



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**PROGRAMA DE MAESTRIA EN CIENCIAS DE LA
SALUD Y DE LA PRODUCCIÓN ANIMAL**

**EFFECTO DE LA INCLUSIÓN AJUSTADA DE LAS ENZIMAS α -
GALACTOSIDASA, β -GLUCANASA Y XILANASA EN DIETAS MULTIGRANOS
SOBRE LOS PARÁMETROS PRODUCTIVOS Y LA MORFOLOGÍA INTESTINAL
DE POLLOS DE ENGORDA**

TESIS
para obtener el título de
Maestra en Ciencias de la Salud y de la Producción Animal

Presenta:

Diana Carolina Rodríguez Abello

Tutor principal: Carlos López Coello

**Comité asesor: Ernesto Ávila González
Sergio Gómez Rosales**

MEXICO, D.F.

2009



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.

DEDICATORIA

A Dios:

Por darme la fortaleza para concluir esta meta y por bendecir cada paso que doy.

A mis padres:

Por su ejemplo de responsabilidad, dedicación y humildad.

A mi esposo:

Por brindarme su apoyo incondicional durante este proceso.

A la bebé:

Que viene a complementar esta unión.

A mis hermanos:

Por ser cómplices de mis sueños.

AGRADECIMIENTOS

A México por recibirme con los brazos abiertos.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia por darme la oportunidad de estudiar en esta prestigiosa institución.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por otorgarme la beca que hizo posible la realización de mis estudios de maestría.

A la doctora María Teresa Casaubon y a los maestros Francisco Castrejón Pineda y Carlos Cedillo Peláez por su amistad, interés y valiosas observaciones a este trabajo.

Al Doctor Raúl Ulloa y a la Maestra Adimelda Méndez por el tiempo dedicado al procesamiento y análisis de datos.

A los doctores Carlos López Coello, Ernesto Ávila González, Sergio Gómez Rosales, José Arce Menocal y Daniel Camacho por apoyar la realización de la prueba de campo y por lo aportes realizados al trabajo de investigación.

Al Sr. José González por el procesamiento de las muestras histológicas.

A todas las personas que de una u otra manera colaboraron en la elaboración de este trabajo,

MUCHAS GRACIAS

RESUMEN

Se llevó a cabo un experimento en pollos de engorda para evaluar la adición de enzimas digestivas exógenas a dietas tipo comercial, con el objetivo de optimizar el uso de los ingredientes y determinar el efecto sobre los parámetros productivos. Se emplearon 1,200 pollos de engorda mixtos de la línea genética Ross 308 distribuidos aleatoriamente en 4 tratamientos con 3 repeticiones de 100 aves cada una. A las dietas basadas en maíz, pasta de soya, canola y granos secos de destilería con solubles (GSDS) se les adicionó un complejo enzimático (CE) que contenía α -galactosidasa (25,000 U/kg), endo- β glucanasa (75,000 U/kg) y endo-xilanasa (2,000,000 U/kg). Los tratamientos fueron los siguientes: 1) tratamiento testigo (TT) de acuerdo a las recomendaciones nutricionales de la línea Ross 308 sin CE; 2) TT + 500 g de CE por tonelada de alimento; 3) TT con ajuste nutricional reduciendo 3% energía metabolizable (EM), 2% proteína cruda y 2% de aminoácidos (lisina, metionina, treonina) a cada uno de los macro ingredientes de la dieta + 500 g/ton de alimento del CE y 4) TT con ajuste a la dosificación de CE. Este ajuste se hizo con base en la cantidad de pasta de soya utilizada en las dietas de cada etapa alimenticia (iniciación 230 kg, crecimiento 213.2 kg y finalización 142 kg), lo que comparativamente significó una disminución de 7.31% en la dieta de crecimiento y de 38.27% en la dieta de finalización con respecto a la de iniciación que se consideró como el 100%. Para estimar la dosis de CE, se consideró el porcentaje calculado anteriormente y la cantidad de CE recomendada por la casa productora (500 g/ton alimento). Así, para la etapa de iniciación, se determinó la adición de la dosis completa (500 g de CE) por tonelada de alimento y para las siguientes etapas se calculó la cantidad de CE con base en el porcentaje de disminución de la pasta de soya, teniendo para crecimiento una dosis de 463.5 g/ton (-7.31%) y para finalización de 308.7 g/ton (-38.27%). En este experimento, se evaluó el efecto de las dietas sobre los parámetros productivos: Peso corporal (PC), conversión alimenticia (CA), consumo de alimento (CONA),

mortalidad (MORT), y parámetros morfológicos: Resistencia de intestino (RI), longitud de vellosidades intestinales (LV), pH intestinal (pH), longitud de tarso (LT), resistencia de tarso (RT) y pigmentación de la piel (PP) veinticuatro horas pos-sacrificio en canales enfriadas. No se encontraron diferencias estadísticas significativas ($P>0.05$) entre los tratamientos en ninguno de los muestreos para las variables PC, CA, CONA, RI, LV, pH, LT, RT y PP. Para la variable mortalidad, no hubo efecto estadístico significativo ($P>0.05$) entre los tratamientos 1 (17.3%), 2 (21,3%) y 4 (22.6%) pero si con el 3 (11.6%); estas diferencias no pudieron ser atribuibles a las dietas suministradas ya que no se observaron cambios en los parámetros productivos ni morfológicos debidos a los tratamientos que indicaran un efecto del CE sobre el desempeño animal. Los ajustes hechos a los tratamientos permitieron obtener resultados zootécnicos similares entre grupos, aunque el tratamiento 4 puede resultar productiva y económicamente más viable que los otros por el ajuste a la dosis de CE adicionado por cantidad de sustrato.

Palabras clave: Pollo de engorda, polisacáridos no amiláceos, enzimas, vellosidades intestinales.

ABSTRACT

A broiler experiment was conducted to evaluate the addition of exogenous digestive enzymes to commercial diets, with the aim of improving the use of the ingredients and determining the effect on the productive parameters.

One thousand two hundred 1 day old males and females commercial broilers (Ross 308) were obtained from a local hatchery. Chicks were randomly divided into 4 treatments with 3 replicates of 100 birds each one. Diets based on corn, soybean meal, canola meal and dried distillers grains with solubles (DDGS), an enzymatic complex was added that primarily contained α -galactosidase (25,000 U/kg), endo- β glucanase (75,000 U/kg) and endo-xylanase (2,000,000 U/kg). Dietary treatments consisted of 1) control diet (CD) according to the nutrition recommendation Ross 308 without enzymes (EC); 2) diet 1 plus EC 500 g per ton of feed; 3) diet 1 with nutritional adjustment decreasing 3% of metabolized energy, 2% crude protein and 2% of amino acid (lysine, methionine, treonine) to each one of the macro ingredients of the diet plus 500g/ton of feed and 4) diet 1 with adjustment modification of EC.

This adjustment was based on the amount of soybean meal used in the diets of each term (starter 230 kg, grower 213.2 kg finisher 142 Kg) what means a lower percentage of 7.31% in the grower diet and 38.27% in the finisher diet compared to the starter diet that was considered to have a 100%. To find out the doses of EC, the percentage that was calculated previously and the quantity of EC recommended (500 g/ton per feed) was considered. For the starter diet, the addition of full doses (500 g CE) was determined and for the following phases, the amount of EC based on decrease percentage of soybean meal was calculated, having doses for the grower of 463.5 g/ton (-7.31%) and finisher 308.7 g/ton (-38.27%). This experiment evaluated the effect of the diets on productive parameters: live weight (LW), feed conversion ratio (FCR), food intake (FI), mortality (MORT) and morphological parameters: intestine resistance (IR), intestine villi height (IVH), intestinal pH (pH), tarsus length (TL), tarsus resistance (TR) and

skin pigmentation (SP) 24 hours post-sacrifice in cool carcasses. There were no significant statistical differences ($P>0.05$) in none of the parameters: LW, FCR, FI, IR, IVH, pH, TL, TR and SP. For mortality, there was no significant statistical difference ($P>0.05$) between the diet 1 (17.3%), 2 (21,3%) and 4 (22.6%) but for 3 (11.6%) there was indeed a difference; these differences could not be attributable to the treatments because there were no changes in the productive or morphological parameters due to the diets that indicate an effect on the animal performance.

The adjustment in the treatments allowed to get similar results between the groups, even though treatment 4 could end up being more productive and economically more viable than the others by adjustment of doses of CE added per substrate amount.

Key words: Broiler, non-starch polysaccharide, enzyme, intestine villi height.

INDICE

	RESUMEN	III
	ABSTRACT	V
1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1.	CARBOHIDRATOS EN ALIMENTACIÓN ANIMAL	3
2.1.1.	Los polisacáridos	3
2.1.1.1.	Los β -glucanos	4
2.1.1.2.	Los arabinoxilanos	4
2.1.2.	Los oligosacáridos	4
2.1.3.	Contenido de PNA y oligosacáridos en materias primas	5
2.1.4.	Respuesta a la alimentación con dietas altas en PNA	6
2.2.	LAS ENZIMAS	7
2.2.1.	Acción enzimática sobre los PNA	8
2.2.1.1.	Digestibilidad	8
2.2.1.2.	Parámetros productivos	9
2.2.1.3.	Morfología intestinal	12
2.2.1.4.	Viscosidad	13
3.	JUSTIFICACIÓN	15
4.	HIPÓTESIS	17
5.	OBJETIVOS	18
6.	MATERIALES Y MÉTODOS	20
6.1.	DISEÑO EXPERIMENTAL	21
6.2.	DISEÑO DE TRATAMIENTOS	22
6.3.	VARIABLES EVALUADAS	23
6.3.1.	Parámetros productivos	23
6.3.2.	Parámetros morfológicos	23
6.4.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	25

7.	RESULTADOS	28
7.1.	PARÁMETROS PRODUCTIVOS	28
7.2.	PARÁMETROS MORFOLÓGICOS	30
8.	DISCUSIÓN	34
8.1.	PARÁMETROS PRODUCTIVOS	34
8.2.	PARÁMETROS MORFOLÓGICOS	37
8.2.1.	Longitud de vellosidades intestinales	37
8.2.2.	pH intestinal	38
8.2.3.	Resistencia de intestino y Resistencia del tarso	38
8.2.4.	Longitud de tarso	39
8.2.5.	Pigmentación de piel	39
9.	CONCLUSIONES	41
	BIBLIOGRAFÍA	42
	CUADROS	
	ANEXOS	

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Análisis de varianza de parámetros productivos semanales en pollos de engorda mixtos.

Cuadro 2. Análisis de regresión logística para mortalidad en pollos de engorda mixtos.

Cuadro 3. Análisis de varianza de modelo mixto (efecto de tratamiento, sexo e interacción tratamiento*sexo) para los parámetros morfológicos al día 21 de edad en pollos de engorda mixtos.

Cuadro 4. Análisis de varianza de modelo mixto (efecto de tratamiento, sexo e interacción tratamiento*sexo) para los parámetros morfológicos al día 46 de edad en pollos de engorda mixtos.

Cuadro 5. Promedio y error estándar (E.E.) de los parámetros morfológicos al día 21 de edad en pollos de engorda mixtos.

Cuadro 6. Promedio y error estándar (E.E.) de los parámetros morfológicos al día 46 de edad en pollos de engorda mixtos.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, en la industria de alimentos para animales se produce una fuerte subida de precios en los granos, especialmente del maíz, debido a su uso en la fabricación de etanol como combustible, lo que ha causado un aumento en la demanda y el encarecimiento de los precios en el mercado.

Por esta razón, se ha recurrido a la utilización de materias primas alternativas como fuente de energía que junto a las oleaginosas comúnmente empleadas en las dietas para aves, contienen algunos elementos poco digestibles como los oligosacáridos y polisacáridos no amiláceos (PNA). Estas sustancias se caracterizan por aumentar la viscosidad del contenido intestinal, disminuir la densidad energética de la dieta y encapsular las sustancias nutritivas, dificultando su absorción y resultando en una disminución de la tasa de crecimiento con un consecuente aumento de la conversión alimenticia.

Esta situación ha obligado a los avicultores a buscar estrategias que permitan sacar el máximo provecho nutricional a las materias primas utilizadas, como es el caso de las enzimas digestivas exógenas que actúan como catalizadores específicos de sustancias poco digestibles de los alimentos y cuyo objetivo es aumentar el valor nutricional de la dieta, disminuyendo la excreción de material no digerido.

Este trabajo pretende demostrar el efecto benéfico de la adición de un complejo de carbohidrasas a dietas multigranos, en las que se han hecho ajustes al contenido nutricional de los ingredientes y al nivel de inclusión de enzimas por cantidad de sustrato, esperando que el efecto sobre los parámetros productivos y morfológicos de los pollos de engorda sea el mismo entre tratamientos. Lo anterior permitirá

comprobar que las enzimas son capaces de liberar mayor cantidad de nutrientes de los ingredientes con respecto a las dietas no adicionadas, cubriendo los ajustes reductivos hechos a los tratamientos, además de plantear nuevas estrategias para reducir los costos en la formulación sin descuidar un desempeño productivo óptimo de las parvadas.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. CARBOHIDRATOS EN ALIMENTACIÓN ANIMAL

Los carbohidratos son moléculas orgánicas compuestas por carbono, hidrógeno y oxígeno, solubles en agua y son la forma biológica primaria de almacenamiento de energía en los seres vivos.

Se pueden clasificar según el grado de polimerización como oligosacáridos (entre 2 y 10 unidades de monosacáridos) y polisacáridos (más de 10 monosacáridos), como lo indica la terminología de la “International Union of Pure and Applied Chemistry” (IUPAC, 1996).

Además, según sus propiedades funcionales, los carbohidratos se pueden clasificar como digeribles o no digeribles (o no disponibles). Estos últimos, están representados por el almidón resistente, los polisacáridos no amiláceos (PNA) y los oligosacáridos no amiláceos (Delzenne y Roberfroid, 1994).

2.1.1. Los polisacáridos. Los polisacáridos son polímeros macromoleculares de monosacáridos unidos por enlaces glicosídicos que representan el mayor componente en los vegetales utilizados en raciones alimenticias para monogástricos (Carré, 1993).

Englyst (1989), clasificó a los polisacáridos en dos grupos: los amiláceos de reserva (α -glucanos) y los no amiláceos (PNA) estructurales de la membrana celular, que como se mencionó anteriormente son considerados no digeribles. En la primera categoría se encuentra el almidón, que es el polisacárido de almacenamiento en los vegetales, formado por amilosa y amilopectina, cuya

estructura esta formada por unidades de glucosa ligadas mediante enlaces α -(1,4) y α -(1,4-1,6), respectivamente (Sánchez *et al.*, 2002).

En la segunda categoría están los PNA que pueden ser insolubles o solubles en agua. Los PNA insolubles forman parte principalmente de la pared celular vegetal, y se incluyen en la fracción fibra neutro detergente (FND). Los componentes de esta última categoría corresponden a tres fracciones diferentes: los polisacáridos fibrilares (celulosa), los de la matriz (hemicelulosa y pectinas) y sustancias incrustadas (lignina) (García, 2000).

Por su parte, la fracción soluble de los PNA comprende a los β -glucanos, pentosanos, arabinogalactanos, galactomananos, hemicelulosa y pectinas (Miled, 2001), presentes en las paredes celulares del grano y en un alto porcentaje en las del endospermo.

2.1.1.1. Los β -glucanos. Desde el punto de vista de su estructura química, los β -glucanos son similares a la celulosa, excepto por los enlaces β (1-4) que unen las unidades de glucosa y las ramificaciones al azar de cadenas de glucosa unidas por enlaces β (1-3) (Miled, 2001).

2.1.1.2. Los arabinoxilanos. Son polisacáridos de estructura química más compleja que los β -glucanos, están constituidos por xilosa y arabinosa, formando polímeros lineales de xilosa unidas por enlaces β (1-4) y ramificaciones de arabinosa en los carbonos C2 y C3, que son responsables de la solubilidad del polímero en agua y de la formación de soluciones viscosas (Miled, 2001).

2.1.2. Los oligosacáridos. Los oligosacáridos se pueden dividir en dos grupos: los maltooligosacáridos (maltodextrinas) y los α -galactósidos, que incluyen los fructooligosacáridos, galactooligosacáridos, rafinosa, estaquiosa, verbascosa y ajugosa (Miled, 2001).

Los α -galactósidos son componentes importantes en las leguminosas, están compuestos por una sacarosa a la que se unen diferentes números de galactosas con enlaces $\alpha(1-6)$ (Miled, 2001).

La sacarosa es de alta digestibilidad en las aves pero los alfa-galactósidos no pueden ser digeridos en el intestino delgado, debido a la ausencia de $\alpha(1-6)$ galactosidasa endógena (Waldroup *et al.*, 2006).

2.1.3. Contenido de PNA y oligosacáridos en materias primas. Los cereales se caracterizan por ser materias primas ricas en almidón (entre 35 y 65%) y pobres en proteína (del 7 al 13%). Además contienen cantidades variables de PNA que pueden oscilar entre 7 y 15%, siendo fundamentalmente β -glucanos y arabinosilanos (Annison, 1991). Los β -glucanos se encuentran principalmente en la cebada y la avena, mientras que los arabinosilanos predominan en el centeno, el trigo y en menor medida en el maíz y el sorgo (García, 2000).

El maíz contiene 13.1% de PNA totales, 2.8% de solubles y 10.3% de insolubles. Dentro de los PNA del maíz se encuentran los arabinosilanos (2.8%), β -glucanos (0.1%) y celulosa (2.4%) (Camiruaga *et al.*, 2001). El nivel de arabinosilanos puede alcanzar un máximo de 5.2%, siendo más del 90% insoluble, como lo reportó Graham y Stobart (1990).

En cuanto a los granos secos de destilería con solubles (GSDS) de maíz, las características del producto final dependen de la calidad del producto inicial y de las condiciones del proceso (temperaturas y tiempo de cocción, destilación, deshidratación y granulado). En general, concentran entre 2.2 y 3 veces el contenido en fibra, proteína, extracto etéreo y cenizas (Blas *et al.*, 2007), por lo que se puede decir que la composición de los GSDS es tan variable como la del maíz a partir del cual se haga la fermentación.

Świątkiewicz y Koreleski (2006), reportaron que los GSDS de maíz utilizados en su investigación, contenían 26.5% de PNA, de los cuales 21.5% eran arabinosilanos y 0.32% β -glucanos.

De acuerdo con Hickling (2001) del Consejo Canadiense de la Canola, la pasta de esta oleaginosa contiene 16.1% de PNA, de los cuales el 1.4% son solubles y el 14.7% insolubles. Graham y Stobart (1990), reportaron un valor de 7.0% de celulosa y 11.5% de pectinas, en este ingrediente.

Según Waldroup *et al.* (2006), la pasta de soya contiene de 7.4 a 9.9% de sacarosa, de 3.6 a 4.8% de estaquiosa, de 0.7 a 1.1% de rafinosa y trazas de verbascosa; siendo el porcentaje de PNA totales de 19.2% (2.7% solubles y 16.5% insolubles), de celulosa 4.6% y de pectinas 14% (Graham y Stobart, 1990),

2.1.4. Respuesta a la alimentación con dietas altas en PNA. El uso de materias primas ricas en PNA solubles en la alimentación animal, ha sido limitado debido a las propiedades antinutricionales que los caracterizan, como son el encapsulamiento y la disminución de la digestibilidad de los nutrientes principalmente por el aumento en la viscosidad del contenido intestinal. Este encapsulamiento evita que las enzimas digestivas endógenas accedan al almidón, grasa y proteína contenida en los vegetales, causando una disminución de la energía metabolizable aparente (EMA) de la dieta y un incremento en la tasa de conversión alimenticia (Williams *et al.*, 1997).

El consecuente incremento en la viscosidad de las excretas, causa tránsito lento de la digesta que junto con el aumento en el consumo de agua, pueden contribuir a alcanzar un punto de saciedad mecánica más rápido que el energético, lo que resulta en bajas tasas de crecimiento (Hadorn, 1994).

2.2. LAS ENZIMAS

Las enzimas son proteínas de estructura tridimensional compleja, que actúan sobre sustratos específicos, en condiciones concretas de temperatura, pH, humedad, presencia de activadores o inhibidores y concentración de sustrato (Bühler *et al.*, 1998).

Son catalizadores biológicos muy eficaces, presentes en todos los sistemas vivos, los cuales aceleran en el organismo, hasta un millón de veces, diversas reacciones químicas que en condiciones normales sucederían lentamente o no se producirían (Bühler *et al.*, 1998).

Las enzimas no se consumen durante las reacciones catalíticas y una vez terminada la reacción, estas vuelven a su estado original, razón por la cual la cantidad necesaria de enzimas es muy pequeña en proporción a la cantidad de sustrato (Bühler *et al.*, 1998).

En la actualidad la producción de enzimas se hace a partir de microorganismos, principalmente hongos y bacterias, los cuales pueden sintetizar una gama muy amplia de enzimas hidrolíticas al ser sometidos a condiciones extremas (temperatura, pH, osmolaridad, etc). Con la ayuda de la ingeniería genética, se seleccionan y cultivan cepas capaces de sintetizar grandes cantidades de enzimas específicas (Bühler *et al.*, 1998), de interés en nutrición animal.

La suplementación de enzimas de origen exógeno en la alimentación de monogástricos, pretende suplir las deficiencias endógenas de los animales y con ello incrementar la digestibilidad y la disponibilidad de los nutrientes contenidos en los vegetales, permitiendo el uso de ingredientes alternativos (Brenes *et al.*, 1996; Piquer, 1996).

2.2.1. Acción enzimática sobre los PNA

2.2.1.1. Digestibilidad. Meng y Slominski (2005) probaron cuatro dietas isoprotéicas e isoenergéticas basadas en maíz en combinación con pasta de soya, pasta de canola y chícharos, con o sin la suplementación de las enzimas xilanas (1,000 U), glucanasa (400 U), pectinasa (1,000 U), celulasa (120 U), mananasa (280 U) y galactanasa (180 U) por kilogramo de dieta. Cuando se comparó con el tratamiento control, la adición de enzimas a la dieta basada en maíz mejoró la conversión alimenticia ($P < 0.05$), mientras el desempeño de las aves alimentadas con las otras tres dietas no se vio afectado. Además, un incremento ($P < 0.05$) en la digestibilidad de los PNA totales, del almidón en el íleon y de la EMAn (EMA corregida por nitrógeno) fue observado en las aves alimentadas con las dietas de maíz y maíz-soya suplementadas con enzimas. Sin embargo, estos mismos parámetros evaluados en dietas basadas en canola y chícharos no se afectaron por la suplementación ($P < 0.05$), indicando que el efecto enzimático en la EMAn cambia con el tipo de dieta.

Por otra parte, Méndez *et al.* (2009) realizaron dos experimentos, para evaluar un complejo enzimático que incluía: pectinasas (5000 PSV/g), β -glucanasas (50 FBG/g) y hemicelulasas (concentración no determinada), en dietas sorgo-soya para pollos, sobre la digestibilidad ileal de proteína, aminoácidos esenciales (AA), EM y comportamiento productivo. En el experimento 1, se utilizaron 240 pollitos Ross 308 de 1 a 21 días divididos en cuatro tratamientos: 1) Dieta testigo (sorgo+soya); 2) Dieta testigo+complejo enzimático (1 gramo/kg de pasta de soya; 3) Dieta con menor contenido de nutrientes (7 % de PC, AA y EM) y 4) Tratamiento 3 + complejo enzimático. En el experimento 2, se utilizaron los mismos tratamientos del experimento 1 en dietas de iniciación y finalización con 480 pollos Ross 308 de 1 a 49 días. En ambos, se utilizó un arreglo factorial 2x2, donde un factor fueron las dietas testigo sin y con reducción de nutrientes y otro factor con y sin la adición de complejo enzimático. En el primer experimento, la

ganancia de peso se afectó ($P < 0.05$) con dietas reducidas en nutrientes, mientras que el complejo enzimático, mejoró el crecimiento en las dietas suplementadas. Además, la digestibilidad ileal de AA con enzimas mejoró (3 %) en las dietas ($P < 0.05$) y la EM de la dieta reducida en nutrientes incrementó 6.5% ($P < 0.05$) con el complejo enzimático. Por su parte en el segundo experimento, se observó un menor crecimiento de las aves que recibieron las dietas bajas en nutrientes y una ganancia de peso similar a la dieta testigo, con la dieta reducida en nutrientes con enzimas. Los resultados indican que la inclusión del complejo enzimático, mejora el valor nutritivo de dietas sorgo+soya para pollos, por incremento en la digestibilidad de AA y EM.

Según Williams *et al.* (1997), el mejoramiento de la EMA de las dietas basadas en cereales y suplementadas con enzimas, es debido en mayor medida al aumento de la digestibilidad de nutrientes y no tanto a la disponibilidad directa de PNA como fuente de energía para las aves.

El efecto benéfico de la suplementación enzimática en dietas basadas en maíz es debido a la ruptura parcial del endospermo de la pared celular, la cual expone el almidón a una rápida digestión por parte de las enzimas del ave. El mejoramiento significativo de la digestión de los carbohidratos contribuye a un incremento en la energía disponible contenida. Además, el aumento en la digestión de los PNA por la suplementación enzimática produce azúcares libres, oligosacáridos y polisacáridos de bajo peso molecular, los cuales son disponibles para la fermentación microbiana en el ciego. Los ácidos grasos volátiles que resultan de esta fermentación son absorbidos y utilizados por el ave, contribuyendo a un pequeño incremento en la EMAn (Meng y Slominski, 2005).

2.2.1.2. Parámetros productivos. Varios estudios han demostrado el efecto benéfico de la adición de enzimas exógenas a dietas con contenidos altos en PNA

y oligosacáridos sobre el peso corporal, el consumo de alimento, la ganancia de peso, la conversión alimenticia e incluso la mortalidad.

Camiruaga *et al.* (2001) realizaron un experimento con pollos parrilleros de la línea Hubbard para determinar el efecto de la adición de enzimas exógenas a dietas basadas en maíz o triticale (D1 y D2). Se asignaron 240 pollos sin sexar de un día de edad, durante 28 días, a 8 tratamientos diferentes (T1-T8) con tres repeticiones cada uno: T1 y T2 sin adición de enzima; T3 y T4 con adición de celulasa (dosis: 200 g por tonelada de alimento), proteasa (dosis: 200 g/ton de alimento) y fitasa (dosis: 500 g/ton de alimento); T5 y T6 con adición de β -glucanasa (dosis: 1,000 g/ton de alimento) y fitasa (dosis: 500 g/ton de alimento); T7 y T8 con adición de fitasa solamente; no se menciona la actividad enzimática para ninguna de las combinaciones. La dieta basada en maíz correspondió a los tratamientos de número impar y la basada en triticale a los de número par. Se registró el consumo de alimento, el peso vivo, la ganancia de peso y la conversión de alimento. El mayor peso vivo y ganancia de peso observado en los pollos en T6 indica que la respuesta a la adición de β -glucanasa a la dieta es positiva sólo en presencia del sustrato específico de la enzima.

En un ensayo llevado a cabo por Wang *et al.* (2005) con dietas basadas en trigo y suplementadas con diferentes niveles de xilanas (6.225 U/g) y β -glucanasa (3,200 U/g), en concentraciones de 0, 200, 400, 600, 800 ó 1,000 mg/kg, se encontró que el peso corporal, el consumo de alimento diario, la ganancia de peso por día y la conversión alimenticia mejoraron ($P < 0.01$) a medida que se incrementó la dosis enzimática en el periodo de los 7 a los 21 días de edad. De los 22 a los 42 días, el peso corporal y la ganancia diaria de peso incrementaron linealmente ($P < 0.01$).

Así mismo, Mathlouthi *et al.* (2002b), evaluaron la suplementación o no de dietas basadas en maíz o trigo y cebada para aves de engorda de 3 a 25 días de edad.

Las dietas fueron adicionadas con 20 mg de complejo enzimático por kg de dieta, que contenía xilanasa (560 UI) y β -glucanasa (2,800 UI). La dieta basada en trigo y cebada que no fue suplementada mostró una reducción significativa ($P < 0.05$) en la ganancia de peso y en el consumo de alimento, así como un incremento en la tasa de conversión alimenticia comparado con la dieta basada en maíz. La adición de xilanasa y β -glucanasa a la dieta basada en trigo y cebada, redujo significativamente ($P < 0.05$) la viscosidad del contenido del intestino delgado y mejoró la ganancia de peso, el consumo de alimento y la conversión alimenticia.

En una prueba realizada por Cortés *et al.* (2002), se concluyó que la adición de 1 kg por tonelada de alimento de un complejo enzimático con α -amilasa (4,000 U/kg), xilanasa (3,000 U/kg) y proteasa (40,000 U/kg) a dietas estándares basadas en maíz o sorgo + pasta de soya y a dietas con menor contenido de proteína cruda (3%) y energía metabolizable (3%), mejoró significativamente ($P < 0.05$) la ganancia de peso y la conversión alimenticia en los pollos de engorda evaluados.

Por su parte, Waldroup *et al.* (2006), llevaron a cabo un estudio con pollos de engorda machos para evaluar el efecto de diferentes niveles de dosificación de α -galactosidasa en dietas basadas en maíz y soya. El control positivo se formuló sin hacer ajuste a la energía metabolizable (2,399 kcal/kg) de la soya y sin adición de enzima, mientras que el control negativo se formuló asumiendo un mejoramiento del 10% en la EM de la soya y se adicionó con 0, 1.5, 3.0, 4.5 y 6.0 g de enzima por kg de pasta de soya, equivalentes a 0, 45, 90, 135 y 180 unidades de galactosidasa por kg de pasta de soya, respectivamente. El peso corporal, la eficiencia alimenticia y la mortalidad no fueron afectados significativamente ($P < 0.05$) por los tratamientos.

En otro estudio realizado por Waldroup *et al.* (2005), se reportó que la adición o no de un complejo enzimático (tasa de inclusión: 0.05% por tonelada) compuesto de xilanasa (600 unidades/gramo), proteasa (8,000 U/g) y amilasa (800 U/g), a dietas

basadas en maíz-soya y suplementadas con α -galactosidasa (1.5 kg de enzima por tonelada de soya), no mostró un efecto aparente sobre los parámetros productivos de los pollos de engorda que recibieron las dietas, lo cual podría sugerir que no hubo efecto benéfico en la combinación de estas enzimas y que la α -galactosidasa puede requerir la adición concomitante de otras enzimas para lograr el resultado deseado.

Por otro parte, Graham *et al.* (2002) evaluaron el efecto enzimático de la adición de α -galactosidasa (4% de enzima por tonelada de soya en la relación volumen/peso con una concentración de 49.6 mg de proteína/ml) en la hidrólisis de la rafinosa y la estaquiosa de la soya sobre la concentración de oligosacáridos en las heces y el desempeño productivo de pollos alimentados con dietas maíz-soya. La ganancia de peso, el consumo de alimento diario y la conversión alimenticia entre los grupos de aves que recibieron los tratamientos, no mostraron diferencias estadísticas significativas ($P>0.05$) debidas a la adición de la α -galactosidasa.

Kidd *et al.* (2001), evaluaron el desempeño de pollos de engorda de las estirpes Peterson×Arbor Acres y Ross×Ross 308 que recibieron dietas basadas en maíz-soya, suplementadas principalmente con α -galactosidasa (175 a 255 UI/g) y con menor actividad de las enzimas α -amilasa, β -glucanasa, proteasa, xilanasas y celulasa (no se menciona la actividad de estas enzimas). Hasta el día 28 de vida, las aves no mostraron mejoramiento en el peso corporal ni en la conversión alimenticia, concluyendo que los resultados pueden variar según el nivel de actividad de las enzimas y la habilidad de las aves para hidrolizarlas.

2.2.1.3. Morfología intestinal. La alimentación de aves con dietas basadas en centeno, reduce la capacidad de las vellosidades intestinales para la absorción de nutrientes y la concentración del ácido biliar para emulsificar y solubilizar las grasas, lo que resulta en una disminución del desempeño productivo. La adición

de una preparación enzimática con xilanasas (560 UI) y β -glucanasa (2,800 UI) a una razón de 20 mg/kg de dieta basada en centeno, mejoran la ganancia de peso, el consumo de alimento y la eficiencia alimenticia ($P < 0.05$). La digestión de los nutrientes y de la EMA también se incrementan ($P < 0.05$) con las dietas suplementadas con enzimas, así como el tamaño de las vellosidades intestinales (de 579 μm a 770 μm a los 22 días de edad) y la relación longitud de vellosidad - profundidad de cripta (3.73 a 4.62) (Mathlouthi *et al.*, 2002a).

De igual manera, la longitud (de 568 a 610 μm) y la anchura (de 390 a 432 μm) de las vellosidades ileales a los 42 días de edad, aumentan significativamente ($P \leq 0.001$) en aves alimentadas con una dieta a base de maíz, pasta de soya, harina de pescado y agua suplementada con *E. coli* productora de α -amilasa (8.9 unidades Somogyi de actividad intestinal), comparado con la dieta control, lo cual permite tener una mayor superficie de absorción y por ende un mejoramiento en la digestibilidad de los nutrientes (Onderci *et al.*, 2006).

En general, la inclusión de enzimas exógenas altera de una manera benéfica y significativa la morfología de los diferentes segmentos del tracto gastrointestinal comparado con las dietas sin suplementar (Wang *et al.*, 2005).

2.2.1.4. Viscosidad. Una disminución en la concentración de oligosacáridos de dietas formuladas con cereales, puede potencialmente reducir la viscosidad de la digesta, facilitar el acceso de las enzimas digestivas a los sustratos y una absorción más rápida de nutrientes en la mucosa intestinal, lo que resulta en un aumento de la digestibilidad de la dieta (Graham *et al.*, 2002).

En un estudio realizado por Hadorn *et al.* (2001), en aves que recibieron dietas basadas en trigo y adicionadas con un complejo enzimático (0 ó 130 ppm) que contenía: celulasa, β -glucanasa y xilanasas, la viscosidad del contenido del yeyuno fue baja comparada con el grupo testigo.

La utilización de enzimas digestivas a dietas con PNA reduce significativamente la viscosidad y la humedad de la excretas, siendo más efectivo el tratamiento en aves jóvenes susceptibles a recibir alimentos con PNA que en adultos (Williams *et al.*, 1997).

3. JUSTIFICACIÓN

Durante las últimas décadas, la edad al mercado de los pollos de engorda se ha reducido en aproximadamente un día por año, lo que se ha convertido en un reto para los avicultores que deben procurar un adecuado manejo en granja, así como una nutrición y alimentación acorde a los requerimientos de las aves para alcanzar el mejor desempeño productivo en el menor tiempo.

Este propósito puede ser alcanzado con un balance de nutrientes acorde a los requerimientos por etapa de crecimiento, junto a un incremento en la tasa de digestión y absorción en el tracto gastro-intestinal. Dentro de este contexto, se han logrado importantes avances con el uso de suplementos y aditivos que contribuyen a mejorar la digestibilidad, como es el caso de las enzimas (carbohidrasas, lipasas, proteasas, fitasas), cuyos trabajos han mostrado las ventajas de su uso en las dietas para animales basadas principalmente en fuentes de alimento vegetal.

Este trabajo propone evaluar la adición de un complejo enzimático (CE) que contiene: α -galactosidasa (25,000 U/kg), endo- β -glucanasa (75,000 U/kg) y endo-xilanasa (2,000,000 U/kg), a dietas basadas en maíz, pasta de soya, canola y GSDS. La primera propuesta es adicionar a la dieta testigo, la cantidad de CE recomendado por la casa productora (500 g/ton); en segundo lugar, hacer un ajuste del 3% a la EM, 2% a la proteína cruda y 2% a los aminoácidos (lisina, metionina y treonina) de los cuatro macro ingredientes de las dietas y por último, hacer un ajuste del nivel de inclusión del CE por cantidad de pasta de soya, en comparación con la forma convencional de suministro, la cual adiciona el producto enzimático en la misma cantidad que sugiere la casa productora durante todas las etapas sin hacer distinción sobre la cantidad de sustrato disponible.

Lo anterior para evaluar el efecto del ajuste en dietas tipo comercial sobre los parámetros productivos: Peso corporal, conversión alimenticia, consumo de alimento, mortalidad y parámetros morfológicos: Resistencia de intestino, longitud de vellosidades intestinales, pH intestinal en duodeno, yeyuno e ileon, longitud de tarso, resistencia de tarso y pigmentación de la piel que favorecen el desempeño productivo de los pollos de engorda.

4. HIPÓTESIS

El complejo enzimático adicionado a las dietas hace más disponibles los polisacáridos no amiláceos y oligosacáridos del maíz, pasta de soya, canola y GSDS, lo cual permite modificar la concentración nutricional de los ingredientes y realizar un ajuste a la cantidad de CE adicionado según la cantidad de sustrato por etapa alimenticia. Se espera que el efecto sobre los parámetros productivos y morfológicos de los pollos de engorda sea el mismo entre tratamientos, comprobando que la liberación de nutrientes hecha por las enzimas, cubre los ajustes reductivos hechos a los tratamientos.

5. OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar la inclusión de un complejo enzimático (α -galactosidasa, β -glucanasa y xilanasa) en dietas tipo comercial (maíz, pasta de soya, canola y GSDS) para pollos de engorda, haciendo un ajuste nutricional a la composición de los ingredientes y un ajuste al nivel de inclusión del CE por etapa alimenticia según la cantidad de sustrato en las dietas, sobre la respuesta en los parámetros productivos y parámetros morfológicos de las aves.

Objetivos específicos

- Evaluar la influencia de los tratamientos sobre el desempeño productivo de las aves, en parámetros como peso corporal, consumo de alimento, conversión alimenticia y mortalidad.
- Valorar el efecto de las dietas adicionadas con CE, sobre la resistencia del intestino delgado.
- Evaluar la influencia del CE sobre el crecimiento, teniendo como referencia la resistencia del tarso y la longitud del tarso.
- Valorar el efecto del CE sobre pH del contenido intestinal a nivel del duodeno, yeyuno e íleon de las aves.
- Establecer las diferencias en la longitud de las vellosidades intestinales del duodeno, yeyuno e íleon de las aves que reciban los tratamientos.

- Determinar la influencia de la adición de CE a las dietas, sobre la pigmentación de la piel en la canal enfriada, 24 horas después del sacrificio.
- Valorar el efecto del ajuste a la dosis de CE por tonelada de alimento de acuerdo a la cantidad de sustrato por etapa alimenticia sobre el desempeño productivo de las aves.
- Demostrar que las enzimas son capaces de liberar mayor cantidad de nutrientes de los ingredientes, con respecto a la dieta no adicionada, cubriendo los ajustes reductivos hechos a los tratamientos.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

La prueba biológica se llevó a cabo en una granja experimental ubicada en el estado de Michoacán, México a 19°41' N y 101°11' O, a una altura de 1,941 m.s.n.m. con clima templado húmedo de acuerdo a la clasificación modificada de Köppen y una temperatura media de 17.5 °C (García, 1973).

Se emplearon 1,200 pollos de engorda mixtos de la línea genética Ross 308 distribuidos aleatoriamente en 4 tratamientos con 3 repeticiones de 100 aves cada una.

Las aves fueron alojadas en casetas de ambiente natural sobre piso de cemento cubierto con paja de trigo en corrales de 4.0 x 2.5 metros, divididos por repetición y con capacidad para 100 animales cada corral.

El periodo de evaluación fue de 0 a 46 días de vida teniendo en cuenta la división por etapas en: Iniciación de 0 a 21 días, Crecimiento de 22 a 35 días y Finalización de 36 a 46 días de edad. Las aves tuvieron libre acceso al alimento en presentación de harina y al agua durante todo el periodo.

Las dietas fueron elaboradas siguiendo las recomendaciones nutricionales por etapa productiva para pollos de engorda mixtos de la línea Ross 308 (Anexo 1) y se formularon con macroingredientes comúnmente utilizados en México en la alimentación de aves: Maíz, pasta de soya, canola, GSDS, en menor cantidad harina de carne y como fuente concentrada de energía, aceite de soya.

Después de la adición del CE al alimento, se evaluó su presencia mediante una prueba cualitativa que consistió en añadir alimento en harina a un tubo de ensayo que contenía una pastilla de hemicelulosa insoluble de trigo (xilanos) más un

pigmento de color azul, hasta la marca de 5 ml. Posteriormente se agregó una solución amortiguadora para alimento hasta completar un volumen de 20 ml, se dejó reposar por 90 minutos a una temperatura promedio de 19°C, agitando cada media hora. La presencia del CE en el alimento se confirmó, después de los 90 minutos cuando aparecieron en el alimento fragmentos teñidos de color azul como indicativo de que las enzimas presentes en el alimento habían actuado sobre los xilanos del trigo (<http://www.novusint.com/>).

6.1. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se empleó un diseño completamente al azar con 1,200 animales sin sexar de la línea Ross 308 de 1 día de edad, distribuidos en 4 tratamientos con 3 repeticiones de 100 aves cada una.

6.2. DISEÑO DE TRATAMIENTOS

Los tratamientos evaluados fueron los siguientes:

- 1) Tratamiento testigo (TT) con contenidos nutricionales de acuerdo a las recomendaciones de la línea Ross 308 por etapa alimenticia sin la incorporación de CE.
- 2) TT + 500 g de CE / tonelada de alimento.
- 3) TT con ajuste nutricional, disminuyendo 3% la energía metabolizable, 2% la proteína cruda y 2% los aminoácidos (lisina, metionina y treonina) a cada macro-ingrediente de la dieta (maíz, pasta de soya, canola y GSDS) + 500 g de CE/ tonelada de alimento. El ajuste se hizo con base en pruebas anteriores hechas con este complejo enzimático y con base en la revisión

de literatura que sugiere que las carbohidrasas son capaces de liberar estos porcentajes de nutrientes de los sustratos.

- 4) TT con ajuste de la dosificación del CE de acuerdo al contenido de α -galactosidos en la pasta de soya adicionada a las distintas etapas de alimentación (iniciación: 500 gramos de CE/ton de alimento, crecimiento: 465 g CE/ton de alimento y finalización: 310 g CE/ton de alimento).

En los Anexos 2, 3 y 4 se muestran las dietas por etapa alimenticia para cada uno de los tratamientos.

En el tratamiento 4, el ajuste a la dosis de CE se hizo con base en la cantidad de pasta de soya utilizada en las dietas de iniciación, crecimiento y finalización. Para conocer la cantidad estimada de sustrato para la enzima alfa-galactosidasa, se multiplicó el valor promedio de los oligosacáridos (rafinosa: 7.785 g/kg y estaquiosa: 36.85 g/kg) contenidos en el ingrediente por los kilogramos de pasta de soya en cada dieta.

Además, se calculó el porcentaje de disminución del ingrediente por etapa alimenticia de la manera que se explica a continuación. En la dieta de iniciación se emplearon 230.8 kg de pasta de soya, en la de crecimiento 213.5 kg y en finalización 142.5 kg, representando una disminución porcentual del ingrediente de 7.31% en la dieta de crecimiento y de 38.27% en la dieta de finalización con respecto a la de iniciación que se consideró como el 100%.

Finalmente, para estimar el ajuste a la dosis de CE, se tuvo en cuenta el porcentaje calculado anteriormente y la dosis de CE recomendada por la casa productora (500 g/ton alimento). Así, para la etapa de iniciación, se determinó la adición de la dosis completa (500 g de CE) por tonelada de alimento y para las siguientes etapas, se calculó la cantidad de CE con base en el porcentaje de

disminución de la pasta de soya, teniendo para crecimiento una dosis de 463.5 g/ton (-7.31%) y para finalización de 308.7 g/ton (-38.27%), como se muestra en el Anexo 5.

6.3. VARIABLES EVALUADAS

6.3.1. Parámetros productivos. Se evaluaron semanalmente y se obtuvo el promedio por tratamiento para cada variable.

- **Peso corporal (PC):** Se determinó al día de edad y al final de cada semana como un promedio de las aves de cada repetición dentro de cada tratamiento.
- **Consumo de alimento (CONA):** Se calculó por diferencia entre el alimento ofrecido y el no consumido en cada período.
- **Conversión alimenticia (CA):** Se obtuvo dividiendo el consumo de alimento entre el peso corporal promedio de cada período menos el peso inicial del pollito.
- **Porcentaje de mortalidad general (MORT):** Se determinó dividiendo el número de aves muertas en el periodo entre el número de aves iniciales y multiplicado por 100.

6.3.2. Parámetros morfológicos. La metodología que se siguió para valorar los parámetros morfológicos (resistencia de intestino, longitud de vellosidades intestinales, pH intestinal en duodeno, yeyuno e ileon, longitud de tarso, resistencia de tarso y pigmentación de la piel) fue la siguiente: Se eligieron al azar 4 pollos (2 machos y 2 hembras) por repetición para un total de 12 aves por tratamiento al final de las etapas de crecimiento y finalización. El día 21 se pesó individualmente cada animal de la muestra después de un ayuno de 12 horas y

posteriormente se sacrificaron por dislocación cervical; el día 46, se procedió de la misma manera, pero el sacrificio se hizo por degüello con base en la NOM-033-ZOO-1995 de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SAGARPA).

Después del sacrificio, a cada ave se le hizo una incisión transversal en el abdomen y un corte longitudinal a cada lado de los cartílagos intercostales para dejar expuestas las vísceras; posteriormente, se realizó un corte en la línea craneal del proventrículo y otro en el proctodeo, de esta porción se obtuvieron las muestras para histología y resistencia de intestino.

- Longitud de vellosidades intestinales (LV): Las muestras de intestino delgado empleadas para medir la longitud de vellosidades, consistieron en cortes de 1.5 cm de largo de cada sección del intestino, siguiendo los siguientes criterios: Parte media del asa descendente del duodeno, parte anterior al divertículo de Meckel y zona anterior a la unión íleo-cecal que corresponden a las secciones de duodeno, yeyuno e íleon, respectivamente.

Las muestras se fijaron por inmersión en formalina amortiguada al 10% (pH 7,4) por un periodo mínimo de 24 horas. Posteriormente, se procesaron con la técnica de rutina para histología, se embebieron en parafina, se realizaron cortes de 4 µm de grosor y se tiñeron con Hematoxilina y Eosina (H-E) para su observación (Prophet *et al.*, 1995).

La longitud de vellosidades intestinales, expresada en micrómetros, se midió desde el límite de la capa muscular interna de la mucosa y la lámina propia hasta el borde del epitelio en la parte apical de las vellosidades, utilizando un microscopio óptico digital y el programa *Motic Images Advanced 3.1*. La medición se hizo a 10 vellosidades por corte, escogidas al azar y con las cuales se cálculo el promedio por sección de intestino (Ordenci *et al.*, 2006).

- pH intestinal (pH): Los días 21 y 46 de vida se midió el potencial de hidrógeno del contenido intestinal del duodeno, yeyuno e íleon. Se tomó en promedio 2 g de muestra en un frasco de vidrio limpio, se añadió 10 ml de agua destilada, se homogenizó la muestra y se procedió a tomar la lectura del pH con un potenciómetro Hanna HI 8314 (Straw *et al.*, 1991).
- Resistencia de intestino (RI): Se tomó una muestra de intestino de 5 cm de longitud, 2.5 cm antes del divertículo de Meckel y 2.5 cm posterior a este para medir la resistencia en pascales con un tensiómetro IMADA AV110. La medición se hizo al final de las etapas de crecimiento y finalización.
- Longitud de tarso (LT) y resistencia del tarso (RT): Los días 21 y 46 de vida se extrajo el tarso izquierdo y se midió con un calibrador (“vernier”) la longitud en milímetros del hueso desde la almohadilla plantar hasta la zona superior de su articulación con la tibia (Dekalb, 1995). Posteriormente se midió la resistencia a la ruptura, expresada en pascales, con un tensiómetro IMADA AV110.
- Pigmentación de piel (PP): Se midió la pigmentación en la piel de la pechuga en la zona de pterilos utilizando un Colorímetro de Reflectancia Minolta CR-300 en la escala CIELab* (Martínez *et al.*, 2004). El parámetro que se tuvo en cuenta fue el grado de amarillamiento (b^*), por la influencia del pigmento adicionado a las dietas en el color de la piel. La escala de medición fue de -60 (azul) a +60 (amarillo). Las canales fueron sumergidas en tinas con hielo después del sacrificio, donde permanecieron 24 horas antes de la lectura

6.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos obtenidos, se analizaron con el programa “Statistical Package for the Social Sciences, 2004” teniendo en cuenta una significancia para los modelos de 0.05.

Para evaluar el efecto de los tratamientos sobre las variables productivas, se analizaron los datos con un modelo completamente al azar que se describe a continuación:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Son las observaciones del peso corporal, el consumo de alimento y la conversión alimenticia de la j-ésima unidad experimental que recibió el i-ésimo tratamiento.

μ = La media general.

τ_i = El efecto del i -ésimo tratamiento.

ε_{ij} = El error experimental.

Cuando se rechazó la hipótesis nula, se utilizó la prueba de Tukey para comparación de medias.

Como el porcentaje de mortalidad semanal no cumplió con el supuesto de normalidad, los datos se analizaron con una regresión logística basada en la razón de Momios utilizando un nivel de confianza del 95% (Dominguez y Aldana, 2001).

$$\text{Razón de Momios: } \ln (p/1-p) = a + b * T$$

Donde:

p = El porcentaje de mortalidad

a y b = Los parámetros del modelo

T = Los tratamientos

Por otra parte, las variables morfológicas se analizaron utilizando un modelo mixto que contempló tanto el efecto aleatorio de las repeticiones como el efecto fijo del tratamiento y del sexo. El modelo se describe a continuación:

$$Y_{ijkl} = \mu + \tau_i + Rep_{j(i)} + Sx_k + Sx*Trat_{ki} + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} = Son las observaciones de la resistencia de intestino, la longitud de vellosidades intestinales, el pH intestinal, la longitud de tarso, la resistencia de tarso y la pigmentación de la piel del k -ésimo sexo que recibió el i -ésimo tratamiento en la j -ésima repetición.

μ = La media general.

τ_i = El efecto fijo del i -ésimo tratamiento.

$Rep_{j(i)}$ = El efecto aleatorio de la j -ésima repetición anidada dentro del i -ésimo tratamiento.

Sx_k = El efecto fijo del k -ésimo sexo.

$Sx*Trat_{ki}$ = La interacción del k -ésimo sexo con el i -ésimo tratamiento.

ε_{ijkl} = El error experimental.

7. RESULTADOS

7.1. PARÁMETROS PRODUCTIVOS

Los promedios de los parámetros productivos semanales: Peso corporal, consumo de alimento y conversión alimenticia no mostraron, en el análisis de varianza del modelo completamente al azar, diferencias estadísticas significativas ($P>0.05$) entre los 4 tratamientos a lo largo del período experimental (Cuadro 1).

El día 1 de edad, el peso promedio de las aves fue 45.0 gramos y al final de la primera semana, la media de los cuatro tratamientos fue 124.1 g, siendo el grupo de aves que recibió el tratamiento 4 el que logró el mayor peso corporal con 127.1 g, seguido por el 2 con 123.6 g, el 3 con 123.4 g y finalmente el 1 con 122.1 g. En la segunda semana, el promedio de los cuatro tratamientos fue: 299.35 g, el mayor valor lo alcanzó el grupo 4 con 304.0 g, seguido por el grupo 2 con 301.5 g, el 1 con 297.6 g y el 3 con 294.3 g. El último día de la tercera semana, las aves tuvieron un peso promedio para los tratamientos 1 a 4 de 597.4 g, 622.9 g, 607.6 g y 626.3 g, respectivamente; el promedio de los cuatro tratamientos fue de 613.55 g. En la cuarta semana, se registraron en orden descendente los siguientes pesos: 1036.5 gramos para el tratamiento 4, 1029.3 g para el 2, 1020.2 g para el 3 y 1006.1 g para el 1, con una media para los cuatro tratamientos de 1023.0 g. Al finalizar la quinta semana, el grupo de aves que recibió el tratamiento 4 alcanzó el mayor peso corporal con 1578.8 g, seguido por el 2 con 1568.8 g, el 1 con 1561.5 g y el 3 con 1546.9 g; el promedio de los cuatro tratamientos fue: 1564.0 g. Por último, el peso corporal promedio de la sexta semana fue respectivamente para los tratamientos 1 a 4: 2304.0 g, 2327.5 g, 2324.7 g y 2303.7 g, siendo el promedio para los cuatro tratamientos de 2314.9 gramos.

En cuanto al consumo de alimento acumulado por ave en la primera semana fue en promedio de 107.2 g, 105.0 g, 109.2 g y 109.3 g para los tratamientos 1 a 4 respectivamente, mientras que el promedio para los cuatro fue de 107.7 gramos. En la segunda semana, el grupo de aves que recibió el tratamiento 2 tuvo el mayor consumo con 374.2 g, seguido por el 3 con 374.0 g, el 1 con 369.8 g y el 4 con 372.3 g; el promedio para los cuatro tratamientos fue: 372.6 g. El consumo promedio en la tercera semana fue más alto (867.0 g) en el tratamiento 3 y más bajo (842.6 g) en el 1, teniendo los tratamientos 2 (865.5 g) y 4 (857.2 g) consumos intermedios y siendo el promedio para los cuatro tratamientos de 858.1 g. En la cuarta semana, el promedio para el tratamiento 1 fue 1521.5 g, para el 2: 1535.3 g, para el 3: 1559.6 g y para el 4: 1561.6 g; con una media para los cuatro tratamientos de 1544.5 g. El consumo de alimento promedio por ave en la quinta semana fue 2442.9 g, 2472.2 g, 2528.1 g y 2494 g para los tratamientos 1 a 4 respectivamente y el promedio para los cuatro de 2484.3 g. Finalmente, en la sexta semana, el tratamiento 3 tuvo el mayor consumo de alimento por ave con 3816.2 g y en orden descendente los tratamientos 2 con 3754.3 g, 1 con 3747.0 g y 4 con 3711.33 g; con una media para los cuatro tratamientos de 3757.2 g.

La conversión alimenticia para la primera semana de vida fue igual en los tratamientos 1 y 3 (0.88) comparado con los tratamientos 2 (0.85) y 4 (0.86), siendo el promedio para los cuatro tratamientos de 0.87. En la segunda semana, el tratamiento 4 presentó la menor CA con 1.23 y la mayor el 3 con 1.27, los tratamientos 1 y 2 tuvieron la misma CA (1.24); la media de los cuatro tratamientos fue 1.25. El promedio para la tercera semana fue en orden ascendente 1.37 para el tratamiento 4, 1.39 para el 2, 1.41 para el 1 y 1.43 para el 3; el promedio de los cuatro tratamientos fue 1.4. A la cuarta semana, la conversión promedio para el grupo de aves de los tratamientos 1 y 4 fue 1.51, para el 2 de 1.49 y el 3 de 1.53, siendo el promedio para los cuatro tratamientos de 1.51. Para la quinta semana, la CA del tratamiento 2 y 4 fue en promedio de 1.58, para las aves de los tratamientos 1 y 3 fue respectivamente, 1.56 y 1.63; la media de los cuatro

tratamientos fue 1.59. Por último, en la sexta semana se tuvieron los promedios más bajos en los tratamientos 2 y 4 con 1.61 y los más altos en los tratamientos 1 (1.63) y 3 (1.64), siendo el promedio de los cuatro tratamientos de 1.62.

El porcentaje de mortalidad acumulada a la sexta semana fue respectivamente para los tratamientos 1 a 4: 17.3%, 21,3%, 11.6% y 22.6%. Las muertes debidas al síndrome ascítico solo se presentaron en los tratamientos 2 y 4 a partir de la tercera semana de vida, siendo de 4% y 9%, respectivamente. Para determinar las diferencias entre tratamientos, los datos se sometieron a un análisis de regresión logística basado en la razón de Momios y se estableció que los grupos de aves que recibieron los tratamientos 1, 2 y 4 no mostraron diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$) entre si, pero al compararlo con el 3 se detectaron diferencias. En el Cuadro 2 se muestran los valores del análisis de regresión logística para mortalidad; para la interpretación se debe tomar como punto de referencia el tratamiento 1 y el Exp (B) como estimador de la cantidad de veces que incrementa o disminuye la mortalidad si los animales reciben el tratamiento 2, 3 o 4 en lugar del 1.

7.2. PARÁMETROS MORFOLÓGICOS

Las medias de las variables morfológicas evaluadas los días 21 y 46, no presentaron diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$) entre tratamientos en el análisis de varianza del modelo mixto (Cuadros 3 y 4).

El peso corporal evaluado en aves mixtas en el muestreo del día 21 de vida fue de 591.15 gramos y el día 46 de 2,581 g en promedio para los 4 tratamientos. El día 21 no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$) debidas al sexo ni a la interacción tratamiento*sexo pero el día 46 se encontró un efecto significativo del sexo con una $P = 0.0001$, siendo el peso promedio para las hembras de 2,291 g \pm 0.039 E.E. y para los machos de 2,871 g \pm 0.039 E.E.

El promedio de la resistencia de intestino medida en pascales (Pa) a los 21 días no mostró diferencias significativas entre tratamientos y fue de 0.235 Pa, mientras que el día 46, el promedio de la variable fue 0.465 Pa.

El día 21, el sexo tuvo efecto sobre la RI con una $P= 0.004$ siendo los machos, los que mayor resistencia mostraron con un promedio de $0.259 \text{ Pa} \pm 0.013 \text{ E.E.}$ comparado con las hembras que tuvieron $0.208 \text{ Pa} \pm 0.013 \text{ E.E.}$ El día 46 de vida no se observó ningún efecto del sexo ni del tratamiento sobre esta la variable.

El pH del contenido intestinal de los pollos evaluados mostró valores cercanos al punto neutro ($\text{pH}=7$), en un rango de 6.1 a 7.9 en las tres porciones de intestino, obteniendo una mayor frecuencia de valores por arriba de 7 en el íleon. No se encontraron diferencias estadísticas significativas ($P>0.05$) debidas al tratamiento, al sexo ni a la interacción para el pH del contenido intestinal en ninguno de los muestreos.

La media de la longitud de tarso al día 21 para los 4 tratamientos fue 59.0 mm y para el día 46 fue de 103.25 mm. El día 21 no hubo efecto estadístico ($P>0.05$) del tratamiento ni del sexo sobre la expresión de la variable. El día 46, la LT se vio influenciada por el sexo con una $P=0.0001$, siendo el promedio para las hembras de $100.9 \text{ mm} \pm 0.549 \text{ E.E}$ y para los machos de $105.63 \text{ mm} \pm 0.549 \text{ E.E.}$ La interacción tratamiento*sexo, también influyó sobre el comportamiento de la variable con una $P=0.048$; los promedios para las hembras fueron: 100.6 mm, 101.9 mm, 98.7 mm y 102.4 mm $\pm 1.098 \text{ E.E.}$ mientras que para los machos fueron: 104.5 mm, 108.7 mm, 105.3 mm y 104,1 mm $\pm 1.098 \text{ E.E.}$ para los tratamientos 1 a 4 respectivamente.

El promedio de la resistencia de tarso a los 21 días de edad fue 11.23 Pa y el día 46 de 23.9 Pa para los 4 tratamientos. Para la variable RT el día 21, no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($P>0.05$) debidas al tratamiento,

al sexo ni a la interacción pero el día 46 se observó un efecto significativo del sexo con una $P=0.006$, mostrando un promedio para las hembras de $20.6 \text{ Pa} \pm 1.66 \text{ E.E.}$ y para los machos $27.3 \text{ Pa} \pm 1.66 \text{ E.E.}$

Para la longitud de vellosidades de duodeno, yeyuno e íleon, el promedio de la variable no presentó diferencias estadísticas significativas ($P>0.05$) entre tratamientos en ninguno de los muestreos realizados. A los 21 días, la media de las vellosidades del duodeno fue de $1,800 \mu\text{m}$, las de yeyuno de $1,073 \mu\text{m}$ y las del íleon de $717 \mu\text{m}$. El día 46, el promedio de longitud de las vellosidades del duodeno fue $2,010 \mu\text{m}$, del yeyuno $1,076 \mu\text{m}$ y del íleon de $647 \mu\text{m}$. En términos generales la longitud promedio de las vellosidades del yeyuno representan el 53.5% y las del íleon el 32.2% de las vellosidades del duodeno.

El día 46 no hubo efecto estadístico ($P>0.05$) del tratamiento, del sexo ni de la interacción sobre la longitud de vellosidades intestinales mientras que el día 21, la LV del duodeno se vio influenciada por el sexo con una $P = 0.029$, mostrando un promedio para las hembras de $1,731 \mu\text{m} \pm 48.33 \text{ E.E.}$ y para los machos de $1,870 \mu\text{m} \pm 48.33 \text{ E.E.}$

El valor promedio de amarillamiento (b) fue 45.45 para los 4 tratamientos y este no se vio afectado estadísticamente ($P>0.05$) por el tratamiento, el sexo ni la interacción tratamiento*sexo.

En los cuadros 5 y 6, se resumen los valores promedio y los errores estándar (E.E.) de los parámetros morfológicos al día 21 y 46 de edad.

Para determinar el grado de asociación entre las variables morfológicas evaluadas en el periodo experimental, se calculó el coeficiente de correlación de Pearson y se encontró el día 21 evidencia estadística suficiente ($P<0.05$) para determinar la

asociación entre el PC y la RI en 38.0%, el PC y la LT en 79.6%, el PC y la RT en 35.5%, la RI con la LT y la RT en 33.5% y 33.8% respectivamente. La LT y la LVi en 28.9%, la LVD y la LVY en 34.7%, la LVD y la LVI en 36.4% y por último la LVY y la LVI en 62.1%.

El día 46 se encontró una correlación entre el PC y la LT del 75.9% y entre el PC y la RT de 48.8%, además hubo evidencia estadística suficiente para determinar la correlación entre la RI y la RT de 31.1%, la RI y la LVY de 28.8% y la LT con la RT en 41.7%.

8. DISCUSIÓN

8.1. PARÁMETROS PRODUCTIVOS

En términos generales, la adición de enzimas digestivas exógenas a dietas destinadas a la alimentación de monogástricos, resultan en efectos benéficos para la producción, como lo demuestran varios estudios realizados en pollos de engorda en los que se han incluido materias primas vegetales con elementos poco digestibles y la adición de complejos enzimáticos basados en carbohidrasas, proteasas, lipasas y/o fitasas.

Las carbohidrasas que funcionan como catalizadores específicos de oligosacáridos y PNA contenidos en los granos, tienen como función aumentar el valor nutritivo y la densidad energética de la dieta, además de disminuir la excreción de material no digerido. Esto se logra por medio de la reducción en la viscosidad del contenido intestinal, la velocidad de tránsito de la digesta, la ruptura de la cápsula que envuelve las sustancias nutritivas y el aumento de la superficie intestinal, facilitando la absorción de nutrientes y resultando en un mejor desempeño productivo. Además, las enzimas tienen la propiedad de mejorar la consistencia de las excretas, disminuyendo la humedad y viscosidad, evitando así las lesiones en patas por contacto con camas en mal estado.

En el presente estudio, se observó que como resultado de la inclusión de un CE que contenía α -galactosidasa, β -glucanasa y xilanasa en dietas para pollos de engorda formuladas con maíz, pasta de soya, canola y GSDS, no hubo diferencias estadísticas significativas ($P>0.05$) entre los tratamientos sobre los parámetros productivos (peso corporal, consumo de alimento y conversión alimenticia).

Lo anterior demuestra que las enzimas adicionadas a los tratamientos 3 y 4, con el ajuste al contenido de nutrientes de los macroingredientes y con el ajuste a la dosis de CE por cantidad de sustrato, aumentaron la disponibilidad de nutrientes en las dietas, permitiendo a las aves de estos grupos tener un desempeño productivo estadísticamente igual al tratamiento testigo ($P>0.05$).

Meng y Slominski (2005) comentan que el mejoramiento en la eficiencia alimenticia y la disponibilidad del almidón en aves alimentadas con dietas basadas en maíz es debido a la degradación de la pared celular por las enzimas, lo que causa un incremento significativo ($P<0.05$) en la concentración de PNA solubles en agua y una disminución en los insolubles en la digesta del íleon.

En el tratamiento 2, se formularon las dietas con base en los requerimientos de la estirpe más la adición de CE en las cantidades sugeridas por la casa productora (500 g/ton de alimento), por lo que debía haberse alcanzado un mejor desempeño productivo en las variables evaluadas al compararlo con los tratamientos ajustados (3 y 4) y el testigo, ya que la cantidad de nutrientes disponibles para los animales estaba sobreestimada con respecto a los requerimientos por etapa alimenticia.

La acción de las enzimas en este tratamiento pudo verse afectada por varias razones, entre las que se destacan: el nivel de actividad de las enzimas, la habilidad de las aves para hidrolizarlas, que las enzimas no sean específicas para el sustrato, que la cantidad de enzima adicionada a las dietas no sea suficiente o que se haga una sobreestimación de los niveles adicionales de nutrientes que una enzima puede liberar de un sustrato.

Por otra parte, en este estudio no se encontraron diferencias estadísticas ($P>0.05$) debidas al sexo sobre la ganancia de peso al día 21 de edad, pero si se encontró un efecto al día 46 con una $P<0.01$, presentando un promedio de 2,291 g para las hembras y de 2,871 g para los machos. Esto lo respalda el estudio hecho por

Hadorn *et al* (1994), quienes evaluaron el efecto de adicionar un complejo enzimático con: celulasa (8,000 U/kg), β -glucanasa (18,000 U/kg) y xilanasas (26,000 U/kg) a dietas basadas en trigo sobre el desempeño de pollos de engorda con un diseño 2x2, en el que los factores fueron: la enzima (0 ó 130 ppm) y el sexo (macho o hembra), demostrando que la ganancia de peso de las aves fue influenciada significativamente por la adición del complejo enzimático así como por el sexo, teniendo machos 16.4% más pesados que las hembras al día 41 de edad.

Según, el análisis de regresión logística basado en la razón de Momios, al que se sometieron los porcentajes de mortalidad acumulada de este estudio, no hubo diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$) entre los tratamientos 1 (17.3%), 2 (21.3%) y 4 (22.6%), pero sí con el 3 (11.6%). Sin embargo, estas diferencias no pueden ser atribuibles a las dietas suministradas, ya que no se observaron cambios en los parámetros productivos ni morfológicos debidos a los tratamientos que pudieran sugerir un efecto positivo o negativo del CE sobre el desempeño animal y por ende sobre la mortalidad.

Una situación similar ocurrió con Elizarraraz *et al* (1999), quienes realizaron un experimento con el objeto de evaluar la suplementación de las enzimas: xilanasas (300 U/kg), alfa-amilasa (400 U/kg) y proteasa (4,000 U/kg) en dietas basadas en sorgo sobre parámetros productivos de pollo de engorda de 1 día de edad de la estirpe Ross. Al finalizar el ciclo de producción a los 49 días de edad, no se encontraron efectos estadísticos ($P > 0.05$) sobre la mortalidad general entre los diferentes tratamientos en estudio.

Lo anterior, comprueba que no se puede atribuir un efecto negativo de las dietas suplementadas con enzimas digestivas exógenas, sobre el índice de mortalidad de los animales que reciben los tratamientos, por lo que es necesario evaluar otras posibles causas de mortalidad.

8.2. PARÁMETROS MORFOLÓGICOS

8.2.1. Longitud de vellosidades intestinales (LV). En un trabajo de investigación realizado por Arce *et al* (2008), se evaluó el uso de paredes celulares de *Saccharomyces cerevisiae* a 500 g/t y Avilamicina como antibiótico promotor de crecimiento a una concentración de 10 ppm, en dietas sorgo + soya para pollo de engorda. Los resultados indicaron que la edad de las aves (21 vs 10 días) fue determinante para demostrar ($P < 0.05$) un aumento en la amplitud (264 vs 398 μm), número (41.7 vs 45.2 n) y área de las vellosidades intestinales (26.2 vs 44.5 $10^3 \mu\text{m}^2$). Sin embargo, el promedio de la altura para las mismas edades fue respectivamente $2,463 \pm 430 \mu\text{m}$ vs $2,432 \pm 288 \mu\text{m}$, no mostrando diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$) que pudieran demostrar que la variable se modificó por los suplementos, después del día 10.

Estos autores, concluyeron que la edad del ave determina el área de las vellosidades intestinales, ya que a mayor edad hubo incremento en la amplitud, número y área, indicando que a medida que el ave se desarrolla, se incrementan las posibilidades de absorción de nutrientes de acuerdo con sus necesidades.

Además, en el presente estudio, no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$) entre la longitud de vellosidades intestinales de las aves a los 21 y 46 días de edad, sugiriendo que no hubo efecto de la suplementación enzimática en el crecimiento o atrofia de las vellosidades y que estas alcanzaron su talla máxima antes del día 21.

Esta suposición puede ser respaldada por Uni *et al* (1999) quienes demostraron en pollos de engorda, que la altura de las vellosidades y la profundidad de las criptas intestinales, incrementaron rápidamente después del nacimiento pero alcanzaron un máximo el día 6 de edad en el duodeno y el día 10 en el yeyuno e íleon.

8.2.2. pH intestinal. Hadorn *et al* (1994), concluyeron que no hubo efecto del sexo ni de la suplementación enzimática (celulasa, β -glucanasa y xilanasas a dietas basadas en trigo) en el pH de la digesta del yeyuno, observándose un promedio de 5.88 en el sobre-nadante de una muestra homogenizada de contenido intestinal de tres aves por corral, que fue centrifugado y filtrado antes de la medición.

Chesson (1987), reportó que las condiciones normales de pH en el tracto gastrointestinal de aves son 6.0, 6.3 y 6.9 en duodeno, yeyuno e íleon, respectivamente.

En el presente trabajo, se obtuvo un promedio de pH al día 21 de 6.75 para duodeno, 6.73 para yeyuno y 7.1 para íleon; para el día 46, los valores fueron: 6.38, 6.33 y 7.43 respectivamente para cada sección intestinal. Al compararlo con los datos reportados por Chesson (1987), se puede decir que el pH de las secciones intestinales está dentro de los valores normales, sin verse alterado por los tratamientos.

8.2.3. Resistencia de intestino (RI) y Resistencia del tarso (RT). Estas variables se contemplaron dentro de los parámetros morfológicos evaluados en este experimento, como indicadores del efecto de la suplementación enzimática en el aumento de la resistencia de tejidos, relacionado con las ventajas comparativas que puede representar un tejido mejor conformado en el procesamiento.

La ruptura del intestino durante la evisceración causa la contaminación de la canal y de la línea de proceso, representado un problema grave de salud pública, además de un costo adicional por el re-procesamiento o el decomiso de las canales afectadas; esto puede ser causado por una mala conformación del intestino o por un ayuno prolongado (más de 12 horas) que cause la pérdida de integridad de la mucosa. Por otra parte, la ruptura de huesos largos es

generalmente ocasionada durante la captura de los animales en granja, en el transporte a la planta de sacrificio por mala acomodación en las jaulas y exceso de animales en las mismas, durante el colgado en la línea de proceso y por una mala calibración de las desplumadoras.

Aunque en el presente estudio, no se encontraron diferencias significativas ($P>0.05$) entre tratamientos para las variables: resistencia de intestino y resistencia de tarso que puedan justificar una mayor resistencia de tejidos, se sabe que la suplementación con enzimas exógenas a dietas con PNA puede aumentar la disponibilidad de nutrientes para cubrir los requerimientos de mantenimiento, crecimiento y producción, lo que se refleja en una mejor conformación de tejidos.

8.2.4. Longitud de tarso (LT). En este trabajo, la longitud de tarso se midió para estimar el efecto de la suplementación enzimática en el aumento de la absorción intestinal de nutrientes y por ende de la mineralización ósea.

El tamaño del marco óseo ha sido frecuentemente incluido en los lineamientos de las compañías genéticas, como una herramienta de monitoreo del crecimiento, adicional al peso corporal.

La longitud de tarso se ha relacionado en muchas pruebas biológicas con el peso corporal, lo cual se corroboró con los datos del presente estudio que mostraron una correlación del peso con la LT de 79.6% el día 21 y de 75.9% el día 46 de vida. Sin embargo, no fue posible establecer en este estudio si la adición del CE aumenta la absorción de minerales a nivel intestinal.

8.2.5. Pigmentación de piel (PP). En este estudio, no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($P>0.05$) entre tratamientos para la variable amarillamiento que pudieran sugerir un efecto benéfico del CE sobre la

pigmentación de la piel, 24 horas después del sacrificio en canales enfriadas. Sin embargo, los promedios de amarillamiento para las aves de los cuatro tratamientos, se encuentran por encima de 41, valor mínimo recomendado para el mercado mexicano (Martínez *et al.*,2004).

En la prueba realizada por Elizarraraz *et al* (1999) con el objeto de evaluar la suplementación de enzimas (xilanasas, amilasas y proteasas) en dietas basadas en sorgo, se observó que los valores de pigmentación en caliente en los animales sacrificados al final de la prueba, no mostraron efectos significativos ($P>0.05$) en luminosidad (67 vs 66), enrojecimiento (1.08 vs 2.15) y amarillamiento (33.68 vs 29.95) entre la dieta testigo y el tratamiento con la adición de enzimas.

En resumen, la magnitud de la respuesta de un complejo enzimático depende de varios factores: 1° del contenido de PNA solubles del cereal, siendo superior la respuesta en cebada o centeno, buena en trigo y menor en sorgo o maíz; 2° del tratamiento térmico al que se someta la materia prima y/o el alimento, ya que éste aumenta la solubilidad de los PNA y por tanto mejora la respuesta a la suplementación enzimática; 3° de la edad de las aves, ya que la respuesta es mínima durante los primeros 7 días de vida pero es evidente entre 7 y 21 días en dietas basadas en cereales de alta viscosidad con aumento significativo del consumo, del crecimiento y de la digestibilidad de los nutrientes (García, 2000); 4° de la selección apropiada de las enzimas con que se suplementa la dieta; 5° del rango de actividad enzimática y 6° del estado fisiológico del animal (Camiruaga *et al.*,2001).

9. CONCLUSIONES

- Los parámetros productivos y morfológicos evaluados, no mostraron diferencias estadísticas significativas ($P>0.05$) entre tratamientos a lo largo del período experimental.
- No se puede atribuir un efecto negativo de las dietas suplementadas con enzimas digestivas exógenas sobre el índice de mortalidad de los animales.
- La longitud de vellosidades intestinales a los 21 y 46 días de edad, muestran que no hubo efecto de los tratamientos sobre el crecimiento o atrofia de las vellosidades y que estas alcanzaron su talla máxima antes del día 21.
- La suplementación con enzimas exógenas a dietas con PNA puede aumentar la disponibilidad de nutrientes para cubrir los requerimientos de mantenimiento, crecimiento y producción, logrando un desempeño productivo adecuado.
- Los ajustes hechos a los tratamientos permitieron obtener resultados productivos similares entre grupos, sugiriendo un beneficio en la utilización de nutrientes.
- Los resultados del tratamiento 4, indican que el ajuste al CE por cantidad de sustrato en la dieta, resulta benéfico comparado con los otros tratamientos por el ahorro que representa la disminución de la dosis de CE.

CUADROS

Cuadro 1. Análisis de varianza de parámetros productivos semanales en pollos de engorda mixtos.

VARIABLE		SUMA DE CUADRADOS	GL	CUADRADO MEDIO	F	SIG.
PC	Entre grupos	28599,046	3	9533,015	,015	,997
	Dentro de grupos	42066930,725	68	618631,334		
	Total	42095529,771	71			
CONA	Entre grupos	15151,530	3	5050,510	,003	1,000
	Dentro de grupos	116881120,801	68	1718840,012		
	Total	116896272,331	71			
CA	Entre grupos	4,487E-02	3	1,496E-02	,212	,887
	Dentro de grupos	4,789	68	7,042E-02		
	Total	4,834	71			

PC: Peso corporal; CONA: Consumo de alimento; CA: Conversión alimenticia. GL: Grados de libertad; F: Valor de F calculado; SIG: Significancia (valor de P).

Cuadro 2. Análisis de regresión logística para mortalidad en pollos de engorda mixtos.

TRATAMIENTOS	B	E.E.	CHI ²	SIGNF	Exp (B)	Exp (B) 95%	
1			14,338	0,002		Inferior	Superior
2	0,257	0,208	1,534	0,215	1,293	0,861	1,943
3	-0,462	0,236	3,842	0,050	0,630	0,397	1,000
4	0,335	0,206	2,654	0,103	1,398	0,934	2,092
Constante	-1,562	0,153	104,906	0,000	0,210		

B: Coeficiente de regresión logística; E.E.: Error estándar de B; CHI²: Prueba de ji cuadrada; SIGNF: Valor de P; Exp (B): Exponencial de B; Exp (B) 95%: Exponencial de B al 95%

Cuadro 3. Análisis de varianza de modelo mixto (efecto de tratamiento, sexo e interacción tratamiento*sexo) para los parámetros morfológicos al día 21 de edad en pollos de engorda mixtos.

VARIABLE	FUENTE	F	SIGNIFICANCIA
PC	Tratamiento	0.567	0.640
	Sexo	2.790	0.103
	Trat*Sex	0.139	0.936
RI	Tratamiento	2.478	0.076
	Sexo	9.452	0.004
	Trat*Sex	2.688	0.060
pHD	Tratamiento	0.129	0.942
	Sexo	0.061	0.807
	Trat*Sex	1.267	0.299
pHY	Tratamiento	1.580	0.210
	Sexo	3.965	0.054
	Trat*Sex	1.206	0.321
pHI	Tratamiento	0.230	0.875
	Sexo	0.506	0.481
	Trat*Sex	0.756	0.527
LT	Tratamiento	0.358	0.785
	Sexo	2.252	0.143
	Trat*Sex	0.315	0.814
RT	Tratamiento	0.497	0.686
	Sexo	0.174	0.679
	Trat*Sex	0.797	0.503
LVD	Tratamiento	0.372	0.775
	Sexo	5.202	0.029
	Trat*Sex	0.786	0.511
LVY	Tratamiento	1.242	0.357
	Sexo	0.089	0.768
	Trat*Sex	0.905	0.450

LVI	Tratamiento	0.730	0.562
	Sexo	1.932	0.174
	Trat*Sex	1.462	0.243

PC: Peso corporal; RI: Resistencia de intestino; pHD: pH Duodeno; pHY: pH Yeyuno; pHÍ: pH Íleon; LT: Longitud de tarso; RT: Resistencia de tarso; LVD: Longitud de vellosidades intestinales en duodeno; LVY: Longitud de vellosidades intestinales en yeyuno; LVI: Longitud de vellosidades intestinales en íleon.

Cuadro 4. Análisis de varianza de modelo mixto (efecto de tratamiento, sexo e interacción tratamiento*sexo) para los parámetros morfológicos al día 46 de edad en pollos de engorda mixtos.

VARIABLE	FUENTE	F	SIGNIFICANCIA
PC	Tratamiento	1.254	0.353
	Sexo	171.856	0.0001
	Trat*Sex	0.698	0.56
RI	Tratamiento	0.627	0.617
	Sexo	0.019	0.892
	Trat*Sex	0.197	0.898
pHD	Tratamiento	1.492	0.231
	Sexo	0.880	0.354
	Trat*Sex	1.115	0.354
pHY	Tratamiento	0.498	0.694
	Sexo	1.509	0.228
	Trat*Sex	2.450	0.082
pHI	Tratamiento	0.183	0.905
	Sexo	0.309	0.582
	Trat*Sex	0.451	0.718
LT	Tratamiento	2.994	0.096
	Sexo	44.818	0.0001
	Trat*Sex	2.933	0.048
RT	Tratamiento	0.014	0.998
	Sexo	8.362	0.006
	Trat*Sex	0.075	0.973
B	Tratamiento	2.592	0.066
	Sexo	0.0001	0.997
	Trat*Sex	0.108	0.955
LVD	Tratamiento	1.403	0.256
	Sexo	2.916	0.095
	Trat*Sex	1.061	0.377

LVY	Tratamiento	2.479	0.075
	Sexo	3.691	0.062
	Trat*Sex	0.683	0.568
LVI	Tratamiento	0.743	0.556
	Sexo	0.664	0.421
	Trat*Sex	1.110	0.359

PC: Peso corporal; RI: Resistencia de intestino; pH D: pH Duodeno; pH Y: pH Yeyuno; pH I: pH Íleon; LT: Longitud de tarso; RT: Resistencia de tarso; LVD: Longitud de vellosidades intestinales en duodeno; LVY: Longitud de vellosidades intestinales en yeyuno; LVI: Longitud de vellosidades intestinales en íleon; b: parámetro b de pigmentación (amarillamiento) en sistema CIELab.

Cuadro 5. Promedio y error estándar (E.E.) de los parámetros morfológicos al día 21 de edad en pollos de engorda mixtos.

VARIABLE	TRATAMIENTOS	MEDIA	ERROR ESTÁNDAR
Peso (g)	1	589.58	31.32
	2	612.92	31.32
	3	567.50	31.32
	4	594.58	31.32
RI (Pa)	1	0.243	0.017
	2	0.258	0.017
	3	0.198	0.017
	4	0.236	0.017
pHD	1	6.778	0.063
	2	6.733	0.063
	3	6.765	0.063
	4	6.734	0.063
pHY	1	6.651	0.075
	2	6.712	0.075
	3	6.846	0.075
	4	6.706	0.075
pHI	1	7.123	0.142
	2	7.073	0.142
	3	7.036	0.142
	4	7.184	0.142
LT (mm)	1	58.08	1.725
	2	60.42	1.725
	3	58.42	1.725
	4	59.08	1.725
RT (Pa)	1	11.34	0.891
	2	12.04	0.891
	3	10.55	0.891

	4	11.01	0.891
LVD (mm)	1	1,835.77	75.15
	2	1,815.48	75.15
	3	1,733.37	75.15
	4	1,818.76	75.15
LVY (mm)	1	1,207.88	116.36
	2	1,040.91	116.36
	3	1,135.96	116.36
	4	907.86	116.36
LVI (mm)	1	711.37	108.21
	2	749.66	108.21
	3	814.75	108.21
	4	594.52	108.21

PC: Peso corporal; RI: Resistencia de intestino; pHD: pH Duodeno; pHY: pH Yeyuno; pHl: pH Íleon; LT: Longitud de tarso; RT: Resistencia de tarso; LVD: Longitud de vellosidades intestinales en duodeno; LVY: Longitud de vellosidades intestinales en yeyuno; LVI: Longitud de vellosidades intestinales en íleon.

Cuadro 6. Promedio y error estándar (E.E.) de los parámetros morfológicos al día 46 de edad en pollos de engorda mixtos.

VARIABLE	TRATAMIENTOS	MEDIA	ERROR ESTÁNDAR
Peso (g)	1	2,589	0.064
	2	2,672	0.064
	3	2,499	0.064
	4	2,564	0.064
RI (Pa)	1	0.469	0.052
	2	0.501	0.052
	3	0.483	0.052
	4	0.407	0.052
pHD	1	6.221	0.095
	2	6.371	0.095
	3	6.504	0.095
	4	6.348	0.095
pHY	1	6.308	0.082
	2	6.256	0.082
	3	6.394	0.082
	4	6.303	0.082
pHI	1	7.400	0.177
	2	7.328	0.177
	3	7.494	0.177
	4	7.475	0.177
LT (mm)	1	102.54	0.840
	2	105.29	0.840
	3	101.96	0.840
	4	103.25	0.840
RT (Pa)	1	24.10	2.346
	2	23.53	2.346
	3	23.93	2.346

	4	24.13	2.346
LVD (mm)	1	2,030.08	53.056
	2	1,927.14	53.056
	3	2,077.63	53.056
	4	2,006.97	53.056
LVY (mm)	1	1,130.06	58.093
	2	1,006.02	58.093
	3	1,178.18	58.093
	4	993.29	58.093
LVI (mm)	1	630.66	56.26
	2	635.01	56.26
	3	717.34	56.26
	4	605.77	56.26
b	1	43.48	1.137
	2	47.36	1.137
	3	44.30	1.137
	4	46.55	1.137

PC: Peso corporal; RI: Resistencia de intestino; pH D: pH Duodeno; pH Y: pH Yeyuno; pH I: pH Íleon; LT: Longitud de tarso; RT: Resistencia de tarso; LVD: Longitud de vellosidades intestinales en duodeno; LVY: Longitud de vellosidades intestinales en yeyuno; LVI: Longitud de vellosidades intestinales en íleon; b: parámetro b de pigmentación (amarillamiento) en sistema CIELab.

ANEXOS

Anexo 1. Requerimientos nutricionales por etapa alimenticia para pollos de engorda mixtos de la estirpe Ross entre 2.0 y 2.5 kg

		Iniciador		Crecimiento		Finalizador	
Edad de administración	Días	0-10		11-24		25 al mercado	
Proteína cruda	%	22-25		21-23		19-23	
Energía por Kg	Kcal	3,025		3,150		3,200	
AMINOÁCIDOS							
		Tot.	Dig.	Tot.	Dig.	Tot.	Dig.
Arginina	%	1.45	1.31	1.27	1.14	1.13	1.02
Isoleucina	%	0.97	0.85	0.85	0.75	0.76	0.67
Lisina	%	1.43	1.27	1.24	1.10	1.09	0.97
Metionina	%	0.51	0.47	0.45	0.42	0.41	0.38
Metionina+Cistina	%	1.07	0.94	0.95	0.84	0.86	0.76
Treonina	%	0.94	0.83	0.83	0.73	0.74	0.65
Triptófano	%	0.24	0.20	0.20	0.18	0.18	0.16
Valina	%	1.09	0.95	0.96	0.84	0.86	0.75
MINERALES							
Calcio	%	1.05		0.90		0.85	
Fósforo disponible	%	0.50		0.45		0.42	
Magnesio	%	0.05-0.50		0.05-0.50		0.05-0.50	
Sodio	%	0.16-0.23		0.16-0.23		0.16-0.20	
Cloruro	%	0.16-0.23		0.16-0.23		0.16-0.23	
Potasio	%	0.40-1.00		0.40-0.90		0.40-0.90	
MINERALES TRAZA ADICIONALES POR Kg							
Cobre	mg	16		16		16	
Yodo	mg	1.25		1.25		1.25	
Hierro	mg	40		40		40	
Manganeso	mg	120		120		120	
Selenio	mg	0.30		0.30		0.30	
Zinc	mg	100		100		100	
VITAMINAS ADICIONALES POR Kg (DIETAS A BASE DE MAIZ)							
Vitamina A	UI	11,000		9,000		9,000	
Vitamina D3	UI	5,000		5,000		4,000	
Vitamina E	UI	75		50		50	
Vitamina K	mg	3		3		2	
Tiamina (B1)	mg	3		2		2	
Riboflavina (B2)	mg	8		6		5	
Ácido Nicotínico	mg	60		60		40	
Ácido Pantoténico	mg	15		15		15	
Piridoxina (B6)	mg	4		3		2	
Biotina	mg	0.15		0.10		0.10	
Ácido Fólico	mg	2.00		1.75		1.50	
Vitamina B12	mg	0.016		0.016		0.010	
ESPECIFICACIÓN MÍNIMA							
Colina por Kg	mg	1,600		1,500		1,400	
Ácido Linoleico	%	1.25		1.20		1.00	

Fuente: Aviagen, 2007

Anexo 2. Dietas de iniciación (0 – 21 días de vida)

TRATAMIENTOS	1	2	3	4
INGREDIENTES (Kg)	TT	TT + CE (500 g/ton)	TT (3, 2 y 2%) + CE (500 g/ton)	TT + CE ≠ por etapa
Maíz	529.63	529.13	563.25	529.13
Pasta de soya	230.78	230.78	215.40	230.78
Canola	40.0	40.0	40.0	40.0
GSDS	85.0	85.0	85.0	85.0
Harina de carne	50.0	50.0	50.0	50.0
Aceite vegetal	35.0	35.0	16.5	35.0
Ortofosfato 18/21	5.9	5.9	6.0	5.9
Carbonato de Calcio	6.6	6.6	6.6	6.6
Sal yodada (NaCl)	2.5	2.5	2.5	2.5
Premezcla vitaminas	0.5	0.5	0.5	0.5
Metionina ácido libre	4.1	4.1	3.93	4.1
L-lisina HCl	4.3	4.3	4.45	4.3
Cloruro de colina 70%	0.9	0.9	0.9	0.9
L-Treonina	1.6	1.6	1.27	1.6
Promotor de crecimiento*	0.1	0.1	0.1	0.1
Coccidiostato**	0.5	0.5	0.5	0.5
Antioxidante (BHT)	0.1	0.1	0.1	0.1
Premezcla mineral	0.5	0.5	0.5	0.5
Bicarbonato de sodio	0.0	0.0	0.0	0.0
Secuestrante micotoxinas ***	2.0	2.0	2.0	2.0
Complejo enzimático	0.0	0.5	0.5	0.5
TOTAL (kg)	1,000	1,000	1,000	1,000

* Surmax®: Avilamicina 10% ** Coxistac®: Salinomicina 12% *** Zeotek®: Organoaluminosilicato

Anexo 3. Dietas de crecimiento (22 – 35 días de vida)

TRATAMIENTOS	1	2	3	4
INGREDIENTES (Kg)	TT	TT + CE (500 g/ton)	TT (3, 2 y 2%) + CE (500 g/ton)	TT + CE # por etapa
Maíz	552.21	551.71	584.35	551.74
Pasta de soya	213.50	213.50	200.0	213.50
Canola	40.0	40.0	40.0	40.0
GSDS	85.0	85.0	85.0	85.0
Harina de carne	22.0	22.0	22.0	22.0
Aceite vegetal	50.0	50.0	31.0	50.0
Ortofosfato 18/21	11.2	11.2	11.2	11.2
Calcio	8.9	8.9	8.9	8.9
Sal yodada (NaCl)	3.0	3.0	3.0	3.0
Premezcla vitaminas	0.5	0.5	0.5	0.5
Metionina	3.1	3.1	2.95	3.1
L-Lisina HCl	3.2	3.2	3.2	3.2
Cloruro colina 70%	1.0	1.0	1.0	1.0
L-Treonina	0.7	0.7	0.7	0.7
Promotor de crecimiento*	0.1	0.1	0.1	0.1
Coccidiostato**	0.5	0.5	0.5	0.5
Antioxidante (BHT)	0.1	0.1	0.1	0.1
Pigmento amarillo (11 g/kg)	4.0	4.0	4.0	4.0
Premezcla minerales	0.5	0.5	0.5	0.5
Bicarbonato de sodio	0.5	0.5	0.5	0.5
Secuestrante micotoxinas ***	0.0	0.0	0.0	0.0
Complejo enzimático	0.0	0.5	0.5	0.465
TOTAL (kg)	1,000	1,000	1,000	1,000

* Surmax®: Avilamicina 10% ** Coxistac®: Salinomicina 12% *** Zeotek®: Organoaluminosilicato

Anexo 4. Dietas de finalización (36 – 46 días de vida)

TRATAMIENTOS	1	2	3	4
INGREDIENTES (Kg)	TT	TT + CE (500 g/ton)	TT (3, 2 y 2%) + CE (500 g/ton)	TT + CE ≠ por etapa
Maíz	610.82	610.32	642.47	610.51
Pasta de soya	142.50	142.50	130.0	142.50
Canola	40.0	40.0	40.0	40.0
GSDS	85.0	85.0	85.0	85.0
Harina de carne	40.0	40.0	40.0	40.0
Aceite vegetal	55.0	55.0	35.0	55.0
Ortofosfato 18/21	4.5	4.5	4.5	4.5
Calcio	6.7	6.7	6.7	6.7
Sal yodada (NaCl)	2.38	2.38	2.38	2.38
Premezcla vitaminas	0.5	0.5	0.5	0.5
Metionina	2.0	2.0	1.85	2.0
L-Lisina HCl	2.2	2.2	2.2	2.2
Cloruro colina 70%	1.0	1.0	1.0	1.0
L-Treonina	0.4	0.4	0.4	0.4
Promotor de crecimiento*	0.1	0.1	0.1	0.1
Coccidiostato**	0.5	0.5	0.5	0.5
Antioxidante (BHT)	0.1	0.1	0.1	0.1
Pigmento amarillo (11 g/kg)	5.3	5.3	5.3	5.3
Premezcla minerales	0.5	0.5	0.5	0.5
Bicarbonato de sodio	0.5	0.5	0.5	0.5
Secuestrante micotoxinas ***	0.0	0.0	0.0	0.0
Complejo enzimático	0.0	0.5	0.5	0.310
TOTAL (kg)	1,000	1,000	1,000	1,000

* Surmax®: Avilamicina 10% ** Coxistac®: Salinomicina 12% *** Zeotek®: Organoaluminosilicato

Anexo 5. Cálculo estimado de la dosis de CE para el tratamiento 4 con base en la cantidad de alfa-galactósidos disponibles en las dietas.

Etapas de alimentación	Nivel inclusión Pasta de soya (kg/ton)	Rafinosa (7.785 g/kg de pasta)	Estaquiosa (36.85 g/kg de pasta)
Iniciación	230	1790	8475
Crecimiento	213	1659	7856
Finalización	142	1105	5232
Rafinosa y Estaquiosa	Etapa de alimentación	% disminución/etapa	Diferencia %
	Iniciación - Crecimiento	92.69	7.31
	Iniciación - Finalización	61.73	38.27
Etapa de alimentación	Nivel inclusión enzimas (500 g/ton)		
Iniciación	500 g de CE = 100%		
Crecimiento	463.5 g de CE = 92.69%		
Finalización	308.7 g de CE = 61.73%		

BIBLIOGRAFÍA

1. Annison G. Relationship between the levels of soluble nonstarch polysaccharides and the apparent metabolizable energy of wheats assayed in broiler chickens. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 1991; 39 (7): 1252 - 1256.
2. Arce J, Ávila E y López C. Comportamiento productivo y cambios morfológicos en vellosidades intestinales del pollo de engorda a 21 días de edad con el uso de paredes celulares del *Saccharomyces cerevisiae*. *Veterinaria México* 2008, 39 (2).
3. Aviagen. Guía de manejo de la estirpe Ross. 2007. Disponible en: www.aviagen.com
4. Blas de C, Mateos GG y Rebollar PG. DDGS de maíz (granos de destilería, DDG, y solubles, DDS). Universidad Politécnica de Madrid, España. 2007. Disponible en: www.produccionbovina.com/tablas_composicion_alimentos/07-DDGS_de_maiz.pdf
5. Brenes A, Lázaro R, García M y Mateos G. Utilización práctica de complejos enzimáticos en avicultura. XII Curso de Especialización FEDNA. Madrid, 7 y 8 de noviembre de 1996.
6. Bühler M, Limper J, Müller A, Schwarz G, Simon O, Sommer M and Spring W.. Las enzimas en la nutrición animal. Alemania: Arbeitsgemeinschaft für Wirkstoffe in der Tierernahrung e.V. (AWT), Roonstrabe 5. 53175, 1998.
7. Camiruaga M, Garcia F, Elera R y Simonetti C. Respuesta productiva de pollos broilers a la adición de enzimas exógenas a dietas basadas en maíz o triticale. *Ciencia e Investigación Agraria* 2001; 28(1): 23 - 36.
8. Carré. European Symposium Poultry Nutrition, WPSA. 1993. En: Williams PEV, Geraert PA, Uzu G y Annison G. Factors affecting non-starch polysaccharide digestibility in poultry. *CIHEAM – Options Mediterraneennes* 1997; Vol. 26.

9. Chesson A. Recent Advances in Animal Nutrition N° 71. 1987. En: Piquer FJ. Bases de la utilización de complejos enzimáticos en nutrición animal: estudio comparativo entre especies. XII Curso de Especialización FEDNA. Madrid, 7 y 8 de noviembre de 1996.
10. Cortés CA, Águila SR y Ávila GE. La utilización de enzimas como aditivos en dietas para pollos de engorda. Revista Veterinaria México 2002; 33 (1): 1 - 9.
11. Dekalb Gold. Pullet and Layer Management Guide. 1995. Disponible en: http://www.dekalbpoultry.com/manage/Gold_webman.pdf
12. Delzenne NM and Roberfroid MR. Physiological effects of non-digestible oligosaccharides. Lebensm-Wiss. U. Technology. 1994, 27, 1 - 6.
13. Domínguez E y Aldana D. Regresión logística. Un ejemplo de su uso en endocrinología. Rev. Cubana de Endocrinología 2001; 12 (1), 58-64. Disponible en: http://bvs.sld.cu/revistas/end/vol12_1_01/end07101.htm. Consultado: 17/06/2008
14. Elizarraraz R, López C, Ávila E, Arce J y González M. Efecto de la suplementación de enzimas en la dieta para pollo de engorda sobre los parámetros productivos. Tesis de Maestría. Posgrado Interinstitucional en Ciencias Pecuarias. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad de Colima. Colima, México. 1999.
15. Englyst H. Classification and measurement of plant polysaccharides. Animal Feed Science and Technology 1989; v. 23(1) p. 27 - 42.
16. García E. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen: para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. México: Universidad Nacional Autónoma de México, 1973.
17. García M. Evaluación de complejos enzimáticos en alimentación de pollos de engorde. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. 2000. Disponible en: <http://oa.upm.es/837/01/02200009.pdf>

18. Graham KK, Kerley MS, Firman JD and Allee GL. The effect of enzyme treatment of soybean meal on oligosaccharide disappearance and chick growth performance. *Poultry Science* 2002; 81: 1014 -1019.
19. Graham IJ and Slobart K. 1990. Supplementary enzymes need to be feed and animal specific. *Finnfeeds International, Ltd., Redhill, Surrey*. En: Ferket P. Practical use of feed enzymes for turkeys and broilers. *Applied Poultry Science Research* 1993; 2: 75 - 81.
20. Hadorn R. Einfluss unterschiedlicher Nahrungsfasertrager (Soja- und Hirseschalen) im Vergleich zu Weizenquellstärke auf die Nährstoff- und Energieverwertung von wachsenden Schweinen und Broilern. 1994. En: Hadorn R, Wiedmer H y Broz J. Effect of an enzyme complex in a wheat based diet on performance of male and female broilers. *Journal Applied of Poultry Research* 2001; 10: 340 – 346.
21. Hickling D. Pasta de Canola, guía para la industria del pienso. 3ª edición. Consejo Canadiense de la Canola. 2001. Disponible en: <http://www.canola-council.org/uploads/spanish/spanishmealguidefull.pdf>. Consultado en: 12-06-2007
22. International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). Nomenclature of carbohydrates. *Pure & Appl. Chem* 1996; 68 (10): 1919-2008. Disponible en: <http://www.iupac.org/publications/pac/1996/pdf/6810x1919.pdf>. Consultado en: 10-08-2007
23. Kidd MT, Morgan GW, Price CJ, Welch PA and Fontana EA. Enzyme supplementation to corn and soybean meal diets for broilers. *Journal Applied of Poultry Research* 2001; 10: 65 - 70.
24. Martínez M, Cortés A y Ávila E. Evaluación de tres niveles de pigmento de flor de cempasúchil (*Tagetes erecta*) sobre la pigmentación de la piel en pollos de engorda. *Técnica Pecuaria México* 2004; 42 (1): 105 - 111.
25. Mathlouthi N, Lallés JP, Lepercq P, Juste C y Larbier M. Xylanase and β -glucanase supplementation improve conjugated bile acid fraction in intestinal

- contents and increase villus size of small intestine wall in broiler chicken fed a rye based diet. *Journal of Animal Science* 2002a; 80: 2773 - 2779.
26. Mathlouthi N, Mallet S, Saulnier L, Quemener B and Larbier M. Effects of xylanase and β -glucanase addition on performance, nutrient digestibility and physico-chemical conditions in the small intestine contents and caecal microflora of broiler chickens fed a wheat and barley-based diet. *Animal Research*. INRA, EDP Sciences 2002b; 51: 395 - 406.
27. Méndez AD, Cortés A, Fuente B, López C, Ávila E. Efecto de un complejo enzimático en dietas sorgo+soya sobre la digestibilidad ileal de aminoácidos, energía metabolizable y productividad en pollos. *Técnica Pecuaria México* 2009, 47(1):15 - 25.
28. Meng X and Slominski BA. Nutritive values of corn, soybean meal, canola meal and peas for broiler chickens as affected by a multicarbohydrase preparation of cell wall degrading enzymes. *Poultry Sciences* 2005; 84: 1242 - 1251.
29. Miled IB. Evaluación de complejos enzimáticos en la mejora del valor nutritivo de cereales y leguminosas en la alimentación de pollos en crecimiento. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona. Facultad de Veterinaria. 2001. Disponible en: http://www.tesisenxarxa.net/TESIS_UAB/AVAILABLE/TDX-0123102-161115//ibmo1de2.pdf. Consultado en: 19-09-2007
30. Motic Images Advanced 3.1. Motic China Group Ltd. Hong Kong, China.
31. Cibenza CSM Quick Test Kit. Disponible en: <http://www.novusint.com/>
32. Onderci M, Sahin N, Sahin K, Cikim G, Aydın A, Ozercan I and Aydın S. Efficacy of supplementation of α -amilase producing bacterial culture on the performance, nutrient use and gut morphology of broiler chickens fed a corn based diet. *Poultry Science* 2006; 85: 505 – 510.
33. Piquer FJ. Bases de la utilización de complejos enzimáticos en nutrición animal: estudio comparativo entre especies. XII Curso de Especialización FEDNA. Madrid, 7 y 8 de noviembre de 1996.

34. Prophet EB, Mills B, Arrington J and Sobin L. Métodos histotecnológicos. Washignton D.C.: Registro de patología de los Estados Unidos de América, 1995.
35. Sánchez CP, Hudson G, Englyst H, Dewey P and James P. The importance of dietary carbohydrates. Archivos Latinoamericanos de Nutrición 2002; 52 (4).
36. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-033-ZOO-1995, Sacrificio humanitario de los animales domésticos y silvestres. Diario oficial. Primera sección. Miércoles 16 de julio de 1997.
37. Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) for Windows. Version 13.0. 2004.
38. Straw ML, Kornegay ET, Evans JL and Wood CM. Effects of dietary pH and phosphorus source on performance, gastrointestinal tract digesta, and bone measurements of weanling pigs. Journal of Animal Science 1991; 69: 4496 - 4504. Disponible en: <http://jas.fass.org/cgi/reprint/69/11/4496>. Consultado: 10-08-2007
39. Świątkiewicz S and Koreleski J. Preliminary results of study on the use of corn and rye distillers dried grains with solubles in the laying hens nutrition. National Research Institute of Animal Production, Department of Animal Nutrition and Feed Sciences, ul. Krakowska. 2006, 1, 32-083. Balice, Poland. Disponible en: <http://www.animalscience.com/uploads/additionalFiles/WPSABalatonfured/601-603Swiqtiewicz.pdf>
40. Uni Z, Noy Y and Sklan D. Posthatch development of small intestinal function in the poult. Poultry Science 1999; 78: 215 – 222.
41. Waldroup PW, Fritss CA, Keen CA and Yan F. The effect of alfa-galactosidasa enzyme with and without Avizyme 1502 on performance of broiler fed diets based on corn and soybean meal. International Journal of Poultry Sciences 2005; 4 (12): 920 – 937.

42. Waldroup PW, Keen CA, Yan F and Zhang K. The effect of levels of α -galactosidase enzyme on performance of broilers fed diets based on corn and soybean meal. *Journal Applied Poultry Research* 2006; 15: 48 – 57.
43. Wang ZR, Qiao SY, Lu WQ and Li DF. Effects of enzyme supplementation on performance, nutrient digestibility, gastrointestinal morphology and volatile fatty acid profiles in the hindgut of broilers fed wheat based diets. *Poultry Sciences* 2005; 84: 875 – 881.
44. Williams PEV, Geraert PA, Uzu G and Annison G. Factors affecting non-starch polysaccharide digestibility in poultry. 1997. Vol. 26. CIHEAM – Options Mediterraneennes. Disponible en: <http://ressources.ciheam.org>. Consultado en 15-03-2007