



UNIVERSIDAD MICHUACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA
Y ZOOTECNIA

“EL USO DE ENZIMAS EN LA ALIMENTACIÓN DE LAS AVES”

SERVICIO PROFESIONAL

GRISEL CARLÓN VARGAS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Dr. José Arce Menocal

MORELIA, MICHOACÁN

JULIO DEL 2007



UNIVERSIDAD MICHOCANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA
Y ZOOTECNIA

“EL USO DE ENZIMAS EN LA ALIMENTACIÓN DE AVES”

SERVICIO PROFESIONAL QUE PRESENTA

GRISEL CARLÓN VARGAS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

MORELIA, MICHOACÁN

JULIO DEL 2007

AGRADECIMIENTO

CON GRATITUD Y RESPERTO POR LA AYUDA, GUÍA Y EL VALIOSO APOYO QUE ME BRINDÓ MI ASESOR EL DR. JOSÉ ARCE MENOCA PARA LA ELABORACIÓN DE ESTE DOCUMENTO.

MUCHAS GRACIAS.

DEDICATORIA

A MIS PADRES:

LIC. J. INOCENTE CARLÓN SALGADO (Q.E.P.D.) Y MA. EVA VARGAS RODRIGUEZ, A QUIENES AMO Y AGRADEZCO POR LOS VALORES Y PRINCIPIOS ENSEÑADOS Y POR LOS SACRIFICIOS PARA HACER DE MI UNA PERSONA DE BIEN.

A MIS HERMANOS:

LUIS Y KARINA, POR SU CARÍÑO Y APOYO.

A MI MADRINA MARTHA:

POR SU CARÍÑO Y POR MOTIVARME A SUPERARME.

A MIS AMIGOS:

POR SU SINCERA AMISTAD.

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	4
2. PERSPECTIVA HISTÓRICA	7
3. EL USO DE ENZIMAS	8
3.1 Que son las enzimas y como funcionan	8
3.1.1 Uso de enzimas en la alimentación animal	11
3.1.2 Uso de enzimas en dietas a base de cereales de alta viscosidad	15
3.1.3. Uso de enzimas en dietas a base de cereales de baja viscosidad	16
3.2 Requisitos de las enzimas	19
4. RAZONES ANATÓMICAS Y FISIOLÓGICAS QUE EXPLICAN LAS DIFERENCIAS OBSERVADAS ENTRE AVES Y PORCINOS EN CUANTO A LA RESPUESTA A LA SUPLEMENTACIÓN DE ENZIMAS	19
4.1 pH	19
4.2 Capacidad fermentativa	21
4.3 Viscosidad del contenido intestinal	21
5. UTILIZACIÓN DE FITASAS EN LA ALIMENTACIÓN DE MONOGÁSTRICOS	22
5.1 Aprovechamiento del fósforo en avicultura	23
5.2 Enzimas para la utilización del fósforo	25
5.3 Ácido fítico y fitasas	25
5.4 Formulación con fitasas	26
5.5 Utilización práctica del uso de la fitasa	27
5.6 Utilidad ecológica de las fitasas	28
6. EXPERIENCIAS DESARROLLADAS EN AVES CON EL	

USO DE ENZIMAS	30
6.1 Pollos de engorda	30
a) Enzimas para la utilización del fósforo	30
b) Efecto de la suplementación de enzimas en la dieta para pollo de engorda sobre los parámetros productivos	30
c) Efectos de la adición de enzimas en el desarrollo y tamaño del conducto gastrointestinal de pollos alimentados con semilla de lupina y sus fracciones	32
d) Efectos de la adición de enzimas a las dietas de pollos de engorda con altas concentraciones de harina de semilla de girasol o canola	33
e) Efecto de la adición de enzimas en las digestibilidades de los polisacáridos de la pared celular y oligosacáridos de lupinas blancas extraídos con etanol, diluidos y enteras en pollos	34
f) Efectos de la restricción temprana de alimento y suplementación de enzimas en la actividad de enzimas digestivas en pollos de engorde.	36
g) Efectos de la suplementación de fitasa, individualmente y en combinación con glucanasa en el valor nutritivo del trigo y la cebada	37
h) Efectos de la suplementación de fitasa microbial en la utilización de minerales y actividades de enzimas en suero en pollos de engorde alimentados con diferentes niveles de fósforo	38
i) Efectos del tiempo de almacenamiento y enzimas en la dieta sobre la energía metabolizable y viscosidad digestiva de dietas para pollos basadas en cebada	40
j) Influencias de enzimas en el rendimiento y parámetros digestivos de pollos de engorda alimentados con dietas a base de centeno	41

k) Influencia de trigo entero y xilanasas en el desempeño de pollos de engorda, composición microbiana y actividad en el tracto digestivo	42
l) Predicción del efecto de enzimas en el rendimiento de pollos al ser agregadas a las dietas basadas en cereales: uso de un modelo logarítmico-lineal modificado	43
m) Procesamiento de calor de la cebada y suplementación de enzimas en dietas para pollos de engorda	44
n) Régimen de alimentación y suplementación de enzimas para dietas de pollos de engorda basadas en centeno	45
o) Estudio de dosis-respuesta con enzimas de alimentación β -mannanasa en pollos de engorda suministrados con dietas de maíz-soya desprovistos de promotores antibióticos de crecimiento	46
p) Utilización de enzimas como aditivos en dietas para pollos de engorda	47
6.2 Pavos	48
a) Efecto de la preparación de enzima de trigo en las características de rendimiento de pavos alimentados con dietas a base de trigo	48
6.3 Gallinas de Postura	49
a) Enzimas para la utilización del fósforo	49
b) Efecto de fósforo, enzimas fitasa y calcio en el rendimiento de ponedoras alimentadas con dietas con base de maíz	49
7. CONCLUSIÓN	54
8. BIBLIOGRAFÍA	55

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO N° 1. (Enzimas utilizadas en avicultura y sus beneficios)	12
CUADRO N° 2. (Contenido de polisacáridos no almidones -P.N.A- en algunas materias primas)	13
CUADRO N° 3. (Condiciones de pH en el tracto gastrointestinal de cerdos y aves)	20
CUADRO N° 4. (Efecto de la adición de fitasas sobre la retención de fósforo en broilers de 10 y 17 días de edad alimentados con un pienso bajo en fósforo)	23
CUADRO N° 5. (Utilidad Ecológica de las fitasas)	28
CUADRO N° 6. (Resultados de trabajos con enzimas)	51

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Funcionamiento de enzimas. Forma en que la enzima se adapta al sustrato y posibilita que una macromolécula se desdoble en dos moléculas menores	9
--	---

1. INTRODUCCIÓN

Es dudoso que los mayores avances en nutrición puedan ocurrir con el descubrimiento de nuevos nutrientes o mediante el ajuste de los requerimientos nutritivos. Por el contrario, el mejoramiento en la eficiencia de utilización de materias primas y el uso de un amplio rango de ingredientes actualmente considerados de calidad inferior, posiblemente producirán los mayores avances de la alimentación animal. Un método promisorio para alcanzar estas metas y que ha recibido gran interés en años recientes es el uso de enzimas para suplementar el alimento.

La alimentación representa cerca del 70 al 80% del costo de producción de un kilogramo de carne en el pollo de engorda, por tal motivo cualquier intento que se realice para disminuir este gasto sin afectar la eficiencia productiva será de gran utilidad a la avicultura de hoy en día. Aproximadamente entre el 60 al 70% del contenido de una dieta está constituida por granos y del 20 al 30% por oleaginosas; estos ingredientes son desdoblados por enzimas endógenas en el tracto digestivo (Ávila, 1992; Wyatt y Graham, 1996). Sin embargo, fracciones importantes de estos ingredientes no son desdoblados completamente o presentan una digestibilidad incompleta por las aves; se sabe que la digestibilidad del almidón es de un 90 a 95%, la de la proteína de un 50 a 85% y la de los lípidos de un 50 a 95%, todo esto dependiendo de la materia prima y del proceso a que es sometido el alimento durante su fabricación. Esto ha provocado el interés de muchos investigadores y nutricionistas por mejorar la digestibilidad de los alimentos (Hervé, 1998).

El uso de enzimas exógenas puede influir marcadamente sobre la digestibilidad de los ingredientes y la dieta, esto indica que la capacidad digestiva del ave puede estar limitada, y generalmente es así en pollitos jóvenes donde la producción de enzimas endógenas es baja (Soto y Wyatt, 1997). La suplementación de enzimas es una práctica común en dietas a base de cebada y trigo para aves a lo largo del mundo y la mayoría de los nutricionistas aceptan que la adición de enzimas a este tipo de dietas mejora el valor nutritivo al reducir la viscosidad intestinal (White *et al.*, 1981; Francesch *et al.*, 1995; Villamide *et al.*, 1997). Pero avances tecnológicos han hecho que incremente el interés de usar enzimas en dietas hechas a base de cereales de baja viscosidad como maíz o sorgo con el fin de aumentar el potencial productivo que estos granos tienen en las aves (Pack y Bedford, 1997). Las razones por las cuales se utilizan enzimas en la nutrición de los monogástricos son la degradación de compuestos en las materias primas que el animal con su propio sistema digestivo no es capaz de hacer eficientemente, además aumentan la disponibilidad de nutrientes que existen en el interior de la célula mediante la ruptura de la pared celular; así mismo, disminuyen el efecto negativo de los factores antinutricionales encontrados en muchas materias primas (como la soya) que afectan los procesos de la digestión y absorción y, por último, pueden ser un complemento del sistema digestivo de animales jóvenes cuando sea limitante la propia producción de enzimas (Rotter *et al.*, 1990; Piquer, 1996).

Sin embargo, los resultados encontrados en las investigaciones no han sido consistentes, probablemente por la complejidad de los sistemas enzimáticos o la inestabilidad de las enzimas. En México, en donde la base de los alimentos para aves son sorgo-soya o maíz-soya, es interesante conocer si la adición de enzimas puede incrementar la productividad de las aves con la misma eficiencia que se ha demostrado con el uso del trigo y cebada.

En el siguiente documento los temas que se abarcan van desde que son las enzimas, como funcionan, su uso en la alimentación animal, en que manera benefician como suplemento en la alimentación de las aves, el uso de fitasas y como benefician al medio ambiente, así como algunas experiencias desarrolladas en aves como en pollos de engorda, pavos y gallinas de postura.

Este trabajo es una revisión de literatura sobre el uso de enzimas para que productores, alumnos o personas interesadas en el tema pueden hacer uso de el. Toda la información presente se obtuvo en libros, jornadas Médico Avícolas, a través de investigaciones publicadas en revistas como *Poultry sci.* y por medio de memorias de congresos.

2. PERSPECTIVA HISTÓRICA

A pesar del interés reciente en el uso de enzimas suplementarias en los alimentos para animales, el potencial de su uso ha sido reconocido por muchos años. Durante los últimos años de la década de 1950, investigadores de la Universidad del Estado de Washington demostraron que la fuente de una enzima suplementaria aumento el valor alimenticio de las dietas de pollos de engorda basadas en cebada. Aunque la respuesta benéfica fue un comienzo erróneamente atribuido a la capacidad amilolítica de la fuente enzimática, más tarde fue demostrado que la actividad de la β -glucanasa, una enzima contaminante, fue la responsable primaria. En las dos décadas siguientes, la investigación sobre el uso de enzimas microbianas fue esporádica pero se hicieron importantes avances en el entendimiento de los mecanismos de acción de las enzimas y otros usos potenciales fuera de la dieta de cebada. Más recientemente, el interés en el uso de enzimas ha aumentado a causa del alto costo de las materias primas durante los últimos años de la década de 1970 y en los primeros de la década de 1980, y por consiguiente la búsqueda de otros ingredientes como alternativas. Además, otros alimentos, las bebidas y las aplicaciones industriales del uso de enzimas, se han hecho más comunes y se han buscado mercados alternos para aprovechar la experiencia actual asociada con la producción de enzimas (Classen, 1993).

3. EL USO DE ENZIMAS

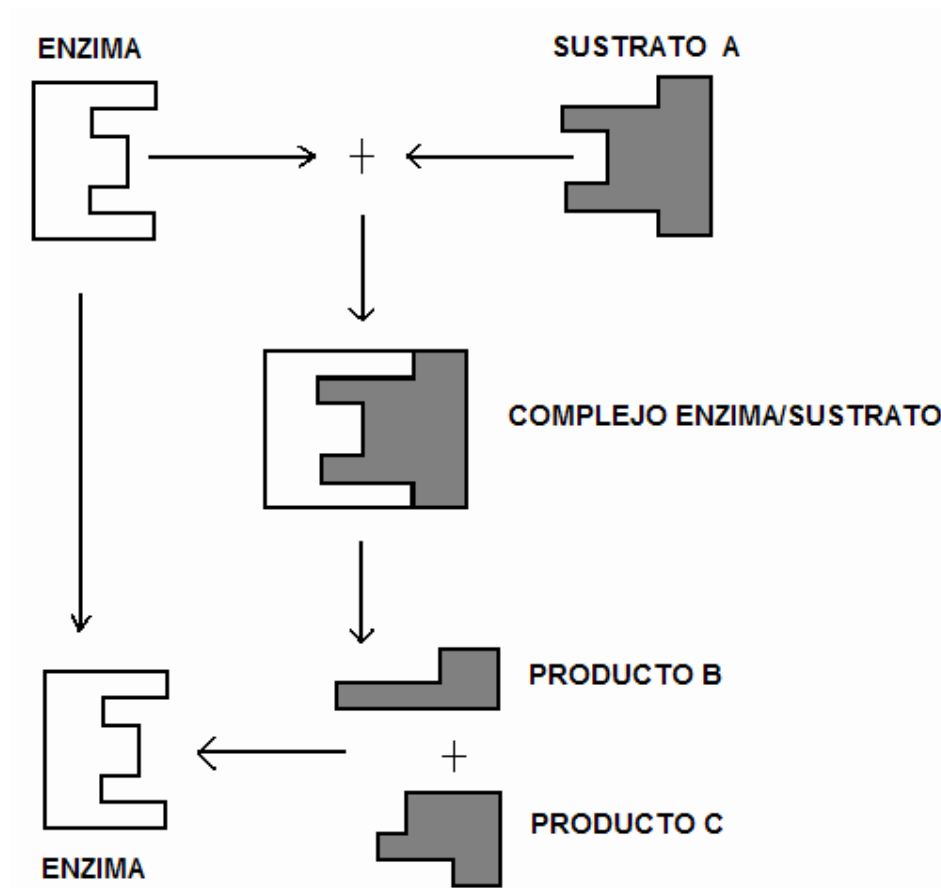
3.1 Qué son las enzimas y cómo funcionan

Las enzimas son proteínas de estructura tridimensional sumamente compleja, son bio-catalizadores cuya función es acelerar ciertas reacciones bioquímicas específicas que forman parte del proceso metabólico de las células. Aceleran en el organismo (en ocasiones hasta un millón de veces), diversas reacciones químicas que en condiciones normales sólo tendrían lugar muy lentamente o no se producirían en absoluto (Bedford, 1991; Bühler *et al.*, 1998). El proceso de la digestión corresponde a las reacciones químicas en donde las sales biliares actúan en conjunto con las enzimas y estas últimas se unen a moléculas de alimento de alto peso molecular (proteínas, grasas y carbohidratos) formando un complejo enzima-substrato para desdoblarlas en moléculas más pequeñas que puedan ser absorbidas (Avila, 1992; Coelho, 1997).

Para la producción de enzimas se utilizan diversos hongos, bacterias y levaduras; la síntesis de enzimas es esencial para estos microorganismos porque sus funciones vitales se mantienen gracias a las divisiones de substratos y el metabolismo dependientes de las enzimas. Además, las cepas especialmente seleccionadas o los microorganismos modificados genéticamente pueden producir cantidades de enzimas mucho mayores que en condiciones normales. Las enzimas utilizadas en nutrición animal provienen de microorganismos ampliamente diseminados en la naturaleza o que se han producido después de largos años de experiencia en la industria alimentaria. Ya que muchos organismos se adaptan a condiciones de vida extremas (temperatura, pH, osmolaridad), en la mayoría de los casos las enzimas microbianas son en este sentido más estables que las enzimas vegetales y animales (Bülher *et al.*, 1998).

Las enzimas son sustrato-específicas, pues sólo actúan sobre un determinado sustrato en condiciones muy concretas de temperatura, pH y humedad. No se consumen durante las reacciones catalíticas y una vez terminada la reacción, vuelve a su estado original (Figura 1). Por esta razón, la cantidad necesaria de enzimas es muy pequeña en proporción con la cantidad de sustrato (Donkers, 1989).

Figura 1. Funcionamiento de enzimas. Forma en que la enzima se adapta al sustrato y posibilita que una macromolécula se desdoble en dos moléculas menores.



(Donkers, 1989)

Los suplementos enzimáticos son proteínas sensibles que pueden perder parte de su actividad en el transcurso del almacenamiento, durante el procesamiento de los alimentos o en la degradación ácida o proteolítica de éste en el intestino animal, por lo que los resultados que se obtengan al suplementarlas en los alimentos para animales pueden depender de varios factores (Piquer, 1996). No obstante, las enzimas alimenticias en polvo pueden ser estabilizadas con objeto de hacer posible su almacenamiento en un período mínimo de nueve meses y resistir al proceso de peletización en el alimento cuando se realiza a menos de 85°C (Spring *et al.*, 1996; Graham e Inborr, 1993). Estas enzimas parecen ser resistentes a los niveles bajos de pH del estómago y a las proteasas producidas en el primer tramo del tubo digestivo del animal, de ahí que muchos productos enzimáticos pueden ser utilizados con buenos resultados en la fabricación de alimentos balanceados.

Sin embargo, los últimos avances en tecnología de fabricación de alimentos balanceados han dado como resultado un incremento en la temperatura y presión de procesamiento; aunque esto ha traído beneficios en la eficiencia productiva de los animales, también ha provocado la preocupación sobre la termo-estabilidad de ingredientes alimenticios más sensibles al calor, tales como vitaminas, aminoácidos y enzimas. Es por eso que en estos casos las enzimas deben ser agregadas en forma líquida después de la peletización (Harker, 1998).

Por lo tanto, la estabilidad de las enzimas es la primera característica exigible para su uso a nivel industrial, así como la estabilidad en el producto puro, en mezclas posteriores y en alimento terminado (Kernkamp, 1990). Pero el único método eficaz para evaluar el funcionamiento de los productos enzimáticos es *in vivo*, administrándolos a la dieta base y midiendo la respuesta en términos de rendimiento (Graham e Inborr, 1993).

3.1.1 Uso de enzimas en la alimentación animal

El valor nutritivo de cualquier alimento es influenciado por su composición química y el grado en el cual el ave es capaz de digerir, absorber y utilizar sus componentes (Wiseman e Inborr, 1990). La adecuada utilización de enzimas puede mejorar la digestibilidad de materias primas y reducir la variabilidad de éstas de la siguiente manera (Choct *et al.*, 1996; Ghazi *et al.*, 1996; Pack *et al.*, 1998):

1. Rompiendo la pared celular y permitiendo un mejor acceso de las enzimas endógenas a los nutrientes encapsulados.
2. Inactivando los factores antinutricionales encontrados en los cereales y en las fuentes de proteína vegetal.
3. Suplementando el sistema enzimático del animal, ya que después de nacer las aves necesitan absorber y utilizar los nutrientes del alimento y para esto, el tracto gastrointestinal necesita madurar.
4. Minimizando la fermentación bacteriana en el intestino delgado y fomentándola en los ciegos.

Cuadro 1. Enzimas utilizadas en avicultura y sus beneficios.

ENZIMA	SUSTRATO	FUNCIÓN	BENEFICIO
β -Glucanasa	Cebada, Avena	Reducción viscosidad	Mejora de la digestión
Xilanasas	Trigo, Centeno, Triticale, Salvado, Arroz	Reducción de viscosidad	Mejora la digestión
β -Galactosidasa	Granos leguminosos	Reducción de viscosidad	Mejora la digestión
Fitasas	Fósforo fítico	Liberación de fósforo	Mejora absorción de fósforo
Proteasas	Proteínas	Hidrólisis proteína	Incremento digestión proteína
Lipasas	Lípidos	Hidrólisis grasas	Uso en animales jóvenes
Amilasas	Almidón	Hidrólisis almidón	Suplemento para animales jóvenes

(Brufau, 2002)

En general, el nivel de fibra juega un papel importante en el valor nutritivo de las materias primas de origen vegetal, ya que forma parte de las paredes celulares y encapsula así otros componentes nutritivos como el almidón que constituye de un 55 a 70% del peso de los granos; éste, junto con el embrión componen el endospermo que está encerrado por la aleurona y el pericarpio, la barrera final es la capa de células del endospermo, la cual es más fácil de romper en el proceso alimentario por masticamiento, molienda en la molleja, etc. (Choct, 1997).

Los polisacáridos no almidones (P.N.A.) son prácticamente indigestibles por las aves, debido a que éstas no poseen las enzimas gastrointestinales apropiadas y la microflora de su intestino parece tener una actividad mínima en estos compuestos, por lo que su digestibilidad mediante fermentación microbiana es también reducida. Además, algunas fracciones de los P.N.A. como celulosa, pentosanos, fl-glucanos y pectinas reducen también la digestibilidad de otros nutrientes y el rendimiento de las aves (Shutte, 1998). Choct y col., (1996) observaron que al suplementar P.N.A. incrementó significativamente la viscosidad intestinal, redujo la energía metabolizable de la dieta, disminuyó el crecimiento y aumentó la conversión alimenticia de las aves. Los efectos antinutricionales de los P.N.A. y la pobre utilización que los monogástricos hacen de los mismos, han causado en años recientes que varios investigadores dirijan su trabajo hacia ellos, pues para un futuro es importante el aumento en la eficiencia de utilización de las materias primas por las aves (Bedford, 1991). En el Cuadro 2 se hace un resumen del contenido de P.N.A. en materias primas comúnmente usadas en la elaboración de alimentos balanceados para monogástricos.

Cuadro 2. Contenido de polisacáridos no almidones (P.N.A.) en algunas materias primas.*

MATERIA PRIMA	% DE P.N.A. TOTALES EN ALIMENTO
Trigo	7.5 – 11.9
Cebada	13.5 – 17.2
Avena	12.0 – 29.6
Maíz	5.5 – 11.7
Sorgo	5.6 – 12.2
Pasta de Soya 48%	18.0 – 22.7
Canola	18.7
Girasol	21.0

* Adaptado de Bülher *et al.*, (1998); Chesson (1989); Hervé (1998).

Ciertas bacterias como los actinomicetos y algunos hongos son capaces de sintetizar enzimas con actividad celulolítica, las cuales pueden digerir y romper la celulosa y otros P.N.A. de baja digestibilidad; debido a esto, la suplementación de enzimas con actividad celulolítica puede tener importancia práctica para mejorar el valor nutritivo de algunas materias primas en la alimentación de las aves (Broz y Frigg, 1986). También se ha observado que los xilo-oligómeros que resultan de la degradación de los xilanos por las xilanasas contribuyen a una buena colonización de la microflora del tracto gastrointestinal que ayuda a tener un buen estado de salud de las aves (Pack y Bedford, 1997). Se ha visto que con la suplementación de xilanasas cambia la distribución de las diferentes proporciones de la microflora cuando se usan dietas a base de trigo reduciendo de esta manera especies como *Clostridium*, *Enterobacterias* y *Campilobacter* (Apajalahti, 1999).

La justificación para la suplementación de alfa-amilasas en dietas a base de granos es porque el almidón representa la mayor fuente de energía y la capacidad propia del organismo para degradarlo es de alguna manera deficiente (Chesson, 1989). En contraste, Mahagna *et al.* (1995) mencionan que la suplementación de amilasas y proteasas exógenas disminuyó la actividad de quimiotripsina, tripsina y amilasa en el contenido intestinal; no se tuvo efecto sobre el consumo de alimento, ganancia de peso y fue acompañada también por una reducción en el contenido de la molleja y peso del intestino delgado; solamente cuando se usaron niveles altos de enzimas se mejoró ligeramente, pero en forma consistente, la digestibilidad de aminoácidos.

Se ha observado que la suplementación de proteasas ayuda a destruir a los inhibidores de tripsina y el contenido de lectinas en las leguminosas como la soya, usadas en la alimentación animal; esto mejora la digestibilidad de la proteína y en general su valor nutricional (Ghazi *et al.*, 1996).

3.1.2 Uso de enzimas en dietas a base de cereales de alta viscosidad

Cereales como trigo, cebada, centeno y avena, pueden ser en ocasiones excelentes sustitutos de maíz o sorgo en las dietas de monogástricos, pero es necesario hacer modificaciones en la dieta debido al contenido de P.N.A. que tienen (Scheideler *et al.* 1999). La causa de excretas pegajosas y la pobre productividad que puede ocurrir cuando se suministra cebada a las aves es debido a un factor de viscosidad, el cual es hidrolizado cuando se suplementan β -glucanasas. White *et al.* (1983) hacen un aislamiento de β -D-glucanos del contenido intestinal de los pollos alimentados con una dieta a base de cebada. Hesselman *et al.* (1981) y Hesselman *et al.* (1982) encuentran que la viscosidad de la cebada provocada por los β -glucanos solubles decrece con la madurez y cuando es almacenada en un medio anaeróbico, además con la suplementación de β -glucanasas en la dieta de aves se mejoró el consumo de alimento, la ganancia de peso, la conversión alimenticia y el contenido de materia seca en las heces. De Silva *et al.* (1983) encuentran mejores resultados al reducir la viscosidad en cebadas con la suplementación de β -glucanasas que con tratamientos a base de agua.

La suplementación de alfa-amilasas en dietas a base de cebada produjo ligeras mejoras en ganancia de peso, conversión alimenticia y digestibilidad de materia seca en pollos de engorda (Herstad y McNab, 1975).

Trabajando con cebadas de alta y baja viscosidad (Campbell *et al.*, 1989; Hesselman y Aman, 1986), encontraron que la suplementación de β -glucanasas mejoró los parámetros productivos y la digestibilidad del almidón y nitrógeno en el intestino delgado en los dos tipos de cebada; sin embargo, la respuesta fue más grande en las cebadas de alta viscosidad. En dietas para pollos a base de maíz o maíz-trigo, la adición de enzimas celulolíticas no mejoró los resultados productivos; en dietas a base de trigo tampoco mejoró el peso vivo, pero sí la conversión alimenticia y en dietas a base de cebada, avena o centeno mejoró significativamente la ganancia de peso y la conversión alimenticia (Broz y Frigg, 1986).

Los cereales como el trigo pueden variar su composición dependiendo de la variedad y las condiciones de cultivo, asimismo, la respuesta a la suplementación de enzimas en dietas para aves a base de estos cereales dependerá de la cantidad de baja digestibilidad que tenga la dieta (Longstaff y McNab, 1986; Rexen, 1981).

Es importante la buena digestibilidad de las dietas, ya que cuando éstas son poco digestibles, parte del almidón, proteína y grasa llegan sin digerir hasta la parte terminal del ileum y pueden servir de sustrato a especies de bacterias no deseables que no dejan prosperar a otras (Apajalahti, 1999).

3.1.3 Uso de enzimas en dietas a base de cereales de baja viscosidad

En cereales como maíz y sorgo, el nivel de fibra y de P.N.A. son por lo general más bajos en comparación con cereales como trigo, cebada o avena. Tradicionalmente el maíz es preferido en la alimentación animal por tener el nivel más alto de energía de los cereales (Pack y Bedford, 1997). Contrario a lo que siempre se supone que el maíz es constante de lote a lote, hay evidencias de que su valor de energía varía en forma considerable, debido a la variedad y a las condiciones en que se cultivó. Leeson *et al.* (1993) indican una variación en el contenido de energía metabolizable de 2.926 a 3.474 kcal/kg. cuando las condiciones de cultivo y cosecha no son las adecuadas. El almidón de maíz se supone que tiene una digestibilidad mayor al 98% pero Noy y Sklan (1995) encontraron que la digestibilidad ideal raramente pasa del 85% en pollos de engorda de 4 a 21 días de edad.

El primer efecto de la suplementación de enzimas es aumentar el valor energético de la dieta de un 1.5 a 3.7% (Hervé, 1998). Trabajos con diferentes tipos de maíces en pollos de engorda hasta los 28 días de edad indican que la variación en los valores de energía digestible ideal sin suplementar enzimas era de ± 81 kcal/kg. y con la suplementación de enzimas se mejoró el nivel de energía en 97 kcal/kg. y se redujo la variación a sólo ± 40 kcal/kg. (Wyatt *et al.*, 1999).

Hasta hace poco se asumía que el maíz, sorgo y pasta de soya no ocasionaban problemas digestivos; los trabajos relacionados con la utilización de enzimas en dietas a base de granos con alta viscosidad han permitido el desarrollo de productos específicos que tienen el potencial de mejorar la productividad de aves alimentadas con dietas a base de granos de baja viscosidad (Pack *et al.*, 1998). Existen dos principales maneras de usar enzimas en dietas maíz-pasta de soya para pollos de engorda, la más práctica en aves jóvenes es adicionarlas a una fórmula ya existente con el fin de mejorar la productividad de las aves; la otra es cambiar los niveles de formulación con el propósito de bajar costos por tonelada de alimento y suplementar enzimas tratando de obtener la misma productividad del ave que con la formulación normal (Pack y Bedford, 1997). Graham (1997) menciona que la suplementación de xilanasas, alfa-amilasas y proteasas puede mejorar la digestibilidad del almidón del maíz, debido a que éste se encuentra incrustado en una matriz proteica y señala mejoras en el pollo de engorda de un 2.5% en ganancia de peso y 3.6% en conversión alimenticia. En experimentos hechos con dietas a base de sorgo, Cortes y Avila (1997) indican que se puede hacer alimentos bajando 3% los niveles de proteína y energía metabolizable sin afectar parámetros productivos en pollo de engorda.

Como es natural, no todo funciona al 100 %. Existen ciertas limitaciones como la falta de termo estabilidad de los enzimas, la falta de eficacia asegurada en dietas a partir del trigo y la aun no evidente eficacia de las preparaciones enzimáticas de la soya y otras proteaginosas.

Los enzimas son termolabiles a temperaturas superiores a 65 °C, con lo que los procesos de fabricación de piensos los destruyen. En la actualidad, el proceso de aplicación de enzimas ha superado este problema mediante la incorporación liquida o bien con la aplicación de enzimas protegidas por encapsulación. Así pues, hoy no existen riesgos de perdida de las enzimas por granulación del pienso.

La eficacia de la aplicación de enzimas de dietas a partir del trigo no están totalmente resueltas. Existen diversas hipótesis por las que esta aplicación aun no resuelve el problema con todas las garantías de éxito. Una es la propia composición de la estructura de los arabinoxilanos presentes en el trigo y otra podría ser que los enzimas adicionados pueden ser inhibidos por la presencia de proteínas inhibitorias generadas por el propio trigo. En un futuro cercano se esperan enzimas que puedan actuar sin ser afectadas por los inhibidores enzimáticos.

La aplicación de enzimas para mejorar las proteagidazas, en especial después de la prohibición de productos de origen animal, deberá ser un reto como para la industria de piensos como para la industria biotecnológica productora de enzimas.

Hasta la fecha, sé a publicado (Kocher *et al.*, 2003) la acción de ciertos enzimas–hemicelulares, pectinasa, B-glucanasas y B-galactanasas sobre los contenidos intestinales en azúcares como rafinosa, galactosa, xilosa, manosa y glucosa de las fracciones solubles e insolubles en el yeyuno e íleo de los pollos; sin embargo, no se observó ningún efecto sobre el crecimiento de los pollos. En otras publicaciones recientes (Ghazi *et al.*, 2002) también se demuestra como la adición de proteasas incrementa la digestibilidad aparente de las proteínas y de la energía. En el caso que se produzca una aplicación industrial en este campo de la adición de enzimas para incrementar el valor de los ingredientes proteicos de origen vegetal sé podrá manifestar que el mercado de la aplicación de preparaciones enzimáticas se ha multiplicado.

3.2 Requisitos de las enzimas

Es importante recalcar que para un uso comercial de enzimas exógenas, hay que recordar que ellas deberán soportar los rigores del proceso de alimentos (temperatura, presión y humedad), junto con el medio ambiente adverso que representa el tracto digestivo mismo. No sólo deberán soportar las fluctuaciones de pH y ataque simultáneo de las enzimas proteolíticas sino que además deben ser capaces de realizar eficazmente su función digestora de sustratos. (Bedford, 1996)

4. RAZONES ANATÓMICAS Y FISIOLÓGICAS QUE EXPLICAN LAS DIFERENCIAS OBSERVADAS ENTRE AVES Y PORCINOS EN CUANTO A LA RESPUESTA A LA SUPLEMENTACIÓN DE ENZIMAS

Aunque pollos y cerdos son animales monogástricos y carecen de la capacidad para producir enzimas que degraden α -glucanos, arabinosilanos y fitatos, son varias las diferencias anatómicas y funcionales entre ellos, que pueden afectar a la respuesta tras la suplementación del pienso con enzimas exógenas destinadas a degradar estos compuestos. (Piquer, 1996)

4.1 pH

Las aves poseen un buche que proporciona la posibilidad de que los enzimas exógenos empiecen a actuar sobre los sustratos presentes en el pienso antes de llegar al estómago. Durante el período de almacenamiento en esta cámara, el pH es de 6.3 un valor favorable para la actuación de la mayoría de enzimas exógenas. En el Cuadro 3 se incluyen los valores de pH medios en el estómago y en los distintos tramos del intestino delgado para las dos especies. Como se puede observar, el pH es más ácido en el estómago y duodeno del ganado porcino que en su equivalente en las aves. Hay que tener en cuenta que la mayoría de enzimas con actividad α -glucanasa y xilanasas pierden actividad cuando disminuye el valor del pH. Por tanto, cuanto más actividad conserve una

enzima determinada a pH ácido, mayores serán los efectos obtenidos en alimentación de porcino, tal como observaron (Graham *et al.*, 1988).

Cuadro 3. Condiciones de pH en el tracto gastrointestinal de cerdos y aves.

LUGAR	pH medio (rango)	
	AVES	CERDOS
Proventrículo / Molleja	2.7 (0.5 - 5.5)	-
Estómago	-	(1.0 - 4.5)
Duodeno	6.0	4.8 (4 - 6.2)
Yeyuno	6.3	6.0 (5.5 - 6.9)
Ileon	6.9	7.0 (7.0 - 7.4)
Ciego	6.7	6.3 (5.9 - 6.8)
Colon	6.9	6.2 (5.8 -6.5)

(Chesson, 1987)

Además de las diferencias en pH, hay que tener en cuenta que el tiempo de retención de la digesta en el proventrículo/molleja es reducido (15 a 60 minutos) en comparación con el de retención en el estómago del porcino (Classen, 1996).

4.2 Capacidad fermentativa

Otra característica que diferencia a las dos especies es la mayor capacidad fermentativa de elementos fibrosos en el ganado porcino. Mientras la capacidad del intestino grueso/ciegos en las aves es inferior al 10% de la capacidad total del sistema digestivo, el colon y ciego del porcino suponen más del 30%. Por tanto, el cerdo es capaz de obtener parte de la energía a partir de la fermentación cecal de polisacáridos no amiláceos, mientras que en el caso de las aves su capacidad es muy reducida o nula. Además, parece que la población de lactobacilos presente en el intestino delgado del porcino tiene la capacidad de degradar los polisacáridos no amiláceos para producir el ácido láctico a partir de hexosas. Sin embargo, la capacidad fermentativa de esta población para producir ácidos grasos volátiles no parece clara, con resultados contradictorios entre distintas fuentes (Dierick y Decuypere, 1996).

4.3 Viscosidad del contenido intestinal

Uno de los mecanismos de acción propuestos de α -glucanasas y xilanasas en avicultura es la disminución de la viscosidad intestinal, que aumenta de forma marcada cuando se incorporan cebada, trigo o centeno en los piensos. De esta forma se facilita la absorción de nutrientes y se evita la proliferación de microorganismos en el tracto digestivo (Bedford, 1996). Sin embargo, en el caso del ganado porcino, la reducción de la viscosidad por la utilización de enzimas es mucho menos marcada y las diferencias, en algunos casos no son significativas (Bedford *et al.*, 1992). Los valores de viscosidad en cerdos alimentados con alimentos con altos contenidos de cebada sin enzimas oscilan entre 2 y 4 cps, mientras que en aves se encuentran valores que oscilan entre 8 y 200 cps. Este efecto se atribuye en parte al mayor contenido en agua de la digesta de los cerdos aunque también se debe considerar la capacidad de degradación de polisacáridos no amiláceos en el intestino delgado del cerdo mencionada anteriormente. Como consecuencia de esta menor importancia de la viscosidad y mayor capacidad de fermentación, la influencia de los enzimas sobre la absorción aparente de nutrientes es más reducida en el caso del porcino que en las aves. Sin embargo, en estudios destinados a determinar la digestibilidad ideal de

energía y proteína se ha observado que la utilización de α -glucanasas y xilanasas la mejora de forma significativa, aunque estas diferencias no se reflejaron a nivel de digestibilidad fecal (Taverner y Campbell, 1988).

5. UTILIZACION DE FITASAS EN LA ALIMENTACIÓN DE MONOGASTRICOS

La importancia del fósforo en dietas para gallinas, radica en que este mineral es uno de los nutrimentos más caros, después de la energía y la proteína en la formulación de raciones. Una causa de ello es que el fósforo, en las plantas está unido en forma de fitatos y no es totalmente disponible para las aves. Sólo entre el 30 y el 40% del fósforo total que consumen las aves a través de ingredientes de origen vegetal es fósforo disponible (Pd) y el resto no se aprovecha. En el caso de las aves esto es un problema, debido a que no cuentan con fitasas para hidrolizar el ácido fítico haciendo disponible el fósforo para el animal. Por lo tanto es necesaria la adición de fuentes de fósforo inorgánico en las dietas para cubrir las necesidades de Pd y obtener óptimos comportamientos biológicos en las aves. (Fuente *et al*, 2002).

Por eso las fitasas constituyen un grupo de enzimas que pueden poseer ventajas a dos niveles. En primer lugar, al aumentar la disponibilidad del fósforo fítico contenido en las materias primas de origen vegetal, se produce una disminución de la cantidad de fósforo inorgánico que se tiene que suplementar a las raciones y se puede disminuir el coste de la formulación. En segundo lugar, y como consecuencia de la característica anterior, se produce una reducción de la cantidad de fósforo excretado y una menor contaminación ambiental.

Una de las posibles razones para que las fitasas sean efectivas en ambas especies es que el pH óptimo se sitúa entre 2,5 y 5,5, por lo que la pérdida de actividad en el estómago del cerdo o en el proventrículo/molleja de las aves sería mínima. La disponibilidad de fósforo aumenta más por la adición de fitasas en las materias primas en la que su disponibilidad es más baja (maíz), mientras que en otras materias primas con menos fósforo fítico el efecto es mayor (trigo y triticale), factor a tener en cuenta si se pretende incrementar la disponibilidad del fósforo de las materias primas utilizando fitasas en el pienso. A diferencia de α -glucanasas y xilanasas, es importante recalcar en el caso de la utilización de fitasas en porcino, que son efectivas tanto en animales en crecimiento como en animales adultos reproductores (Jongbloed *et al.*, 1993).

En el cuadro 4 se incluyen datos que demuestran la mejora en la retención de fósforo en pollos de 10 y 17 días de edad alimentados con un pienso basado en maíz y soja con un contenido bajo en fósforo (Sebastián *et al.*, 1996).

Cuadro 4. Efecto de la adición de fitasas sobre la retención de fósforo en broilers de 10 y 17 días de edad alimentados con un pienso bajo en fósforo.

	Retención fósforo, %	
	10 días	17 días
Maíz-soya control	48,6	49,8
Maíz-soya bajo en fósforo	52,6	51,9
Maíz-soya bajo en fósforo + fitasa	56,2	61,3

(Sebastián *et al.*, 1996).

5.1 Aprovechamiento del fósforo en avicultura

El fósforo en los vegetales se encuentra en forma inorgánica en pequeña proporción y la mayor parte ligado al ácido fítico que contiene aproximadamente un 28% en forma de radicales de ácido fosfórico; estos radicales tienen afinidad por diversos cationes como: Fe, Ca, Cu, Zn, citados en orden decreciente de afinidad (Erdman, 1979; Pointillart, 1994).

Los monogástricos, en general, carecen o tienen muy pocas enzimas en el intestino delgado que puedan hidrolizar los fitatos. Por esta razón, el fósforo y los demás minerales citados que se encuentren ligados a los fitatos tendrán una disponibilidad muy limitada. En cambio las aves sí tienen algo de actividad fitásica a nivel intestinal por lo que el aprovechamiento es, en general, superior al de la especie porcina para los mismos cereales (Pointillart, 1994).

Las materias primas tienen cierta actividad fitásica endógena, pero ésta depende del tipo de materia prima. Igualmente la cantidad de fósforo fítico también varía según el tipo de materia prima, entre un 50 y un 85% (Pointillart, 1994).

Estos dos factores conjugados hacen que las disponibilidades del fósforo fítico varíen para las distintas materias primas. Como consecuencia de ello, la antigua regla de asignar un tercio de disponibilidad al fósforo vegetal con carácter general no es correcta.

Por último hay que señalar que la disponibilidad también depende de la especie animal, por este motivo es necesario dar tres valores en matriz para el fósforo:

- fósforo total, que es del que disponemos información bibliográfica y analítica y por otra parte es el utilizado en rumiantes ya que estos sí disponen de fitasas en rumen.
- fósforo disponible porcino
- fósforo disponible avicultura

La fórmula $[P \text{ disponible} = P \text{ vegetal total} - P \text{ fítico}]$ no es por tanto aplicable en monogástricos, al ser necesario particularizar para cada especie. (Méndez, 1998).

5.2 Enzimas para la utilización del fósforo

El fósforo en las plantas está unido a fitatos y no es totalmente disponible para las aves. Sólo entre el 30 y 40 % del fósforo total que consumen las aves a través de ingredientes de origen vegetal es fósforo disponible y el resto no es aprovechado. En el caso de animales no rumiantes esto representa un problema, debido a que no cuentan con enzimas propias denominadas fitasas las cuales hidrolizan el ácido fítico haciendo disponible el fósforo para el animal además de otros nutrientes secuestrados por el ácido fítico.

La aparición reciente en el mercado, de fitasas recombinantes, han acelerado el uso de enzimas en la industria animal, ya que las necesidades de fósforo disponible en las aves y los cerdos representan un problema de índole económico y ecológico. Las fitasas producidas por el *Aspergillus* y *Peniophora lycii* liberan fosfato del fitato presente en la dieta durante su paso a través del tracto gastrointestinal (Ávila y Cortes, 2002).

5.3 Ácido fítico y fitasas

La degradación de los fitatos en el tracto digestivo de las aves puede ser atribuida a la acción de una o más de las cuatro posibles fuentes:

- 1) fitasa intestinal de las secreciones digestivas
- 2) fitasas producidas por microorganismos del aparato digestivo
- 3) fitasas endógenas de los alimentos
- 4) fitasas exógenas producidas por microorganismos (Sebastián *et al.*, 1997), siendo las dos primeras fuentes de muy difícil cuantificación.

Las fitasas endógenas de los vegetales tienen un pH óptimo de actividad alrededor de 5, son muy sensibles a las variaciones de pH y, como toda proteína, también lo son a las temperaturas. Por esta razón, las fitasas endógenas son poco eficientes para aumentar la disponibilidad del fósforo fítico.

Las fitasas de origen microbiano obtenidas por vía fermentativa a partir de *Aspergillus Niger*, tienen un rango de actividad para el pH más amplio, entre 2,5 y 5,5, lo que les da muchas más posibilidades a nivel digestivo (Simons *et al.*, 1990).

Las fitasas microbianas, al igual que las fitasas endógenas, son termolábiles. Por tanto, las temperaturas de granulación normales estarán en el límite de inactivación de las fitasas. En este sentido es interesante disponer de un método que permita analizar la actividad de las fitasas en los piensos terminados, una vez sufrido el proceso térmico. A diferencia de los métodos utilizados para otras enzimas que dependen de las recomendaciones dadas por los fabricantes, en este caso se mide la liberación de fosfato sobre un sustrato de fitato sódico, por lo que el método debería ser más universal al medir actividad y no solo niveles de fitasas. (Méndez, 1998).

5.4 Formulación con fitasas

Está reconocida por la utilización práctica y por la literatura científica una equivalencia de 500 UFT (unidades de fitasa) a 1g de fósforo, es decir, si añadimos 500 UFT al pienso se puede reducir el aporte de fósforo disponible en 0,1 %.

El modo más práctico de utilización es dar un valor de fósforo disponible en la matriz a la fitasa. La dosis recomendada es de 500 UFT/kg y siempre asegurando que tenemos un sustrato de fósforo fítico en la dieta sobre el que puedan actuar las fitasas. Como mínimo debe existir un 0.2 % de fósforo fítico.

Las recomendaciones de niveles de fósforo disponible en la ración se mantienen sin cambios cuando se incluyen fitasas, pues si bien hay una cierta tendencia a rebajar las necesidades de fósforo disponible en animales de engorda, especialmente en porcino, el ahorro que esto supone nada tiene que ver con la inclusión de fitasas. (Méndez, 1998)

5.5 Utilización práctica del uso de la fitasa

En un estudio realizado con lotes comerciales de ponedoras, se llega a la conclusión de que es posible utilizar fitasas en avicultura con equivalencias de 1g fósforo disponible por 500 UFT, sin que se aprecien diferencias de resultados.

En condiciones de campo se están utilizando valores más arriesgados para ponedoras, de 1g fósforo disponible por 400 UFT, e incluso de 1g fósforo disponible por 300 UFT.

Para pollos los valores normales son de 1g fósforo disponible por 500 UFT. Como se comentaba anteriormente, si las recomendaciones que estamos utilizando de fósforo tienen un elevado margen de seguridad, como posiblemente sea el caso en general, cualquiera de estas equivalencias funcionan, pero si rebajamos los niveles de recomendaciones de fósforo disponible, entonces es necesario actuar con prudencia al dar las equivalencias entre UFT y fósforo disponible.

Por último comentar que las fitasas en avicultura dejaron de ser una cuestión científica y sólo queda su utilización práctica teniendo en cuenta lo siguiente:

- precio de la unidad de fósforo disponible de las fuentes minerales
- precio de las fitasas
- cantidad de fósforo fítico de la dieta
- temperatura de granulación
- tecnología precisa para aplicación líquida
- problemas medioambientales
- cuantificar la posible mejora de otros nutrientes.

5.6 Utilidad ecológica de las fitasas

Las necesidades de fósforo disponible en las aves son un problema de índole económico y ecológico ya que una gran cantidad del fósforo consumido por el animal es excretado en las heces y la orina, estos residuos animales se depositan en el suelo y son lavados y drenados por acción del agua de lluvias contaminando estanques, arroyos, lagos, ríos y océanos.

Durante la última década los avances en biotecnología han resultado en la producción a gran escala de fitasas microbianas capaces de hidrolizar el ácido fítico y liberar el fósforo ligado a los fitatos. Estudios realizados en gallinas de postura han demostrado que la adición de enzimas fitasas exógenas a las raciones mejoran la utilización del fósforo por lo que puede reducirse el fósforo que se adiciona a las raciones y por ende reducir la eliminación del fósforo al medio ambiente (Fuente *et al*, 2002).

El fin último de la utilización de fitasas en la actualidad es disminuir la excreción de fósforo, en algunos casos también pueden suponer cierto ahorro económico, especialmente en piensos de ponedoras. Schoner, (1992) resumiendo varios trabajos realizados en pollos estima el aprovechamiento del fósforo en un 47 % y cuando se utilizan fitasas se aumenta el aprovechamiento al 64 % de forma que si consideramos un pollo de 1.5 kg la mejora relativa es de 100:50 (cuadro 5), lo que supondría una gran disminución del fósforo que estamos incorporando al medioambiente.

Cuadro 5. Utilidad y control ecológico de las fitasas

	CONTROL	<i>FITASAS</i>
Peso pollo (g)	1500	<i>1500</i>
Consumo pienso (g)	2300	<i>2300</i>
P total pienso (g/kg)	7.0	<i>5.2</i>
Ingesta P (g/kg)	16.1	<i>11.9</i>
Conversión P %	47.0	<i>64.0</i>
Retención P (g/pollo)	7.6	<i>7.6</i>
Eliminación P (g/pollo)	8.5	<i>4.3</i>
<i>Mejora relativa</i>	<i>100</i>	<i>50</i>

(Schoner, 1992)

6. EXPERIENCIAS DESARROLLADAS EN AVES CON EL USO DE ENZIMAS

6.1 Pollos de engorda

a) Enzimas para la utilización del fósforo. (Ávila y Cortes, 2002). Se emplearon 240 pollos de un día de edad, distribuidos al azar en ocho tratamientos. Se empleó una dieta basal sorgo + soya deficiente únicamente en fósforo inorgánico, la cual fue suplementada con 0, 0.1, 0.2 y 0.3% de fósforo inorgánico y con 250, 500, 750 y 1000 unidades de fitasa (*Peniophora lycii*) por kilogramo. Los resultados indicaron que la suplementación de fósforo inorgánico a la dieta basal, incremento linealmente la ganancia de peso a los 21 días de edad, así como el % de cenizas en hueso. También se pudo apreciar que la ganancia de peso se mejoró linealmente hasta el nivel de adición de 750 unidades de fitasa, lo cual fue equivalente a la suplementación de 0.1 % de fósforo inorgánico. La respuesta a 750 unidades de fitasa en porcentaje de cenizas en tibias fue equivalente a la suplementación de 0.09% de fósforo inorgánico.

b) Efecto de la suplementación de enzimas en la dieta para pollo de engorda sobre los parámetros productivos. (Elizarraraz *et al.*, 1999). Se llevaron a cabo varios trabajos de investigación con el objeto de evaluar la suplementación de enzimas (xilanasas, amilasas y proteasas) en dietas a base de sorgo o maíz, sobre parámetros productivos del pollo de engorda. En el primer experimento los tratamientos consistieron en: T-1 dieta Testigo a base de sorgo cumpliendo los requerimientos del NRC (1994), excepto energía metabolizable; T-2 dieta similar al Testigo más enzimas; T-3 dieta con baja energía hasta cubrir el costo del uso de enzimas; T-4 dieta con 2.5% menos de energía, proteína y aminoácidos en relación al Testigo más enzimas. A los 21 días de edad se pudo observar una mejora en conversión alimenticia ($P < 0.01$) en aquellos tratamientos con enzimas. Al finalizar el ciclo de producción a los 49 días de edad, el tratamiento de la dieta Testigo más enzimas, tuvo una mejor conversión alimenticia ($P < 0.01$); en pigmentación de piel, cuando se comparó la dieta Testigo contra la dieta similar más enzimas, no hubo ninguna diferencia ($P > 0.05$); en costo por kilogramo de carne producido no hubo efecto estadístico ($P > 0.05$) entre los tratamientos. En el

segundo experimento, los tratamientos consistieron en: T-1 dieta Testigo a base de maíz, cumpliendo los requerimientos del NRC (1994), excepto energía metabolizable; T-2 dieta similar al Testigo más enzimas; T-3 dieta baja en energía hasta cubrir el costo de las enzimas; T-4 dieta con 2.5% menos de energía, proteína y aminoácidos en relación al Testigo más enzimas. A los 21 días de edad se obtuvo una mejor ganancia de peso corporal ($P<0.01$) en el tratamiento con la dieta similar al Testigo más enzimas. En los resultados acumulados a los 49 días de edad, los tratamientos con enzimas tuvieron pesos corporales y mortalidad general similares al Testigo ($P>0.05$); en consumo de alimento y conversión alimenticia, el tratamiento con menos energía, proteína y aminoácidos, más enzimas, obtuvo valores más altos que el Testigo ($P<0.01$); para pigmentación en piel, al comparar la dieta Testigo contra la dieta similar más enzimas no hubo diferencia ($P>0.05$) entre ambos tratamientos; de igual manera, para costo por kilogramo de carne producido no hubo efecto estadístico ($P>0.05$) entre todos los tratamientos. Para el tercer experimento, Se estudiaron dos densidades nutricionales, una que cumplía los niveles del NRC (1994), excepto energía metabolizable, considerada como normal y otra con 2.5% menos de energía, proteína y aminoácidos, considerada como baja, con y sin suplementación de enzimas. Los resultados a los 21 días de edad mostraron diferencias ($P<0.01$) en peso corporal y conversión alimenticia a favor de la densidad nutricional normal y no se observó ningún efecto estadístico ($P>0.05$) a la suplementación de enzimas en los parámetros productivos. A los 49 días de edad se encontraron diferencias ($P<0.01$) entre las densidades nutricionales para ganancia de peso y conversión alimenticia a favor de la densidad normal y ninguna diferencia estadística con y sin la suplementación de enzimas en los parámetros productivos evaluados. Concluyendo que la suplementación de enzimas en dietas a base de sorgo o maíz mejoran o mantienen el peso corporal y la conversión alimenticia de pollos de engorda a los 21 días de edad cuando se usan sobre la formulación Testigo y que hasta los 49 días de edad en dietas a base de sorgo, puede haber un efecto positivo sobre conversión alimenticia, pero cuando se baja la densidad nutricional de la dieta se puede llegar a afectar la ganancia de peso y conversión alimenticia, aún con la adición de enzimas. En cuando a pigmentación de piel y costo por kilogramo de carne producido no tuvo ningún efecto la suplementación de enzimas.

c) Efectos de la adición de enzimas en el desarrollo y tamaño del conducto gastrointestinal de pollos alimentados con semilla de lupina y sus fracciones. (Brenes *et al.*, 2002). Se condujeron tres experimentos para estudiar los efectos de la adición de una preparación de enzima cruda a las dietas con lupina entera sin vaina y vainas de lupina en el desarrollo, retención de materia seca (DMR), energía metabolizable aparente (AME), digestibilidad aparente de proteína (APD), y tamaño del conducto gastrointestinal de Leghorn y pollos de engorda. En el primer experimento, los pollos Leghorn alimentados con dietas con contenidos de más de 70% de lupinas enteras mostraron un descenso en el desarrollo.

Los descensos progresivos en el DMR (hasta un 30.2%), AME (hasta un 6.5%), y APD (hasta un 6.5%) y un aumento en el peso relativo de la molleja (18.8%) se observó en el aumento de concentración de lupinas (23.1, 46.9, y 70%) en la dieta. La suplementación de enzimas en la dieta con contenidos de lupinas mejoró de manera significativa el rendimiento de los pollos. El DMR y AME mejoraron por un 4.2 y 3.1, respectivamente, y el tamaño de la molleja se redujo en un (7.1%) a través de la adición de enzimas.

En el segundo experimento, la adición de 11.2 y 22.4% de vainas de lupina a una dieta de lupina sin vaina dio como resultado una depresión dramática en el rendimiento de los pollos, con valores que oscilaban de 6.3% para el consumo de alimento y 60.5% para la relación alimento a aumento, y un aumento en el peso relativo de órganos (hasta un 29.9%) y largo (35.6%). Estos efectos fueron parcialmente contrarrestados por la acción de las enzimas. En el tercer experimento, el incrementar la concentración de lupinas enteras (15, 35, y 45%) en las dietas de pollos de engorda causó un descenso en el rendimiento de las aves alimentadas con un 35 y 45% de lupinas enteras según se comparó con aquellas alimentadas con una dieta de trigo y soya.

En contraste, un 15% de lupinas mejoró el aumento de peso en comparación con el obtenido con las dietas sin lupina. El contenido más bajo de lupinas en la dieta también tuvo poco o ningún efecto en los valores de rendimiento en comparación con el grupo control, puesto que un 35 y 45% de lupinas tendieron a tener efectos negativos. De la misma forma, el aumentar el contenido de lupina en la dieta produjo un aumento en el tamaño relativo de varias secciones del conducto gastrointestinal.

La suplementación de dietas de lupina mejoró el aumento de peso (5.5%) y consumo de alimento (3.8%) siendo los valores similares a aquellos obtenidos con la dieta de trigo-soya. Adicionalmente, las enzimas también redujeron el tamaño relativo de los órganos digestivos en un 5.3% para el páncreas a un 22.2% para el buche. En resumen, las lupinas parecen contener componentes fibrosos que reducen el rendimiento de las aves y aumentan el tamaño del conducto gastrointestinal. La suplementación de enzimas contrarrestó estos efectos negativos en aves alimentadas con lupinas enteras, sin vainas y dietas con vainas de lupinas.

d) Efectos de la adición de enzimas a las dietas de pollos de engorda con altas concentraciones de harina de semilla de girasol o canola. (Kocher *et al.*, 2000). Se determinaron los efectos de dos productos de enzimas comerciales en el valor nutritivo del harina de canola (CM) y harina de girasol (SFM) en un ensayo clásico de energía metabolizable aparente (AME) con especial énfasis en el uso de polisacáridos de tipo no-almidón (NSP). Se añadieron las enzimas a dietas de crecimiento de pollos de engorda semi-purificadas basadas en maíz y caseína con 35% de CM ó 35% de SFM, respectivamente. El consumo de alimentos, crecimiento y AME de las dietas fue afectado significativamente ($P < 0.001$) por el tipo de harina oleaginosa añadida a la dieta. Las aves alimentadas con dietas basadas en SFM tuvieron una tasa de crecimiento significativamente mayor y AME, así como un menor porcentaje de conversión de alimentos (FCR) que las aves alimentadas con las dietas basadas en CM.

La adición de enzimas a las dietas basadas en CM o SFM no tuvo efectos significativos en el crecimiento y AME; sin embargo, la adición de enzimas a dietas basadas en CM dieron como resultado una significativa reducción en la concentración de NSP soluble en el yeyuno (Enzima A) o una significativa reducción de NSP total en el yeyuno (Enzima B). AMEn fue significativamente menor en dietas con CM suplementadas con Enzima B. La adición de enzimas a las dietas basadas en SFM mejoraron significativamente la digestión de NSP en el yeyuno y la digestión de proteínas en el íleo. Los resultados de este estudio indican que los productos de enzimas comerciales tuvieron efectos en las dietas con altas concentraciones de CM o SFM. Sin embargo, estos efectos pudieron verse únicamente después de un análisis detallado de la alimentación y digestión y no dieron como resultado mejorías significativas en el crecimiento de pollos de engorda.

e) Efecto de la adición de enzimas en las digestibilidades de los polisacáridos de la pared celular y oligosacáridos de lupinas blancas extraídos con etanol, diluidos y enteras en pollos. (Brenes *et al.*, 2003). Se condujeron tres experimentos para examinar los efectos de una preparación de enzima comercial en el rendimiento de pollos y digestibilidad de polisacáridos no almidonados (NSP), raffinosa (R), estaquiosa (S), y total de oligosacáridos (O) en las dietas que contenían lupina entera y diluida y harina de lupina diluida extraída con etanol. El extracto de etanol también se utilizó para producir una fracción rica en oligosacáridos. En el primer experimento, el tratamiento diluido y la adición de enzimas a la dieta mejoró ($P < 0.05$) el aumento de peso (24 y 15%), relación alimento-aumento (13 y 9%), retención de materia seca (32 y 8%), digestibilidad aparente de proteína (6 y 3%) y digestibilidad ileal de raffinosa (19 y 119%), estaquiosa (85 y 204%), y total de oligosacáridos (68 y 178%), respectivamente. En adición, el tratamiento de enzimas mejoró ($P < 0.05$) los valores de digestibilidad de excreta para NSP (de -1.7 a 5.5%), R (de 64.6 a 92.6%), S (de 48.8 a 82.4%), y O (de 55.8 a 83.5%). En el segundo experimento, la extracción de los componentes solubles de etanol de lupina diluida disminuyeron ($P < 0.0001$) aumento de peso (51%), y aumentaron ($P < 0.0001$) consumo de alimento (34%), relación alimento-aumento (32%), peso relativo de la molleja (14%), y el largo relativo del ciego (20%).

Los valores de rendimiento producidos de la adición de la fracción aislada de oligosacáridos a la dieta de lupina extraída del maíz (7.5 y 15%) fueron similares a aquellos obtenidos con la lupina diluida no extraída. La adición de enzimas a las dietas mejoró significativamente el aumento de peso (11%) y relación peso - alimento (6%), y disminuyó el peso relativo de la molleja (12%) y largo relativo del ciego (7%). Las digestibilidades ileales de R, S, y O fueron considerablemente más bajas que las digestibilidades de excreta correspondientes. La digestibilidad de excreta de NSP y las digestibilidades de excreta e ileal de R, S, y O fueron más bajas ($P < 0.05$) en pollos alimentados con la dieta de lupina con una alta concentración de extracto comparada con aquellos alimentados la misma dieta con la concentración más baja de extracto. Las enzimas al añadirlas a las dietas aumentaron ($P < 0.05$) las digestibilidades de R, S, y O con los efectos relativos más altos para muestras ileales que de excreta. En el tercer experimento, el extracto de etanol (7.5 y 15%) añadido a una dieta de maíz y soya mejoró el aumento de peso, consumo de alimento, y relación alimento-aumento por 19, 13, y 6%, respectivamente. Las digestibilidades ileales de R, S, y O fueron bajas ($<45\%$), especialmente en pollos alimentados con las dietas con alta cantidad de fracción de oligosacáridos añadidos. No hubo efectos de la adición de enzimas en los parámetros de rendimiento. Sin embargo, las enzimas suplementales en la dieta mejoraron la digestibilidad ileal y de excreta ($P < 0.05$) de oligosacáridos de 15.6 y 68.6% a 52.3 y 84.8%, respectivamente. En resumen, el diluir mejoró bastante el valor nutricional de la lupina mientras que el retiro de materiales solubles en etanol, incluyendo raffinosa y estaquiosa considerablemente disminuyeron su valor. La fracción de oligosacáridos no parece tener un efecto antinutritivo y la adición de enzimas aumentó las digestibilidades de NSP, raffinosa, y estaquiosa pero no mejoró de manera significativa el rendimiento de los pollos.

f) Efectos de la restricción temprana de alimento y suplementación de enzimas en la actividad de enzimas digestivas en pollos de engorda.

(Pinheiro *et al.*, 2004). El efecto de la restricción de alimento y suplementación enzimática en las actividades de enzimas intestinales y pancreáticas y el aumento de peso se estudio en pollos de engorda. SE aplicó la restricción de alimento cuantitativa a pollo de 7 a 14 días de edad. Un complejo de enzimas principalmente consistente de proteasa y amylasa se añadió a la dieta de pollos desde el momento de eclosión hasta el final del experimento. Las aves sometidas a la restricción de alimento cuyas dietas no se suplementaron mostraron un aumento en las actividades de sucrasa, amylasa, y lipasa inmediatamente después del periodo de restricción. Las actividades de amylasa, lipasa, y chymotrypsin fueron más altas en los pollos sometidos a la restricción de alimentos y alimentados con una dieta suplementada que en aquellos solo sometidos a restricción de alimentos. La actividad de tripsina aumentó después de la restricción de alimento y después de la suplementación, pero no hubo interacción entre estos efectos. La restricción temprana de alimento no tuvo efectos con la actividad de enzimas en pollos de 42-días de edad. Los pollos sometidos a la restricción temprana y alimentados con una dieta suplementada presentaron mayores actividades de sucrasa, maltasa, y lipasa que los no suplementados ($P < 0.05$). No hubo efectos de restricción temprana de alimento o suplementación de dieta en el aumento de peso a los 42 d.

El porcentaje de aumento de peso de los 14 a los 42 días de edad fue equivalente en las aves a las cuales se restringió el alimento y las aves alimentadas *ad libitum*. Los pollos de engorda a los que se les restringió el alimento alimentados con una dieta suplementada mostraron un mayor porcentaje de aumento de peso que las aves no suplementadas. Concluimos que la suplementación enzimática potencializa el efecto de restricción de alimento en la actividad enzimática digestiva y en el aumento de peso.

g) Efectos de la suplementación de fitasa, individualmente y en combinación con glucanasa en el valor nutritivo del trigo y la cebada. (Ravindran *et al.*, 1999). Se realizaron cuatro experimentos para examinar los efectos de la fitasa microbial (Natuphos(r)), individualmente y en combinación con preparaciones de glucanasa, predominantemente con actividades de xilanasas (Natugrain(r) Blend) y glucanasa (Natugrain(r)) en el valor nutritivo del trigo y la cebada. En el Experimento 1, la adición de xilanasas y fitasa aumentaron el EM de un trigo bajo en EM por 9.7 y 5.3% respectivamente.

Las diferencias sin embargo no fueron significativas ($P > 0.05$). La combinación de las dos enzimas aumentó ($P < 0.05$) el EM del trigo por 19.0% de 2646 a 3149 kcal/kg de materia seca. Se vio una tendencia similar en términos de valores de digestibilidad de aminoácidos ileales en la dieta de trigo-caseína. En el Experimento 2, se aumentó el EM de trigo normal ($P < 0.05$) por 6.3 y 4.5%, respectivamente, con la adición de xilanasas y fitasa. La combinación de las dos enzimas no aumentó más ($P < 0.05$) los valores de EM. En el Experimento 3, el rendimiento de los pollos de engorda alimentados con una dieta de trigo no fue influido con la adición de enzimas individuales, pero el aumento de los niveles de inclusión de la combinación de xilanasas y fitasa mejoró linealmente el aumento de peso ($r = 0.58$; $P < 0.01$) y la eficiencia del alimento ($r = 0.71$; $P < 0.00$). En el experimento 4, el EM de la cebada no fue influido por la adición de glucanasa o fitasa. La combinación de enzimas marginalmente ($P < 0.07$) mejoró el EM en concentraciones más bajas, pero no tuvo beneficio en la concentración más alta.

h) Efectos de la suplementación de fitasa microbial en la utilización de minerales y actividades de enzimas en suero en pollos de engorde alimentados con diferentes niveles de fósforo. (Viveros *et al.*, 2002). Se condujo un experimento para estudiar el efecto de la suplementación de fitasa microbial (Natuphos 500) en pollos (0 a 6 semanas de edad) alimentados con diferentes niveles de fósforo no fitato (nPP) en el rendimiento, retención de minerales, minerales en hueso y plasma y actividades de enzimas en suero. Se analizaron datos como un arreglo factorial 2×2 con dos niveles de nPP para periodos de edad de 1 día de edad a 3 semanas (0.35 y 0.22%) y 3 a 6 semanas (0.27 y 0.14%) y dos niveles de fitasa (0 y 500 U/kg) en cada periodo.

Un grupo de control positivo, adecuado en nPP y Ca sin fitasa se utilizó. Las dietas bajas en nPP causaron un efecto negativo en el rendimiento ($P < 0.05$) en comparación con la dieta con un nivel normal de nPP. La fitasa tuvo un efecto favorable en el aumento del peso a la 3 semana ($P < 0.004$) y 6 semana ($P < 0.0475$) de edad en el consumo de alimento sólo a la 3 semana ($P < 0.0106$). La eficacia alimenticia no fue afectada por ningún estado por adición de fitasa.

Los rendimientos de pollos alimentados con 0.35 y 0.27% de nPP y fitasa fueron comparables a aquellos obtenidos en las dietas normales de nPP. El disminuir el contenido de nPP en la dieta aumentó ($P < 0.0001$) la retención de P en la semana 3 y 6 de edad, aumentó la retención de mg a la semana 6 y disminuyó ($P < 0.0001$) las retenciones de Ca y Zn en la semana 3 y 6 respectivamente. La suplementación de fitasa aumentó ($P < 0.0001$) la retención de Ca, P, Mg, y Zn en la semana 3 y 6 de edad.

De igual manera, el descenso en el contenido nPP en la dieta causó una reducción significativa ceniza tibial ($P < 0.0023$) y contenido de Mg ($P < 0.0001$) en la ceniza del tibia y redujo los pesos del hígado ($P < 0.0240$), bazo ($P < 0.0176$), y tibia ($P < 0.0001$). De manera similar, los contenidos de Ca ($P < 0.0369$) y Zn ($P < 0.0181$) en la ceniza del tibia aumentaron en respuesta a los niveles descendentes de nPP en la dieta. La suplementación de fitasa aumentó el peso del tibia ($P < 0.0019$), ceniza del tibia ($P < 0.0021$), y Mg ($P < 0.0339$) y concentraciones de Zn ($P < 0.0353$) y redujo ($P < 0.0161$) el peso relativo del hígado. Al disminuir los niveles de nPP en la dieta, el Ca en plasma ($P < 0.0001$), las concentraciones de Mg ($P < 0.0001$) y Zn ($P < 0.0048$) y la actividad de fosfato alcalino (ALP) aumentaron ($P < 0.0299$) y el contenido de plasma P ($P < 0.0001$), actividad de aspartate aminotransferasa (AST) ($P < 0.0001$), y contenido de proteína total (TP) ($P < 0.0050$) se redujeron.

La suplementación de fitasa aumentó el nivel de P en plasma ($P < 0.0001$) y la actividad AST en suero ($P < 0.0049$), redujo el Ca en plasma ($P < 0.0001$) y contenidos de Mg ($P < 0.0050$) y redujo la alanine aminotransferasa en suero (ALT) ($P < 0.0048$), ALP ($P < 0.0001$) y actividades lactate dehydrogenasa (LDH) ($P < 0.0192$).

El Zn en plasma no fue afectado por la suplementación de fitasa. Estos resultados demuestran que la suplementación de fitasa a dietas bajas en P mejoró el rendimiento; P, Ca, Mg, y uso de Zn; así como los pesos relativos del hígado y tibia en pollos de engorda. De igual manera, las actividades de AST, ALT, ALP, y LDH en suero así como la concentración de TP también fueron afectadas por la suplementación de fitasa.

i) Efectos del tiempo de almacenamiento y enzimas en la dieta sobre la energía metabolizable y viscosidad digestiva de dietas para pollos basadas en cebada. (Fuente *et. al.*, 1998). Se estudió en dos experimentos el efecto del tiempo de almacenamiento de la cebada y la adición de enzimas en la dieta en el valor de energía de dietas de pollos basadas en cebada. Se almacenó un cebada de invierno de doble surco (Beka cultivar) a temperatura ambiente durante 0, 3, 6, 16, y 32 semanas después de la cosecha. Para estas fechas, se formularon las dietas utilizando 50% de cebada con y sin la adición de productos enzimáticos basados en beta-glucanasa comercial. En el experimento 1, 1,320 pollos Arbor Acres (ocho replicas de tres aves de 10 días de edad y ocho replicas de un ave de 30 días de edad, por tratamiento) fueron alimentados con dietas experimentales para determinar el AMEn siguiendo de un diseño factorial 2 x 2 x 5 (edad por enzima por tiempo de almacenamiento de la cebada). Al final de la prueba de metabolismo, se determinó la viscosidad de los contenidos intestinales en pollos de engorda de 30 días de edad. El total de beta-lucan, polisacáridos sin almidón (NSP), viscosidad in vitro, y actividad enzimática endógena del grano de cebada disminuyó con el tiempo de almacenamiento. La dieta AMEn aumentó con el tiempo de almacenamiento de la cebada (de 2,755 a 2,939 kcal/kg DM, $P < 0.001$, por 0 y 32 semanas de almacenamiento, respectivamente), con adición de enzimas (2,861 contra 2,919 kcal/kg DM, $P < 0.003$), y con la edad de los animales (2,826 y 2,958 kcal/kg DM para pollos de 10- y 30- días de edad respectivamente, $P < 0.001$). También se detectaron las interacciones de las enzimas y edad por el almacenamiento de la cebada ($P < 0.02$ y $P < 0.001$, respectivamente). Esta información indica que el mínimo de tiempo de almacenamiento de cebada antes de su inclusión en el alimento de pollos de engorda depende de la edad de los animales (más de 6 semanas para pollos de 10 días de edad y 3 semanas para pollos de 30 días de edad), y que el uso de enzimas permite una reducción en el tiempo de almacenamiento de la cebada. La viscosidad digestiva disminuyó con el tiempo de almacenamiento de la cebada ($P < 0.001$), y con la adición de enzimas ($P < 0.001$). Se observó una interacción del tiempo de almacenamiento por la adición de enzimas ($P < 0.007$). La viscosidad digestiva también se relacionó negativamente al contenido de AMEn en la dieta ($r = -0.68$, $P < 0.01$). La viscosidad in vitro de la cebada explicó el 53 y 90% de la variación en la viscosidad intestinal producida por las dietas no suplementadas y

suplementadas con enzimas, respectivamente. En el experimento 2, las mismas dietas que del experimento 1 y los granos de cebada se intubaron en 120 gallos adultos (Hy-Line®) para determinar el TME_n. La dieta y los valores de TME_n no fueron afectados por el tiempo de almacenamiento o adición de enzimas (3,237 y 3,037 kcal TME_n/kg DM para dietas y cebada, respectivamente).

j) Influencias de enzimas en el rendimiento y parámetros digestivos de pollos de engorda alimentados con dietas a base de centeno. (Lázaro *et al.*, 2003). Se condujo un experimento para estudiar la influencia de la suplementación de enzimas (ES) a dietas con base de Centeno en el porcentaje de pasaje de alimento a lo largo del conducto digestivo, viscosidad del contenido del yeyuno, concentración de ácidos grasos volátiles en el ciego, y rendimiento de pollos de engorda. Hubo siete tratamientos; seis dietas arregladas de manera factorial con tres variedades de centeno (Petkus, Prima, y Saratov V) y dos niveles de ES (0 ó 500 ppm de un complejo de enzimas con contenidos de 858 IU de β -glucanasa y 864 IU de xylanasa/g) y una dieta control adicional a base de maíz.

Cada tratamiento se repitió siete veces (12 pollos juntos en cada jaula), y la prueba duró 25 días. La administración de centeno aumentó la viscosidad intestinal y redujo el rendimiento del ave a los 25 d ($P < 0.001$). Entre las dietas de centeno el mayor consumo de alimento y aumento de peso se obtuvo con la variedad Petkus, la cual también produjo la menor viscosidad intestinal. La adición de enzimas redujo el tiempo necesario para recuperar 1% (0.78 vs. 0.98 h; $P < 0.05$) y 50% (4.2 vs. 6.5 h; $P < 0.01$) del marcador en heces y redujo el tiempo de retención promedio del marcador en el conducto gastrointestinal (17.1 vs. 18.8 h; $P < 0.05$).

La suplementación de enzimas también redujo la viscosidad intestinal ($P < 0.001$) y mejoró el consumo de alimentos, aumento diario y conversión alimenticia de aves de los 4 a los 25 d ($P < 0.01$) pero no modificó la concentración de ácidos grasos volátiles en el ciego. Se concluye que la suplementación de enzimas añadida a las dietas de centeno disminuye la viscosidad intestinal y acelera el tránsito digestivo, mejorando el rendimiento productivo de pollos de engorde.

k) Influencia de trigo entero y xilanasa en el desempeño de pollos de engorda, composición microbiana y actividad en el tracto digestivo.

(Engberg *et al.*, 2004). Se llevó a cabo un experimento para estudiar el efecto de formas diferentes de trigo (trigo entero almacenado en silos herméticos, trigo entero almacenado convencionalmente y trigo molido incluido en pellets) y la adición de xilanasa en la dieta en los resultados de producción y características gastrointestinales de pollos de engorda. La viscosidad ileal, actividad de enzimas digestivas pancreáticas y la composición y actividad de la microflora intestinal se consideraron como parámetros respuesta.

Las diferencias entre los 2 tipos de trigo entero con respecto a los varios parámetros medidos fueron marginales, mientras que se encontraron diferencias marcadas entre las aves alimentadas con pellets y las aves alimentadas con trigo entero. La alimentación con trigo entero mejoró la conversión alimenticia y redujo el consumo de agua ($P < 0.001$). Comparado con los pellets, el trigo entero incrementó el peso relativo del páncreas y molleja y la concentración de materia seca del contenido de la molleja ($P < 0.001$). La alimentación con trigo entero redujo el pH del contenido de la molleja ($P < 0.01$) e incrementó la viscosidad ileal. La adición de xilanasa redujo la viscosidad ileal en aves que recibieron trigo entero al mismo nivel que las aves alimentadas con pellets. La alimentación con trigo entero resultó en una menor actividad de amilasa en el tejido pancreático ($P = 0.054$), mientras que la adición de xilanasa incrementó las actividades de quimotripsina ($P = 0.030$) y lipasa ($P = 0.052$). La alimentación con trigo entero resultó en un menor número de enterobacterias lactosa-negativas ($P < 0.05$) y la tendencia a reducir el número de *Clostridium perfringens* en el íleo y ciego (P es menos que o igual a 0.08). Se concluye que la alimentación con trigo entero estimula la función de la molleja, lo cual sucesivamente previene potencialmente bacterias patogénicas en todo el tracto intestinal.

I) Predicción del efecto de enzimas en el rendimiento de pollos al ser agregadas a las dietas basadas en cereales: uso de un modelo logarítmico-lineal modificado. (Zhang *et al.*, 2000). Un estudio previo demostró que una ecuación logarítmica puede utilizarse para predecir la relación entre la cantidad de una enzima cruda añadida a la dieta y el rendimiento de los pollos. El objetivo de este estudio fue determinar si una modificación de la ecuación original, junto con un programa de software, podrían superar algunas de sus limitaciones. La ecuación modificada era $Y = A + B \log (CX + 1)$, donde Y es el valor de rendimiento estimado; A es la intersección que representa el rendimiento sin la suplementación de la enzima; B, la inclinación de la ecuación (cambio en el rendimiento por unidad logarítmica de la enzima en la dieta), una medida de la eficacia de la enzima; C es un factor amplificado; y X es la cantidad de la enzima en la dieta. Los resultados demostraron que el nuevo modelo predecía de manera más exacta el rendimiento de los pollos que el modelo de la ecuación original con correlaciones entre el rendimiento de los pollos y las cantidades de diferentes enzimas añadidas a la dieta oscilando entre $r = 0.80$ a 0.99 ($P < 0.05$). Adicionalmente, se encontraron las mismas tendencias cuando se utilizó el modelo para evaluar la eficacia de una enzima dada añadida a dietas basadas en maíz, trigo, cebada y centeno o para combinaciones de dos componentes en la dieta (centeno y trigo). El modelo propuesto en este estudio provee un nuevo medio para evaluar la eficacia de la preparación de la enzima. Este modelo podría utilizarse rutinariamente por productores de enzimas y criadores de ganado para establecer la mejor combinación de diferentes cereales y enzimas, así como para maximizar los resultados netos.

m) Procesamiento de calor de la cebada y suplementación de enzimas en dietas para pollos de engorda. (Gracia *et al.*, 2003). Se estudió la influencia del procesamiento de calor (HP) de la cebada y la suplementación de enzimas (ES) en la dieta en las características digestivas y rendimiento de pollos de engorda hasta los 21 días de edad. Se arreglaron cuatro tratamientos de manera factorial con dos tratamientos de procesamiento de cebada (cruda o caliente), dos niveles de ES (0 ó 500 ppm), y cinco réplicas por tratamiento. Los pollos alimentados con cebada HP crecieron más rápido que los pollos alimentados con cebada cruda hasta los 8 días de edad, pero el efecto desapareció posteriormente. En general la ES mejoró el rendimiento de pollos de engorda en todas las edades. La viscosidad intestinal aumentó por medio del HP de la cebada ($P \leq 0.05$) y se redujo por la ES ($P \leq 0.001$), y la disminución en viscosidad causada por la ES fue mayor para el HP que para las dietas de cebada cruda ($HP \times ES$; $P \leq 0.05$).

El procesamiento de calor de la cebada y ES de la dieta mejoró la retención aparente de nutrientes ($P \leq 0.001$). La edad afectó la retención aparente de nutrientes de manera diferente. Para el almidón y la fibra detergente neutral, la retención aumentó de manera lineal con la edad ($P \leq 0.01$), pero para los nutrientes restantes la retención disminuyó del día 4 al 8 y luego aumentó hasta el día 21 ($P \leq 0.001$). De igual forma, los efectos benéficos de HP en la retención de nutrientes fueron más pronunciados en edades más tempranas ($HP \times edad$; $P \leq 0.05$). Tanto HP ($P \leq 0.001$) y ES ($P \leq 0.01$) aumentaron el peso del hígado, y las enzimas redujeron los pesos del páncreas ($P \leq 0.05$) e intestino delgado ($P \leq 0.001$). El tamaño de vellosidades se mejoró por medio del HP ($P \leq 0.001$) y ES ($P \leq 0.01$), pero el área de la superficie de vellosidades sólo se mejoró por medio de las enzimas ($P \leq 0.01$). Se concluyó que el rendimiento de los pollos de engorda se mejora por medio del HP de la cebada en edades tempranas y por medio de la ES de la dieta a lo largo de la prueba. De igual forma el HP y la ES aumentó la retención aparente de nutrientes, AME_n de la dieta y tamaño de vellosidades.

n) Régimen de alimentación y suplementación de enzimas para dietas de pollos de engorda basadas en centeno. (Lázaro *et al.*, 2004). Se condujo una prueba para estudiar la influencia del régimen de alimentación [ad libitum, (AL) vs. restricción de alimento (FR)] y suplementación de la dieta con una combinación de xilanasas y β -glucanasas en los parámetros fisiológicos y desarrollo de pollos alimentados con dietas basadas en centeno. Hubo 4 tratamientos de dieta arreglados factorialmente con 2 regímenes de alimentación (0 vs. 30% FR de 4 a 14 días), 2 dosis de enzimas (0 vs. 500 ppm), y una dieta control adicional de maíz. Cada tratamiento fue replicado 9 veces de 4 a 25 días (15 pollitos enjaulados juntos) y 6 veces de 25 a 46 días. De 4 a 46 días de edad, FR no afectó la ganancia de peso y mejoró la conversión alimenticia de pollos de engorde ($P < 0.05$). Así mismo, FR redujo la incidencia de desórdenes de patas, viscosidad de la digesta, e incrementó el peso relativo de la molleja ($P < 0.001$). La suplementación con enzimas (ES) mejoró el promedio de ganancia diaria y la conversión alimenticia en todas las edades ($P < 0.01$), y los efectos benéficos fueron más altos en los pollos AL que en los FR ($P < 0.10$). Así mismo, ES redujo la viscosidad de la digesta ($P < 0.001$), los pesos relativos de mollejas ($P < 0.05$), buche ($P < 0.01$) y largo de yeyuno ($P < 0.05$). Comparado con la alimentación con maíz, la alimentación centeno AL con o sin ES disminuyó el crecimiento y la conversión alimenticia de 4 a 46 d ($P < 0.01$) e incrementó la incidencia de desórdenes de patas ($P < 0.05$), viscosidad del contenido del yeyuno ($P < 0.01$), y largo del yeyuno ($P < 0.05$). Concluyendo que el centeno en el alimento disminuyó el desarrollo de pollos de engorda, incrementó la viscosidad de la digesta, la incidencia de desórdenes de patas y que la FR y ES redujeron la magnitud del problema. Los efectos benéficos de ES en el desarrollo de las aves fueron más evidentes cuando las aves fueron alimentadas AL.

o) Estudio de dosis-respuesta con enzimas de alimentación β -mannanasa en pollos de engorda suministrados con dietas de maíz-soya desprovistos de promotores antibióticos de crecimiento. (Jackson *et al.*, 2004). Se diseñó un experimento para evaluar los efectos de niveles graduados de β -mannanasa en la uniformidad de desempeño y peso corporal de pollos de engorda machos suministrados con una dieta basada en maíz-soya y desprovisto de promotores antibióticos de crecimiento o coccidiostatos. Cuatro tratamientos dietarios conteniendo 0, 50, 80 y 110 MU de Hemicell/ton (donde 1MU= 10^6 unidades de actividad enzimáticas, 100 MU/ton es recomendado por el fabricante). Cada tratamiento contenía 15 divisiones con 40 aves/división. Se determinaron los pesos individuales de las aves en los días 0, 21 y 42. Desde 21 a 42 días de edad, el consumo de alimento para los tratamientos 80MU/ton fue considerablemente mayor que el tratamiento 50MU/ton. La inclusión de β -mannanasa a 80 o 110 MU/ton indujo mejoras ($P<0,05$) en ganancia de peso (3.9 a 4.8%) y eficiencia de conversión (3.5 a 3.8%) sobre los controles, mientras que inclusión de 50 MU/ton resultó sin beneficio significativo. No hubo diferencias notables entre 80 o 100 MU/ton. El experimento demostró que la inclusión dietario de β -mannanasa a 50 MU/ton aproximadamente no es suficiente para una respuesta máxima. Inclusión a 80 MU/ton mejoró la ganancia de peso y conversión en pollos de engorda y al incrementar a 110 MU/ton no resultó en respuestas adicionales significativas.

p) Utilización de enzimas como aditivos en dietas para pollos de engorda.

(Cortés *et al.*, 2002). Se realizaron dos experimentos con la finalidad de evaluar el uso de enzimas (alfa-amilasas, xilanasas y proteasas) como aditivos en dietas para pollos de engorda sobre el comportamiento productivo. En el primer experimento se emplearon 1000 pollos mixtos de un día de edad de la estirpe Peterson. El estudio constó de cuatro tratamientos: **a)** Dieta testigo (maíz + soya); **b)** Dieta testigo + enzimas; **c)** Dieta con menor contenido (3%) de proteína cruda (PC) y energía metabolizable (EM); y **d)** Dieta con menor contenido (3%) de PC y EM + enzimas. Cada tratamiento contó con cinco repeticiones de 50 pollos cada una. El segundo experimento fue similar al primero, pero las dietas se aplicaron con base en sorgo + soya. Se emplearon 840 pollos de un día de edad de la estirpe Arbor Acres. Cada tratamiento contó con siete repeticiones de 30 pollos cada una. En ambos experimentos se utilizó un diseño al azar, con arreglo factorial 2 x 2; un factor fue el contenido de PC y EM de las dietas y el otro factor, la adición o no de enzimas. En el primer experimento, la ganancia de peso a los 49 días de edad (2372a, 2425b, 2154c y 2369a g) fue diferente entre tratamientos ($P < 0.01$) estando afectada por la adición de enzimas y la reducción de PC y EM. El consumo de alimento (5507a, 5137b, 5364a y 5297b g) fue menor ($P < 0.01$) con la adición de enzimas; para conversión alimentaria (2.33, 2.12, 2.49 y 2.24) existió efecto ($P > 0.01$) por la adición de enzimas. En el segundo experimento los resultados para ganancia de peso (2393, 2408, 2374 y 2387g) y porcentaje de rendimiento de pechuga (21.17, 20.90, 20.98 y 21.03) fueron similares entre tratamientos ($P > 0.05$). Sin embargo, para consumo de alimento (5115a, 5017b, 5170a y 5008b g) y conversión alimentaria (2.14a, 2.05b, 2.18a, y 2.10b), se notó una mejoría significativa ($P < 0.05$) con la adición de enzimas. Los datos obtenidos en este estudio indican que la inclusión de enzimas en dietas a base de maíz o sorgo + pasta de soya para pollos de engorda mejoran la ganancia de peso o la conversión alimentaria en dietas estándares y con menor contenido de PC y EM.

6.2 Pavos

a) Efecto de la preparación de enzima de trigo en las características de rendimiento de pavos alimentados con dietas a base de trigo. (Odetallah *et al.*, 2002). El trigo contiene de 5 a 8% de polisacáridos no almidonados (NSP). El complejo NSP forma una masa viscosa cuando se hidrata completamente, lo que impide la absorción de nutrientes del quimo y causa un reducido crecimiento y diarrea osmótica y se asocia la incidencia de cama húmeda. Estos efectos adversos pueden ser aliviados por medio de la suplementación adecuada de enzimas.

El objetivo de este experimento fue evaluar la eficacia de las mezclas de enzimas de endoxilanas y β -glucanasa suplementadas a dietas a base de trigo en las características del crecimiento de pavos. Pavos machos Large White de siete días de edad se asignaron al azar a 40 corrales de piso 12 pavos cada uno, como un arreglo de diseño de bloque totalmente al azar de cuatro tratamientos experimentales y se criaron hasta los 140 días.

El tratamiento de dieta consistió de un tratamiento control (sin enzima suplemental) y tres tratamientos con enzimas en la dieta: 1) Lyxasan forte, 2) Natugrain Blend, y 3) Natugrain. Se registró el peso de las aves, consumo de alimento y mortalidad cada semana. Se evaluó la condición de las plumas a los 98 días de edad. El tratamiento de Natugrain Blend mejoró el BW a los 84 días ($P < 0.075$) y 112 días ($P < 0.01$) en comparación a la dieta control no suplementada.

El Lyxasan forte tuvo el mayor porcentaje de aumento/ganancia a lo largo del experimento. El punteo de la condición de plumas subjetivas se mejoró de manera significativa ($P < 0.05$) por medio de los tres tratamientos de enzimas y correspondió con la incidencia reducida de la conducta de picoteo de pescuezo y dorso. El grupo de tratamiento de enzimas tuvo menos mortalidad que el grupo de control, con el tratamiento de Natugrain Blend se obtuvo el porcentaje más bajo de mortalidad a lo largo del experimento. Los resultados de este experimento demuestran una mejoría marginal en el crecimiento de los pavos en relación a la formulación de enzimas.

6.3 Gallinas de postura

a) Enzimas para la utilización del fósforo. (Ávila y Cortes, 2002) Se emplearon 144 gallinas Hy-Line de 64 semanas de edad, en 4 Tratamientos.

Los tratamientos consistieron en:

T1.- Dieta basal sorgo y soya sin suplementación de una fuente concentrada de fósforo inorgánico;

T2.- Dieta basal sorgo y soya sin suplementación de una fuente concentrada de fósforo inorgánico + 600 unidades de fitasa (*Aspergillus*) por kg de alimento;

T3.- Dieta basal sorgo y soya suplementada con 0.1 % fósforo inorgánico y

T4.- Dieta basal sorgo y soya suplementada con 0.1 % fósforo inorgánico + 600 unidades de fitasa/kg de alimento.

Los resultados obtenidos en 70 días de experimentación, mostraron que el porcentaje de postura y el índice de conversión, eran mejores al suplementar 0.10 % de fósforo inorgánico en la dieta. También se encontró que la adición de fitasa microbiana mejoró el porcentaje de postura, la conversión alimenticia y el grosor de cascarón. De los resultados obtenidos en estos estudios, se concluye que la adición de una fitasa microbiana, fue suficiente para aliviar los signos de deficiencia (raquitismo, mortalidad, depresión del crecimiento en pollos y mejoró en gallinas la conversión alimenticia, porcentaje de postura y grosor del cascarón) en dietas sorgo + soya deficientes en fósforo inorgánico.

b) Efecto de fósforo, enzimas fitasa y calcio en el rendimiento de ponedoras alimentadas con dietas a base de maíz. (Scott *et al.*, 1999). Se realizó un experimento utilizando un arreglo factorial de dos niveles de Ca, dos niveles de fósforo disponible P (AP), y tres niveles de enzima fitasa con 360 ponedoras ISA White de 18 a 67 semanas de edad. Los niveles de Ca se mantuvieron a 3.7 y 4. % a lo largo del experimento. Los niveles de AP fueron 0.2 y 0.4% para el tratamiento alto y bajo hasta las 55 semanas de edad y se redujeron a 0.11 y 0.22% en lo sucesivo.

Los niveles de la enzima fitasa fueron 0, 250, y 500 unidades de fitasa (FTU)/kg de alimento. En el periodo antes de la semana 55, cualquier nivel de AP era igualmente adecuado para una producción máxima. Sin embargo, cuando los niveles más bajos de AP se administraron después de este tiempo, la AP baja se asoció con un peso reducido así como producción de huevos, y la suplementación de enzimas pudo compensar la AP baja. En este periodo, la AP alta, y el nivel más alto de fitasa produjeron efectos negativos en el peso del ave, peso del huevo, y conversión alimenticia.

El porcentaje de Ca a AP fue importante, la calidad del cascarón fue mejor con altos o bajos niveles de ambos. Con niveles altos de Ca, la suplementación de enzimas compensó los niveles bajos de AP y sobrecompensó con un nivel alto de AP. Estos efectos fueron reducidos o ausentes con bajos niveles de Ca. A partir de este estudio queda bastante claro que la enzima fitasa puede compensar los niveles bajos de AP en dietas basadas en maíz y soya, pero el nivel óptimo de la suplementación depende también del nivel de Ca.

Cuadro 6. Resultados de trabajos realizados con enzimas.

AUTORES	AÑO	FIN ZOOTÉCNICO	ENZIMAS	DIETA BASE	RESULTADOS	FUENTE
Ávila y Cortes	2002	Pollos de engorda	Fitasa	-Sorgo + soya deficiente en fósforo inorgánico	La adición de 750 U. F. equivalente al 0.1% de fósforo inorgánico también mejoro la ganancia de peso a los 21 días de edad.	VIII Jornadas Médico Avícolas
Elizarraraz <i>et al.</i>	1999	Pollos de engorda	Xilanasa, amilasas y proteasas	-Sorgo -Maíz	La suplementación de enzimas en dietas a base de sorgo o maíz mejoran o mantienen el peso corporal y la conversión alimenticia de pollos de engorda a los 21 días de edad cuando se usan sobre la dieta testigo.	Tesis de Maestría de la FMVZ de Colima
Brenes <i>et al.</i>	2002	Pollos de engorda	Enzima cruda	-Lupina entera sin vaina -Vainas de lupina	Las lupinas contienen componentes fibrosos que reducen el rendimiento de las aves y aumentan el tamaño del conducto gastrointestinal; pero con la adición de enzimas se contrarrestan estos efectos.	<i>Poultry Sci.</i>
Kocher <i>et al.</i>	2000	Pollos de engorda	2 productos de Enzimas comerciales	Harina de canola y harina de girasol basadas en: -Maíz y -Caseína	Los productos de enzimas comerciales tuvieron efectos en las dietas con altas concentraciones de CM o SFM. Sin embargo, estos efectos pudieron verse únicamente después de un análisis detallado de la alimentación.	<i>Poultry Sci.</i>
Brenes <i>et al.</i>	2003	Pollos de engorda	Enzima comercial	-Lupina entera y diluida -Harina de lupina diluida extraída con etanol	El diluir mejoro el valor nutricional de la lupina, mientras que el retiro de materias solubles en etanol, incluyendo raffinosa y estaquiosa disminuyeron su valor. La adición de enzimas aumento las digestibilidades NSP, raffinosa y estaquiosa pero no mejoro el rendimiento de los pollos.	<i>Poultry Sci.</i>
Pinheiro <i>et al.</i>	2004	Pollo de engorda	Proteasa y amilasa	Restricción temprana de alimento	La suplementación enzimática potencializa el efecto de restricción de alimento en la actividad enzimática digestiva y en el aumento de peso.	<i>Poultry Sci.</i>
Ravindran <i>et al.</i>	1999	Pollo de engorda	Fitasa individual y fitasa con glucanasa	-Trigo -Cebada	La combinación de enzimas mejoró la EM en concentraciones bajas, pero no tuvo beneficio en la concentración alta.	<i>Poultry Sci.</i>

Viveros <i>et al.</i>	2002	Pollo de engorda	Fitasa microbial	Diferentes niveles de Fósforo no fitato	La adición de fitasa a dietas bajas en fósforo mejoro el rendimiento.	<i>Poultry Sci.</i>
Fuente <i>et al.</i>	1998	Pollo de engorda	β -glucanasa	-Cebada	El mínimo de tiempo de almacenamiento de cebada antes de su inclusión en el alimento depende de la edad de los animales y el uso de enzimas permite una reducción del tiempo de almacenamiento de la cebada.	<i>Trouw Nutrition.</i>
Lázaro <i>et al.</i>	2003	Pollo de engorda	β -glucanasa y xylanasa	-Centeno	Las enzimas añadidas a las dietas de centeno disminuyen la viscosidad intestinal, mejoran el consumo de alimentos y aceleran el tránsito digestivo, mejorando el rendimiento productivo de pollos de engorda.	<i>Poultry Sci.</i>
Engberg <i>et al.</i>	2004	Pollo de engorda	Xilanasa	-Trigo entero almacenado en silos herméticos -Trigo entero almacenado convencionalmente -Trigo molido incluido en pellets	Con la adición de xilanasa se redujo la viscosidad. El trigo resulto en un menor número de enterobacterias lactosa-negativas y la tendencia a reducir el número de clostridium perfringens en el íleo y ciego. Se concluye que el trigo entero estimula la función de la molleja, lo cual previene potencialmente bacterias patógenas en todo el tracto intestinal.	<i>Poultry Sci</i>
Zhang <i>et al.</i>	2000	Pollo de engorda	Enzima cruda	-Cereales	Este modelo provee un nuevo medio para evaluar la eficacia de la preparación de la enzima el cual se puede utilizar rutinariamente para establecer la mejor combinación de diferentes cereales y enzimas, así como para maximizar los resultados netos.	<i>Poultry Sci.</i>
Gracia <i>et al.</i>	2003	Pollo de engorda	Enzimas	-Cebada	El rendimiento de los pollos de engorda se mejora por medio del HP en edades tempranas y por medio de ES de la dieta a lo largo de la prueba. De igual forma el HP y la ES aumento la retención aparente de nutrientes y la AMEn de la dieta.	<i>Poultry Sci.</i>
Lázaro <i>et al.</i>	2004	Pollo de engorda	Xilanasa y β -glucanasa	-Centeno	El centeno en el alimento disminuyo el desarrollo de pollos de engorda, incremento la viscosidad de la digesta, la incidencia e desordenes de patas y la restricción de alimento y la ES redujeron la magnitud del problema. Los efectos benéficos de la ES en el desarrollo de las aves fueron más evidentes cuando las aves fueron alimentadas <i>ad libitum</i> .	<i>Poultry Sci.</i>
Jackson <i>et al.</i>	2004	Pollo de engorda	β -mannanase	Maíz – Soya	Se utilizaron 4 niveles de unidades de actividad enzimática/Ton MU. El experimento demostró que la inclusión de 80MU/Ton mejoró la ganancia de peso y conversión.	<i>Poultry Sci.</i>

Cortés <i>et al.</i>	2002	Pollo de engorda	Alfa-amilasas, xilanasas y proteasas	-Maíz + Soya -Sorgo + Soya	Los datos obtenidos indican que la inclusión de enzimas en dietas a base de maíz o sorgo + pasta de soya mejoran la ganancia de peso o la conversión alimenticia en dietas estándares y con menor contenido de PC y EM.	Artículos Científicos
Odetallah <i>et al.</i>	2002	Pavos	Endoxilasa y β -glucanasa	-Trigo	Con las enzimas se tuvo menos mortalidad y hubo una mejoría en el crecimiento, aumento y ganancia de peso.	<i>Poultry Sci.</i>
Ávila y Cortés	2002	Gallinas de postura	Fitasa	-Sorgo + Soya	La adición de una fitasa microbiana, fue suficiente para aliviar los signos de deficiencia (raquitismo, mortalidad, depresión del crecimiento en pollos y mejoró en gallinas la conversión alimenticia, porcentaje de postura y grosor del cascarón) en dietas de sorgo + soya deficientes en fósforo inorgánico.	VIII Jornadas Médico Avícolas
Scott <i>et al.</i>	1999	Gallinas de postura	Fitasa	-Maíz	La fitasa puede compensar los niveles bajos de fósforo disponible (AP) en dietas basadas en maíz y soya, pero el nivel óptimo de la suplementación dependen también del nivel de Ca.	<i>Poultry Sci.</i>

7. CONCLUSION

Las enzimas como aditivos en la alimentación animal, tendrán cada vez un mayor impacto en la producción animal, la razón principal para la utilización de enzimas en las dietas para pollos de engorda como gallinas de postura es que se han obtenido notables resultados como son el incremento en la ganancia de peso, la conversión alimenticia, mejor aprovechamiento de minerales especialmente el Fósforo, disminuyen el consumo de agua y con esto la reducción de viscosidad y se observa uniformidad de pesos de las parvadas.

La tendencia a utilizar enzimas incrementará el desarrollo de nuevos complejos enzimáticos a bajo costo y técnicas más desarrolladas para su empleo. Su uso no solamente mejorará la eficiencia de los ingredientes convencionales sino también permitirá el empleo de ingredientes no convencionales. Su uso en la industria alimenticia en muchas clases de animales, resultará en una producción animal más eficiente; así como, de sus subproductos. También mediante su utilización, se reducirá el empleo de antibióticos como aditivos y se reducirá la contaminación del medio ambiente. En resumen las enzimas tendrán un impacto económico en la producción animal.

8. BIBLIOGRAFIA

1. Apajalahti, J. 1999. Improve bird performance by feeding its microflora. *World poultry*. 15(2):20-23.
2. Ávila, G. E. 1992. Alimentación de las Aves. 2ª Edición. Editorial Trillas. México.
3. Ávila G. E. y Cortes C. A. 2002. Utilización práctica de enzimas como aditivos en dietas para aves. VIII Jornadas Médico Avícolas. Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM.
4. Bedford, M. 1991. Restricciones digestivas de los ingredientes alimentarios y oportunidades teóricas para la suplementación con enzimas. Memorias del seminario sobre el empleo de enzimas en la nutrición animal. Trouw Ibérica. Madrid, España. Abril, 1991.
5. Bedford, M. R., Patience, J. F., Classen, H. L. and J. Inborr. 1992. The effect of dietary enzyme supplementation of rye- and barley-based diets on digestion and subsequent performance in weanling pigs. *Carl. Animal. Sci.* 72, 97.
6. Bedford, M. R. 1996. Efecto del uso de enzimas digestivas en la alimentación de aves. *Avicultura Profesional*, Georgia. Vol. 4, No. 4, 23-29.
7. Bedford, M. R. 1996. Efecto del uso de enzimas digestivas en la alimentación de aves. *Avicultura Profesional*. Inglaterra. 1996. *Finnfeeds Internacional*. Vol. 14, No. 4.
8. Brenes, A., Marquardt, R. R., Guenter, W. y Viveros, A. 2002. Efectos de la adición de enzimas en el desarrollo y tamaño del conducto

- gastrointestinal de pollos alimentados con semilla de lupina y sus fracciones. España. 2002. *Poultry Sci.* 81:670-678.
9. Brenes, A., Slominski, B. A., Marquardt, R. R., Guenter, W. y Viveros, A. 2003. Efecto de la adición de enzimas en las digestibilidades de los polisacáridos de la pared celular y oligosacáridos de lupinas blancas extraídos con etanol, diluidos y enteras en pollos. España. 2003. *Poultry Sci.* 82:1716-1725.
 10. Broz, J., and Frigg, M. 1986. Effects of cellulolytic enzyme products on the feeding value of various broiler diets. *Arch. Geflügelk.* 50(3):104-110.
 11. Brufau J. 2002. Las enzimas en la alimentación avícola, un cambio remarcable. Selecciones avícolas. Departamento de Nutrición Animal-IRTA. Centre de Mas Bové. Reus. Agosto, 2002.
 12. Bühler, M., Limper, J., Müller, A., Schwarz, G., Simon, O., Sommer, M., y Spring, W. 1998. Las enzimas en la nutrición animal. Ed. AWT. Bonn, Alemania.
 13. Campbell, G. L., Rossnagel, B. G., Classen, H. L., and Thacker, P. A. 1989. Genotypic and environmental differences in extract viscosity of barley and their relationship to its nutritive value for broiler chickens. *Anim. Feed Sci. Technol.* 26:221-230.
 14. Chesson, A. 1987. Supplementary enzymes to improve the utilization of pig and poultry diets. *Rec. Adv. Anim. Nutr.*, 71.
 15. Chesson, A. 1989. Supplementary enzymes to improve the utilization of pig and poultry diets. Rowett Research Institute, Bucksburn, Aberdeen, U.K. *Rec. Adv. Anim. Nutr.* p. 71-89.

16. Choct, M., Hughes, R. J., Wang, J., Bedford, M. R., Morgan, A. J., and Annison, G. 1996. Increased small intestinal fermentation is partly responsible for the anti-nutritive activity of non-starch polysaccharides in chickens. *Poult. Sci.* 37:609-621.
17. Choct, M. 1997. Non-starch polysaccharides: chemical structures and nutritional significance. *Feed Milling International*. June, 1997:13-19.
18. Classen, H. L., 1993. Enzimas utilizadas en el alimento. *Avicultura Profesional*. Vol 10. N° 4. Saskatoon, Canadá.
19. Classen, H. L. 1996. Enzymes in action. *Feed Mix* 4, 22-28.
20. Coelho, B. M. 1997. Technical specifications and properties of Natugrain® NSP Enzyme. Basf technical symposium. January, 1997.
21. Cortés, C. A. y Ávila, G. E. 1997. Evaluación de un complejo enzimático en dietas para pollo de engorda. *Memorias de XV Congreso Latinoamericano de Avicultura*. Cancún, México. p. 66-69.
22. Cortés C. A., Águlia S. A., Ávila G. E. 2002. Utilización de enzimas como aditivos en dietas para pollos de engorda. *Artículos científicos. Vet Mex, Ene/Mar 2002*. México D.F. Vol. 33, N° 1.
23. De Silva, S., Hesselman, K., and Aman, P. 1983. Effects of water and β -glucanases treatment on non-starch polysaccharides in endosperm of low and high viscous barley. *Swedish J. Agric. Res.* 13:211-219.
24. Dieric, N. y Decuypere, J. 1996. Mode of action of exogenous enzymes in growing pig nutrition, *Pig News and Inf.* 17 41N-48N.

25. Donkers, W. 1989. Enzymes are nature's teeth. Pig's. November. 1989 p. 15-16.
26. Elizarraraz, R. V., López, C. C., Ávila, G. E., Arce, M. J. y González, A. M. 1999. Efecto de la suplementación de enzimas en la dieta para pollo de engorda sobre los parámetros productivos. Tesis de maestría de la FMVZ de Colima, México. 1999.
27. Enberg, R. M., Hedemann, M. S., Steinfeldt, S. y Jensen, B. B. 2004. Influencia de trigo entero y xilanasas en el desempeño de pollos de engorde, composición microbiana y actividad en el tracto digestivo. Denmark. 2004. *Poultry Sci.* 83:925-938.
28. Erdman, J.W. 1979. Oilseed phytates: nutritional implications. *J. Am. Oil. Chem. Soc.* 56, 736-741.
29. Francesch, M., Pérez, V. A. M., García, E. E., and Brufau, J. 1995. Enzyme supplementation of a barley and sunflower-based diet on laying hen performance. *J. Appl. Poultry Res.* 4:32-40.
30. Fuente, J. M., Perez de Ayala, P., Flores, A. y Villamide, M. J. 1998. Efectos del tiempo de almacenamiento y enzimas en la dieta sobre la energía metabolizable y viscosidad digestiva de dietas para pollos basadas en cebada. España. 1998. *Trouw Nutrition*.
31. Fuente, M. B., Cortes, C. A. y Ávila, G. E. 2002. Efecto de la adición de fitasa sobre la fuente de fósforo inorgánico en dietas para gallinas de postura. VIII Jornada médico avícolas. Facultad de medicina veterinaria y zootecnia, UNAM.

32. Ghazi, S., Rooke, J. A., Glabraith, H., and Morgan, A. 1996. The potential for improving soybean meal in diets for chicks; treatment with different proteolytic enzymes. Proc. WPSA spring meeting, U.K. Banch scarbarough. Vol. I, p. 40-41.
33. Ghazi, S., Rooke, J. A., Glabraith, H., and Bedford, M. R. 2002. The potential for the improvement of soya-meal by different proteases in broiler chicks and broiler cockerels. *Poultry Sci.* 43:70-77.
34. Gracia, M. I., Latorre, M. A., García, M., Lázaro, R. y Mateos, G. G. 2003. Procesamiento de calor de la cebada y suplementación de enzimas en dietas para pollos de engorde. España. 2003. *Poultry Sci.* 82:1281-1291.
35. Graham, H., Lowgren, W., Petterson, D. and Aman, P. 1988. Effects of enzyme supplementation on digestion of a barley/ pollard-based pig diet. *Nutr. Rep. Int.* 38, 1073-1079.
36. Graham, H. and Inbarr, J. 1993. Stability of enzymes during processing. *Feed Mix.* 1(3):18.
37. Graham, H. 1997. Enzimas para dietas de maíz-soya para pollos de engorda. Alimentos Balanceados para Animales. Watt Publishing Co. E.U.A. Vo. 4, N° 6:22-24.
38. Harker, A. 1998. Aplicación de enzimas líquidas en alimentos. *Feed & Grain.* Enero. p. 12-17.
39. Herstad, O., and McNab, J. M. 1975. The effect of heat treatment and enzyme supplementation on the nutritive value of barley for broiler chicks. *Br. Poult. Sci.* 16:1-8.
40. Hervé, J. 1998. Use of enzymes in poultry. Memorias del 2º seminario de microbiología aplicada a nutrición animal. México, D.F. Noviembre, 1998.

41. Hesselman, K., Elwinger, K., Nilson, M., and Thomke, S. 1981. The effect of β -glucanase supplementation, stage of ripeness and storage treatment of barley in diets fed to broiler chickens. *Poultry Sci.* 60:2664-2671.
42. Hesselman, K., Elwinger, K., and Thomke, S. 1982. Influence of increasing levels of β -glucanase on the productive value of barley diets for broiler chickens. *Anim. Feed Sci. Technol.* 7:351-358.
43. Hesselman, K., and Aman, P. 1986. The effect of β -glucanase on the utilization of starch and nitrogen by broiler chickens fed on barley of low or high-viscosity. *Anim. Feed Sci. Technol.* 15:83-93.
44. Inbarr, J., Schmitz, M., and Ahrens, F. 1993. Effect of adding fiber and starch degrading enzymes to a barley/wheat based diet on performance and nutrient digestibility in different segments of the small intestine of early weaned pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 44:113-127.
45. Jackson, M. E., Geronian, K., Knox, A., McNab, J. y McCartney, E. 2004. Un estudio de dosis-respuesta con enzimas de alimentación β -mannanase en parrilleros suministrados con dietas de maíz-soja desprovistos de promotores antibióticos de crecimiento. España. 2004. *Poultry Sci.* 83:1992-1996.
46. Jongbloed, A. W., Kelne, P.A, and Mroz, Z. 1993. The role of microbial phytases in pig production. Switzerland. *First Symp. Roche on Feed Enzymes.* Suiza, 210-213.
47. Kernkamp, W. F. 1990. Enzimas en la alimentación animal. Trouw Ibérica. Madrid, España.

48. Kocher, A., Choct, M., Porter, M. D. y Broz, J. 2000. Efectos de la adición de enzimas a las dietas de pollos de engorde con altas concentraciones de harina de semilla de girasol o canola. Suiza. 2000. *Poultry Sci.* 78:1767-1774.
49. Kocher, A., Choct, M., Ross, G., Broz, J., and Chung, T. K. 2003. Effects of enzyme combinations on apparent metabolizable energy of corn-soyabean meal-based diets for broilers. *J. Appl. Poultry Res.* 12:275-283.
50. Lázaro, R., García, M., Mendel, P. y Mateos, G. G. 2003. Influencias de enzimas en el rendimiento y parámetros digestivos de pollos de engorde alimentados con dietas a base de centeno. España. 2003. *Poultry Sci.* 82:132-140.
51. Lázaro, R., Latorre, M. A., Medel, P., Gracia, M. y Mateos, G. G. 2004. Régimen de alimentación y suplementación de enzimas para dietas de pollos de engorde basadas en centeno. España. 2004. *Poultry Sci.* 83:152-160.
52. Leeson, S., Yersin, A., and Volker, L. 1993. Nutritive value of 1992 corn crop. *J. Applied Poult. Res.* 2:208-213.
53. Longstaff, M., and McNab, J. M. 1986. Influence of site and variety on starch, hemicellulose and cellulose composition of wheats and their digestibilities by adult cockerels. *Poult. Sci.* 27:435-449.
54. Mahagna, M., Nir, I., Larbier, M., and Nitsan, Z. 1995. Effect of age and exogenous amylase and protease on development of the digestive tract, pancreatic enzyme activities and digestibility of nutrients in young meat-type chicks. *Reprod. Nutr. Dev.* 35:201-212.

55. Méndez, J. 1998. Avances en nutrición y alimentación animal: fitasas en avicultura. COREN (Ourense).
56. Noy, Y. and Sklan, D. 1995. Digestion and absorption in the young chick. *Poultry Sci.* 74:366-373.
57. Odetallah, N. H., Parks, C. W. y Ferket, P. R. 2002. Efecto de la preparación de enzima de trigo en las características de rendimiento de pavos tom alimentados con dietas a base de trigo. Carolina del Norte. 2002. *Poultry Sci.* 81:987-994.
58. Pack, M., and Bedford, M. 1997. Feed enzymes for corn-soybean broiler diets. *World Poultry.* 13(9):87-93.
59. Pack, M., Bedford, M., and Wyatt, C. 1998. Feed enzymes may improve corn-sorghum diets. *Feedstuffs.* February 2. p. 18-19.
60. Pinheiro, D. F., Cruz, V. C., Sartori, J. R. y Vicentini Paulino, M. L. M. 2004. Efectos de la restricción temprana de alimento y suplementación de enzimas en la actividad de enzimas digestivas en pollos de engorde. Brazil. 2004. *Poultry Sci.* 83:1544-1550.
61. Piquer, F. J. 1996. Bases de la utilización de complejos enzimáticos en nutrición animal: Estudio comparativo entre especies. Memorias de XII Curso de Especialización FEDNA. Madrid, España. Noviembre 1996.
62. Pointillart, A. 1994. Phytates, Phytase: leur importance dans L'alimentation des monogastriques. *INRA. Prod. Anim.* 7 (1), 29-39.

63. Ravindran, V., Selle, P. H. y Bryden, W. L. 1999. Efectos de la suplementación de fitasa, individualmente y en combinación con glicanasa en el valor nutritivo del trigo y la cebada. Australia. 1999. *Poultry Sci.* 78:1588-1595.
64. Rexen, B. 1981. Use of enzymes for improvement of feed. *Anim. Feed Sci. Technol.* 6:105-114.
65. Rotter, B. A., Friensen, O. D., Guenter, W., and Marquardt, R. R. 1990. Influence of enzyme supplementation on the bioavailable energy of barley. *Poultry Sci.* 69:1174-1181.
66. Scheideler, E. S., Gómez, S., Abudabos, A., Jaroni, D., and Jalal, M. 1999. Enzyme supplementation of layer diets. Memorias del II Seminario internacional sobre enzimas y betaína. Las Vegas, Nevada. 1999.
67. Schoner, F.J. 1992 Sinopsis de los efectos biológicos y la importancia ecológica de la fitasa en el broiler y la gallina ponedora. 4º Foro Alimentación Animal BASF. Ludwigshafer.
68. Scott, T. A., Kampen, R. y Silversides, F. G. 1999. Efecto de fósforo, enzimas fitasa y calcio en el rendimiento de ponedoras alimentadas con dietas con base de maíz. Canada. 1999. *Poultry Sci.* 78:1742-1749.
69. Sebastian, S., Touchburn, S.P, Chavez, E. R., y Lagne P. C. 1996. The effects of supplemental microbial phytase on the performance and utilization of dictary calcium, phosphorus, copper and zinc in broiler chickens fed corn-soybean diets. *Poultry Sci.* 75, 729-736.
70. Sebastian, S., Tochburn, S.P., Chavez, F.R. y Lagne, P.C. 1997. Apparent digestibility of protein an amino acids in broiler chickens fed a corn-soybean diet supplement with microbial phytase. *Poultry Sci.* 76, 1760-1769.

71. Shutte, J. B. 1998. El valor de la energía en las materias primas: diferencias entre aves jóvenes y adultas. Memorias de la XXXV symposium de WPSA expoaviga 98. P. 115-121.
72. Simons, P., Versteegh, H., Jongbloed, A.W., Kerme, P., Slump, P., Bos, K., Wolters, M.G., Beudeker, R.F.; Verschoor, G.J. 1990. Improvement of phosphorus availability by microbial phytase in broilers and pigs. *British Journal of Nutrition*, 64, 525–540.
73. Soto, S. M. y Wyatt, L. C. 1997. Uso de enzimas para la mejora de dietas avícolas. *Mundo Ganadero*. (93):34-40.
74. Spring, P., Newman, K.E., Wenk, C., Messikommer, R. and Vukic, V. M. 1996. Effect of pelleting temperature on the activity of the different enzymes. *Poultry Sci.* 75:357-361.
75. Taverner, M. R., and Campbell, R. G. 1988. The effects of protected dietary enzymes on nutrient absorption in pigs. *Proc. 4th. Int. Seminar on Digestive physiology in the Pig*, 337.
76. Villamide, M. J., Fuente, J. M., Pérez de A. P., and Flores, A. 1997. Energy evaluation of eight barley cultivars for poultry: Effect of dietary enzyme addition. *Poultry Sci.* 76:834-840.
77. Viveros, A., Brenes, A., Arijá, I. y Centeno, C. 2002. Efectos de la suplementación de fitasa microbiana en la utilización de minerales y actividades de enzimas en suero en pollos de engorde alimentados con diferentes niveles de fósforo. España. 2002. *Poultry Sci.* 81:1172-1183.
78. White, W. B., Bird, H. R., Sunde, M. L., Prentice, N., Burgerand, W. C., and Marlett, J. A. 1981. The viscosity interaction of barley beta-glucan with *Trichoderma viride* cellulase in the chick intestine. *Poultry Sci.* 60:1043-1048.

79. White, W. B., Bird, H. R., Sunde, M. L. and Marlett, A. 1983. Viscosity of β -D-Glucan as a factor in the enzymatic improvement of barley for chicks. *Poultry Sci.* 62:853-862.
80. Wiseman, J., and Inborr, J. 1990. The nutritive value of wheat and its effect on broiler performance. *Rec. Adv. Anim. Nutr.* P. 79-102.
81. Wyatt, C., and Graham, H. 1996. Enzymes to the rescue. *Feed Management.* 47:6, p. 18-22.
82. Wyatt, L. C., Bedford, M., and Le Ny, P. 1999. Using feed enzymes to maximize nutrient utilization in corn-based poultry diets. *Memorias del II Seminario internacional sobre enzimas y betaína.* Las Vegas, Nevada. 1999.
83. Zhang, Z., Marquardt, R. R., Guenter, W., Cheng, J. y Han, Z. 2000. Predicción del efecto de enzimas en el rendimiento de pollos al ser agregadas a las dietas basadas en cereales: uso de un modelo logarítmico-lineal modificado. República de China. 2000. *Poultry Sci.* 78:1757-1766.