

01674



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

MAESTRIA EN CIENCIAS DE LA PRODUCCION  
Y DE LA SALUD ANIMAL

EFFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN DE ENZIMAS  
MICROBIANAS EN DIETAS SORGO+SOYA,  
SOBRE LA DIGESTIBILIDAD DE ENERGÍA,  
AMINOACIDOS Y RESPUESTA PRODUCTIVA

**TESIS**

PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA

**ALMA DELIA MENDEZ DOMINGUEZ**

**TUTOR:**

ERNESTO AVILA GONZALEZ

**COMITE TUTORAL:**

CARLOS LOPEZ COELLO

MARIANO GONZALEZ ALCORTA

MÉXICO, D. F.

2005.

m349539



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## CONTENIDO

|  |     |
|--|-----|
| DEDICATORIAS.....  | I   |
| AGRADECIMIENTOS.....   | II  |
| RESUMEN .....  | III |
| ABSTRACT .....   | IV  |
| 1. INTRODUCCIÓN .....  | 1   |
| 1.1 Situación de la avicultura nacional.....   | 1   |
| 1.2 Obtención de energía.....  | 2   |
| 1.3 Acción de la microflora sobre la fibra.....  | 3   |
| 2. REVISIÓN DE LITERATURA.....   | 4   |
| 2.1 Polisacáridos no amiláceos.....  | 4   |
| 2.2 Fibra .....  | 4   |
| 2.2.1 Fibra insoluble.....   | 5   |
| 2.2.2 Constituyentes más importantes de la fibra soluble .....                                 | 5   |
| 2.3 Efecto de los PNA.....   | 7   |
| 2.4 Caracterización de los carbohidratos en la alimentación de los animales monogástricos..... | 9   |
| 2.5 Efectos antinutritivos relacionados con la fracción no digestible de las leguminosas.....  | 10  |
| 2.6 Consecuencias nutricionales y productivas de los PNAs ingeridos por los pollos.....        | 12  |
| 2.7 Efectos antinutritivos de los $\beta$ -glucanos y arabinosilanos de los cereales.....      | 13  |
| 2.8 Enzimas .....  | 14  |
| 2.8.1 Mecanismo de acción .....  | 16  |
| 2.9 Reducción de la viscosidad de la digesta .....   | 17  |
| 3. HIPÓTESIS .....   | 19  |
| 4. OBJETIVOS .....   | 19  |
| 4.1 Objetivo general .....   | 19  |
| 4.2 Objetivos particulares .....   | 19  |
| 5. MATERIAL Y MÉTODOS .....  | 20  |

5.1 Localización .....20  
5.2 Metodología .....20  
6. MODELO EXPERIMENTAL .....25  
7. RESULTADOS .....26  
8. DISCUSIÓN .....29  
9. CONCLUSIONES.....32  
10. REFERENCIAS.....33

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo resepolonal.  
NOMBRE: Alma Delia Méndez Domínguez  
FECHA: 23 NOVIEMBRE 05  
FIRMA: [Signature]

## LISTA DE CUADROS

|  |    |
|--|----|
| <b>Cuadro 1.</b> Composición de Polisacáridos no amiláceos en algunas materias primas.....   | 42 |
| <b>Cuadro 2.</b> Contenido de nutrientes en la pasta de soya normal y mejorada en proteína, aminoácidos y Energía metabolizable..... | 43 |
| <b>Cuadro 3.</b> Composición de las dietas de iniciación para pollos de 0-21 días de edad .....                                      | 44 |
| <b>Cuadro 3a.</b> Valores de aminoácidos determinados en las dietas en base original (Exp 1).....                                    | 45 |
| <b>Cuadro 4.</b> Composición de las dietas de finalización de 22 a 49 días de edad para pollos.....                                  | 46 |
| <b>Cuadro 5.</b> Efectos principales en parámetros productivos en 21 días de edad (Exp 1) .....                                      | 47 |
| <b>Cuadro 6.</b> Resultados de porcentaje de digestibilidad de la dieta y la Energía metabolizable de las dietas (Exp 1).....        | 48 |
| <b>Cuadro 7.</b> Porcentajes de digestibilidad ileal de aminoácidos .....  | 49 |
| <b>Cuadro 8.</b> Resultados de parámetros productivos en 49 días de edad (Exp 2).....  | 50 |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1.</b> Ganancia de peso de pollos de 0 a 21 días (Exp 1).....                       | 51 |
| <b>Figura 2.</b> Conversión de pollos de 0 a 21 días (Exp 1).....                             | 51 |
| <b>Figura 3.</b> Valores determinados de EM en las dietas empleadas (Exp 1) .....             | 52 |
| <b>Figura 4.</b> Porcentaje de digestibilidad ileal de aminoácidos en las dietas (Exp 1)      | 53 |
| <b>Figura 5.</b> Datos promedio de ganancia de peso de pollos en toda la engorda (Exp 2)..... | 54 |
| <b>Figura 6.</b> Resultados de consumo de alimento en toda la engorda (Exp 2) .....           | 54 |
| <b>Figura 7.</b> Resultados de conversión en toda la engorda (Exp 2) .....                    | 55 |

## DEDICATORIAS

A mis padres Alicia y Fernando, a mis hermanos Leticia, Juan Manuel y Nely Alicia, a mis sobrinos Manuel Fernando, Emmanuel y Juan Manuel; a mi cuñada Gisela.

A mis tíos Rafaela, Norberto, César, Antonio, M<sup>a</sup> Teresa, Rubén, Irene, Virginia y Ángeles.

A mis primos Araceli, Rubén, Clara Nancy, Norberto, Neyreth, César, Manuel, Antonio, Karen y Ángel.

A mis abuelos Atanacia †, Manuel †, Petra y Silvestre. A la familia Méndez Lara.

Porque son parte de este logro

Porque han recorrido a mi lado este camino

Porque no perdieron la confianza en mí

Porque han llegado a la meta conmigo

Porque son mi familia y los amo.

## AGRADECIMIENTOS

A mi familia por su apoyo y amor, por estar conmigo, por preocuparse por mí, por darme ánimos cada vez que lo necesitaba, por ser el pilar más importante de mi vida.

A mis asesores por llevarme de la mano en el proceso de este trabajo, por sus enseñanzas y el tiempo dedicado.

A mi jurado compuesto por el Dr. Ernesto Ávila González, Dr. Carlos López Coello, Dr. Mariano González Alcorta, Dr. José Antonio Quintana López y el Dr. Francisco Castrejón Pineda, por sus aportaciones y consejos para concluir este proyecto.

Al Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola por el financiamiento recibido en el proyecto de la investigación y a todo su personal laboral.

Al Dr. Manuel Álvarez de Degussa México, por los aminogramas realizados en el presente estudio.

A mi amigo Alfredo, por todo el apoyo que me ha brindado, desde que inicié este camino.

A la Universidad por el privilegio de formar parte de una institución orgullosamente mexicana, con el prestigio que solo la máxima casa de estudios en México puede tener.

Gracias



## RESUMEN

**MÉNDEZ DOMÍNGUEZ ALMA DELIA. EFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN DE ENZIMAS MICROBIANAS EN DIETAS SORGO+SOYA, SOBRE LA DIGESTIBILIDAD DE ENERGÍA, AMINOÁCIDOS Y RESPUESTA PRODUCTIVA.** (bajo la dirección de: Dr. Ernesto Ávila González, Carlos López Coello, Mariano González Alcorta)

Se realizaron dos experimentos con, el fin de evaluar el uso de una mezcla de enzimas (pectinasas,  $\beta$ -glucanasas y hemicelulasas) como aditivo en dietas para pollo de engorda, sobre la digestibilidad ileal de la proteína (PC), aminoácidos (AA) y energía metabolizable (EM) y el comportamiento productivo. En el Experimento 1, se utilizaron 240 pollitos mixtos de 1 a 21 días de edad de la estirpe Ross 308. El estudio constó de cuatro tratamientos: a) Dieta testigo (sorgo+soya); b) Dieta testigo+enzimas; c) Dieta con menor contenido de PC, AA y EM; d) Dieta con menor contenido de PC, AA y EM + enzimas. Cada tratamiento contó con cinco repeticiones de 12 pollos cada una. En el segundo experimento, se utilizaron los mismos tratamientos del primer experimento. Se emplearon 480 pollos de 1 a 49 días de edad de la estirpe Ross 308. Cada tratamiento contó con 5 repeticiones de 24 pollos cada una. En ambos experimentos se utilizó un diseño al azar, con arreglo factorial 2 x 2; un factor fueron las dietas (testigo y con menor contenido de nutrientes) y el otro factor, la adición o no de enzimas. En el primer experimento la ganancia de peso en 21 días fue menor ( $P < 0.05$ ) con la dieta reducida de nutrientes y mejorada por la suplementación de enzimas. En el consumo de alimento no se encontró diferencia significativa entre factores ( $P > 0.05$ ), para conversión alimenticia existió efecto ( $P < 0.05$ ) a la reducción de nutrientes en la dieta. La digestibilidad ileal de la proteína y AA mejoró (3% aproximadamente) en la dieta baja en nutrientes con la adición de enzimas ( $P > 0.05$ ). La EM de la dieta baja en nutrientes, incrementó 6.5% ( $P < 0.05$ ) con la adición de enzimas. En el segundo experimento, los resultados en 49 días de edad para ganancia de peso fueron diferentes ( $P < 0.05$ ), un menor crecimiento con las dietas bajas en nutrientes y respuesta a la adición de enzimas. El consumo de alimento fue similar entre tratamientos ( $P > 0.05$ ). Se notó una mejoría significativa ( $P < 0.05$ ) en la conversión con las dietas altas en nutrientes. De los resultados obtenidos en este estudio se puede inferir que la inclusión del complejo enzimático a base de pectinasas,  $\beta$ -glucanasas y hemicelulasas, es una alternativa para mejorar el valor nutritivo de la dieta para pollos de engorda, mediante un incremento en la digestibilidad de la proteína, aminoácidos y energía metabolizable de éste ingrediente.

Palabras clave: pollos de engorda, enzimas, pasta de soya.

## ABSTRACT

Two experiments were conducted in order to evaluate the use of enzyme mixture (pectinases,  $\beta$ -glucanases and hemicelulases) as feed additives on performance of broiler chicks. Two hundred and forty Ross 308 broiler chicks from 1-21 days of age were employed in the first experiment. This study included four treatments: a) Sorghum+ soybean meal control diet, b) Control diet+enzymes, c) Sorghum+ soybean meal diet lower in crude protein (CP), amino acids (AA) and metabolizable energy (ME); d) Lower diet +enzymes. Each treatment had five replicates of 12 chicks each. For the second experiment similar treatment were employed. Two hundred and eighty Ross 308 chicks age 1-49 days of age were used with five replicates of 24 chicks per treatment. A completely randomized design with a factorial arrangement of treatments 2x2 was used in both experiments. One factor was the diets (control and lower in nutrients) and the other factor, with or without enzymes addition. Results of the first experiment for the four treatments at 21 days of age were as follows: weight gain was smaller ( $P<0.05$ ) with diet lower in CP, AA and EM and improved with enzymes; feed consumption was not different among treatments ( $P>0.05$ ). Feed conversion was detrimental with diets lower in CP, AA and ME. Protein and amino acid ileal digestibility and EM was better (3%, 3% and 6.5% respectively) in diets lower in nutrients with enzymes. For results of the second experiment at 49 days of age, showed weight gain, was lower ( $P<0.05$ ) with diet lower in CP, AA and EM and improved with enzymes. Feed consumption were similar among treatments ( $P>0.05$ ). Feed conversion was significant better with control diet. Data obtained showed that the enzymes mixture pectinases,  $\beta$ -glucanases and hemicelulases improved nutritive value in broiler sorghum+soybean meal diets, with increment on protein and amino acids digestibility and metabolizable energy.

key words: broilers, enzymes, soybean meal.

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Situación actual de la avicultura nacional**

Actualmente, México es el sexto país productor de huevo y el cuarto productor mundial de pollo. El consumo de pollo en México per capita fue de 23.4 kg en el año 2004. La producción mundial de la carne de pollo, de 1994 a 2004, mostró un crecimiento promedio anual de 6.0%. La avicultura del país cubre las necesidades de la población, poniendo en un grado casi insignificante a las importaciones de productos avícolas (UNA, 2005).

La avicultura procesa 11.1 millones de toneladas de alimento balanceado que incluyen 7.0 millones de granos forrajeros anualmente. Tiene una importante participación en la compra de las cosechas nacionales de sorgo y maíz; sin embargo, ante la insuficiente oferta nacional de granos y pastas de oleaginosas, requiere concurrir al mercado externo para complementar su demanda. Los avances tecnológicos, en nutrición, genética y equipo son los que han permitido que la industria avícola mexicana crezca y aumente su productividad como lo hacen los países desarrollados (UNA, 2005).

La alimentación de los pollos es lo más importante en una explotación avícola desde el punto de vista económico, representa aproximadamente del 60 al 70% de los costos de producción. Los alimentos balanceados para pollos están compuestos de una mezcla de ingredientes tales como cereales, pasta de soya, harina de pescado, harina de carne, aceite o grasa, aminoácidos, vitaminas y minerales. Adicionalmente, se agregan ciertos aditivos como las xantofilas que se emplean para pigmentar la piel, también se agregan coccidiostatos, agentes antimicrobianos o prebióticos, antioxidantes y recientemente enzimas que actúan como promotores del crecimiento, con lo cual se logra un mejor aprovechamiento de los nutrientes (Ávila, 2003). Los carbohidratos de la dieta son importantes fuentes de energía para el pollo de engorda. Granos como el maíz, sorgo, trigo y

cebada son los que más carbohidratos aportan en las dietas utilizadas en la avicultura a nivel mundial. La mayor parte de los carbohidratos de los granos se encuentran en forma de almidón, el cual es fácilmente digerido por las aves (Moran, 1985).

Otros carbohidratos se encuentran en diferentes concentraciones en los granos y suplementos proteicos. Estos carbohidratos incluyen polisacáridos, tales como celulosa, hemicelulosa, pentosanos, y oligosacáridos, tales como estaquiosa y rafinosa, los cuales no son digeribles para las aves. Estos carbohidratos afectan los procesos digestivos de las aves cuando se presentan en concentraciones altas en la dieta. Por ejemplo los pentosanos del centeno y los betaglucanos de la cebada incrementan la viscosidad de la digesta e interfieren en la utilización de los nutrientes por el ave (Antoniou *et al*, 1981; Bedford *et al*, 1991; Classen *et al* 1985; Wagner *et al*, 1978). La suplementación de dietas que contienen centeno y cebada con preparaciones de enzimas es una práctica que mejora la utilización del alimento y crecimiento de aves jóvenes (Friesen *et al*, 1992; NRC, 1994).

## **1.2 Obtención de energía**

Las aves, consumen alimento en primer lugar para satisfacer sus necesidades de energía, si la dieta es baja en energía disponible (Energía Metabolizable), las aves consumirán mayor cantidad de alimento, pero si el contenido de la dieta es alta menor será el consumo. Después del agua la privación de los componentes energéticos de la dieta afecta muy rápidamente el desempeño productivo del ave, inclusive su supervivencia (Blum, 1985; Cuca *et al*, 1996). Desde hace muchos años, se reconoce también que el contenido de aminoácidos esenciales afecta marcadamente el consumo de alimento (Cuca *et al*, 1996).

La mayor cantidad de energía demandada por el pollo, suele suministrarse por medio de carbohidratos en la dieta, los cuales al ser oxidados durante el metabolismo proporcionan energía. El valor energético de un ingrediente o de una

dieta se expresa como energía metabolizable en Kcal/kg, concepto que implica cantidad de energía disponible para el animal (Ávila, 2003).

### **1.3 Acción de la microflora sobre la fibra**

Normalmente las secreciones enzimáticas del sistema digestivo de los pollos son suficientes para una máxima digestión del almidón, las grasas y las proteínas. Las heces de las aves son, una combinación de productos de excreción del metabolismo y de desechos que provienen de la parte no digerible del alimento, la fibra (Cuca *et al*, 1996). En los sacos ciegos hay bacterias que degradan parcialmente la celulosa. Sin embargo, sólo una pequeña parte del alimento es sometido a su acción, por tanto, la fibra es poco degradada en las aves domésticas. Los productos finales de la acción microbiana sobre la fibra son ácidos grasos de cadena corta (AGCC) como el ácido acético, el ácido propiónico y el ácido butírico, que son producidos en cantidades de mayor a menor, respectivamente, y que son absorbidos rápidamente (Sturkie, 1986).

Algunas de las bacterias que habitan en los sacos ciegos, ileon y en el recto producen enzimas 1,4- $\beta$ -glucosidasas que pueden digerir parcialmente a la celulosa, hemicelulosa y a otros polisacáridos no amiláceos, si el bolo alimenticio permanece el tiempo suficiente en estos órganos; sin embargo, no pueden romper enlaces 1,3- $\beta$ -glucosídicos (D' Mello, 2000).

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Polisacáridos no amiláceos (PNA).

El término de PNA se utiliza para describir lo que en el pasado se conocía como fibra (Leeson *et al*, 2001); son  $\beta(\alpha)$ polímeros, asociados a la pared celular y se encuentran principalmente en el endospermo, pero también en la cascarilla. Estos incluyen celulosa, hemicelulosa, pectinas y oligosacáridos ( $\alpha$ -galactósidos). Comúnmente las dietas para pollos de engorda se elaboran en México a base de granos como el maíz o el sorgo, que contienen cantidades pequeñas de polisacáridos no digestibles (PNA), como los xilanos que no pueden ser hidrolizados por las enzimas endógenas del ave; al no ser hidrolizados estos azúcares en el intestino delgado, forman complejos que dan como resultado una mayor viscosidad en el lumen intestinal, lo que interfiere con la digestión y absorción de los nutrimentos (Ávila, 2003). Aunque el mecanismo de acción es desconocido, se sabe que la presencia de estos PNA aumenta la viscosidad del contenido intestinal y que la adición de enzimas disminuye este efecto. Se especula que altas viscosidades de la digesta reducen la digestibilidad y la absorción de los nutrientes. Por tanto, la suplementación con productos de enzimas exógenas adecuados rompe la estructura molecular de los PNA, reduce la viscosidad de la digesta y podría, por tanto, mejorar la digestibilidad y el contenido energético. En el caso de las leguminosas, los PNA más abundantes son las pectinas y los  $\alpha$ -galactósidos. En la actualidad se están llevando a cabo numerosos ensayos para demostrar la efectividad de diversos preparados enzimáticos en raciones en base a estas materias primas (Cowan *et al*, 1996; Marquardt *et al*, 1979).

### 2.2 Fibra

Se pueden distinguir dos tipos de fibra: la fibra insoluble, que forma parte de la pared celular, compuesta por celulosa, hemicelulosa, proteínas y lignina. La fibra

soluble, incluye  $\beta$ -(1-3) glucanos, arabinoxilanos y pectinas, entre otros (McDonald *et al*, 1999).

### **2.2.1 Fibra insoluble.**

#### **Hemicelulosas**

Dentro de la célula vegetal, las hemicelulosas se localizan en las paredes, cumplen la función de aglutinar las fibras cristalinas de celulosa, dando consistencia a la pared. Se encuentran unidas por numerosos puentes de hidrógeno a las fibrillas de celulosa. La estructura química de las hemicelulosas, se ha dividido en los siguientes tipos de polisacáridos: xilanos, glucomananos, mananos, glucuromananos, xiloglucanos,  $\beta$ (1-3) (callosa) y  $\beta$ (1-4) glucanos y arabinogalactano II (Brett *et al*, 1990).

Los xilanos son polisacáridos formados por una cadena de residuos de xilosa unidos por enlaces  $\beta$ (1-4). A esta cadena principal se unen cadenas laterales que contienen arabinosa y otros azúcares (P. Rodríguez *et al*, 2000).

La celulosa es una cadena lineal de unidades de  $\beta$ -(1-4)-D-glucopiranosas; las cuales pueden llegar a ser más de 10,000, este es un tipo de estructura formada por microfibras unidas por puentes de hidrógeno, insolubles en agua.

### **2.2.2 Constituyentes más importantes de la fibra soluble**

#### **Pectinas**

Las pectinas o sustancias pécticas constituyen un grupo de polisacáridos ricos en ácido galacturónico y, en menor medida, ramnosa, arabinosa y galactosa. Tienen un papel esencial en la estabilidad de la pared celular al actuar como material aglutinador de las fibras de celulosa y en términos prácticos, solubles en agua. Es frecuente que los residuos de ácido galacturónico se encuentren metilados en

mayor o menor grado del grupo carboxilo y acetilado del grupo hidroxilo en la posición C-2 y C-3. El grado de metilación afecta a diversas propiedades de las pectinas, incluyendo su solubilidad en agua, la cual es inversamente proporcional al grado de metilación (P. Rodríguez *et al*, 2000).

### **$\beta$ -Glucanos**

Son polímeros de glucosa con enlaces  $\beta$ -1,4 en su cadena y  $\beta$ -1,3 en los extremos. Los patrones de los enlaces  $\beta$ -1,3 y  $\beta$ -1,4 no siempre son los mismos, alrededor del 85% de los glucanos tienen cada dos o tres enlaces  $\beta$ -1,4 un enlace  $\beta$ -1,3. El resto de los  $\beta$ -glucanos tienen largas secuencias de enlaces  $\beta$ -1,4, los que son interrumpidos por solo una conexión de  $\beta$ -1,3. Poseen dos fracciones una soluble y otra insoluble, las cuales son similares en su estructura química, lo que indica que la solubilidad está relacionada con el grado de asociación del glucano con la fracción insoluble de la pared celular (Edney, 1991).

### **Oligosacáridos**

Los carbohidratos oligosacáridos, que poseen 2-10 unidades de azúcar, se encuentran ampliamente extendidos en el reino vegetal, siendo particularmente abundantes en las semillas de leguminosas. Puede asumirse que su función fisiológica está relacionada con el almacenamiento y transporte de energía, aunque en algunos casos los oligosacáridos son simplemente el resultado de la hidrólisis parcial de polisacáridos. Todos los oligosacáridos son solubles en agua (P. Rodríguez *et al*, 2000).

Su presencia en alimentos se considera indeseable y en ocasiones son eliminados de los alimentos mediante simple lavado. Su contenido en semillas de leguminosas es bastante alto, particularmente en la soya. La familia más importante es la de la rafinosa, trisacárido resultante de la unión de una molécula de galactosa a una de sacarosa mediante enlace  $\alpha$ (1-6).



### 2.3 Efecto de los PNA.

El incremento de la viscosidad producido por las fracciones solubles de  $\beta$ -glucanos y arabinosilanos de los cereales tiene mayor relevancia en las aves que en otros monogástricos (cerdos y conejos), y suele ir acompañado de una reducción de la digestibilidad de otros nutrientes, especialmente de la grasa, lo que empeora los rendimientos productivos. Por el momento no hay una explicación definitiva para este hecho, si bien, parece que algunos efectos derivados del incremento de la viscosidad intestinal podrían estar implicados en la reducción de la digestibilidad (Classen, 1996; Smiths *et al*, 1996).

Así, esta reducción de la digestibilidad parece más relacionada con un entorpecimiento de los procesos de digestión y absorción al aumentar la viscosidad, que con una reducción de la actividad enzimática. La mayor viscosidad intestinal provocada por la fibra soluble también 1) merma la velocidad de tránsito, lo que repercute a su vez en una reducción del consumo, y 2) disminuye el contenido en materia seca de las deyecciones lo que puede incrementar la incidencia de camas húmedas y la proporción de huevos sucios (Hesselman *et al*, 1986).

La menor velocidad de tránsito del alimento favorece el desarrollo de la población microbiana intestinal que parece agravar el efecto de la viscosidad al conjugar los ácidos biliares y/o adherirse a la superficie de la mucosa alterando su funcionamiento normal. Otra posible causa por la que tanto  $\beta$ -glucanos como arabinosilanos reduzcan la digestibilidad, es la función estructural que desempeñan en la pared celular de las células del endospermo, que impide el acceso de las enzimas digestivas al sustrato mientras que la pared celular no sea fracturada (Graham *et al*, 1989).

En el caso de las aves, los efectos derivados del incremento de la viscosidad o del encapsulamiento de los principios inmediatos por  $\beta$ -glucanos y arabinosilanos,

cuando se suministran alimentos con niveles elevados de cereales son solucionados mediante la adición de complejos enzimáticos ( $\beta$ -glucanasas y xilanasas). Los alimentos más problemáticos por aportar al alimento un exceso de oligosacáridos (concretamente  $\alpha$ -galactósidos: rafinosa, estaquiosa y verbascosa) son los granos de leguminosas. La hidrólisis de los  $\alpha$ -galactósidos por parte de las enzimas microbianas produce residuos de galactosa que, a concentraciones elevadas, es utilizada por los microorganismos en el intestino grueso produciendo cantidades significativas de dióxido de carbono, hidrógeno y metano, gases que causan flatulencia, observándose en algunos casos, animales con diarrea.

Niveles reducidos de cualquiera de los constituyentes de la fibra soluble no suelen perjudicar los rendimientos productivos del animal y en algunos casos los incrementan, mientras que niveles elevados mayoritariamente los perjudican. En este último caso, se justifica la utilización de complejos enzimáticos o incluso la extracción de los compuestos problemáticos, si ello fuera posible (P. Rodríguez *et al*, 2000).

La presencia de PNA, en los granos y oleaginosas, provoca efectos adversos sobre la digestibilidad de los nutrientes en el tracto digestivo; entre ellos se puede mencionar una reducción en la digestibilidad del almidón, proteína y lípidos, durante las últimas décadas se han buscado soluciones a estos problemas y se ha propuesto la utilización de varias enzimas en la dieta que mejoran con éxito el valor nutritivo de los granos (Marquart *et al*, 1994; Svihus *et al*, 1997) y la producción de las aves, sobre todo en el pollo de engorda. En último término las mejoras dependen de su actividad hidrolítica sobre la estructura de los PNA presentes, y por lo tanto la eliminación de sus efectos negativos.

La pasta de soya contiene niveles apreciables de oligosacáridos (4-6%) y polisacáridos no amiláceos (20%) (Svihus *et al*; 1997) relacionados con efectos antinutritivos en las aves. En general los carbohidratos de las leguminosas se

caracterizan por ser estructuralmente más complejos que los cereales, por lo tanto inaccesibles en mayor medida a las enzimas endógenas del tracto digestivo del animal monogástrico. En concreto los  $\alpha$ -galactósidos pueden ser responsables de flatulencias (Rackis, 1975) y una disminución de la EM de la dieta (Coon *et al*, 1990; Leske *et al*, 1993). Por otra parte, los PNA de las paredes vegetales de las leguminosas impiden una mayor utilización de nutrientes por lo que se están llevando también a cabo estudios dirigidos a la preparación de combinaciones enzimáticas, capaces de hidrolizarlos (Huisman *et al*, 1999; Marsman *et al*, 1997b).

Por el momento no están totalmente claros los mecanismos que explican fundamentalmente los efectos negativos de la fracción no amilácea sobre los procesos de digestión y absorción. Se han propuesto varias explicaciones; la presencia de PNA indigestibles en la estructura de la pared celular 1) limita la accesibilidad de las enzimas digestivas a los nutrientes (cuerpos proteicos, vesículas lipídicas y gránulos de almidón), 2) aumenta la viscosidad del contenido digestivo, hecho que puede reducir la difusión de enzimas y nutrientes, 3) reduce la motilidad intestinal, que conllevaría un tránsito intestinal ralentizado y 4) favorece el desarrollo de una flora microbiana activa en los últimos tramos del tracto digestivo interfiriendo negativamente la digestión y absorción de otros nutrientes (Marsman *et al*, 1997b).

#### **2.4 Caracterización de los carbohidratos en la alimentación de los animales monogástricos.**

Los carbohidratos, son los componentes más abundantes en el alimento destinado a los animales monogástricos, constituyen generalmente más del 60% de la materia seca (Patridge, 1993) entre los diferentes ingredientes utilizados, los granos proporcionan la mayor parte de la energía de la dieta en forma de estructuras químicas sencillas, como los azúcares libres, disacáridos, oligosacáridos y complejos como puede ser el almidón y los PNA. En esta misma

línea, se han clasificado los polisacáridos en dos grupos: los polisacáridos de reserva ( $\alpha$ -glucanos) y los polisacáridos estructurales de la membrana celular (PNA). Ésta última fracción incluye fundamentalmente la celulosa, hemicelulosa y las pectinas; algunos de ellos son hidrosolubles (PNAs) y otros insolubles en agua. Desde el punto de vista nutricional, los carbohidratos indigestibles se clasifican como fibra dietética (Englyst, 1989). Se define a la fibra dietética como la suma de polisacáridos y lignina resistentes a la hidrólisis enzimática, siendo los PNAs los principales componentes de ésta fracción en el caso de los cereales. Este término cubre una gran variedad de polisacáridos exceptuando el almidón ( $\alpha$ -glucanos) y los azúcares libres (Trowel *et al*, 1985).

Se han encontrado publicaciones sobre la composición de la fracción de carbohidratos presentes en diferentes ingredientes (Bach, 1997; Champ, 1996). A partir de ellas se desprende que las leguminosas contienen mayores niveles de azúcares de bajo peso molecular y mayores niveles de PNA, dicha fracción de bajo peso molecular está constituida principalmente de  $\alpha$ -galactósidos.

En las leguminosas, los polímeros de PNA presentan una mayor variabilidad estructural que los cereales, presentando estructuras químicas muy ramificadas y en general complejas. Básicamente los PNA pueden estructurarse en tres grupos: la celulosa, los polímeros no celulósicos y los polisacáridos pécticos. Mientras, los 2 primeros se encuentran fundamentalmente en la cascarilla, las pectinas se localizan en los cotiledones.

## **2.5 Efectos antinutritivos relacionados con la fracción no digestible de las leguminosas.**

La fracción no digestible de las leguminosas, se ha relacionado con efectos negativos sobre la digestión y la absorción de los nutrientes. Por ejemplo, la presencia de oligosacáridos ( $\alpha$ -galactósidos) en las leguminosas puede provocar descensos en la digestibilidad de los alimentos en los animales monogástricos,

que no están dotados con la enzima 1,6-  $\alpha$ -galactosidasa. Su ingestión está relacionada con ciertas alteraciones de los mecanismos de digestión como flatulencia y diarreas (Rackis, 1975); ambos relacionados con una mayor actividad microbiana de fermentación en intestino delgado. Se han descrito también sus efectos sobre la presión osmótica del contenido digestivo, que incrementa la retención de líquido en la digesta de heces; y los posibles aumentos de la viscosidad de la digesta (P. Rodríguez *et al*, 2000) que podría limitar además la digestión y absorción del resto de nutrientes (Coon *et al*, 1990). Es de resaltar que la extracción de los  $\alpha$ -galactósidos reduce la fermentación cecal, aumenta el pH y el tiempo de permanencia de la digesta en los ciegos. Estos cambios facilitan una mayor digestión de la fibra (hemicelulosa y celulosa) y un aumento del aporte energético de la dieta.

Junto a los oligosacáridos, las leguminosas contienen cantidades apreciables de PNA cuyos efectos sobre la digestión son motivo en la actualidad de un gran interés. Se ha estudiado en las aves la digestibilidad ileal aparente de algunos nutrientes en diferentes tipos de pasta de soya. Los resultados evidenciaron que el nivel de PNA se asoció con un descenso significativo de la digestibilidad ileal de nitrógeno y grasa, confirmando su efecto antinutritivo directo sobre la digestión y absorción de otros nutrientes.

Entre los monosacáridos contenidos en los PNA de la pasta de soya, la glucosa y galactosa representan más del 50% junto a los ácidos urónicos (16-23%) y arabinosa (11-19%). Junto a la celulosa y galactomananos, la cascarilla de soya contiene cantidades menores de pectinas y hemicelulosas. Las pectinas son polisacáridos compuestos de ácido urónico, D-galactopiranosas enlaces  $\alpha$ (1-4), sobre los que se unen un gran número de grupos carboxilos en forma de ésteres de metilo (Cheetham *et al*, 1993) y sobre los que en algunos casos se ha indicado la presencia de grupos 2-O-acetil ó 3-O acetilo.

Las hemicelulosas, consisten fundamentalmente de cadenas 4-D-xilosa con ramificaciones mayoritariamente de arabinosa, ácido glucurónico y residuos de 4-O-metil-glucurónico (Aspinall, 1988). Básicamente la fracción denominada como hemicelulosa, puede clasificarse en dos tipos (hemicelulosa A y hemicelulosa B).

La hemicelulosa A con fracciones insolubles en agua aunque extractables con elementos alcalinos. Su composición está basada fundamentalmente en cadenas simples de xilanos con una pequeña proporción de residuos glucurónicos (+/- 3%). Las hemicelulosas B son solubles en agua estando mayoritariamente constituidos por arabinoglucuronoxilanos o arabinoxilanos ácidos.

De las características de las pectinas solubles, se destaca su propiedad de formar gel dependiendo de varios factores físicos o químicos como temperatura, pH y concentración de los solutos.

La formación de gel por las moléculas de pectina se debe a la presencia de algunas áreas a lo largo de su estructura lineal capaz de formar complejos con otras moléculas de pectinas. Estas áreas se denominan zonas de contacto cuya extensión es muy limitada, lo que favorece la formación de estructuras de gel en lugar de precipitaciones.

## **2.6 Consecuencias nutricionales y productivas de los PNAs ingeridos por los pollos.**

Los PNAs pueden ejercer un efecto barrera a la acción de las enzimas hidrolíticas al aprisionar el resto de los nutrientes en las células del endospermo (Hulet *et al*, 1993; Williams *et al*, 1997). Por otra parte, su presencia se ha relacionado con incrementos de viscosidad y modificaciones fisiológicas y morfológicas del tracto digestivo. Los PNAs pueden reducir la difusión de nutrientes e incrementar la osmolaridad de la digesta, provocando un aumento en la retención de líquido en la

digesta y un incremento en la presencia de heces húmedas (Petterson *et al*, 1990; Wagner *et al*, 1978).

El resto de polisacáridos no digeribles insolubles puede provocar también modificaciones digestivas no relacionadas con la viscosidad. En concreto la celulosa, xilanos y fracciones insolubles de  $\beta$ -glucanos y arabinoxilanos son capaces de absorber gran cantidad de agua (Robertson *et al*, 1981). Con un incremento en el volumen digestivo, lo que estimula la motilidad intestinal y altera el tránsito digestivo (Almirall *et al*, 1994). Según Annison (1991), la capacidad de las aves para digerir la fracción de PNA insolubles es prácticamente nula. De hecho contrariamente a los PNA solubles, la adhesión bacteriana a los PNA insolubles es poco probable debido a sus propiedades laxantes y a los tiempos de retención reducido en el tracto digestivo.

## **2.7 Efectos antinutritivos de los B-glucanos y arabinoxilanos de los cereales.**

La alimentación de animales jóvenes con raciones altas en cebada o centeno provoca una reducción de la productividad de los animales (baja la ganancia diaria y se elevan las conversiones) (Groot *et al*, 1981; Moran *et al*, 1969; Petterson *et al*, 1988; Petterson, 1989).

Evidencias de estas alteraciones digestivas, son los resultados de Choct y Annison (1992a, b) y Choct *et al* (1996) quienes observaron una reducción significativa de la digestibilidad del almidón, proteína y sobre todo de la fracción lipídica tras el aporte de cantidades crecientes de PNAs en una dieta estándar de pollo de engorda. En este contexto se enmarca los descensos de la digestibilidad de la grasa, sobre todo los ácidos grasos saturados de cadena larga, cuya digestión presenta una mayor dependencia de la formación de micelas (Choct *et al*, 1992b; Martínez, 1992). Por otra parte, el incremento en las pérdidas endógenas de lípidos como los ésteres de colesterol y triacilglicerol de la bilis (Noble *et al*, 1988), puede reducir también la digestibilidad de la grasa.

Hesselman y Aman (1986) observaron también una reducida digestibilidad ileal del nitrógeno (>50) en pollos jóvenes alimentados con una ración a base de cebada en comparación con valores de 0.90% obtenidos con dietas de maíz y soya. Similares efectos han sido descritos para la digestibilidad aparente fecal de proteína (Hesselman *et al*, 1996; Marquart *et al*, 1996; Rotter *et al*, 1990). Según Larsen *et al* (1993), la presencia de PNAs viscosos incrementan las pérdidas endógenas de nitrógeno, posiblemente debido a la formación de complejos (PNAs-enzimas digestivas) que impiden el ataque sobre su sustrato.

## **2.8 Enzimas**

Las enzimas han sido utilizadas experimentalmente en raciones para aves desde hace más de 40 años con el objeto de mejorar el valor nutritivo de los cereales y otros ingredientes (Berg, 1959; Jensen *et al*, 1957). A pesar de esta larga historia, su explotación comercial no se ha hecho realidad sino hasta esta última década.

Al principio, las enzimas se aislaron de órganos animales, hecho que facilitaba su desnaturalización. Actualmente la biotecnología ha permitido sintetizar enzimas a partir de microorganismos (bacterias y hongos), además de que se ha reconocido ampliamente los efectos benéficos en los animales monogástricos al suplementar con enzimas las raciones con cantidades apreciables de PNA.

Las bases científicas que justifican la adición de enzimas están bien establecidas para algunos ingredientes, aunque son escasas para otros. Por ejemplo, la primera aplicación comercial que se puso en marcha fue la suplementación con  $\beta$ -glucanasas en raciones basadas en cebada. Posteriormente se demostró la actividad efectiva de las arabinoxilanasas en raciones basados en trigo o centeno (Cowan *et al*, 1996).

Las enzimas son biocatalizadores biológicos eficaces, presentes en todos los sistemas biológicos. Aceleran en el organismo diversas reacciones químicas que



en condiciones normales sólo tendrían lugar muy lentamente o no se producirían. Actúan sólo en condiciones muy concretas de temperatura, pH, humedad, y únicamente con sus sustratos específicos (Bühler, 1998).

Hace algunos años la aplicación de enzimas en el área de la nutrición, comenzó a ganar interés, debido al uso amplio de granos económicos como la cebada y trigo en Europa, amplió a un mejor conocimiento de su modo de acción y su disponibilidad. Ahora las enzimas son fabricadas específicamente para uso alimenticio; en general se clasifican como carbohidrasas, proteinasas y lipasas. Incrementan la digestibilidad de carbohidratos de varios cereales, proteína vegetal, proteína animal y ácidos grasos saturados (Lesson *et al*, 2001).

Actualmente se han producido gran cantidad de enzimas que mejoran la digestibilidad de las fuentes de proteína vegetal en el alimento de aves, cerdos y otros animales monogástricos. Lo hacen degradando una amplia gama de polisacáridos que se encuentran en la pared celular de las materias primas vegetales, ej:  $\beta$ -glucanos, hemicelulosa y pectina. Los nutrientes del alimento que se encuentran "atrapados" pueden ser liberados y utilizados posteriormente por el animal. La viscosidad de la materia soluble se reduce mejorando el tránsito de nutrientes en el aparato digestivo.

Alrededor del 25% de la materia vegetal es fibra o materia de la pared celular que no es fácilmente digerida por los monogástricos (Cuadro 1) (Folleto Técnico).

La adición de preparados enzimáticos permite incrementar los niveles de uso de algunas materias primas o bien revalorizar el valor nutritivo de aquellos alimentos ricos en PNA, evitando interacciones con otros nutrientes y reduciendo el costo de las raciones. Los preparados enzimáticos complementan la producción enzimática endógena en aves y cerdos, incrementan la digestibilidad de la fibra y, por ende, mejoran la disponibilidad de los nutrientes.

Finalmente, con la suplementación enzimática se puede flexibilizar la formulación de raciones, reduciendo los costos y manteniendo los parámetros productivos de los animales.

### **2.8.1 Mecanismo de acción.**

La suplementación enzimática adecuada, rompe la estructura molecular de los PNA, eliminando los efectos antinutritivos y liberando azúcares que son fáciles de absorber (Lázaro *et al*, 2003a, b).

Las enzimas son capaces de desramificar las cadenas laterales y de romper las cadenas lineales de PNA. La hidrólisis de los PNA puede incrementar la Energía Metabolizable. Sin embargo, la situación es aún compleja. Por ejemplo, los beta-glucanos y arabinosilanos presentes en cereales se encuentran en proporciones menores al 10% y considerando un nivel de incorporación de los cereales inferior al 70%, los niveles de beta-glucanos y arabinosilanos difícilmente superan el 7% de la dieta. En cambio, la inclusión de enzimas puede permitir mejoras superiores al 7% citado.

Una de las explicaciones propuestas por Williams *et al* (1997) sugiere que el mecanismo de acción de las enzimas no es tanto llegar a una hidrólisis completa de los polisacáridos y a la consiguiente absorción de los azúcares liberados, como provocar cortes en las cadenas de PNA. Este fraccionamiento permitiría reducir sustancialmente la viscosidad y la retención de agua.

En la soya, la liberación completa de xilosa, arabinosa, ramnosa y ác. urónicos contenidos sumaría un 35-45% de la fracción no amilácea, lo que representa una cantidad elevada de esos azúcares en intestino delgado (70-90 g/kg de soya ingerida). La presencia de estos monosacáridos puede provocar fermentaciones predisponentes a severos efectos negativos, como las diarreas observadas por Longstaff *et al* (1988). En efecto estos autores describen descensos significativos

en la digestibilidad ileal de energía como causa de la suplementación de la dieta de xilosa, arabinosa, ác. galacturónico y glucurónicos libres.

## **2.9 Reducción de la viscosidad de la digesta.**

La suplementación de dietas con beta-glucanasas y/o arabinoxilanasas provoca descensos de la viscosidad de la digesta (Annison *et al*, 1991; Smiths, 1996) asociada con la mejora de la digestibilidad de almidón, proteína, materia grasa y energía de la dieta (Hesselman *et al*, 1986).

Según Bedford (1996), las enzimas actúan fundamentalmente mediante la reducción de la capacidad gel-formadora de los PNAs. Esta actuación mejora la difusión de los nutrientes a través de la mucosa intestinal, y limita la proliferación microbiana en tramos posteriores del tracto digestivo, reduciendo la deconjugación de las sales biliares (Coates *et al*, 1981).

Como consecuencia, la reducción en la viscosidad de la digesta permite mejorar la mezcla del sustrato con el jugo digestivo y aumenta la absorción de los nutrientes (Hesselman *et al*, 1986; Petterson *et al*, 1989). Estas mejoras se acompañan sistemáticamente con un incremento en la EM de la dieta (Choct *et al*, 1990; Van Der Klis *et al*, 1995).

Con estos antecedentes, se planteó un estudio con pollos de engorda alimentados con dietas a base de sorgo+pasta de soya, a fin de investigar si un complejo enzimático a base de pectinasas,  $\beta$ -glucanasas y hemicelulasas mejora su valor nutritivo.

### **3. HIPÓTESIS**

La adición del complejo enzimático (pectinasas,  $\beta$ -glucanasas y hemicelulasas) en dietas a base de sorgo+soya normales o en dietas diluidas con menor contenido de nutrientes, no mejora el comportamiento productivo ni incrementa la digestibilidad de la proteína, aminoácidos y energía metabolizable.

### **4. OBJETIVOS**

#### **4.1 Objetivo General**

Evaluar en dietas sorgo+soya el efecto de una mezcla de enzimas microbianas sobre la digestibilidad de la proteína, aminoácidos y EM; así como la respuesta productiva en el pollo de engorda.

#### **4.2 Objetivos particulares**

Evaluar la inclusión de una mezcla de enzimas en dietas sorgo+soya para pollo de engorda en iniciación sobre la energía metabolizable y digestibilidad ileal de la proteína y aminoácidos.

Evaluar la adición de una preparación multienzimática que contiene pectinasas 5000 PSU/g,  $\beta$ -glucanasas 50 FBG/g y hemicelulasas sobre ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia.

## **5. MATERIAL Y METODOS**

### **5.1 Localización**

Este trabajo se realizó en las instalaciones del Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola (CEIEPA) de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México. Ubicada en Santiago Zapotitlán, Tláhuac, México Distrito Federal, a una altitud promedio de 2235 m.s.n.m., entre los paralelos 19°17'30" latitud Norte y los meridianos 98°57'30" longitud oeste. Presenta un clima templado subhúmedo, con un bajo grado de humedad (C (wo) (w)). Enero es el mes más frío y mayo el más caluroso, con una temperatura media anual de 16°C y una precipitación pluvial media de 600 a 800 mm (García, 1998).

### **5.2 Metodología**

Para valorar la respuesta biológica de los pollos de engorda con dietas sorgo+soya se realizaron dos experimentos; los cuales se describen a continuación. El experimento 1 tuvo una duración de 0 a 21 días y el segundo de 0 a 49 días de edad.

#### **Experimento 1:**

Se utilizaron 240 pollitos de engorda, sexados (mitad hembras y mitad machos), de 1 a 21 días de edad, de la estirpe Ross 308. Los pollos fueron alojados en jaulas eléctricas en baterías Petersime con temperatura controlada por termostato. Se manejaron 4 tratamientos con 5 réplicas de 12 pollos cada una con sexos mixtos. Las dietas de iniciación fueron tipo prácticas sorgo + pasta de soya, con niveles de nutrientes que cubrieron lo establecido por el NRC (National Research Council, 1994). Se empleó una dieta normal o testigo y dieta con reducción en el contenido de EM (7%), proteína (7%) y aminoácidos (7%), asumiendo una mayor digestibilidad de nutrientes en la pasta de soya como se señala en el Cuadro 2. Se

puede apreciar como incrementaron los niveles de proteína, EM y de los aminoácidos más limitantes en la pasta de soya al subir 7% los valores. En el Cuadro 3 se muestran las dietas formuladas, se ve que en la dieta baja en nutrientes, se empleó menor cantidad de pasta de soya y aceite. Si en esta dieta se le asigna a la pasta de soya los incrementos del 7% en EM, proteína y aminoácidos como se muestra en el Cuadro 2, los contenidos de estos nutrientes son iguales (Cuadro 3). Los tratamientos o dietas fueron como sigue: a) dieta testigo; b) dieta testigo + enzimas; c) dieta diluida con menor contenido de proteína cruda (PC), aminoácidos (AA) y EM; d) dieta diluida con menor contenido de PC, AA y EM + enzimas. La dosis de enzimas fue de 1 g/ton por cada kg de pasta de soya. Se utilizó óxido de cromo como marcador; el cual se adicionó a razón de 0.2%. En el cuadro 3a se muestran los valores de aminoácidos determinados en la dieta. El alimento y el agua se ofrecieron a libre acceso durante todo el experimento. Las aves tuvieron la vacunación simultánea (ocular y subcutánea) contra la enfermedad de Newcastle a los 10 días de edad.

Cada tratamiento contó con 6 repeticiones de 10 pollos; se registró la ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia. Para la determinación de EM de las dietas se hizo colecta de excretas los últimos 4 días de experimentación (18, 19, 20 y 21); posteriormente se homogeneizaron y fueron secadas en una estufa a 65°C por 72 horas; posteriormente junto con las muestras de las dietas se determinó la energía bruta en una bomba calorimétrica de Parr y el contenido de nitrógeno usando el procedimiento de Kjeldahl (Association of Official Analytic Chemists, 1990). El cromo en alimento y digestas fue analizado por espectrofotometría de absorción atómica (Moran, 1985).

Para el cálculo de la energía metabolizable aparente (EMA) corregida a cero por ciento de retención de nitrógeno, se empleó el procedimiento descrito por Leeson y Summers (2001). Para determinar la digestibilidad ileal de las proteínas y aminoácidos a los 21 días de edad; 8 aves por tratamiento (2 por réplica) fueron seleccionadas aleatoriamente. Las aves se sacrificaron por dislocación cervical e

inmediatamente después del sacrificio cada ave fue diseccionada en la región del ileon que comprende del divertículo de Meckel a la unión ileo-cecal; ambos extremos se ligaron con una cinta de algodón y después se cortó un extremo para vaciarse en frascos de cristal presionando con cuidado todo el contenido del ileon; posteriormente fueron liofilizadas las muestras. Se obtuvieron 4 muestras de digesta ileal con un pool de 2 aves por muestra posteriormente se hizo un pool de las réplicas 1, 2 y 3 y otro de las réplicas 4, 5 y 6 de cada tratamiento.

Los análisis de aminoácidos de las muestras de las digestas y los alimentos fueron analizados excepto arginina, histidina y triptofano por cromatografía de intercambio iónico, después de una hidrólisis ácida. Para el contenido de aminoácidos azufrados se realizó una oxidación con ácido per fórmico antes de la hidrólisis ácida.

Los coeficientes de digestibilidad aparente ileal de PC y AA fueron estimados usando 0.2% de óxido de cromo ( $Cr_2O_3$ ), como un marcador indigestible. A continuación se muestra la fórmula que se usó para calcular los coeficientes de digestibilidad (Namkung *et al*, 1999).

$$AD_{AA} = 100 - \left[ 100 \times \frac{(AA)_{digesta} \times (Cr)_{dieta}}{(AA)_{dieta} \times (Cr)_{digesta}} \right]$$

Donde:  $AD_{AA}$  = digestibilidad aparente de AA individual (porcentaje).

$(AA)_{digesta}$  = concentración de AA en la digesta

$(AA)_{dieta}$  = concentración de AA en la dieta

$(Cr)_{digesta}$  = concentración de óxido de cromo en la digesta

$(Cr)_{dieta}$  = concentración de óxido de cromo en la dieta

Al final del estudio a las variables obtenidas de los parámetros productivos, EM de las dietas, digestibilidad ileal de AA y proteína, se les realizó un análisis estadístico conforme al diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 2x2 (Statistical Analysis System, 2004); una factor fueron las dietas (testigo y con menor contenido de nutrientes) y el otro factor, la adición o no de enzimas con el complejo multienzimático\*.

\*RONOZYME™ VP. DSM nutritional products de México S. A. De C. V.



## **Experimento 2:**

Se emplearon 480 pollos de la estirpe Ross 308, sexados (mitad hembras y mitad machos) de 1 a 49 días de edad; los cuales fueron alojados en una caseta convencional de ambiente natural con piso de cemento, cama de viruta y cortinas laterales. Los pollitos se distribuyeron en 20 lotes de 24 aves cada uno con sexos mixtos. Los tratamientos o dietas fueron como sigue; todas las dietas de iniciación y finalización fueron tipo prácticas sorgo+pasta de soya, con niveles de nutrientes que cubrieron lo establecido por el NRC (National Research Council, 1994). Se emplearon dietas normales y dietas con reducción en el contenido de EM (7%), proteína (7%) y AA (7%), asumiendo una mayor digestibilidad de nutrientes en la pasta de soya como se señala en el Cuadro 2. Se puede apreciar tanto en la etapa de iniciación (Cuadro 3) como de finalización (Cuadro 4) que en las dietas bajas en nutrientes, se empleó menor cantidad de pasta de soya y aceite. Si a estas dietas se les asigna a la pasta de soya los incrementos del 7% en EM, proteína y aminoácidos como se muestra en el cuadro 2, los contenidos de éstos nutrientes son iguales (Cuadros 3 y 4). Los tratamientos o dietas fueron como sigue: a) dieta testigo; b) dieta testigo + enzimas; c) dieta diluida con menor contenido de proteína cruda (PC), aminoácidos (AA) y EM; d) dieta diluida con menor contenido de PC, AA y EM + enzimas. La dosis de enzimas fue de un g/ton por cada kilogramo de pasta de soya. El agua y el alimento se ofrecieron a libre acceso durante todo el experimento. Las aves tuvieron la vacunación simultánea (ocular y subcutánea) contra la enfermedad de Newcastle a los 10 días de edad.

Durante el experimento se llevaron registros de ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia. A los datos obtenidos de las variables antes mencionadas, se les realizó un análisis de varianza conforme al diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 2x2. Un factor fueron las dietas (testigo y con menor contenido de nutrientes) y el otro factor, la adición o no de enzimas.

## 6. MODELO EXPERIMENTAL

Se empleó en los Experimentos 1 y 2 un diseño completamente al azar con arreglo factorial; 2x2 donde un factor fueron las dietas y otro factor fue la suplementación con enzimas, aplicándose el siguiente modelo.

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + E_{ijk} \quad i=1,2 \quad j= 1,2 \quad k=1,2$$

Donde:

$\mu$ = Constante

$Y_{ijk}$ = Variable de respuesta

$\alpha_i$ = Efecto del i-ésimo tratamiento (dietas normales y bajas).

$\beta_j$ = Efecto del j-ésimo tratamiento (con enzimas y sin enzimas).

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de la interacción

$E_{ijk}$ = Error aleatorio

## 7. RESULTADOS

### Experimento 1:

Los resultados promedio obtenidos en 21 días de experimentación, de los efectos principales en los parámetros productivos junto con los datos de sus análisis de varianza, se encuentran resumidos en el Cuadro 5.

Se puede observar, que en la ganancia de peso existió efecto ( $P < 0.05$ ) al factor dietas, notándose un mayor crecimiento en los pollos que consumieron la dieta normal en nutrientes. También se aprecia que existió efecto ( $P < 0.05$ ) al factor enzimas, se puede observar que los pollitos que consumieron dietas con enzimas tuvieron mayores aumentos de peso. En la Figura 1, se aprecia claramente como se mejoró la ganancia de peso en los pollos alimentados tanto con la dieta normal como baja en nutrientes. En cuanto al consumo de alimento, en los resultados obtenidos se aprecia que fueron semejantes ( $P > 0.05$ ) para el factor dietas o para el factor enzimas; así como, tampoco hubo efecto significativo para la interacción dietas x enzimas. En la conversión alimenticia el análisis estadístico mostró efecto ( $P < 0.05$ ) al factor dieta; con la dieta normal existió una mejor conversión alimenticia. Por otra parte se notan conversiones alimenticias similares ( $P > 0.05$ ) para el factor con y sin adición de enzimas. Sin embargo la adición de enzimas fue mejor ( $P = 0.0597$ ). En la Figura 2, se nota como se mejoró la conversión alimenticia en los pollos alimentados tanto con la dieta normal como baja en nutrientes.

En el Cuadro 6, se muestran los resultados de la digestibilidad de la proteína y EM de las dietas. Se puede apreciar que en el porcentaje de la digestibilidad de proteína no hubo efecto ( $P > 0.05$ ) para el factor dieta o el factor enzima; así como tampoco para la interacción dieta x enzima. Sin embargo, hubo cierta tendencia de valores de digestibilidad más altos (3%) para las dietas con enzimas.

En los valores de EM de la dieta, el análisis estadístico indicó diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) para el factor dietas, siendo menor en la dieta baja en nutrientes, para el factor enzimas fue mayor el valor de EM en las dietas con la adición de enzimas ( $P < 0.05$ ); así como también existió efecto ( $P < 0.05$ ) de interacción dieta x enzimas.

En la Figura 3, se puede constatar que el efecto de la interacción dieta x enzimas fue debido a que la suplementación del complejo enzimático incrementó significativamente solamente la EM de la dieta con reducción en nutrientes.

En el Cuadro 7, aparece el análisis estadístico de la digestibilidad ileal de aminoácidos (Metionina, Lisina, Metionina+cistina, Treonina, Leucina, Valina, Fenilalanina e Isoleucina), solo en Metionina hubo efecto ( $P < 0.05$ ) para el factor dieta, la digestibilidad en el resto de los aminoácidos fue similar ( $P > 0.05$ ). Para el factor enzimas se encontró diferencia estadística ( $P < 0.05$ ) en Metionina, Metionina+cistina, Treonina, Leucina, Valina, Fenilalanina e Isoleucina, siendo mejores con la adición de enzimas, así como también se aprecia efecto de la interacción dieta x enzimas en Lisina, Metionina+Cistina, Treonina, Leucina, Valina e Isoleucina. Este efecto (Figura 4), fue debido a que la suplementación de enzimas mejoró solamente la digestibilidad de los aminoácidos en la dieta baja en nutrientes.

## **Experimento 2:**

El análisis estadístico y los efectos principales de los parámetros productivos en 49 días de edad, se muestran en el Cuadro 8.

En ganancia de peso se encontró un mayor crecimiento ( $P < 0.05$ ) con las dietas normales respecto a las bajas. Por otro lado existió efecto ( $P < 0.05$ ) a la adición de enzimas; así como, para la interacción dietas x enzimas. En la Figura 5, se detecta

que el efecto de la interacción se debió a que la ganancia de peso de los pollos, fue mejorada con la adición de enzimas solo con la dieta baja en nutrientes.

El consumo de alimento fue similar entre tratamientos ( $P>0.05$ ), para el factor dietas o al factor adición o no de enzimas. La interacción dieta x enzimas (Figura 6) señala que el consumo de la dieta baja en nutrientes y el de la dieta normal + enzimas fue menor al de la dieta normal, y la dieta baja en nutrientes + enzimas. En conversión alimenticia existió efecto de dieta ( $P<0.05$ ), siendo mejor en los pollos alimentados con la dieta normal, respecto a los que recibieron la dieta con menor contenido de nutrientes, para el factor enzimas los datos entre tratamiento fueron similares ( $P>0.05$ ). El efecto encontrado se muestra en la Figura 7, que destaca la diferencia que existió entre las dietas normales y bajas en nutrientes en esta variable.

## 8. DISCUSIÓN

Los PNA están asociados a las paredes celulares de los granos y las semillas oleaginosas, éstos PNA incluyen celulosa, hemicelulosa, pectinas y oligosacáridos; las aves no poseen enzimas endógenas capaces de digerir enlaces beta, estos polisacáridos requieren de enzimas específicas para romper éstos enlaces. En el caso de la pasta de soya, que es una de las proteínas de origen vegetal más empleada en la elaboración de alimentos balanceados para las aves. Se sabe que el contenido de PNA consiste en 50-55% de pectina, aproximadamente 25% de celulosa y alrededor de un 8% de  $\beta$ -mananos. La suplementación de enzimas que digieren estas sustancias, puede mejorar la capacidad digestiva de los animales y por lo tanto reducir las propiedades antinutricionales de estos carbohidratos complejos (Almirall *et al*, 1995; Van Der Klis *et al*, 1995).

### Experimento 1:

En el Experimento 1, la suplementación de dietas a base de sorgo+soya con pectinasas,  $\beta$ -glucanasas y hemicelulasas mejoraron los parámetros productivos de los pollos (ganancia de peso y conversión alimenticia en 21 días). Esta mejora en el crecimiento y en la conversión alimenticia fue evidente en la dieta baja en nutrientes en donde la adición de enzimas incrementó el contenido de energía en 186 Kcal lo que representó un 6.5% más de EM en las dietas (Cuadro 5); esto representa un valor aproximado al 7% que se había estimado. En el caso de la digestibilidad de la proteína de la dieta numéricamente hubo un incremento de 3%. Probablemente debido al reducido número de réplicas utilizadas en el análisis no se detectó diferencia estadísticamente significativa. Este mismo incremento en general se encontró para los aminoácidos esenciales, en especial, con la dieta baja en nutrientes suplementada con el complejo enzimático (pectinasas,  $\beta$ -glucanasas y hemicelulasas).

Diferentes mecanismos, han sido propuestos para explicar los efectos observados con la inclusión de enzimas en las dietas a base de granos. La simple presencia de PNA en la pared celular restringe el acceso de las enzimas endógenas a los nutrientes que se encuentran en el endospermo. El mecanismo más aceptado es la reducción de la viscosidad en la digesta yeyunal e ileal (Choct *et al*, 1992b).

### **Experimento 2:**

En el Experimento 2, los resultados obtenidos en 49 días de edad mostraron diferencia en el crecimiento y conversión alimenticia entre los pollos alimentados con dietas normales y bajas en nutrientes, como era de esperarse las dietas bajas en nutrientes redujeron los parámetros. La suplementación del complejo enzimático (pectinasas,  $\beta$ -glucanasas y hemicelulasas) mostró beneficios en la ganancia de peso de los pollos que se alimentaron con la dieta reducida en nutrientes, lográndose pesos similares a los de la dieta testigo, datos semejantes a los observados en el Experimento 1.

Por otra parte la suplementación "on-top" en dietas adecuadas en nutrientes no mostró beneficio a la adición multienzimática, como fue apreciado también en el Experimento 1.

El consumo de alimento fue diferente entre tratamientos en los experimentos. Esto puede deberse a que la suplementación con enzimas, liberó una mayor cantidad de EM de las dietas, por lo cual el consumo fue menor en los pollos que recibieron la dieta normal y mayor en los pollos alimentados con la dieta baja en nutrientes explicado a que una mayor liberación de energía, proteína y aminoácidos originó una dieta más adecuada en nutrientes para el ave, que estimuló un mayor consumo de alimento en los mismos.

La información de este estudio indica que en la práctica, se puede mejorar la calidad del alimento con la adición de enzimas. Además, se pueden suprimir los

límites máximos fijados para la utilización de ciertas materias primas en el alimento, ya que las enzimas permiten reducir las propiedades antinutritivas de diversas sustancias contenidas en dichos ingredientes. La adición de enzimas permite conseguir alimentos más nutritivos con menor costo y obtener resultados igualmente positivos en el rendimiento de los animales (Jensen *et al*, 1957), como se observó en el Experimento 2.

Se comprobó en el Experimento 1, una mayor degradación con la adición de enzimas por un aprovechamiento más satisfactorio, debido a que las aves no producen enzimas endógenas para degradar los PNA en el caso de la pasta de soya las pectinas, celulosa y  $\beta$ -glucanos.



## **9. CONCLUSIONES**

De los resultados obtenidos en este estudio, se puede inferir que la complejidad de los PNA y su contenido en la pasta de soya comúnmente utilizada en la alimentación de aves, requiere la suplementación enzimática para disminuir sus efectos antinutritivos.

La adición del complejo enzimático (pectinasas,  $\beta$ -glucanasas y hemicelulasas) en dietas a base de sorgo+soya para pollos de engorda con un contenido menor de nutrientes liberó 6.5% de EM y alrededor del 3% de proteína y aminoácidos, lo que permite mejorar el valor nutritivo de la dieta para pollos de engorda, mediante un incremento en la digestibilidad de la proteína, aminoácidos y energía metabolizable de la pasta de soya.

## 10. REFERENCIAS

1. Almirall, M., Estevé-García, E. 1994. Rate of passage of barley diets with chromium oxide: influence of age and poultry strain and effect of  $\beta$ -glucanase supplementation . Poultry Science, 73:1433-1440.
2. Almirall, M., Estevé-García, E. 1995. In vitro stability of a  $\beta$ -glucanase preparation from *Trichoderma longibrachiatum* and its effect in barley based diet fed to broiler chicks. Animal Feed Science and Technology, 54:149-158.
3. Annison, G. 1991. Relationship between levels of soluble non-starch polysaccharides and the apparent metabolisable energy of wheat assayed in broiler chickens. Journal of Agriculture and Food Chemistry. 29:1252-1256.
4. Annison, G., Choct, M. 1991. Antinutritive activities of cereal non/starch polysaccharides in broiler diets and strategies for minimizing their effects. World Poultry Science Journal, 47:232-242.
5. Antoniou, T., and R. R. Marquardt. 1981. Influence of rye Pentosans on the Growth of Chicks. Poultry Science 60:1898-1904.
6. Association of Official Analytic Chemists. 1990. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytic Chemists, Washington DC.
7. Aspinall, G. O., 1988. Chemistry of soybean carbohydrates, in soybean utilization alternatives. L., McCann (ed) The center for alternative crops and products. University of Minnesota, St. Paul, M. N. Canada.
8. Ávila, G. E. Conceptos en la alimentación del pollo de engorda. Fuentes de energía y proteína. Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola. FMVZ-UNAM. IX Jornadas Médico Avícolas, México, D.F. 19-21 de Febrero del 2003. pp 2-7.

9. Bach Knudsen, K. E., 1997. Carbohydrate and lignin contents of plants materials used in animal feeding. *Animal Feed Science and technology*, 67:319-338.
10. Bedford, M. R. 1996. Reduced viscosity of intestinal digesta and enhanced nutrient digestibility in chickens given exogenous enzymes. *Proceeding of the first Chinese Symposium of Feed Enzymes, Najing Agricultural University, Najing, People's Republic of China, 6-8 may 1996.* 19-28.
11. Bedford, M. R., H. L. Classen, and G. L. Campbell. 1991. The effect of pelleting, salt and pentosanase on the viscosity of intestinal contents and performance of broilers fed rye. *Poultry Science* 70:1571-1577.
12. Berg, R. L. 1959. Enzyme supplementation of barley diets for laying hens. *Poultry Science*. 38:1132-1139.
13. Blum J. C. 1985. Editor. Consumo. Necesidades. Recomendaciones prácticas. Valor energético de los alimentos. Madrid: Mundi-Prensa 23-35.
14. Brett, C. y Waldron, K. 1990. *Physiology and biochemistry of plant cell walls.* Unwin Hyman.
15. Bühler M. 1998. *Las Enzimas en la nutrición animal.* Alemania: AWT.
16. Champ, M. M. J., 1996. The analysis of complex carbohydrates relevance of values obtained in vitro. *Proceeding of the Nutrition Society*, 55:863-880
17. Cheetham, N. W. H., Cheung, P. C. K., Evans, A. J. 1993. Structure of the principal non/starch polisaccharide from cotyledons of lupins (*cultivar gunguru*). *Carbohydrate Polymers*, 22:37-47.
18. Choct, M., Annison, G. 1992a. Anti-nutritive activity of wheat arabinoxylans and gut microflora. *British Poultry Science*, 33:821-834.

19. Choct, M., Annison, G. 1992b. Anti-nutritive effect of wheat pentosans in broiler chickens roles of viscosity and gut microflora. *British Poultry Science*, 67:123-132.
20. Choct, M., Hughes, R. G., Wang, J., Bedford, M. R., Morgan, A. J., Annison, G. 1996. Increased small intestinal fermentation is partly responsible for the anti-nutritive activity of non-starch polysaccharides in chickens. *British Poultry Science*, 37:609-621.
21. Choct, M., Annison, G. 1990. Anti-nutritive activity of wheat pentosans in broiler diets. *British Poultry Science*, 31:811-821.
22. Classen, H. L. 1996. Cereal grain starch and exogenous enzymes in poultry diets. *Animal Feed Science Technology*. 62, 21-27.
23. Classen, H. L., G. L. Campbell, B. G. Rassnagel, R. S. Bhatti, and R. D. Reichert. 1985. Studies on the use of hullless barley in chick diets: Deleterious effects and methods of alleviation. *Canadian Journal Animal Science*. 65:725-733.
24. Coates, M. E., Rolles, B. A. 1981. Potato starch, gut flora and caecal size in chick germ-free and conventional environments, caecal enlargement. *Journal of Science and Food agriculture*, 32:481-484.
25. Coon, L. N., Leske, K.L., Akavanichen, O., Cheng, T. K. 1990. Effect of oligosaccharides-free soybean meal on the true metabolizable energy and fibre digestion in adult rooster. *Poultry Science*, 69:787-793.
26. Cowan, W. D., Korsback, A., Hastrup, T. y Rasmussen, P. 1996. Influence of added microbial enzymes on energy and protein availability of selected feed ingredients. *Animal Feed Science Technology*. 60: 311-319.

27. Cuca G. M., Ávila G. E., Pro M. A. 1996. Alimentación de las aves. Departamento de Zootecnia; Chapingo. México. Universidad Autónoma Chapingo. 11-17.
28. D'Mello J. P. F. Farm animal metabolism and nutrition. USA: CAB International. 2000:405-426.
29. Edney M. J. Structure of total barley beta-glucan. Journal of the Institute of Brewing, 1991. 97:39-44
30. Englyst, H., 1989. Classification and measurement of plant polysaccharides. Animal Feed Science and Technology, 23:27-42.
31. Folleto Técnico, RONOZYME™VP. Libera los nutrientes del pienso. Roche.
32. Friesen, O. D., Guenter, W., Marquardt, R. R., Rotter, B. A. 1992. The effect of enzyme supplementation on the apparent metabolizable energy and nutrient digestibilities of wheat, barley, oats and rye for the young broiler chick. Poultry Science, 7:1710-1721.
33. García M. E. Modificaciones al sistema de clasificación climáticas de Copen para adaptarlo a las condiciones de la república mexicana. México (DF), México. Ed-Talleres Offset Larios. 1998.
34. Graham, H., J. G. Fadel, C. W. Newman y R. K. Newman, 1989. Effect of pelleting and  $\beta$ -glucanase supplementation on the ileal and fecal digestibility of a barley-based diet in the pig. Journal Animal Science. 67:1293-1298.
35. Groot Wassink, J. W. D., Campbell, G. L., Classen, H. L. 1981. Fractionation of crude pentosanase (arabinoxylanase) for improvement of the nutritional value of rye diets for broiler chickens. Journal of Science and Food Agriculture, 46:289-300

36. Hesselman, K.; Åman, P. 1986. The effect of  $\beta$ -glucanase on the utilization of starch and nitrogen by broiler chickens fed on low- or high-viscosity barley. *Animal Feed Science and Technology*. 15: 83–93.
37. Huisman, M. M. H., Schols, H. A., Voragen, A. G. J., 1999. Enzymatic degradation of cell wall polysaccharides from soybean meal. *Carbohydrate polymers*, 38:299-307.
38. Hulet, R. M., Dembow, D. M., Potter, L. M., 1993. Effect of lightin and dietary energy source on male market turkeys. *Poultry Science*, 72:1459-1466.
39. Jensen, L. S., Merrill, L. H., Reddy, C. V., McGinnis, J. 1957. Improvement in the nutritional value of barley for chicks by enzyme supplementation. *Poultry Science*, 36:919-921.
40. Larsen, F. M., Mougan, P. J., Wilson, M. N. 1993. Dietary fibre viscosity and amino acid digestibility, proteolytic digestive enzyme activity and digestive organ weights in growing rats. *Journal of nutrition*, 124:833-841.
41. Lázaro, R. M., García, M. J. Aranibar, and G.G. Mateos. 2003a. Effect of enzyme addition to wheat, barley and rye based diets of nutrient digestibility and performance of laying hens. *British Poultry Science* 44:256-265.
42. Lázaro, R. M., Garda, P. Medel, and G.G. Mateos. 2003b. Influence of enzymes on performance and digestive parameters of broilers fed rye/based diets. *Poultry Science* 82:132-140.
43. Leeson S. and Summers J. D. *Scott's Nutrition of the Chicken*. 4<sup>th</sup> ed. Guelph, Ontario Canada: University Books, 2001.

44. Leske, K. L., Jevne, C. J., Coon, C. N., 1993. Effect of oligosaccharides addition on nitrogen-corrected true metabolizable energy and soy protein concentrates. *Poultry Science*, 72:664-668.
45. Longstaff, M., Knox, A. McNab, J. M. 1988. Digestibility of pentose sugars and uronic acids and their effect on chick weight gain and cecal sizes. *British Poultry Science*, 29:379-393.
46. Marquart, R. R., Boros, D., Guenter, W., Grow, G. 1994. The nutritive value and barley, rye, wheat and corn for young chicks as affected by the use of a *trichoderma reesei* enzyme preparation. *Animal Feed Science and technology*, 60:321-330.
47. Marquardt, R. R., Ward, A. T. y Misir, R. 1979. The retention of nutrients by chicks fed rye diets supplemented with amino acids and penicillin. *Poultry Science*. 58: 631-640.
48. Marquart, R. R., Brenes, A., Zhang, Z., Boros, D. 1996. The use of enzymes to improve nutrient availability in poultry feedstuff. *Animal Feed Science and Technology*, 60:321-330.
49. Marsman, G. J. P., Gruppen, H., Van der Poel, A. F. B., Reisink, J. W., Detergen, M. W. A. and Voragen, A. G. J., 1997b. The effect of thermal processing and enzyme treatments of soybean meal on growth performance ileal digestibilities and chime characteristics in broiler chicks. *Poultry Science*. 76:864-872.
50. Martínez, V. 1992. Method for the analisis of electrical activity of the proximal gastrointestinal tract of chicken. *Poultry Science*, 71:1532-1539.
51. McDonald P., Edwards R.A., Greenhalgh J.F.D. Morgan C.A. *Nutrición Animal*. Acribia, Zaragoza. 1999:10-13.

52. Moran, E. T., Lall, S. P., Summers, J. D. 1969. The feeding value of rye for the growing chick effect of enzyme supplementation, antibiotics, autoclaving and geographic distribution. *Poultry Science*, 48:939-949.
53. Moran, E. T. 1985. Digestion and absorption of carbohydrates in fowl and events through perinatal development. *Journal Nutrition*. May;115 (5): 665-74.
54. Namkung H., Leeson S. 1999. Effect of phytase enzyme on dietary nitrogen-corrected apparent metabolizable energy and ileal digestibility of nitrogen and amino acids in broiler chicks. *Poultry Science*. 78: 1317-1319.
55. National Research Council, 1994. *Nutrient Requirements of Poultry*. 9th revised edition. National Academy Press, Washington, DC.
56. Noble, R. C., Connor, K., McCartney, R., Brown, D. 1988. Comparative study of the lipid composition of the liver and bile from broiler birds during growth and egg laying. *Research in Veterinary Science*, 44:33-37.
57. Notes. 1979. Improved procedure for the determination of chromic oxide in feed and feces. *Canadian Journal Animal Science*. 59: 631-634.
58. Operating Instruction Manual. 2000. Isoperibol Bomb Calorimeter. Parr Instrument Company. Nº 367. pp 5.1-5.8.
59. Patridge, G. R., 1993. In feed enzymes and antibodies pig. *Veterinary Journal*, 31:34-50.
60. Petterson, D., Aman, P. 1988. Effect of enzyme supplementation of diets based of wheat, rye or triticale on their productive value for broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*. 20:213-219.
61. Pettersson, D. y Åman, P. 1989. Enzyme supplementation of poultry diets containing rye and wheat. *British Journal Nutrition*. 62: 139-149.



62. Petterson, D. , Graham, H., Aman, P.1990. Enzyme supplementation of broiler chicken diets based in cereals with endosperm cell walls rich in arabinoxilans or mixed link  $\beta$ /glucans. *Animal Production*, 51:201-207.
63. P. Rodríguez-Palenzuela, J. García y C. De Blas. XIV curso de especialización Avances en nutrición y alimentación animal. 2000. Fibra soluble y su implicación en nutrición animal: Enzimas y prebióticos. Universidad Politécnica de Madrid.
64. Rackis, J. J., 1975. In physiological effect on food carbohydrates. Ed. Aleen, J. and Jeilge, J. American Chem. Soc. pp:207-222. Washington D.C.
65. Robertson, J. A., Eastwood, M. A. 1981. An examination of factors which may afeect the waer holding capacity of dietary fibre. *British Journal of Nutrition*. 45:83-88.
66. Rotter, B. A., Friesen, O. D., Güenter, W., Marquart, R. R. 1990. Influence of enzyme supplementation on the bioavailable enrgy of barley. *Poultry Science*, 69:1174-1181.
67. Smiths, C. H. M., Annison, G. 1996. Non-starch plant polysaccharides in broiler nutrition-towards a physiologically valid approach to their determination. *World's Poultry Science Journal*, 52:203-221.
68. Statical Analysis System. 2004. User's Guide: Statics "Version 6".
69. Sturkie PD. Avian physiology. En: Duke GE, editor. Alimentary canal: anatomy, regulation of feeding, and motility. 4° Ed. New York: Springer-Verlag. 1986:269-288.
70. Svihus, B., Newman, R. K., Newman C. W. 1997. Effect of soaking, germination and enzyme treatment of whole, barley on nutritional value and digestive tract parameters of broilers chickens. *British Poultry Science*, 38:390-396.

71. Trowel, H., Burkkit, D., Heaton, K. 1985. Dietary fibre. Depleted foods and disease, Academic Press, London. pp:1-20.
72. UNA: unión nacional avícola. [serial online] 2001 Agosto [citada 2005 agos 5]; (1): [24 screens]. Disponible en: URL: <http://www.una.com.mx/una/display.php?section=2>
73. Van Der Klis, J. D. Kwakernaak, C., De Wit, W. 1995. Effects of Endo-xylanase addition to wheat based diets on physico-chemical conditions and mineral absorption in broilers. *Animal Feed Science and Technology*, 51:15-27.
74. Wagner, D. D. and O. P. Thomas. 1978. Influence of diets containing rye or pectin on the intestinal flora of Chicks. *Poultry Science*. 57:971-975.
75. White, W. B., Bird, H. R., Sunde, M. L., Prentice, N., Buerger, W. C., Marlett, J. A. 1981. The viscosity interaction of barley  $\beta$ -glucan with *Trichoderma viride* cellulase in the chick intestine. *Poultry Science*, 60:1043-1048.
76. Williams, P. E. V., Geraert, P. A., Uzu, G., Annison, G. 1997. Factors affecting non-starch polysaccharide digestibility in poultry. *Options Mediterraneeennes*, 26:125-134.

## LISTA DE CUADROS

**Cuadro 1:** Composición de Polisacáridos no amiláceos (PNA) en algunas materias primas (Folleto técnico Roche).

|                  | PNA SOLUBLE | PNA INSOLUBLE | TOTAL |
|------------------|-------------|---------------|-------|
|                  | %           | %             | %     |
| Pasta de soya    | 6.3         | 15.4          | 21.7  |
| Pasta de canola  | 1.5         | 13.9          | 15.4  |
| Pasta de girasol | 1.0         | 19.9          | 20.9  |
| Pasta de colza   | 11.3        | 34.8          | 46.1  |

**Cuadro 2.** Contenido de nutrientes en la pasta de soya normal y mejorada en proteína, aminoácidos y energía metabolizable.

|                  | PASTA DE SOYA | PASTA DE SOYA + ENZIMAS (7:7:7) |
|------------------|---------------|---------------------------------|
| Proteína cruda % | 47.59         | 50.92                           |
| EM Kcal/kg       | 2440          | 2611                            |
| Lisina %         | 2.98          | 3.19                            |
| Metionina %      | 0.68          | 0.73                            |
| Met + cist %     | 1.36          | 1.46                            |
| Treonina %       | 1.90          | 2.03                            |

**Cuadro 3.** Composición de las dietas de iniciación para pollos de 0-21 días de edad.

|                                  | Kg             | Kg              |
|----------------------------------|----------------|-----------------|
| <b>Ingredientes</b>              | <b>Normal</b>  | <b>Baja</b>     |
| Sorgo                            | 571.38         | 616.94          |
| Pasta de soya                    | 354.08         | 322.85          |
| Aceite                           | 29.43          | 14.79           |
| Fosfato de calcio                | 18.60          | 18.69           |
| Carbonato de calcio              | 15.39          | 15.46           |
| Sal                              | 4.40           | 4.40            |
| DL-Metionina                     | 2.40           | 2.35            |
| Vitaminas y Minerales***         | 2.50           | 2.50            |
| L-Lisina HCL                     | 0.17           | 0.37            |
| Cloruro de colina 60%            | 1.00           | 1.00            |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> * | 0.20           | 0.20            |
| Bacitracina Zinc                 | 0.30           | 0.30            |
| Antioxidante                     | 0.15           | 0.15            |
| <b>Total</b>                     | <b>1000.00</b> | <b>1000.00</b>  |
| <b>Análisis Calculado</b>        |                |                 |
|                                  | <b>Normal</b>  | <b>Baja</b>     |
| Proteína cruda (%)               | 22.0           | (20.46) 22.00** |
| EM (Kcal/kg)                     | 3000           | (2790) 3000**   |
| Calcio total (%)                 | 1.00           | (1.00) 1.00**   |
| Fósforo disponible (%)           | 0.50           | (0.50) 0.50**   |
| Lisina (%)                       | 1.20           | (1.12) 1.20**   |
| Treonina (%)                     | 0.87           | (0.81) 0.87**   |
| Met + Cist (%)                   | 0.93           | (0.86) 0.93**   |

\*Sólo en el Experimento 1. \*\* Ajustados + Enzimas. \*\*\*Vitamina A (12 000 000 UI), Vitamina D<sub>3</sub> (2 500 000 UI), Vitamina E (15 000 UI), Vitamina K (2.0 g), Vitamina B<sub>1</sub> (2.25 g), Vitamina B<sub>2</sub> (7.5 g), Vitamina B<sub>6</sub> (3.5 g), Vitamina B<sub>12</sub> (20 g), Ácido Pantoténico (12.5 g), Ácido Fólico (1.5 g), Biotina (125 mg), Niacina (45 g), Hierro (50 g) Zinc (50 g), Manganeso (110 g), Cobre (12 g), Yodo (0.30), Selenio (200 mg), Cobalto (0.20 g). Cantidades adicionadas/ton de alimento.

**Cuadro 3a.** Valores de aminoácidos determinados en las dietas en base original (Exp 1)

Contenido % en las dietas

| AMINOÁCIDOS       | 1     | 2     | 3     | 4     |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|
| Metionina         | 0.56  | 0.55  | 0.55  | 0.60  |
| Lisina            | 1.17  | 1.13  | 1.11  | 1.12  |
| Metionina+cistina | 0.92  | 0.91  | 0.90  | 0.95  |
| Treonina          | 0.92  | 0.91  | 0.82  | 0.83  |
| Leucina           | 2.08  | 2.05  | 2.01  | 2.02  |
| Valina            | 1.08  | 1.05  | 1.03  | 1.03  |
| Fenilalanina      | 1.18  | 1.15  | 1.12  | 1.13  |
| Isoleucina        | 0.98  | 0.95  | 0.94  | 0.94  |
| Proteína          | 22.49 | 22.13 | 21.49 | 21.96 |

**Cuadro 4.** Composición de las dietas de finalización de 22 a 49 días de edad para pollos.

|                           | <b>Kg</b>      | <b>Kg</b>      |
|---------------------------|----------------|----------------|
| <b>Ingredientes</b>       | <b>Normal</b>  | <b>Baja</b>    |
| Sorgo                     | 609.60         | 649.10         |
| Pasta de soya             | 304.70         | 277.78         |
| Aceite                    | 40.00          | 27.31          |
| Fosfato de calcio         | 16.45          | 16.53          |
| Carbonato de calcio       | 13.97          | 14.03          |
| Sal                       | 3.89           | 3.90           |
| DL-Metionina              | 1.82           | 1.77           |
| Vitaminas y Minerales**   | 2.50           | 2.50           |
| Cloruro de colina 60%     | 0.80           | 0.80           |
| Coccidiostato             | 0.50           | 0.50           |
| Bacitracina Zinc          | 0.30           | 0.30           |
| Antioxidante              | 0.15           | 0.15           |
| Pigmento amarillo         | 5.33           | 5.33           |
| <b>Total</b>              | <b>1000.00</b> | <b>1000.00</b> |
| <b>Análisis Calculado</b> |                |                |
|                           | <b>Normal</b>  | <b>Baja</b>    |
| Proteína cruda (%)        | 20.0           | (18.60) 20.00* |
| EM (Kcal/kg)              | 3100           | (2883) 3100*   |
| Calcio total (%)          | 0.90           | (0.90) 0.90*   |
| Fósforo disponible (%)    | 0.45           | (0.45) 0.45*   |
| Lisina (%)                | 1.05           | (0.97) 1.05*   |
| Treonina (%)              | 0.79           | (0.73) 0.79*   |
| Met + Cist (%)            | 0.82           | (0.76) 0.82*   |

\*Ajustado + Enzimas \*\*Vitamina A (12 000 000 UI), Vitamina D<sub>3</sub> (2 500 000 UI), Vitamina E (15 000 UI), Vitamina K (2.0 g), Vitamina B<sub>1</sub> (2.25 g), Vitamina B<sub>2</sub> (7.5 g), Vitamina B<sub>6</sub> (3.5 g), Vitamina B<sub>12</sub> (20 g), Ácido Pantoténico (12.5 g), Ácido Fólico (1.5 g), Biotina (125 mg), Niacina (45 g), Hierro (50 g) Zinc (50 g), Manganeso (110 g), Cobre (12 g), Yodo (0.30), Selenio (200 mg), Cobalto (0.20 g). Cantidades adicionadas/ton de alimento.

**Cuadro 5.** Efectos principales en parámetros productivos en 21 días de edad (Exp 1).

|                     | GANANCIA DE PESO g | CONSUMO DE ALIMENTO g | CONVERSIÓN ALIMENTICIA |
|---------------------|--------------------|-----------------------|------------------------|
| DIETA               |                    |                       |                        |
| Normal              | 530b               | 824a                  | 1.560b                 |
| Menos nutrientes    | 480a               | 800a                  | 1.674a                 |
| ENZIMAS             |                    |                       |                        |
| Sin                 | 489a               | 806a                  | 1.654a                 |
| Con                 | 520b               | 819a                  | 1.580a                 |
| FUENTE DE VARIACION |                    |                       |                        |
| Dieta               | 0.0032             | 0.6700                | 0.0061                 |
| Enzimas             | 0.0300             | 0.1326                | 0.0597                 |
| Dieta x enzimas     | 0.6696             | 0.9619                | 0.7823                 |

a, b Valores con distintas literales son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ )



**Cuadro 6.** Resultados de porcentaje de digestibilidad de la proteína y energía metabolizable de las dietas (Exp 1).

|                            | PROTEÍNA % | EM Kcal/kg |
|----------------------------|------------|------------|
| <b>DIETA</b>               |            |            |
| Normal                     | 79a        | 3050a      |
| Menos nutrientes           | 80a        | 2940b      |
| <b>ENZIMAS</b>             |            |            |
| Sin                        | 78a        | 2935a      |
| Con                        | 81a        | 3055 b     |
| <b>FUENTE DE VARIACION</b> |            |            |
| Dieta                      | 0.5927     | 0.0001     |
| Enzimas                    | 0.0907     | 0.0001     |
| Dieta x enzimas            | 0.3048     | 0.0006     |

a, b Valores con distintas literales son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ )

**Cuadro 7.** Porcentajes de digestibilidad ileal de aminoácidos (Exp 1).

|                     | MET    | LIS    | MET+CIST | TRE     | LEU    | VAL    | FENIL  | ISO    |
|---------------------|--------|--------|----------|---------|--------|--------|--------|--------|
| DIETA               |        |        |          |         |        |        |        |        |
| Normal              | 83b    | 88a    | 77a      | 67a     | 77a    | 71a    | 68a    | 70a    |
| Menos nutrientes    | 86a    | 88a    | 79a      | 66a     | 78a    | 70a    | 68a    | 70a    |
| ENZIMAS             |        |        |          |         |        |        |        |        |
| Sin                 | 83a    | 87a    | 76a      | 65a     | 75a    | 69a    | 66a    | 69a    |
| Con                 | 86b    | 89a    | 79b      | 67b     | 79b    | 71b    | 70b    | 71a    |
| FUENTE DE VARIACIÓN |        |        |          |         |        |        |        |        |
| Dieta               | 0.0085 | 0.7889 | 0.1006   | 0.2294  | 0.3969 | 0.7544 | 0.5999 | 0.8306 |
| Enzimas             | 0.0038 | 0.1239 | 0.0137   | 0.0259  | 0.0074 | 0.0339 | 0.0081 | 0.0511 |
| Dieta x enzimas     | 0.4612 | 0.0340 | 0.0084   | <0.0001 | 0.0417 | 0.0023 | 0.0557 | 0.0161 |

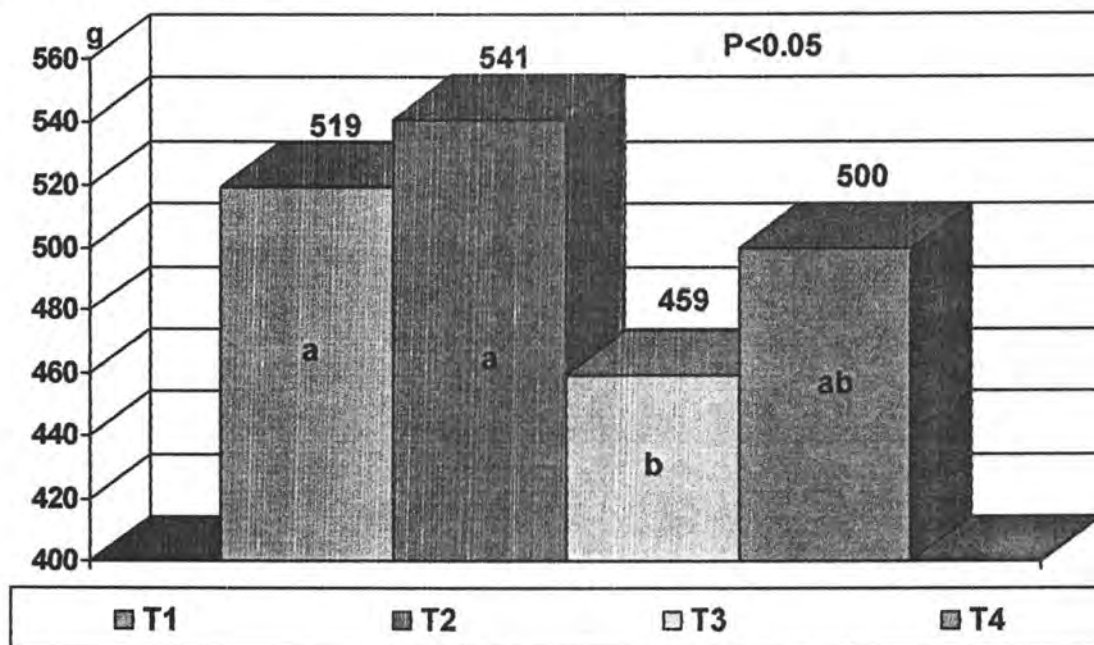
a, b Valores con distintas literales son estadísticamente diferentes (P<0.05)

**Cuadro 8.** Resultados de parámetros productivos en 49 días de edad (Exp 2).

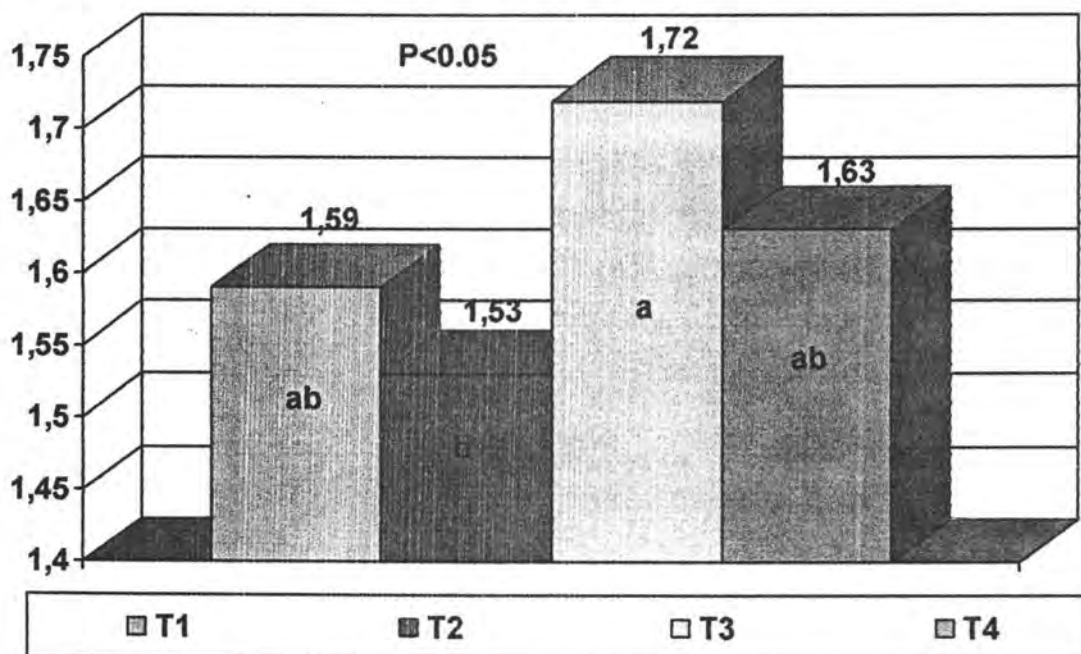
|                     | GANANCIA DE<br>PESO g | CONSUMO DE<br>ALIMENTO g | CONVERSIÓN<br>ALIMENTICIA |
|---------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------------|
| DIETA               |                       |                          |                           |
| Normal              | 3040a                 | 5685a                    | 1.887b                    |
| Menos nutrientes    | 2828b                 | 5659a                    | 1.990a                    |
| ENZIMAS             |                       |                          |                           |
| Sin                 | 2867a                 | 5682a                    | 1.962a                    |
| Con                 | 3000b                 | 5662a                    | 1.914a                    |
| FUENTE DE VARIACION |                       |                          |                           |
| Dieta               | 0.0000                | 0.7659                   | 0.0129                    |
| Enzimas             | 0.0090                | 0.8191                   | 0.2104                    |
| Dieta x enzimas     | 0.0210                | 0.0262                   | 0.8323                    |

a, b Valores con distintas literales son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

**LISTA DE FIGURAS**



**Figura 1.** Ganancia de peso de pollos de 0 a 21 días (Exp 1).



**Figura 2.** Conversión alimenticia de pollos 0 a 21 días (Exp 1).

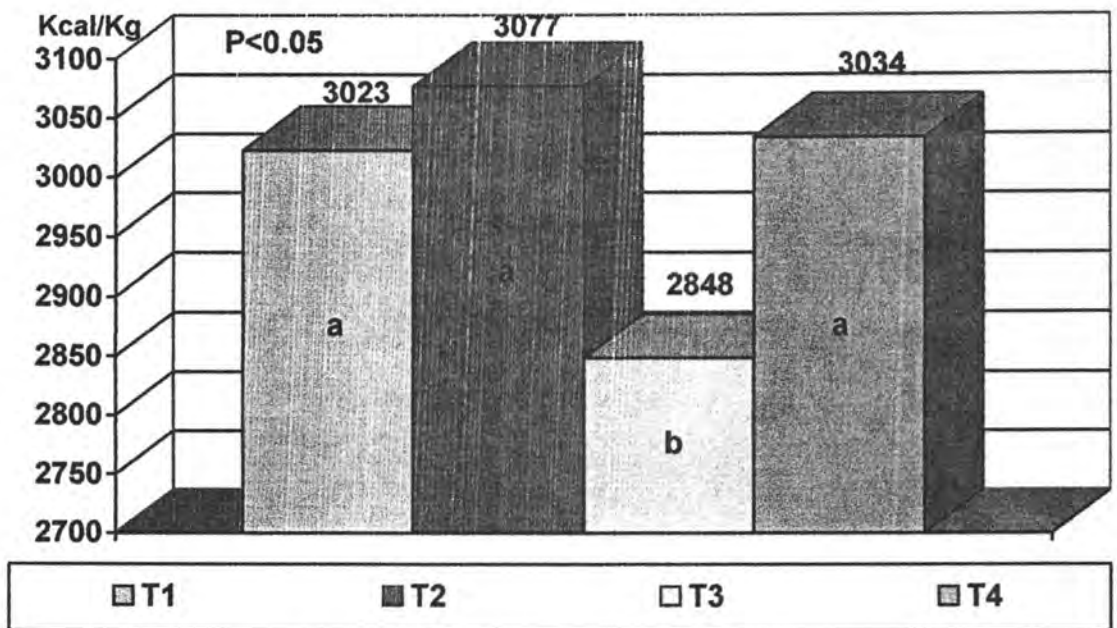


Figura 3. Valores determinados de EM en las dietas empleadas (Exp 1).

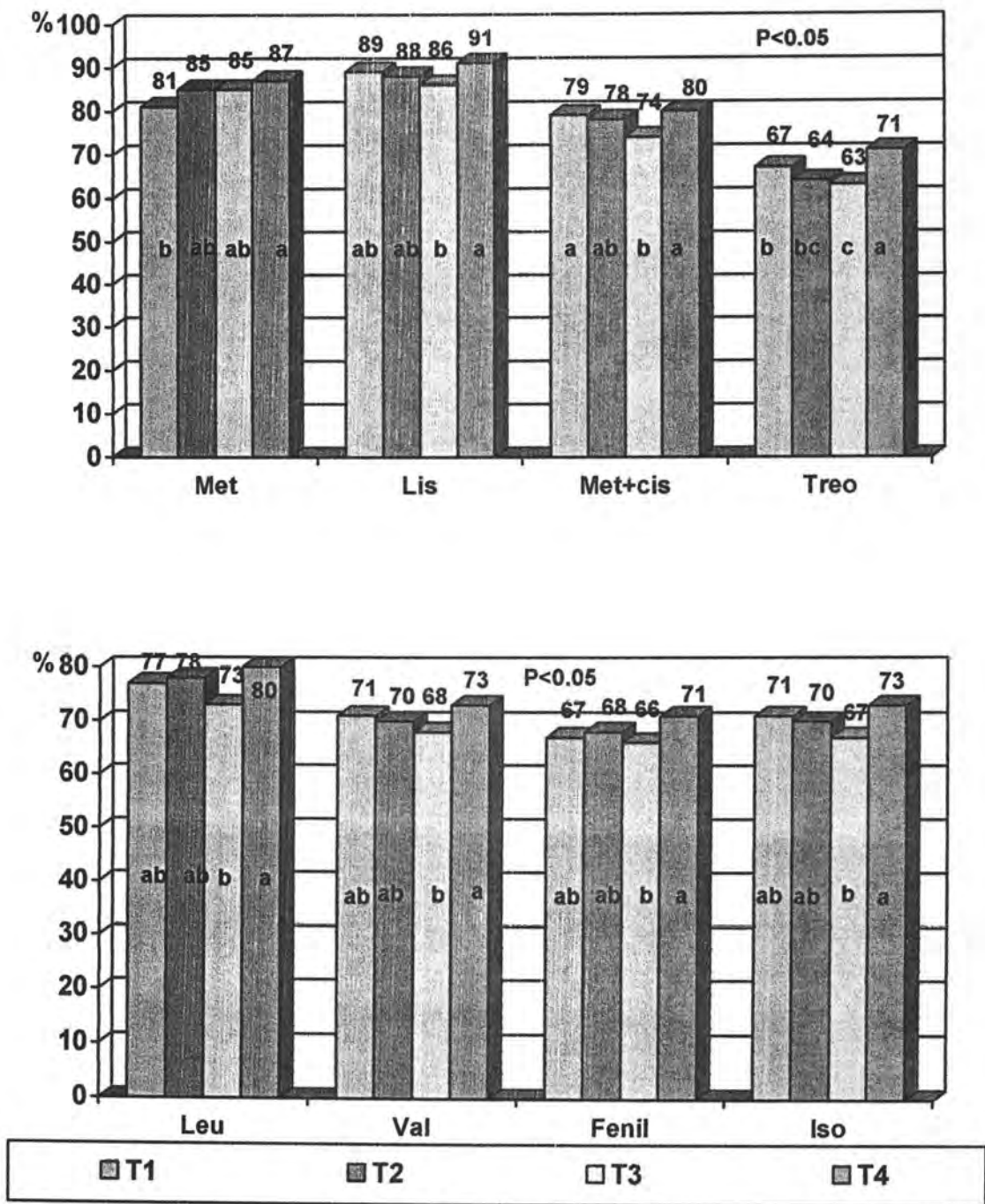


Figura 4. Porcentaje de digestibilidad de aminoácidos en las dietas (Exp 1).

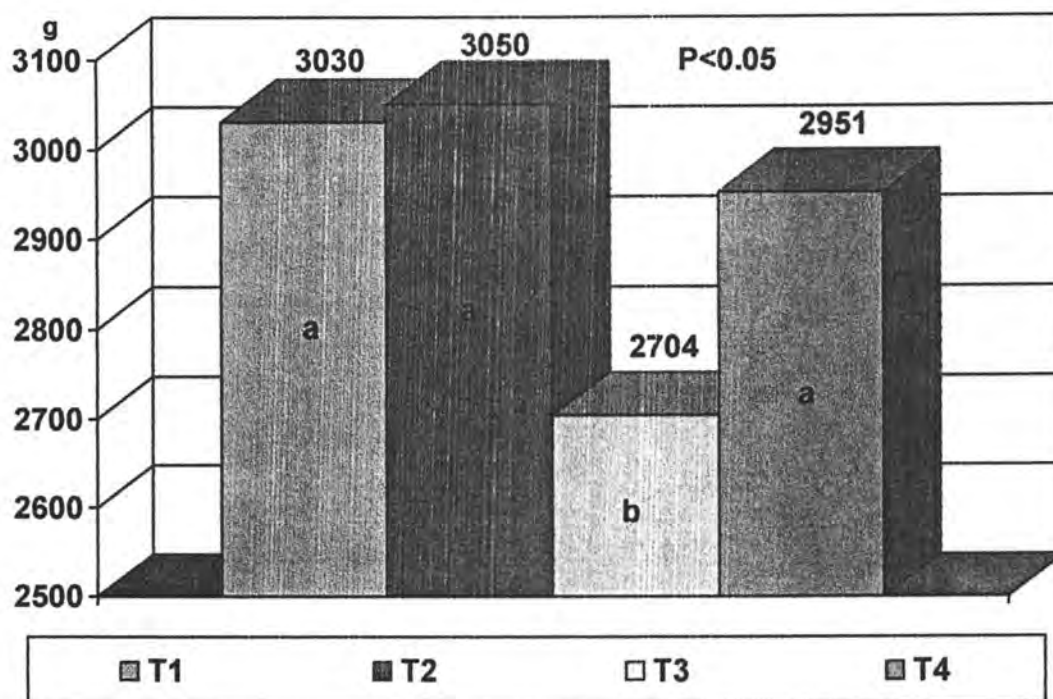


Figura 5. Datos promedio de pollos para ganancia de peso (Exp 2).

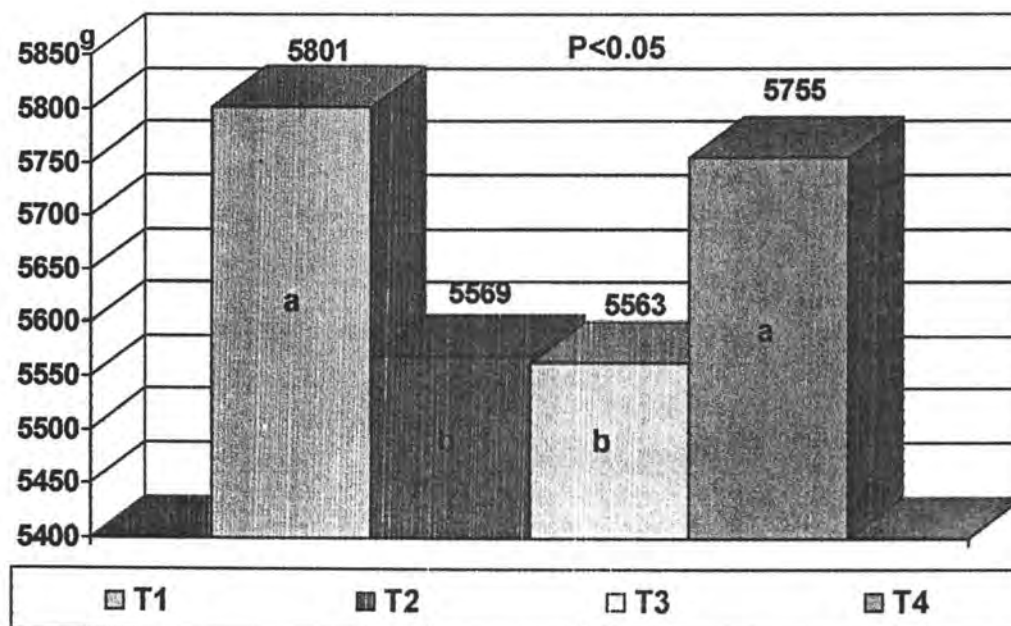


Figura 6. Resultados de consumo de alimento (Exp 2).

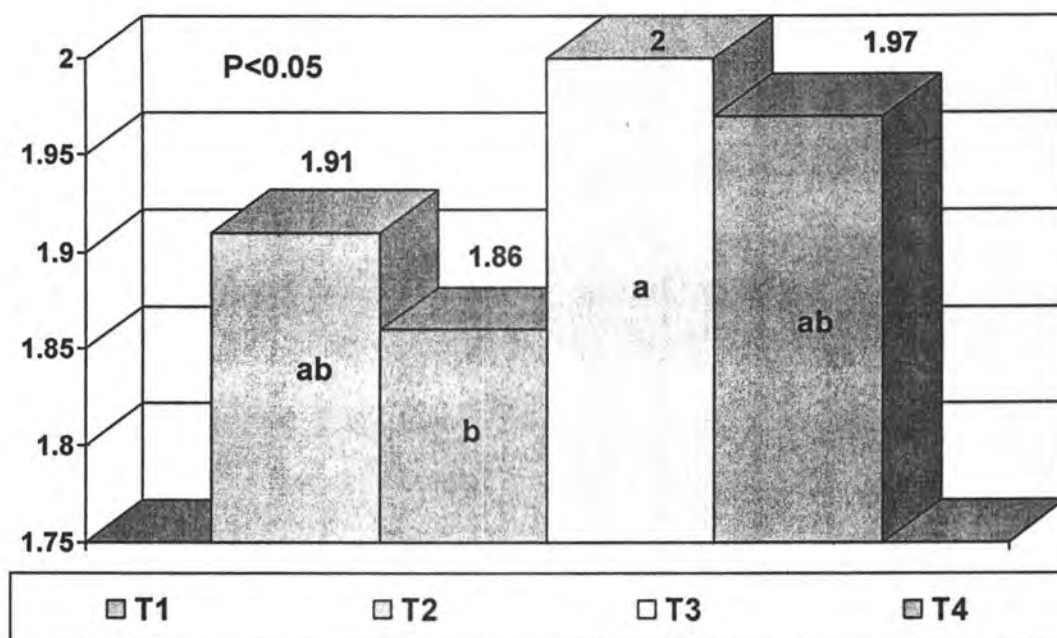


Figura 7. Resultados de conversión alimenticia (Exp 2).