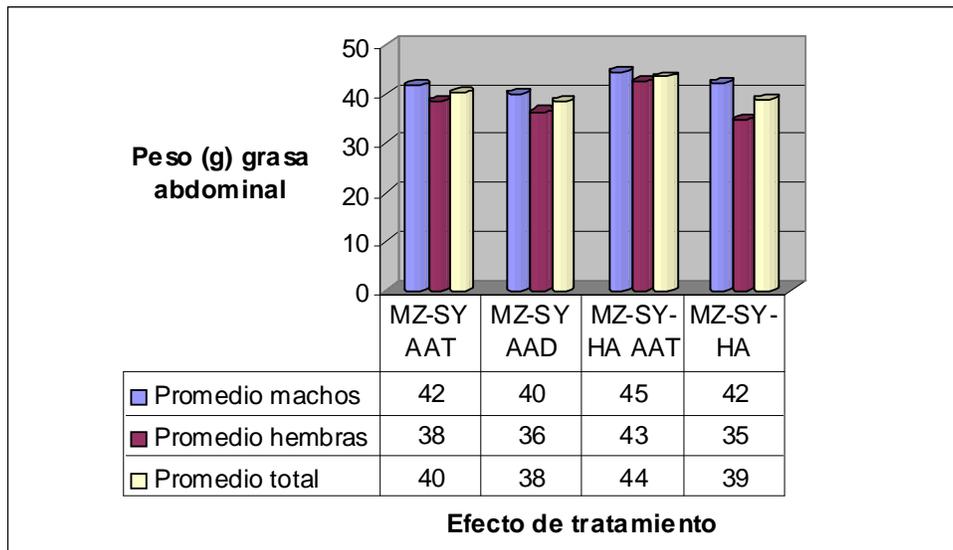


Fig 9. Rendimiento promedio por tratamiento de grasa abdominal

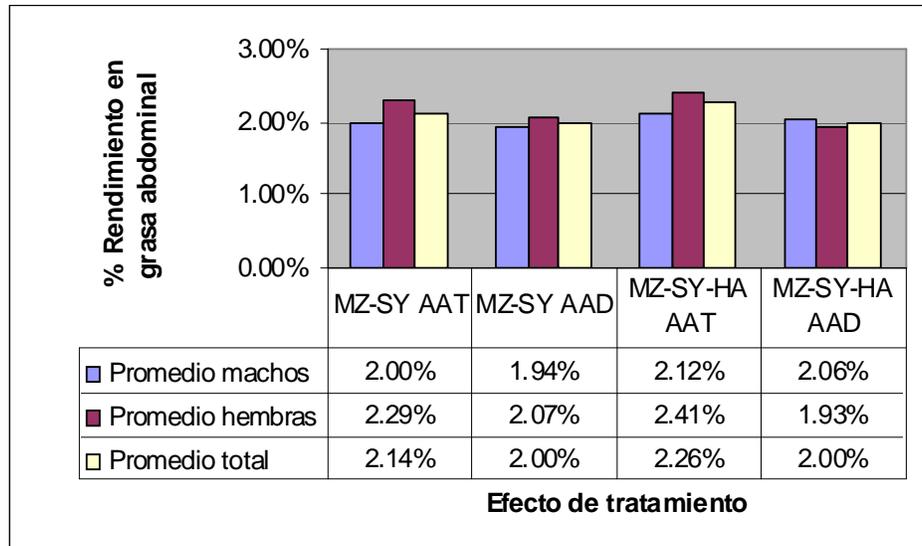


Fig 10. Porcentaje de rendimiento promedio en grasa abdominal por tratamiento

### 3.2.3 Peso y rendimiento de alas

Aunque existió diferencia significativa ( $P < 0,05$ ) entre tratamientos para el peso promedio de las alas, el rendimiento de éstas en relación al peso corporal y de la canal no fue diferente (Cuadro 5). El mayor peso de alas se obtuvo con la dieta con HA AAD y el menor cuando se utilizó HA y formulación con AAT, lo que indica una mejora en este parámetro por el uso de AAD especialmente al usar dietas más complejas, con la inclusión de ingredientes que pueden ser de composición y digestibilidad variable como las harinas de origen animal.

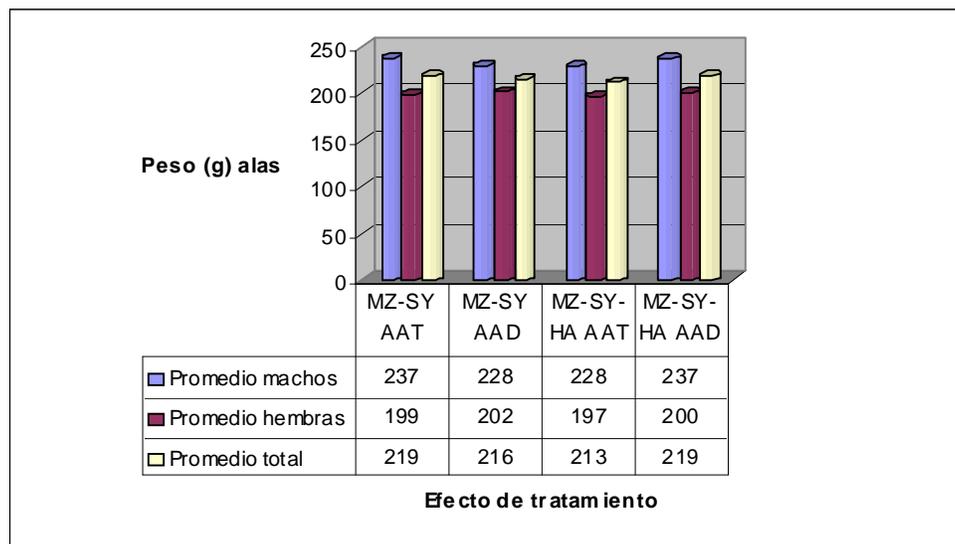


Fig 11. Rendimiento promedio de alas por tratamiento

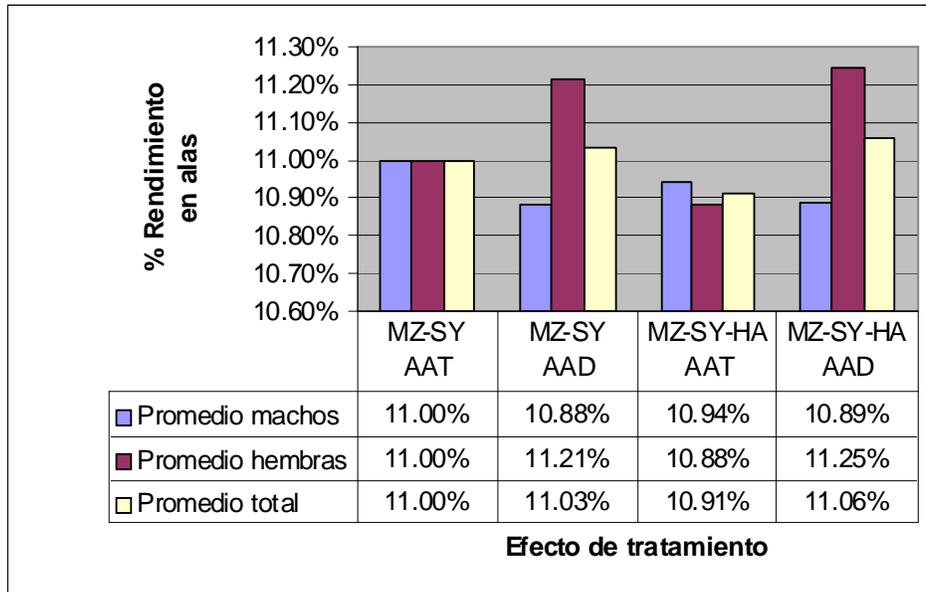


Fig 12. Porcentaje de rendimiento promedio en alas por tratamiento

### 3.2.4 Peso y rendimiento de muslos

Una situación similar al rendimiento de alas se dio con los muslos. El mayor peso y rendimiento de estas porciones de la canal se obtuvo con la dieta HA y formulada con AAD (trat 4) y el menor con el uso de la HA y AAT (trat 3). Aun así, nuevamente la diferencia estadística ocurrió solo en el peso de los muslos y no en el rendimiento (%) de los mismos (Cuadro 5).

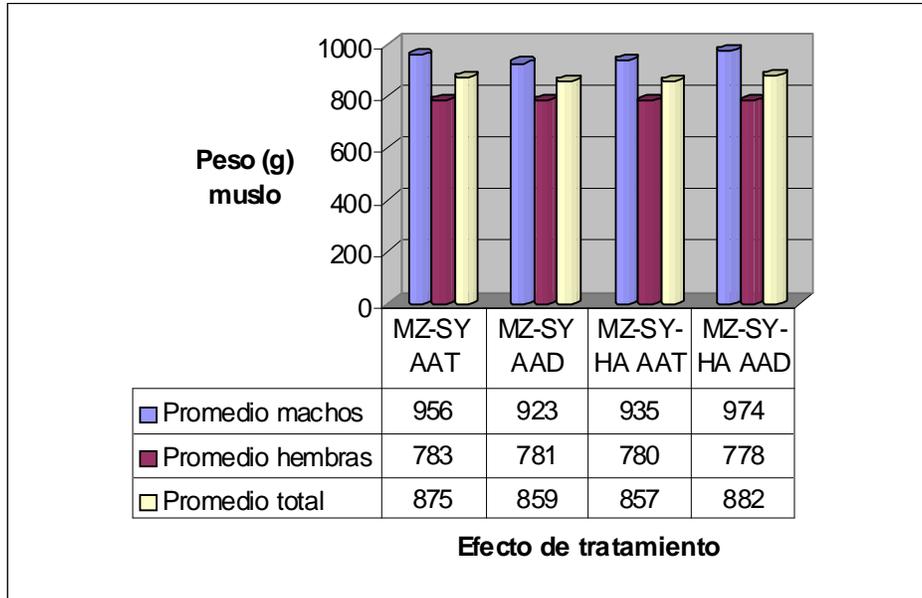


Fig 13. Rendimiento promedio de muslo por tratamiento

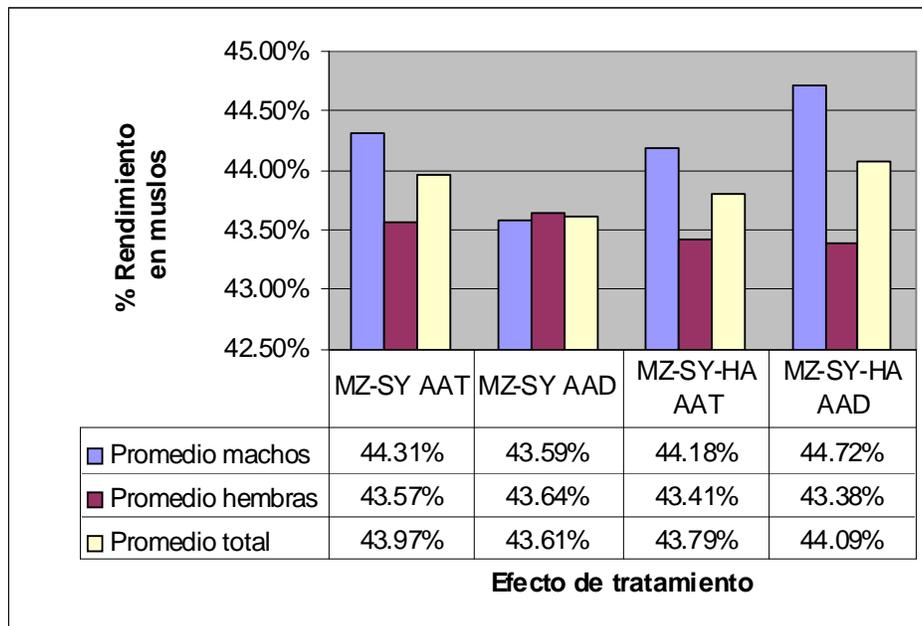


Fig 14. Porcentaje de rendimiento promedio en muslo por tratamiento

### 3.2.5 Peso y rendimiento en pechuga y en filete

El peso y rendimiento de pechuga se comportaron en forma similar al de las alas y muslos con mejores resultados para HA AAT) aunque similares para MZ-SY AAT y AAD. El peso y rendimiento de filete no presentaron diferencias

significativas entre los tratamientos, situación de esperarse ya que existe una correlación positiva entre las dimensiones del filete y el rendimiento en pechuga.

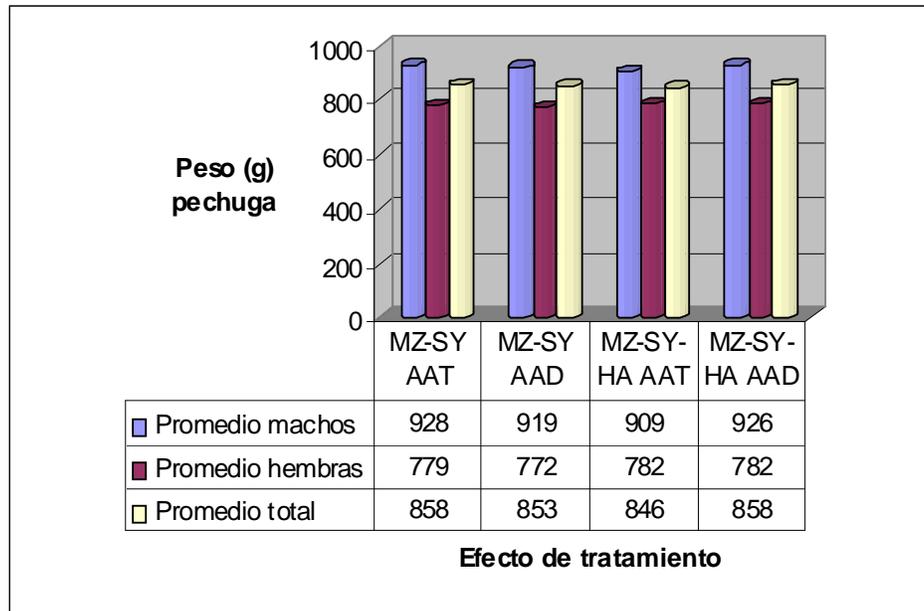


Fig 15. Rendimiento promedio de pechuga por tratamiento

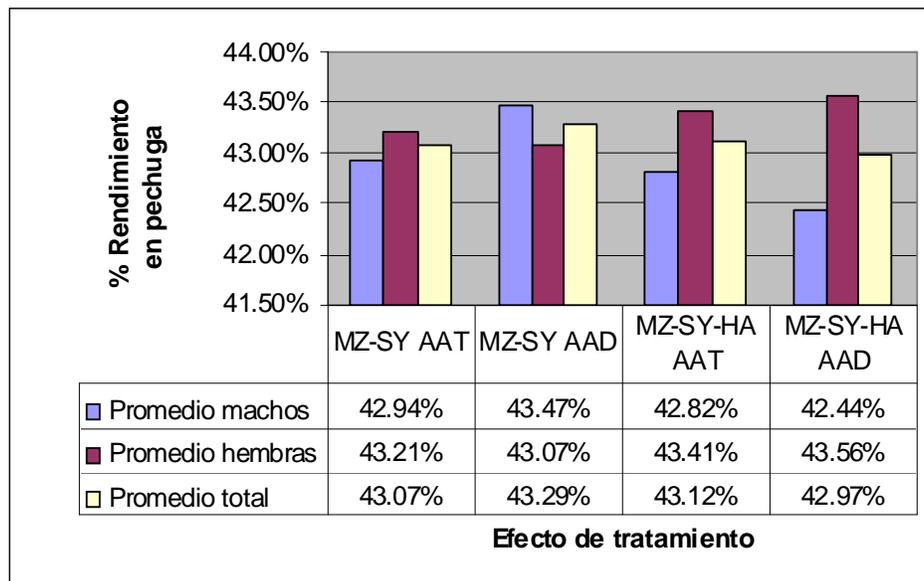


Fig 16. Porcentaje de rendimiento promedio en pechuga por tratamiento

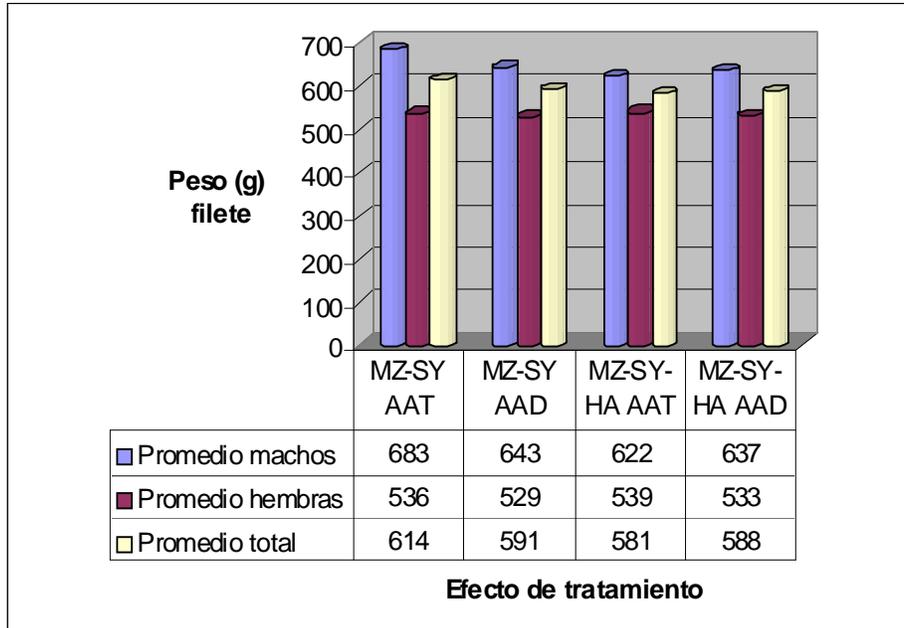


Fig 17. Rendimiento promedio de filete por tratamiento

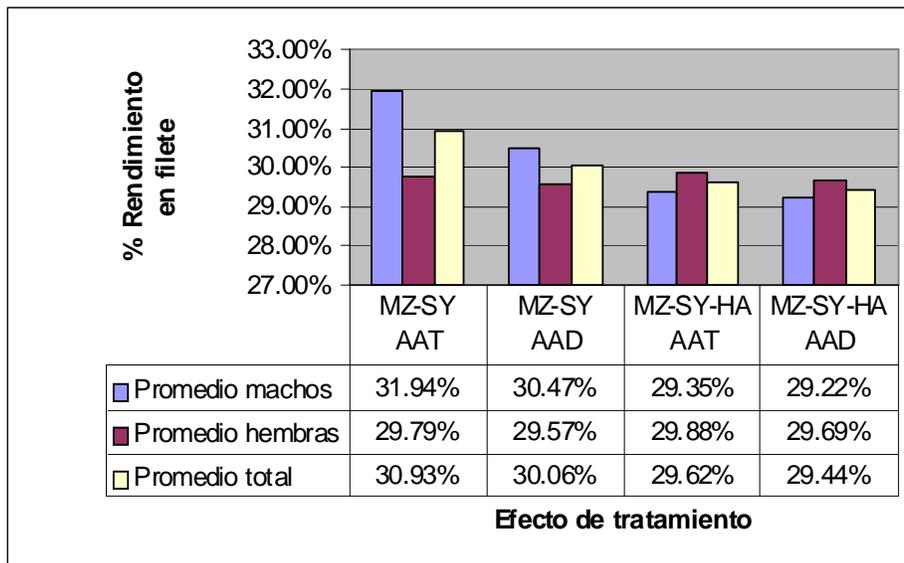


Fig 18. Porcentaje de rendimiento promedio en filete por tratamiento

### 3.3 Evaluación de los rendimientos productivos finales

El índice de eficiencia productiva (IEP) de los broilers de 42 días de edad fue superior para la dieta T4 (MZ–SY–HA AAD), mientras que los rendimientos menos eficientes fueron con el T3 (MZ–SY–HA AAT).

Cuadro 7. Cálculo de índices de eficiencia productiva de la población de los broilers de 42 días de edad por tratamiento una vez finalizada la prueba de campo

	Tratamientos			
	T1. MZ-SY AAT	T2. MZ-SY AAD	T3. MZ-SY-HA AAT	T4. MZ-SY-HA AAD
IEP*	279,52	280,28	273,21	288,00

\*Índice obtenido al multiplicar el porcentaje de sobrevivencia de la población de broilers por tratamiento X la ganancia de peso promedio por tratamiento a los 42 días, dividido entre la conversión alimenticia acumulada; cociente multiplicado por 100.

### 3.4 Análisis de costos por alimentación

Los cálculos de costos ponderados del alimento obtenidos al finalizar la prueba, indican que el tratamiento más costoso en términos de formulación de la dieta resultó ser el T1 (MZ-SY AAT), mientras que el menos costoso fue el T3 (HA AAT). En general la inclusión de HA redujo el costo de formulación y los costos por kg de peso vivo, independientemente de si se utilizó la formulación con AAT ó AAD. Existieron pocas diferencias en costo promedio del alimento cuando se formuló con AAT ó AAD. La formulación con AAD tendió a dar menor costo por kg de peso vivo independientemente de si se utilizó o no la HA.

Cuadro 8. Costos (¢) promedio por kilogramo de alimento y de alimento por kilogramo de peso vivo de los pollos de engorde, con o sin HA y formulación con AAT o AAD

	Tratamientos			
	T1. MZ-SY AAT	T2. MZ-SY AAD	T3. MZ-SY-HA AAT	T4. MZ-SY-HA AAD
Preinicio	110,38	109,80	107,19	106,69
Inicio	106,26	106,12	106,06	103,62
Crecimiento	103,80	104,75	96,47	99,50
Finalizador	97,84	97,15	90,28	93,73
Totales	418,28	417,82	400,00	403,54
Promedio	104,57	104,46	100,00	100,89
Costo ¢/kg de PV*	191,50	191,34	182,18	181,64

\*Promedio ponderado del costo total del consumo por broiler por tratamiento, dividido entre el peso total promedio por pollo de dicha parcela de experimentación

De forma ponderada, el costo más elevado de cada kilogramo de PV producido por broiler fue del tratamiento T1 (MZ–SY AAT), mientras que la dieta menos costosa fue del tratamiento T4 (MZ–SY–HA AAD). Se considera que el tratamiento T1 resultó más costoso debido al incremento en los precios del maíz y al elevado costo de la harina de soya; mientras que en la dieta T4 se incorporaron harinas de origen animal, de menor calidad proteica y de menos costa, tanto por el costo promedio de la materia prima como por la cercanía de la Cooperativa Coopemontecillos, desde donde se transportó la misma. Los costos promedio por kilogramo de dieta suministrada durante las fases de preinicio, inicio, desarrollo y engorde de los pollos se detallan en el cuadro 9.

Cuadro 9. Costos (\*¢) promedio por kilogramo de alimento para pollos de engorde, con o sin HA y formulación con AAT o AAD medidos por NIRS

	Tratamientos			
	T1. MZ-SY AAT	T2. MZ-SY AAD	T3. MZ-SY-HA AAT	T4. MZ-SY-HA AAD
Preinicio	112,56	108,36	105,85	99,77
Inicio	111,97	108,22	106,82	99,07
Crecimiento	109,31	108,16	98,38	92,07
Finalizador	108,80	105,67	101,47	95,58

\* Costo calculado con el tipo de cambio de compra para el 5 de mayo 2007 dado por el Banco Central de Costa Rica (¢ 516.79 / U.S.\$)

## **CAPÍTULO IV**

### **CONCLUSIONES**

1. El consumo de alimento fue similar para los tratamientos evaluados.
2. La ganancia de peso semanal fue significativamente menor ( $p < 0,001$ ) especialmente en las semanas 2, 3 y 6 con las dietas formuladas con aminoácidos totales (MZ-SY AAT y MZ-SY-HA AAT). La ganancia de peso acumulado a 42 días no mostró diferencia significativa entre los 4 tratamientos evaluados.
3. La conversión alimenticia semanal no tuvo una tendencia definida, aunque presentó diferencia significativa a favor del tratamiento con harinas animales y formulación con aminoácidos digestible (MZ-SY-HA AAD). La conversión acumulada a 42 días fue mejor para este tratamiento ( $P < 0,05$ ) mientras que la más alta resultó con la dieta con harinas animales y formulación con aminoácidos totales (MZ-SY-HA AAT).
4. No existieron diferencias significativas entre las diferentes variables evaluadas en la planta de procesamiento cuando éstas se midieron en términos relativos (%) al peso corporal vivo.
5. La formulación con harinas animales produjo el menor costo de alimento por unidad de peso vivo ( $\$/\text{kg. pv}$ ). La formulación de las dietas con AAD (MZ-SY AAD y MZ-SY-HA AAD) redujo dicho costo, siendo esta reducción más notoria cuando se incluyeron harinas de origen animal en la dieta (MZ-SY-HA AAD).
6. El mayor índice de eficiencia productiva (IEP) a los 42 días se logró con la dieta con harinas animales y formulación con aminoácidos digestibles (MZ-SY-HA AAD) mientras que el menor valor se obtuvo con la dieta con harinas animales y formulación con aminoácidos totales (MZ-SY-HA AAT).

7. Con base en los resultados obtenidos se puede concluir que el uso de la base de datos NIRSA es una herramienta útil en la formulación de alimentos para pollos de engorde, especialmente cuando se utilizan dietas complejas con la inclusión de HA que usualmente tienen valores de digestibilidad de la proteína variables.
  
8. Las dietas formuladas en base a aminoácidos digestibles (MZ-SY AAD y MZ-SY-HA AAD) tuvieron mejor efecto promedio sobre las variables analizadas tanto semanalmente como acumuladas a los 42 días y en planta de procesamiento comparadas con las dietas formuladas con aminoácidos totales (MZ-SY AAT y MZ-SY-HA AAT).

## **CAPÍTULO V**

### **RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda la formulación de dietas con base en AAD vs. las dietas formuladas con AAT durante todo el ciclo de producción de los pollos engorde.
2. Se recomienda utilizar NIRS como herramienta para medir la digestibilidad de AA utilizando la base de datos NIRSA de la compañía Adisseo®, especialmente cuando se formulan dietas para pollos de engorde.
3. Se recomienda evaluar otras bases de datos NIRS para medir AAD disponibles en el mercado tales como Amino Dat® de Degussa o IDEA® de Novus.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- AGIANG, E. A., ENEJI, C. A., ISIKA, M. A. 2006. *Evaluation of sun and oven-dried broiler offal meal as replacement for fishmeal in broiler and layer rations*. Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Calabar, Nigeria. Pp. 1-5. Consultado el 17 de setiembre 2007 en la página: <http://www.pjbs.org/ijps/fin660.pdf>
- ÁLVAREZ, S. M.; ÁVILA, G. E.; FUENTE, M. B.; REYES, S. E. 2007. *Ventajas de la formulación de dietas para pollos de engorda, utilizando el Aminonir® en la predicción del contenido de aminoácidos*. XXXII Convención Nacional de la Asociación Nacional de Especialistas en Ciencias Avícolas, Acapulco, México. 7p. Consultado el 4 de octubre 2007 en la página web: <http://www.fmvz.unam.mx/fmvz/centros/ceiepa/fuenmb.pdf>
- BAKER, D. H. y HAN, Y. 1994. *Degussa Technical Symposium & California Nutrition Conference*. Fresno, May 12/13. Pp. 21-24.
- BELL, D. y WEAVER, W. 2002. *Commercial chicken and egg production*. 5th Ed. Kluwer Academic Publishers Group, USA. Pp. 209-213, 222-228.
- BRYDEN, W. y LI, X. 2004. *Utilization of digestible amino acids by broilers*. Rural Industries Research and Development Corporation, Australia. 42p. Consultado el 13 de enero 2007 en la página electrónica: <http://www.rirdc.gov.au/reports/CME/04-030.pdf>
- CAMPABADAL, C y NAVARRO, H. A. 2002. *Alimentación de los cerdos en condiciones tropicales*, 3<sup>ra</sup> edición. Asociación Americana de la Soya, México. Pp. 194, 195.
- CAMPABADAL, C.; VAQUERO, M. y LEDEZMA, R. 1985. *Utilización de la soya integral en la alimentación de pollos de engorde*. Revista Agronomía Costarricense. Vol. 9, No 1. Pp. 29-35.
- CAMPABADAL, C. M. y ZUMBADO, M. A. 1985. *Evaluación de fuentes de proteína en la alimentación de pollos de engorde*. Revista Agronomía Costarricense. Vol. 9, No 1. Pp. 41-46.
- CAPETILLO, L. C.; MONFORTE, B. G.; SANTOS, R. R.; SARMIENTO, F. L.; SEGURA, C. J. 2007. *Comparison of two dietary markers in the determination of amino acid digestibility in some foodstuffs for growing broiler chickens*. Asociación Interciencia, Caracas, Venezuela. Consultado el 23 de octubre 2007 en la página electrónica: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=33901207>
- CÁRRAO, P., GONTIJO, M. 1995. *El cultivo de la soja en los trópicos, mejoramiento y producción*. FAO, Roma. Pp. 24-30.

- COON, C. 2007. *The ideal amino acid requirements and profile for broilers, layers, and broiler breeders*. American Soybean Association, Rue du Luxembourg 16 b 1000 Brussels, Belgium. Pp. 1-8. Consultado el 28 de junio 2007 en la página electrónica:  
<http://www.asaim-europe.org/pdf/idealamino.pdf>
- CRESWELL, D.; SWICK, R.A. 2001. *Formulating with digestible amino acids*. Asian Poultry Magazine. 9p. Consultado el 15 de enero 2007 en la página electrónica: [http://www.asasea.com/po28\\_97.html](http://www.asasea.com/po28_97.html)
- CUCA, M. G.; HERRERA, J. G.; MARTÍNEZ, A., CORNEJO, S. I. 2000. *Tiempo de calentamiento y digestibilidad verdadera de aminoácidos en harina de carne para gallos Leghorn*. Universidad Autónoma Chapingo y Colegio de Postgrados, México. Consultado el 20 de setiembre 2007 en la página:  
<http://209.85.165.104/search?q=cache:6gaumLwaaJ4J:www.alpa.org.ve/ojs/include/getdoc.php%3Fid%3D268%26article%3D235%26mode%3Dpdf+definicion+digestibilidad+broilers&hl=es&ct=clnk&cd=18&gl=cr>
- DALE, N. M.; KERSEY, J. H.; MARR, J. E.; PARSONS, C. M.; WALDROUP, P. W. 1997. *Nutrient composition of spent hen meals produced by rendering*. Applied Poultry Science, Inc. Vol. 6, USA. Pp. 319-324. Consultado el 08 de octubre 2007 en la página electrónica:  
<http://japr.fass.org/cgi/reprint/6/3/319.pdf>
- FICKLER, J. 2006. *Alimento su matriz: Nuevos datos de aminoácidos para pasta de soya*. Degussa AG D-63457. Vol. 07 Jun/Jul No. 02. Hanau, Alemania. Pp. 1-6. Consultado el 08 de octubre 2007 en la página electrónica:  
<https://www.aminoacidsandmore.com/MyFeedAdditives/default.cfm?activity=teclit&event=downloadFile&docID=2548>
- FISHER, C. 1993. *The N-economy of poultry: Prospects of reducing waste by nutritional means*, 2<sup>nd</sup> edition. Belgian Days on Pigs and Poultry, Brugge, Belgium. Pp. 17-19.
- FULTON R. B. y JACKSON, N. 2007. *Composition of feather and offal meal and its value as a protein supplement in the diet of broilers*. Agricultural Chemistry Department, Queen's University, Belfast, Ireland BT9 6BB. Consultado el 20 de setiembre 2007 en la página electrónica:  
<http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/abstract/113442108/ABSTRACT>
- GARCÍA, I. y SALVADOR, F. 2000. *Formulación de raciones con aminoácidos digestibles en especies no rumiantes*. Consultado el 20 de enero 2007 en la página electrónica:  
<http://comunidad.uach.mx/fsalvado/AMINOACIDOS%20DIGESTIBLES.doc>

- GARRIDO, A. V.; PÉREZ, J. E.; GUERRERO, G., GÓMEZ, A. C. 2003. *Avances en la utilización de la tecnología NIRS. Aplicaciones en producción animal*. XIX curso de especialización FEDNA, Departamento de Producción Animal, Universidad Politécnica de Córdoba, España. Pp. 1-9. Consultado el 01 de octubre 2007 en la página electrónica:  
[http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/03CAP\\_I.pdf](http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/03CAP_I.pdf)
- GONZÁLEZ, F. J. 2007. *Influencia de algunas características de composición de ingredientes alimenticios en la productividad del broiler*. Pp. 1-9. Consultado el 19 de setiembre 2007 en la página electrónica:  
<http://www.veterinaria.uchile.cl/publicacion/congresoxi/prafesional/aves/3.doc>
- GROENEWALD, T. 2006. *Espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR)-La técnica de análisis rápidos del futuro*. Animal Feed Manufactures Association, USA. Consultado el 18 de noviembre 2006 en la página electrónica:  
[http://www.engormix.com/espectroscopia\\_infrarrojo\\_cercano\\_nir\\_s\\_articulos\\_577\\_BAL.htm](http://www.engormix.com/espectroscopia_infrarrojo_cercano_nir_s_articulos_577_BAL.htm)
- GROSSKLAUS, D. 1979. *Inspección sanitaria de la carne de ave*. Editorial Acriba S. A. 354p. Consultado el 04 de octubre 2007 en la página web:  
<http://html.rincondelvago.com/subproductos-avicolas.html>
- HAMILTON, C. R. 1996. *Harina de Carne y Hueso: Una fuente valiosa de nutrientes en las dietas para animales y aves de corral*. Darling Internacional. Vol. 1, No 1. Estados Unidos. Consultado el 26 de setiembre 2007 en la página electrónica:  
<http://www.darlingii.com/products/documents/mabspanish.pdf>
- HOEHLER, D.; LEMME, A.; RAVINDRAN, V.; BRYDEN, W. L. y ROSTAGNO, H. S. 2006. *Feed formulation in broiler chickens based on standardized ileal amino acid digestibility*. VIII Simposio Internacional de Nutrición Acuícola, Monterrey, Nuevo León, México. Pp. 198-203. Consultado el 22 de octubre 2007 en la página electrónica:  
<http://www.educacion.uanl.mx/publicaciones/maricultura/viii/pdf/14Hoehler.pdf>
- JANSMAN, A. J. M. 2000. *Necesidades y utilización del triptófano en animales monogástricos*. XVI Curso de Especialización FEDNA, Madrid. Pp. 1-4. Consultado el 26 de setiembre 2007 en la página electrónica:  
<http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/00CAP2.pdf>
- KALINOWSKI, J. E. 2006. *La soya integral en la alimentación avícola*. ASA, Lima, Perú. Pp. 4-7. Consultado el 12 de octubre 2007 en la página electrónica:  
[http://www.wpsa-aeca.com/img/informacion/05\\_06\\_51\\_SojaIntegral.pdf](http://www.wpsa-aeca.com/img/informacion/05_06_51_SojaIntegral.pdf)

- KENNY, M. 2003. *Nutrición y calidad de la cama*. Revista Poultry World. 4p. Consultado el 4 de octubre 2007 en la página electrónica: [http://www.aviagen.com/docs/\(Nutrici%C3%B3n%20y%20calidad%20de%20la%20cama\).pdf](http://www.aviagen.com/docs/(Nutrici%C3%B3n%20y%20calidad%20de%20la%20cama).pdf)
- LECLERCQ, B. 2006. *El concepto de proteína ideal y el uso de aminoácidos sintéticos: estudio comparativo entre pollos y cerdos*. INRA, 37380 Nouzilly, Francia. Consultado el 15 de enero 2007 en la página electrónica: <http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/98CAPXI.pdf>
- LEESON, S.; SUMMERS, J. D. y DÍAZ, G. J. 2000. *Nutrición aviar comercial*, 1<sup>era</sup> edición. Le'Print Club Express Ltda., Santa Fe de Bogotá, Colombia. Pp. 47-58.
- LEMME, A. 2006. *Aminoácidos digestibles ileal estandarizados en la nutrición de pollos*. Degussa AG D-63457 Hanau, Alemania. Vol. 07, Julio No. 02, 10p. Consultado el 8 de octubre 2007 en la página electrónica: <https://www.aminoacidsandmore.com/MyFeedAdditives/default.cfm?activity=teclit&event=downloadFile&docID=2549>
- LEMME, A. 2006. *Recommended standardised ileal digestible amino acid levels for male broilers based on optimum dietary lysine content and the ideal protein concept*. Degussa AG D-63457 Hanau, Alemania. Consultado el 8 de octubre 2007 en la página electrónica de Degussa Corporation: <https://www.aminoacidsandmore.com/MyFeedAdditives/default.cfm?activity=NutRec&event=download&docID=2342>
- LETERME, P. 2007. *Las pérdidas endógenas hasta el íleon del cerdo: origen, factores de variación y métodos de determinación*. Universidad Nacional de Colombia. Consultado el 26 de setiembre 2007 en la página electrónica: <http://www.sian.info.ve/porcinos/publicaciones/viencuent/leterme.htm>
- LIMA, L. 2006. *Formulación de dietas con aminoácidos digestibles. Materias primas: Factores que influyen en la variación de sus coeficientes de digestibilidad*. Ajinomoto Biolatina México. Pp. 1-6. Consultado el 17 de setiembre 2007 en la página electrónica de: [http://www.lisina.com.br/upload/bibliografia/FORMULACI%C3%93N%20DE%20DIETAS%20CON%20AMINO%20ACIDOS%20DIGESTIBLES\(1\).pdf](http://www.lisina.com.br/upload/bibliografia/FORMULACI%C3%93N%20DE%20DIETAS%20CON%20AMINO%20ACIDOS%20DIGESTIBLES(1).pdf)
- MARTÍNEZ, C. A. 2006. *Revista Avicultura Profesional: Avances en definición de requerimientos de aminoácidos en pollos de engorda*. Ajinomoto Biolatina Industrial e Comercio Ltda. Vol. 24, No. 6. México. Pp. 14-16.
- MATEOS, G. G.; LATORRE, M.; LÁZARO, R. 2000. *Procesamiento del haba de soja*. Departamento de Producción Animal, UP Madrid. 45p. Consultado el 15 de octubre 2007 en la página electrónica:

[http://www.asaim-europe.org/pdf/processsb\\_s.pdf](http://www.asaim-europe.org/pdf/processsb_s.pdf)

MONGE, L. A. 1989. *Serie: Los cultivos básicos en Costa Rica. El cultivo de la soya*, 2<sup>da</sup> edición. Editorial UNED. Pg. 63.

MORAES, L. y VARTOTELLI, F. 2006. *Particularidades nutricionales del grano de maíz en la alimentación de aves*. Serie de informes especiales de ILSI. Vol. 2: Maíz y Nutrición. Argentina. Consultado el 04 de octubre 2007 en la página electrónica:

<http://www.maizar.org.ar/2006/pdf/Revista%20maizar%202.pdf>

NRC. 1994. *Nutrient Requirements of Poultry*, 9<sup>th</sup> edition. National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C. Consultado el 17 de setiembre 2007 en la página electrónica:

<http://www.fao.org/ag/aga/agap/FRG/AFRIS/DATA/327.htm>

PACK, M. 1994. *Últimos avances en los sistemas de valoración de aminoácidos para la alimentación de aves*. Degussa AG, D-63403 Hanau, Alemania. 20p. Consultado el 23 de agosto 2007 en la página electrónica:

[http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/94CAP\\_I.pdf](http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/94CAP_I.pdf)

PARSONS, C. M.; CASTANON, F., HAN, Y. 1997. *Protein and amino acid quality of meat and bone meal*. Department of Animal Sciences, University of Illinois, USA. 368p. Consultado el 17 de setiembre en la página electrónica: <http://ps.fass.org/cgi/reprint/76/2/361.pdf>

PARSONS, C. M. y WANG, X. 1998. *Bioavailability of the digestible lysine and total sulfur amino acids in meat and bone meals varying in protein quality*. Departamento de Ciencias Animales, Universidad de Illinois, Estados Unidos. Pp. 1-5. Consultado el 8 de octubre 2007 en la página electrónica:

<http://ps.fass.org/cgi/reprint/77/7/1003>

PEARL, G. G. 2007. *Curso 1: Materias primas, proceso de reciclado y subproductos de origen animal*. Fats and Proteins Research Foundation, Inc. Estados Unidos. Pp. 11-15. Consultado el 26 de setiembre 2007 en la página electrónica:

<http://amepa.org/nuevo/amepasite/NRA/01.pdf>

RAVINDRAN, V.; HENDRIKS, W. H.; THOMAS, D. V.; MOREL, P. C. H. y BUTTS, C. A. 2005. *Comparison of the ileal digestibility of amino acids in meat and bone meal for broiler chickens and growing rats*. International Journal of Poultry Science. Vol. 4, No. 4. Asian Network for Scientific

Information. Pp. 192-196. Consultado el 17 de setiembre 2007 en la página electrónica: <http://www.pjbs.org/ijps/fin345.pdf>

ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T; DONZELE, J. L. 2005. *Reducción de la proteína dietética aplicando el concepto de proteína ideal en pollos de engorde*. Ajinomoto Biolatina, México. Consultado el 20 de mayo 2007 en la página electrónica: [http://ajilys.com/upload/RP\\_49\\_esp.pdf](http://ajilys.com/upload/RP_49_esp.pdf)

SELL, J. L. 1997. XIII curso de especialización FEDNA: *Últimos avances en nutrición de aves*. Departamento de Nutrición Animal, Universidad de Iowa, USA. Pp. 5-9. Consultado el 01 de octubre 2007 en la página electrónica: [http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/97CAP\\_XII.pdf](http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/97CAP_XII.pdf)

SELL, J. L. 1997. *Últimos avances nutrición de aves*. Universidad de Iowa, Estados Unidos. Pp. 5-9. Consultado el 8 de octubre 2007 en la página electrónica: [http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/97CAP\\_XII.pdf](http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/97CAP_XII.pdf)

SHIRLEY, R. B. y PARSONS, C. M. 2001. *Effect of ash content on protein quality of meat and bone meal*. Departamento de Ciencias Animales, Universidad de Illinois, Estados Unidos. Pp. 1-4. Consultado el 17 de setiembre 2007 en la página electrónica: [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/entrez?Db=PubMed&Cmd=ShowDetailView&TermToSearch=11372713&ordinalpos=9&itool=EntrezSystem2.PEntrez.Pubmed.Pubmed\\_ResultsPanel.Pubmed\\_RVDocSum](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/entrez?Db=PubMed&Cmd=ShowDetailView&TermToSearch=11372713&ordinalpos=9&itool=EntrezSystem2.PEntrez.Pubmed.Pubmed_ResultsPanel.Pubmed_RVDocSum)

TERRAZAS, M. F.; ÁVILA, E. G.; CUCA, M. G. y NOLASCO, H. S. 2005. *Efecto de la incorporación de harina de pescado con distinto grado de cocción a dietas para pollos de engorda formuladas a un perfil de aminoácidos digestibles*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Vol. 43, Sep/Dic No 03. México. Pp. 297-308. Consultado el 10 de setiembre 2007 en la página electrónica: <http://www.tecnicapecuaria.org.mx/trabajos/200510202384.pdf>

ZUMBADO, M. A. 2007. *Formulación con aminoácidos digestibles. Medición con NIRS*. Centro de Investigación en Nutrición Animal, Universidad de Costa Rica y Corporación PIPASA S.A. Documento de Power Point consultado el 28 de junio 2007.

ZUMBADO, M. E. y MURILLO, M. 1986. *Utilización de harina de desechos de matadero de aves y harina de pescado en dietas para pollos de iniciación*. Revista Agronomía Costarricense. Vol. 10, No. ½. Pp. 139-145. Consultado el 17 de setiembre 2007 en la página electrónica: [http://www.mag.go.cr/rev\\_agr/v10n01-2\\_139.pdf](http://www.mag.go.cr/rev_agr/v10n01-2_139.pdf)

# **ANEXO I**

N	T1	T4	T3	T2	T2	T1	T4	T3	T1	T2	T4	T3	N
N	T4	T1	T3	T2	T4	T3	T1	T2	T4	T2	T3	T1	N
N	T2	T4	T1	T3	T2	T1	T4	T3	T4	T2	T3	T1	N

Figura 1.1 Distribución al azar de los tratamientos en los corrales a lo largo de 6 semanas de experimentación

T1= MZ-SY AAT NIRS

T2= MZ-SY AAD NIRS

T3= MZ-SY-HA AAT NIRS

T4= MZ-SY-HA AAD NIRS

<sup>N</sup> Estos corrales no fueron utilizados durante el experimento

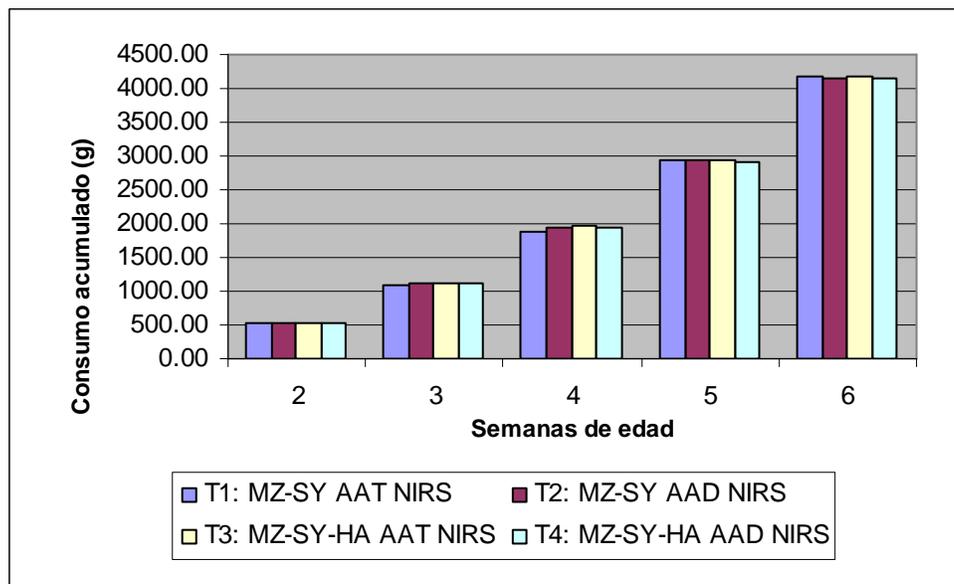


Fig 1.2 Distribución de consumo acumulado promedio por tratamiento de los broilers mixtos

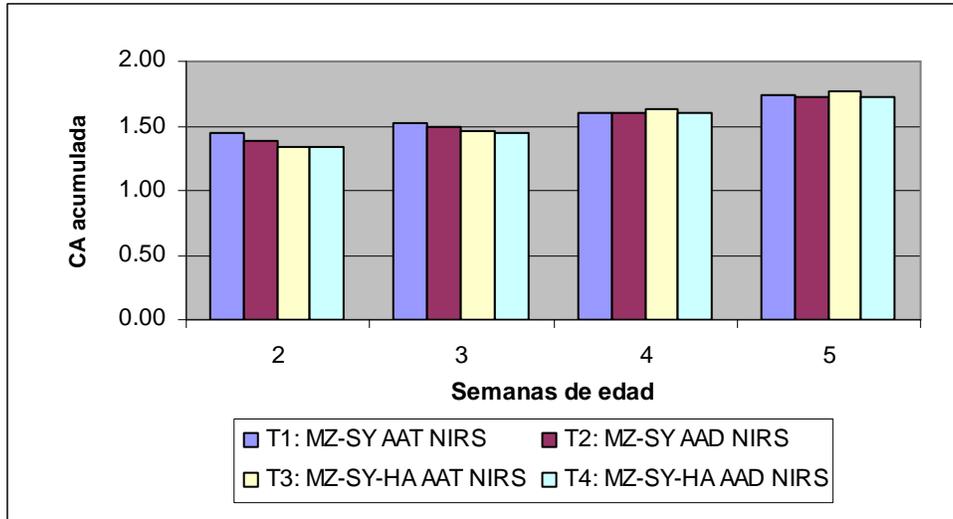


Fig 1.3 Distribución de CA acumulada promedio por tratamiento por semana de los broilers mixtos

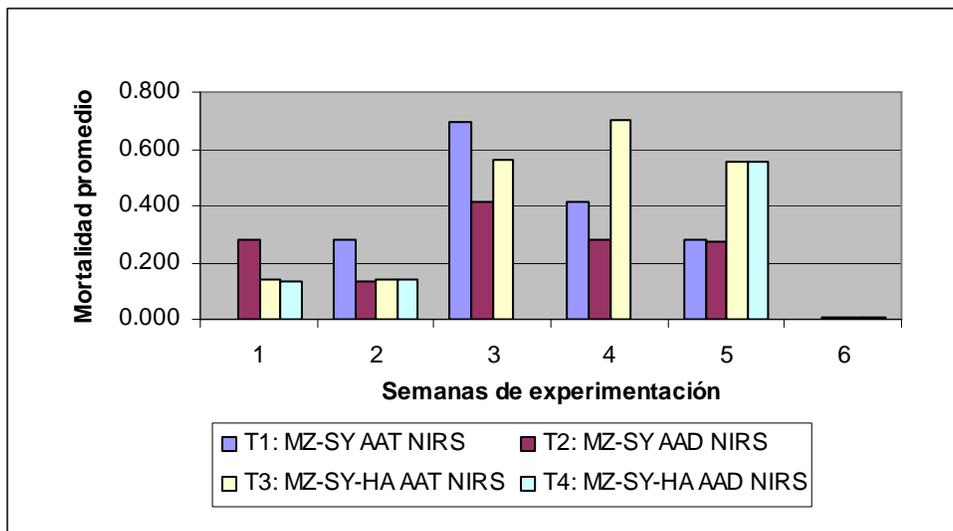


Fig 1.4 Distribución de las mortalidad semanal promedio por tratamiento por de los broilers mixtos

## **ANEXO II**

Cuadro 3.1 Análisis de varianza de los tratamientos para la ganancia de peso de los broilers en la semana 1

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Modelo	3	143.465639	47.8218546	1.84	0.1594
Error	32	830.8628000	25.9644625		
Total	35	974.3283639			
		R <sup>2</sup> 0.147246	C. V. 3.440416		
Fuente	Grados de libertad	Tipo IV SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Tratamiento	3	143.4655639	47.8218546	1.84	0.1594

Cuadro 3.2 Análisis de varianza de los tratamientos para la ganancia de peso de los broilers en la semana 2

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Modelo	3	6131.988867	2043.996289	20.76	<.0001
Error	32	3150.448489	98.451515		
Total	35	9282.437356			
		R <sup>2</sup> 0.660601	C. V. 2.580424		
Fuente	Grados de libertad	Tipo IV SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Tratamiento	3	6131.988867	2043.996289	20.76	<.0001

Cuadro 3.3 Análisis de varianza de los tratamientos para la ganancia de peso de los broilers en la semana 3

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Modelo	3	27440.04246	9146.68082	17.66	<.0001
Error	32	16573.06440	517.90826		
Total	35	44013.10686			
		R <sup>2</sup> 0.623452	C. V. 3.025970		
Fuente	Grados de libertad	Tipo IV SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Tratamiento	3	27440.04246	9146.68082	17.66	<.0001

Cuadro 3.4 Análisis de varianza de los tratamientos para la ganancia de peso de los broilers en la semana 4

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Modelo	3	16405.95327	5468.65109	2.28	0.0983
Error	32	76791.23082	2399.72596		
Total	35	93197.18410			
		R <sup>2</sup> 0.176035	C. V. 4.066744		
Fuente	Grados de libertad	Tipo IV SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Tratamiento	3	16405.95327	5468.65109	2.28	0.0983

Cuadro 3.5 Análisis de varianza de los tratamientos para la ganancia de peso de los broilers en la semana 5

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Modelo	3	4400.63156	1466.87719	0.89	0.4561
Error	32	52656.95653	1645.52989		
Total	35	57057.58810			
		R <sup>2</sup> 0.077126	C. V. 2.382751		
Fuente	Grados de libertad	Tipo IV SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Tratamiento	3	4400.631564	1466.877188	0.89	0.4561

Cuadro 3.6 Análisis de varianza de los tratamientos para la ganancia de peso de los broilers en la semana 6

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Modelo	7	9643637.15	1377662.45	55.22	<.0001
Error	135	3367821.83	24946.83		
Total	142	13011458.98			
		R <sup>2</sup> 0.741165	C. V. 6.246433		
Fuente	Grados de libertad	Tipo IV SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Tratamiento	3	178636.466	59545.489	2.39	0.0718
Sexo	1	9400527.056	9400527.056	376.82	<.0001
Trat*sexo	3	65335.796	21778.599	0.87	0.4569

Cuadro 3.7 Análisis de varianza de los tratamientos para el consumo de los broilers en la semana 1

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Modelo	3	167.138856	55.712952	1.16	0.3411
Error	32	1540.108444	48.128389		
Total	35	1707.247300			
		R <sup>2</sup> 0.097900	C. V. 4.645985		
Fuente	Grados de libertad	Tipo IV SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Tratamiento	3	167.1388556	55.7129519	1.16	0.3411

Cuadro 3.8 Análisis de varianza de los tratamientos para el consumo de los broilers en la semana 2

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Modelo	3	860.98210	286.99403	0.64	0.5940
Error	32	14317.55607	447.42363		
Total	35	15178.53816			
		R <sup>2</sup> 0.056724	C. V. 5.587105		
Fuente	Grados de libertad	Tipo IV SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Tratamiento	3	860.9820972	286.9940324	0.64	0.5940

Cuadro 3.9 Análisis de varianza de los tratamientos para el consumo de los broilers en la semana 3

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Modelo	3	10852.00783	3617.33594	3.59	0.0243
Error	32	32276.46436	1008.63951		
Total	35	43128.47219			
		R <sup>2</sup> 0.251621	C. V. 5.426590		
Fuente	Grados de libertad	Tipo IV SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Tratamiento	3	10852.00783	3617.33594	3.59	0.0243

Cuadro 3.10 Análisis de varianza de los tratamientos para el consumo de los broilers en la semana 4

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Modelo	3	8562.15370	2854.05123	2.52	0.0757
Error	32	36269.66058	1133.42689		
Total	35	44831.81427			
		R <sup>2</sup> 0.190984	C. V. 4.108260		
Fuente	Grados de libertad	Tipo IV SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Tratamiento	3	8562.153697	2854.051232	2.52	0.0757

Cuadro 3.11 Análisis de varianza de los tratamientos para el consumo de los broilers en la semana 5

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Modelo	3	47789.7569	15929.9190	4.91	0.0064
Error	32	103729.5655	3241.5489		
Total	35	151519.3223			
		R <sup>2</sup> 0.315404	C. V. 5.588712		
Fuente	Grados de libertad	Tipo IV SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Tratamiento	3	47789.75686	15929.91895	4.91	0.0064

Cuadro 3.12 Análisis de varianza de los tratamientos para el consumo de los broilers en la semana 6

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Modelo	3	6072.52254	2024.17418	0.75	0.5276
Error	32	85794.05018	2681.06407		
Total	35	91866.57272			
		R <sup>2</sup> 0.066102	C. V. 4.173984		
Fuente	Grados de libertad	Tipo IV SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Tratamiento	3	6072.522544	2024.174181	0.75	0.5276

Cuadro 3.13 Análisis de varianza de los tratamientos para el consumo acumulado de los broilers en la semana 2

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Modelo	3	548.87699	182.95900	0.37	0.7774
Error	32	15962.91547	498.84111		
Total	35	16511.79246			
		R <sup>2</sup> 0.033242	C. V. 4.230756		
Fuente	Grados de libertad	Tipo IV SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Tratamiento	3	548.8769889	182.9589963	0.37	0.7774

Cuadro 3.14 Análisis de varianza de los tratamientos para el consumo acumulado de los broilers en la semana 3

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Modelo	3	14965.36104	4988.45368	3.25	0.0344
Error	32	49070.04758	1533.43899		
Total	35	64035.40862			
		R <sup>2</sup> 0.233704	C. V. 3.517830		
Fuente	Grados de libertad	Tipo IV SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Tratamiento	3	14965.36104	4988.45368	3.25	0.0344

Cuadro 3.15 Análisis de varianza de los tratamientos para el consumo acumulado de los broilers en la semana 4

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Modelo	3	43874.2160	14624.7387	4.08	0.0147
Error	32	114752.3760	3586.0118		
Total	35	158626.5920			
		R <sup>2</sup> 0.276588	C. V. 3.098524		
Fuente	Grados de libertad	Tipo IV SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Tratamiento	3	43874.21600	14624.73867	4.08	0.0147

Cuadro 3.16 Análisis de varianza de los tratamientos para el consumo acumulado de los broilers en la semana 5

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Modelo	3	6726.85766	2242.28589	0.96	0.4242
Error	32	74858.54613	2339.32957		
Total	35	81585.40379			
		R <sup>2</sup> 0.082452	C. V. 1.651330		
Fuente	Grados de libertad	Tipo IV SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Tratamiento	3	6726.857656	2242.285885	0.96	0.4242

Cuadro 3.17 Análisis de varianza de los tratamientos para conversión alimenticia de los broilers en la semana 1

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Modelo	3	0.01729722	0.00576574	1.91	0.1478
Error	32	0.09660000	0.00301875		
Total	35	0.11389722			
		R <sup>2</sup> 0.151867	C. V. 5.441413		
Fuente	Grados de libertad	Tipo IV SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Tratamiento	3	0.01729722	0.00576574	1.91	0.1478

Cuadro 3.18 Análisis de varianza de los tratamientos para conversión alimenticia de los broilers en la semana 2

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Modelo	3	0.14645556	0.04881852	7.13	0.0008
Error	32	0.21904444	0.00684514		
Total	35	0.36550000			
		R <sup>2</sup> 0.400699	C. V. 5.154851		
Fuente	Grados de libertad	Tipo IV SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Tratamiento	3	0.14645556	0.04881852	7.13	0.0008

Cuadro 3.19 Análisis de varianza de los tratamientos para conversión alimenticia de los broilers en la semana 3

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Modelo	3	0.03365556	0.01121852	4.79	0.0072
Error	32	0.07500000	0.00234375		
Total	35	0.10865556			
		R <sup>2</sup> 0.309745	C. V. 3.037369		
Fuente	Grados de libertad	Tipo IV SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Tratamiento	3	0.03365556	0.01121852	4.79	0.0072

Cuadro 3.20 Análisis de varianza de los tratamientos para conversión alimenticia de los broilers en la semana 4

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Modelo	3	0.19245556	0.06415185	5.73	0.0030
Error	32	0.35853333	0.01120417		
Total	35	0.55098889			
		R <sup>2</sup> 0.349291	C. V. 5.814145		
Fuente	Grados de libertad	Tipo IV SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Tratamiento	3	0.19245556	0.06415185	5.73	0.0030

Cuadro 3.21 Análisis de varianza de los tratamientos para conversión alimenticia de los broilers en la semana 5

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Modelo	3	0.05740000	0.01913333	1.33	0.2823
Error	32	0.46080000	0.01440000		
Total	35	0.51820000			
		R <sup>2</sup> 0.110768	C. V. 5.844156		
Fuente	Grados de libertad	Tipo IV SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Tratamiento	3	0.05740000	0.01913333	1.33	0.2823

Cuadro 3.22 Análisis de varianza de los tratamientos para conversión alimenticia de los broilers en la semana 6

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Modelo	3	0.07295556	0.02431852	1.41	0.2575
Error	32	0.55144444	0.01723264		
Total	35	0.62440000			
		R <sup>2</sup> 0.116841	C. V. 5.642112		
Fuente	Grados de libertad	Tipo IV SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Tratamiento	3	0.07295556	0.02431852	1.41	0.2575

Cuadro 3.23 Análisis de varianza de los tratamientos para conversión alimenticia acumulada de los broilers en la semana 2

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Modelo	3	0.06169722	0.02056574	6.90	0.0010
Error	32	0.09537778	0.00298056		
Total	35	0.15707500			
		R <sup>2</sup> 0.392788	C. V. 3.972914		
Fuente	Grados de libertad	Tipo IV SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Tratamiento	3	0.06169722	0.02056574	6.90	0.0010

Cuadro 3.24 Análisis de varianza de los tratamientos para conversión alimenticia acumulada de los broilers en la semana 3

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Modelo	3	0.03447500	0.01149167	7.50	0.0006
Error	32	0.04900000	0.00153125		
Total	35	0.08347500			
		R <sup>2</sup> 0.412998	C. V. 2.642511		
Fuente	Grados de libertad	Tipo IV SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Tratamiento	3	0.03447500	0.01149167	7.50	0.0006

Cuadro 3.25 Análisis de varianza de los tratamientos para conversión alimenticia acumulada de los broilers en la semana 4

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Modelo	3	0.00471944	0.00157315	0.81	0.4978
Error	32	0.06215556	0.00194236		
Total	35	0.06687500			
		R <sup>2</sup> 0.070571	C. V. 2.744508		
Fuente	Grados de libertad	Tipo IV SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Tratamiento	3	0.00471944	0.00157315	0.81	0.4978

Cuadro 3.26 Análisis de varianza de los tratamientos para conversión alimenticia acumulada de los broilers en la semana 5

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Modelo	3	0.00998611	0.00332870	4.11	0.0141
Error	32	0.02588889	0.00080903		
Total	35	0.03587500			
		R <sup>2</sup> 0.278358	C. V. 1.640178		
Fuente	Grados de libertad	Tipo IV SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Tratamiento	3	0.00998611	0.00332870	4.11	0.0141

Cuadro 3.27 Análisis de varianza de los tratamientos para la mortalidad acumulada de los broilers en la semana 6

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Modelo	3	0.00075896	0.00025299	1.68	0.1912
Error	32	0.00482280	0.00015071		
Total	35	0.00558175			
		R <sup>2</sup> 0.135971	C. V. 81.99515		
Fuente	Grados de libertad	Tipo IV SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Tratamiento	3	0.00075896	0.00025299	1.68	0.1912

Cuadro 3.28 Análisis de varianza de los tratamientos para peso de canal caliente en planta de proceso

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Modelo	7	4398472.777	628353.254	38.77	<.0001
Error	133	2155809.833	16209.096		
Total	140	6554282.610			
		R <sup>2</sup> 0.671084	C. V. 6.872852		
Fuente	Grados de libertad	Tipo IV SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Tratamiento	3	33464.312	11154.771	0.69	0.5608
Sexo	1	4345053.371	4345053.371	268.06	<.0001
Trat*sexo	3	21093.200	7031.067	0.43	0.7292

Cuadro 3.29 Análisis de varianza de los tratamientos para porcentaje de canal caliente en planta de proceso

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Modelo	7	0.00974157	0.00139165	2.99	0.0061
Error	132	0.06147271	0.00046570		
Total	139	0.07121429			
		R <sup>2</sup> 0.136792	C. V. 2.941791		
Fuente	Grados de libertad	Tipo IV SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Tratamiento	3	0.00904812	0.00301604	6.48	0.0004
Sexo	1	0.00039924	0.00039924	0.86	0.3562
Trat*sexo	3	0.00011752	0.00003917	0.08	0.9686

Cuadro 3.30 Análisis de varianza de los tratamientos para peso de canal post-chiller en planta de proceso

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Modelo	7	3789066.393	541295.199	19.99	<.0001
Error	121	3276079.669	27075.039		
Total	128	7065146.062			
		R <sup>2</sup> 0.536304	C. V. 8.315592		
Fuente	Grados de	Tipo IV SS	Cuadrado	Valor F	Pr>F

	libertad		medio		
Tratamiento	3	26094.992	8698.331	0.32	0.8100
Sexo	1	3703872.864	3703872.864	136.80	<.0001
Trat*sexo	3	43006.773	14335.591	0.53	0.6629

Cuadro 3.31 Análisis de varianza de los tratamientos para porcentaje de canal post-chiller en planta de proceso

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Modelo	7	0.00906303	0.00129472	1.33	0.2439
Error	120	0.11718385	0.00097653		
Total	127	0.12624688			
		R <sup>2</sup> 0.071788	C. V. 4.000738		
Fuente	Grados de libertad	Tipo IV SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Tratamiento	3	0.00332371	0.00110790	1.13	0.3380
Sexo	1	0.00397426	0.00397426	4.07	0.0459
Trat*sexo	3	0.00180069	0.00060023	0.61	0.6068

Cuadro 3.32 Análisis de varianza de los tratamientos para peso de grasa abdominal en planta de proceso

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Modelo	7	1263.01824	180.43118	1.52	0.1662
Error	119	14106.03688	118.53813		
Total	126	15369.05512			
		R <sup>2</sup> 0.082179	C. V. 26.97981		
Fuente	Grados de libertad	Tipo IV SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Tratamiento	3	609.4777452	203.1592484	1.71	0.1678
Sexo	1	565.9286847	565.9286847	4.77	0.0308
Trat*sexo	3	137.1149159	45.7049720	0.39	0.7636

Cuadro 3.33 Análisis de varianza de los tratamientos para porcentaje de grasa abdominal en planta de proceso

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Modelo	7	0.00031823	0.00004546	1.57	0.1513
Error	119	0.00344870	0.00002898		
Total	126	0.00376693			
		R <sup>2</sup> 0.084479	C. V. 25.60630		
Fuente	Grados de libertad	Tipo IV SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Tratamiento	3	0.00016078	0.00005359	1.85	0.1420
Sexo	1	0.00006800	0.00006800	2.35	0.1282
Trat*sexo	3	0.00009183	0.00003061	1.06	0.3705

Cuadro 3.34 Análisis de varianza de los tratamientos para peso alas en planta de proceso

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Modelo	7	37524.75532	5360.67933	17.60	<.0001
Error	121	36860.14391	304.62929		
Total	128	74384.89922			
		R <sup>2</sup>	C. V.		
Fuente	Grados de libertad	Tipo IV SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Tratamiento	3	729.11057	243.03686	0.80	0.4974
Sexo	1	35733.47283	35733.47283	117.30	<.0001
Trat*sexo	3	652.43873	217.47958	0.71	0.5455

Cuadro 3.35 Análisis de varianza de los tratamientos para porcentaje de alas en planta de proceso

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Modelo	7	0.00023945	0.00003421	1.16	0.3294
Error	121	0.00356055	0.00002943		
Total	128	0.00380000			
		R <sup>2</sup> 0.063013	C. V.		
Fuente	Grados de libertad	Tipo IV SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F

Tratamiento	3	0.00004944	0.00001648	0.56	0.6424
Sexo	1	0.00008047	0.00008047	2.73	0.1008
Trat*sexo	3	0.00011677	0.00003892	1.32	0.2702

Cuadro 3.36 Análisis de varianza de los tratamientos para peso de muslo en planta de proceso

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Modelo	7	920188.198	131455.457	20.84	<.0001
Error	121	763298.360	6308.251		
Total	128	1683486.558			
		R <sup>2</sup> 0.546597	C. V. 9.147592		
Fuente	Grados de libertad	Tipo IV SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Tratamiento	3	11682.5011	3894.1670	0.62	0.6051
Sexo	1	885195.3540	885195.3540	140.32	<.0001
Trat*sexo	3	13380.4140	4460.1380	0.71	0.5496

Cuadro 3.37 Análisis de varianza de los tratamientos para porcentaje en muslo en planta de proceso

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Modelo	7	0.00286123	0.00040875	1.79	0.0950
Error	121	0.02761474	0.00022822		
Total	128	0.03047597			
		R <sup>2</sup> 0.093885	C. V. 3.443720		
Fuente	Grados de libertad	Tipo IV SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Tratamiento	3	0.00033823	0.00011274	0.49	0.6871
Sexo	1	0.00156655	0.00156655	6.86	0.0099
Trat*sexo	3	0.00079592	0.00026531	1.16	0.3270

Cuadro 3.38 Análisis de varianza de los tratamientos para peso de pechuga en planta de proceso

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Modelo	7	646285.326	92326.475	15.19	<.0001
Error	121	735481.294	6078.358		
Total	128	1381766.620			

		R <sup>2</sup> 0.467724	C. V. 9.133399		
Fuente	Grados de libertad	Tipo IV SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Tratamiento	3	2250.8281	750.2760	0.12	0.9461
Sexo	1	641083.0974	641083.0974	105.47	<.0001
Trat*sexo	3	2618.9386	872.9795	0.14	0.9336

Cuadro 3.39 Análisis de varianza de los tratamientos para porcentaje de pechuga en planta de proceso

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Modelo	7	0.00170519	0.00024360	1.01	0.4267
Error	121	0.02914287	0.00024085		
Total	128	0.03084806			
		R <sup>2</sup> 0.055277	C. V. 3.600064		
Fuente	Grados de libertad	Tipo IV SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Tratamiento	3	0.00012148	0.00004049	0.17	0.9177
Sexo	1	0.00050188	0.00050188	2.08	0.1515
Trat*sexo	3	0.00096730	0.00032243	1.34	0.2650

Cuadro 3.40 Análisis de varianza de los tratamientos para peso de filete en planta de proceso

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Modelo	7	430510.0461	61501.4352	13.92	<.0001
Error	121	534419.5353	4416.6904		
Total	128	964929.5814			
		R <sup>2</sup>	C. V.		
Fuente	Grados de libertad	Tipo IV SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Tratamiento	3	15484.6078	5161.5359	1.17	0.3246
Sexo	1	401389.4937	401389.4937	90.88	<.0001
Trat*sexo	3	16441.1298	5480.3766	1.24	0.2980

Cuadro 3.41 Análisis de varianza de los tratamientos para porcentaje de filete en planta de proceso

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Modelo	7	0.00868148	0.00124021	1.34	0.2359
Error	121	0.11171542	0.00092327		
Total	128	0.12039690			
		R <sup>2</sup> 0.072107	C. V. 10.13368		
Fuente	Grados de libertad	Tipo IV SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr>F
Tratamiento	3	0.00370234	0.00123411	1.34	0.2657
Sexo	1	0.00084584	0.00084584	0.92	0.3404
Trat*sexo	3	0.00384224	0.00128075	1.39	0.2500