

ENZIMAS EXOGENAS EN LA ALIMENTACION AVICOLA

ELIZABETH LAGOS BURBANO

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
VICERECTORÍA DE INVESTIGACIONES POSTGRADOS Y RELACIONES
INTERNACIONALES
PASTO - COLOMBIA
2008**

ENZIMAS EXOGENAS EN LA ALIMENTACION AVICOLA

ELIZABETH LAGOS BURBANO

**Monografía presentada como requisito parcial para optar al título de especialista en
Producción de Recursos Alimentarios para Especies Pecuarias**

Asesor:

EDMUNDO APRAEZ GUERRERO Zoot., M. Sc., Ph. D.

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
VICERECTORÍA DE INVESTIGACIONES POSTGRADOS Y RELACIONES
INTERNACIONALES
PASTO - COLOMBIA
2008**

Nota de aceptación

EDMUNDO APRAEZ GUERRERO Zoot., M. Sc., Ph. D
Asesor

PAULINA DAVILA Zoot., M. Sc.
Jurado delegado

PATRICIA LOPEZ GUARNIZO MV., M. Sc
Jurado

Pasto, Noviembre de 2008.

“Las ideas y conclusiones aportadas en la tesis de grado son responsabilidad exclusiva de sus autores”

Artículo 1° del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Dedico a :

MIS PADRES

MI ESPOSO

MI HIJAS

MIS HERMANOS

ELIZABETH LAGOS BURBANO

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a:

JOSE EDMUNDO APRAEZ GUERRERO

Zoot., M. Sc., Ph. D.

PAULINA DAVILA

Zoot., M. Sc

PATRICIA LOPEZ GUARNIZO

MV M. Sc.

LUIS ALFONSO SOLARTE

Zoot.

ROCIO YEPES

Secretaria

Facultad de Ciencias Pecuarias de la Universidad de Nariño.

Todas aquellas personas que de una u otra forma contribuyeron a la culminación de este trabajo.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	16
JUSTIFICACION	17
OBJETIVOS	18
OBJETIVO GENERAL	18
Objetivos Específicos	18
3 MARCO TEORICO	19
3.1 LAS ENZIMAS, GENERALIDADES	19
3.1.1 Definición.	19
3.1.2 Breve reseña histórica sobre las enzimas	20
3.1.3 Clasificación de las enzimas	21
3.1.4 Producción de Enzimas Exógenas	24
3.2 LAS ENZIMAS EN LA PRODUCCIÓN PECUARIA.	24
3. .2.1 Fisiología enzimática en las aves.	25
3.3 UTILIZACIÓN DE COMPLEJOS ENZIMÁTICOS EN AVICULTURA	27
3.3.1 Polisacaridos no amilaceos en los cereales	28
3.3.2 Efecto antinutritivo de los β -glucanos y pentosanos	29
3.3.3 Utilización de fitasas en producción de pollo de engorde	32
3.3.4 Fitasas de origen vegetal	35
3.3.5 Fitasas de origen microbiano	35

	pág.
3.4 IMPORTANCIA ECOLÓGICA DE LA UTILIZACIÓN DE ENZIMAS EN AVICULTURA	36
3.4.1 Utilización de dietas con exceso de proteína	37
4 CONCLUSIONES	39
BIBLIOGRAFIA	40

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1.- Estructura de β -glucanos de la cebada y arabinosilanos del trigo	30
Figura 2 Estructura de la molécula de fitato y posibles enlaces	33

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Clasificación de las enzimas de acuerdo a su modo de acción	22
Cuadro 2.- Clasificación de los carbohidratos no almidón presentes en las dietas de monogástricos y en un monocultivo de <i>Cynodon plectostachyus</i>	29
Cuadro 3 Viscosidad útil potencial de algunos cereales y subproductos	30
Cuadro 4 Efecto de la suplementación con β -glucanasas sobre el crecimiento, índice de conversión y digestibilidad de la grasa cuando se suministran dietas de cebada descascarillada con alta viscosidad	33

GLOSARIO

BETAGLUCANOS: son una fibra soluble derivada de las paredes celulares de las algas, bacterias, hongos, levadura y plantas. Comúnmente se les usa por sus efectos en la disminución del colesterol. También se han utilizado los betaglucanos para el tratamiento de la diabetes y pérdida de peso.

ENZIMA: Proteína que cataliza específicamente cada una de las reacciones bioquímicas del metabolismo.

EXÓGENO: (Exogenous) De origen o desarrollo fuera del organismo. Por ejemplo, la insulina del páncreas bovino o porcino es para los diabéticos una insulina exógena.

FITASA: Es una enzima que degrada los fitatos presentes en los alimentos, mejorando de este modo, la disponibilidad de los nutrimentos de la dieta. Al reducir la excreción de fósforo en las heces, disminuye también la contaminación del ambiente.

LACTASA: f. Bioquím. Enzima que fragmenta la lactosa en glucosa y galactosa.

OXIDOREDUCTASA: Son las enzimas que catalizan reacciones de óxido-reducción entre dos sustratos S y S': $S(\text{reducido}) + S'(\text{oxidado}) = S(\text{oxidado}) + S'(\text{reducido})$.

PENTOSANOS: son polímeros de azúcares pentosas, tales como arabinosa o xilosa, tiene capacidad de retener agua, en las propiedades reológicas de la masa y en las características panificables del centeno, aumentando la jugosidad de la corteza de los productos de panadería.

PROTEINA: Sustancia constitutiva de las células y de las materias vegetales y animales. Es un biopolímero formado por una o varias cadenas de aminoácidos, fundamental en la constitución y funcionamiento de la materia viva, como las enzimas, las hormonas, los anticuerpos, etc.

SUSTRATO: Estrato que subyace a otro y sobre el cual puede influir; (Biol) Lugar que sirve de asiento a una planta o un animal fijo; (Bioquím) Sustancia sobre la que actúa una enzima.

TRANSFERASA: Es una enzima que cataliza la transferencia de un grupo funcional, por ejemplo un metilo o un grupo fosfato, de una molécula donadora a otra aceptora, una reacción de transferencia es la siguiente: $A-X + B \rightarrow A + B-X$.

RESUMEN

La suplementación de enzimas de origen exógeno en alimentación de aves pretende suplir las deficiencias enzimáticas de los animales para mejorar y permitir el uso de materias primas alternativas. La utilización de enzimas con actividades β -glucanasa y xilanasas en alimentación avícola ha aumentado de forma considerable, permitiendo una mayor utilización de cebada y trigo. Al contrario, el uso de fitasas proporciona resultados similares en ambas especies con aumentos en la retención de fósforo, aunque su uso no sea tan común como el de β -glucanasas y xilanasas. Se deduce entonces la necesidad de la suplementación con enzimas en alimentos para aves, para mejorar, la digestibilidad del alimento.

Por otra parte, muchos granos presentan altas concentraciones de ácido fítico. El fósforo fitato no es utilizable por los pollos debido a la falta de enzimas necesarias para hidrolizarlo, el problema radica en la formulación adecuada de dietas que satisfagan los requerimientos y el impacto ambiental del fósforo no utilizado y excretado en las heces. La adición de fitasa mejora la utilización del fósforo presente en los alimentos al reducir la necesidad de suplementar la dieta con fósforo inorgánico.

En el presente trabajo se aborda una revisión amplia sobre la utilización de enzimas exógenas en la alimentación avícola haciendo énfasis en las limitaciones y ventajas de esta actividad como también sus repercusiones ecológicas, con lo cual se pretende aportar elementos de juicio para la selección y utilización apropiada de las enzimas con que se suplementará la dieta de los animales

Palabras clave: Aves, Alimentación, Enzimas exógenas, Fisiología

ABSTRACT

The supplementation of enzymes of exogenous origin in feeding of birds tries to replace the enzymatic deficiencies of the animals to improve and to allow the use of alternative raw materials. The bird-raising enzyme use with activities α -glucanasa and xilanasa in alimentation has increased of considerable form, allowing to a greater use of barley and wheat. Opposite A1, the use of fitasas provides similar results in both species with increases in the phosphorus retention, although their use is not as common as the one of α -glucanasas and xilanasas. It is deduced then the necessity of the supplementation with food enzymes for birds, to improve, the digestibility of the food.

On the other hand, many grains present/display discharges fítico acid concentrations. The fitat phosphorus is not usable by the chickens due to the lack of enzymes necessary to hydrolyser it, the problem is in the suitable formulation of diets that satisfy the requirements and the environmental impact with phosphorus used and not excreted in lees. The addition of fitasa improves the use of present phosphorus in foods when reducing the necessity to supplemental the diet with inorganic phosphorus.

In the present work an ample revision is approached on the exogenous enzyme use in the bird-raising feeding making emphasis in the limitations and advantages of this activity like also its ecological repercussions, with which it is tried to contribute elements of judgment for the selection and appropriate use of enzymes whereupon will supplementary the diet of the animals

Key words: Birds, Feeding, Exogenous Enzymes, Physiology

INTRODUCCION

La historia reporta experiencias de hace muchos años sobre la práctica de la utilización de enzimas, ya se conocía su uso en la fabricación de quesos, pan, vino, cerveza y su uso se extendió a diferentes ramas de la industria como fabricación de detergentes, textiles, papel, farmacia entre otros.

Con relación a la alimentación animal, en el pasado se creía que las enzimas producidas por el animal eran suficientes para garantizar una óptima digestión. Sin embargo, en la década de los ochenta, se demostró que la suplementación del alimento con enzimas que el animal no produce, tenía efectos positivos sobre el aprovechamiento de la dieta y productividad animal (Pérez, 2004)¹.

Hacia el año de 1982, la compañía finlandesa Cultor comienza a desarrollar enzimas para nutrición animal, quien pone en el mercado finlandés el primer producto enzimático y es en 1.986 cuando empieza a comercializarse una enzima específica para aves.

Ya en los años 90 se aprecia un aumento consistente en el empleo de ciertos productos, resultantes de la biotecnología, como aditivos en la alimentación animal. También, en ese tiempo, se observó un progreso evidente en la investigación y desarrollo de nuevas posibilidades. De todos estos aditivos, las enzimas pueden considerarse como uno de los que más progresos han realizado, junto al masivo empleo de aminoácidos industriales (Duran, 2003)².

A partir de entonces, el uso de enzimas en alimentación animal ha venido incrementando de manera significativa y el uso de enzimas utilizadas en las dietas para aves ha tenido un notable crecimiento en los últimos años, por las ventajas que esto representa, además de incrementar el valor nutritivo de ingredientes, permite la utilización de insumos convencionales como de no convencionales, incrementando el rendimiento de los animales, con el consecuente aumento de ganancias para el productor además de los beneficios ambientales que esto representa debido a que hace disponible el fósforo presente en los alimentos mediante el uso de enzimas exógenas (fitasas) (Ávila, 2003)³.

¹ PEREZ, Mónica. 2004. Uso de pasta de soya obtenida por expeller como fuente de proteína no degradable para vacas lecheras. Consultora de Nutrición Animal. ASA/MCA

² DURAN, Rafael. 2003 Technical Manager Danisco Animal Nutrition. Enzimas exógenos, sus efectos sobre la Nutrición y sobre la Flora microbiana intestinal del lechón destetado. Disponible en la Word Wide web: <http://www.avancesentecnologiaporcina.com/contenidos/enzioc2.htm>.

³ AVILA, Ernesto. 2003 Utilización de enzimas en dietas para aves. centro de enseñanza, investigación y extensión en producción avícola. facultad de medicina veterinaria y zootecnia. universidad nacional autónoma de México. .

JUSTIFICACION

Hoy en día, los sistemas modernos de producción animal se deben orientar a mejorar los parámetros productivos y reproductivos del animal, así como a mantener un equilibrio entre los costos de producción y el beneficio obtenido, sin dejar de lado un aspecto importante como la protección del medio ambiente. Estos factores se deben interrelacionar con éxito para lograr competitividad y permanencia en el mercado.

El mayor porcentaje del alimento de las aves lo constituyen los granos, que muchas veces no se aprovechan íntegramente, ya que los carbohidratos contenidos en dichas paredes celulares producen material viscoso que limitan el proceso digestivo y la absorción de nutrientes y que sumado a esto la obtención de biocombustible, hace que este tipo de materias primas sean cada vez mas indisponibles para las actuales formas de uso en la alimentación avícola, se hace necesario la búsqueda de otras fuentes de alimentación tal vez menos eficientes que requieran de un componente enzimático.

Estos aspectos generan un efecto significativo en los costos de producción por lo tanto es un reto tanto como para los productores y nutricionistas buscar alternativas que permitan alcanzar la eficiencia alimenticia. El empleo de enzimas producidas por la industria para nutrición animal tiene grandes perspectivas de crecer con mayor impacto económico en la producción animal. Por tanto, es importante analizar la información existente acerca de las diferentes aplicaciones de las enzimas como aditivos en la alimentación, la respuesta animal y las implicaciones desde el punto de vista fisiológico, económico y medioambiental. En Latinoamérica la utilización de enzimas exógenas esta en pleno apogeo, con el propósito de investigar los verdaderos efectos sobre la producción animal. En nuestra región es muy poco lo que se ha explorado en este campo, y tener un conocimiento claro y preciso es necesario a fin de encontrar la posibilidad de su aplicación en los planteles avícolas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Revisar y discutir los estudios relacionados con la utilización de las enzimas exógenas y sus implicaciones fisiológicas, nutricionales y medioambientales en la producción avícola.

2.1.1 Objetivos Específicos

Detallar los efectos nutricionales relacionados con la utilización de enzimas exógenas en dietas avícolas

Describir el comportamiento fisiológico de las aves a la adición de complejos enzimáticos exógenos en la ración.

Reportar información referente a las implicaciones medioambientales que conlleva la utilización de enzimas exógenas en la alimentación avícola.

3 MARCO TEORICO

3.1 LAS ENZIMAS, GENERALIDADES

3.1.1 Definición. Las enzimas, son moléculas de proteínas que tienen la capacidad de facilitar y acelerar las reacciones químicas que tienen lugar en los tejidos vivos, disminuyendo el nivel de "energía de activación" propia de la reacción. Se entiende por "energía de activación" al valor de la energía que es necesario aplicar para que dos moléculas determinadas colisionen y se produzca una reacción química entre ellas. Generalmente, las enzimas se nombran añadiendo la terminación "asa" a la raíz del nombre de la sustancia sobre la que actúan (Niño, 2008)⁴.

Desde este punto de vista, se entiende que las enzimas son proteínas que actúan como catalizadores biológicos y llevan a cabo reacciones químicas a muy altas velocidades y con un elevado grado de especificidad; en su ausencia, la mayoría de las transformaciones químicas requeridas para mantener activas a las células tardarían mucho tiempo en efectuarse o simplemente no procederían.

Todos los animales y vegetales, al igual que los hongos, levaduras y bacterias sintetizan las enzimas; de hecho, su acción está estrechamente ligada con cualquiera de las etapas biológicas de todos los tejidos activos. Debido a esto, los alimentos contienen una gran variedad de enzimas endógenas que les provocan cambios benéficos o dañinos, además de las que provienen de las distintas contaminaciones microbianas. Por esta razón, es muy importante conocer las diversas actividades enzimáticas de cada producto, para así obtener ventajas de ellas y evitar los problemas indeseables que puede traer consigo su presencia.

La acción enzimática se caracteriza por la formación de un complejo que representa el estado de transición. El sustrato se une al enzima a través de numerosas interacciones débiles como son: puentes de hidrógeno, electrostáticas, hidrófobas, etc, en un lugar específico, el centro activo. Este centro es una pequeña porción del enzima, constituido por una serie de aminoácidos que interactúan con el sustrato. Con su acción, regulan la velocidad de muchas reacciones químicas implicadas en este proceso. El nombre de enzima, que fue propuesto en 1867 por el fisiólogo alemán Wilhelm Kühne (1837-1900), deriva de la frase griega en zyme, que significa 'en fermento'. En la actualidad los tipos de enzimas identificados son más de 2.000 (Alltech , 2008)⁵

Las enzimas catalizan reacciones biológicas y al igual que otros catalizadores influyen en la velocidad a la cual se alcanza el equilibrio sin afectar propiamente el equilibrio global; en estas circunstancias, las transformaciones químicas se llevan a cabo mediante una ruta

⁴ NIÑO, Oscar. Generalidades de las enzimas. . [online] [Citado noviembre 21 de 2008], Available from World Wide Web: <http://www.alfinal.com/monografias/enzimasmonografia.shtml>

⁵ ALLTECH. Las enzimas. [online] [Citado noviembre 21 de 2008], Available from World Wide Web: <http://www.alltechmexico.net/Allzyme.pdf>

que requiere menos energía libre. En otras palabras, si se emplean enzimas se necesita menos energía que cuando se usan catalizadores inorgánicos. La velocidad de una reacción enzimática depende de la concentración de enzima y cuando el sustrato está en exceso existe una relación entre dicha velocidad y la concentración de enzima (Netto, 2008)⁶.

3.1.2 Breve reseña histórica sobre las enzimas. Es evidente que en los últimos años el uso de enzimas en gran cantidad de industrias ha adquirido gran relevancia. La enzimología o ciencia encargada del estudio de las enzimas siempre será un tema de actualidad en la biotecnología, es así como esta ciencia ha experimentado grandes avances al igual que sus aplicaciones en la industria alimentaria, farmacéutica, de detergentes, panadería y papelera, entre otras. Los procesos catalizados por enzimas en la industria son cada día más numerosos, ya que presentan ventajas frente a los catalizadores no biológicos y la producción pecuaria no ha sido ajena a estas circunstancias.

La historia de las enzimas se originó en 1897, cuando Eduard Buchner pudo llevar a cabo la fermentación de azúcares en un caldo por medio de levaduras rotas. En aquel tiempo se le llamó zymase al fermento libre de células. Pero el término de “fermentos” o “enzimas” ya había sido postulado por Wilhelm Küne en 1867. En 1926 James B. Sumner cristalizó la ureasa y cuatro años más tarde John H. Northrop aisló y purificó la pepsina y la tripsina del jugo duodenal. Se sabe que la actividad catalítica de las enzimas ha sido utilizada por el hombre desde tiempos remotos en fermentaciones y elaboración de quesos. Sin embargo, no fue sino hasta 1960 cuando se hizo la descripción de las estructuras enzimáticas en términos químicos comenzando con la deducción de las secuencias de aminoácidos de la ribonucleasa (Montes y Magaña)⁷.

Por su parte, Viikari *et al.*, sostienen que: “Las aplicaciones comerciales de las enzimas se conocen en todo el mundo. Uno de los campos con un éxito sin precedentes, desde el punto de vista microbiológico, enzimológico, bioquímico, químico y farmacéutico, fue la transformación de esteroides por vía enzimática en la década de los años 40 a los 50. La utilización de microorganismos completos con actividad catalítica para la deshidrogenación, aromatización del anillo A, eliminación de cadenas laterales y la hidroxilación en la molécula esteroidea dio lugar a la síntesis químico-biológica de importantes hormonas como los cortico-esteroides; así floreció una de las industrias más rentables en esa época”⁸.

⁶ NETTO, Diana Victoria. Biología – Metabolismo, Las enzimas. [online] [Citado noviembre 21 de 2008], Available from World Wide Web: http://www.fisicanet.com.ar/biologia/metabolismo/ap02_enzimas.php

⁷ MONTES, Ma. del Carmen e MAGAÑA, Ignacio. Enzimas con aplicación industrial. XXX Aniversario de Biotecnología y Bioingeniería. [online]. Septiembre-octubre de 2002 [Citado noviembre 18 de 2008], 4 p. Available from World Wide Web: <http://www.cinvestav.mx/Portals/0/Publicaciones%20y%20Noticias/Revistas/Avance%20y%20perspectiva/sepoct02/5%20HORCASITAS.pdf>

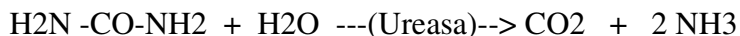
⁸ L. VIIKARI, M. RANUA, A. KANTELINEN, M. LINKO, J. SUNDQUIST, 1987, Proc. of the 3rd Int. Conf. on Biotechnology in Pulp and Paper Industry. Estocolmo p.67.

Por otra parte, en 1857 Pasteur demostró la relación entre la fermentación y la actividad biológica de las levaduras. En 1878, Khune acuñó el término “enzima”, para referirse a los “fermentos solubles” que no están unidos a las células vivas. Este término deriva de la expresión griega “en zyme”, traducido como “en la levadura”. Takamine, en 1894 logró obtener las primeras carbohidrasas y proteasas, a partir de un moho (*Aspergillus oryzae*). En 1897, Buchner presentó una prueba concluyente de acción enzimática al obtener fermentación alcohólica solo con el caldo de levaduras, sin células. En 1909, Rohm aplicó proteasas de origen animal para el tratamiento de pieles. La estructura química de las enzimas tomó unos años más para develar sus secretos, en 1962, James Summer demostró con la ureasa que las enzimas son proteínas (Torero, 2005)⁹.

Actualmente, la producción de enzimas se ha apoyado en microorganismos, sobre todo hongos y bacterias, los cuales pueden secretar enzimas hidrolíticas que los organismos animales son incapaces de producir. Sin embargo, se debe considerar que para llegar a este nivel es necesaria la realización de innumerables ensayos con cepas antes de identificar una adecuada a las necesidades del investigador, y que además produzca los volúmenes necesarios.

Uno de los ejemplos clásicos tal como menciona Torero es, el cuajo, elemento que es usado en la elaboración de quesos, una de las enzimas más antiguas y que según el autor está formado por la mezcla de dos enzimas, quimosina y pepsina que se obtienen del cuajar de las terneras jóvenes. Estas enzimas rompen la caseína de la leche y producen su coagulación. Otra enzima que también es muy importante es la lactasa o b-D-galactosidasa, que es una enzima que hidroliza la lactosa, el azúcar de la leche enzima que es de relevante importancia puesto que una gran parte de la población mundial carece de lactasa intestinal y su ingesta produce diarreas y trastornos intestinales. La eliminación de este azúcar se puede conseguir tratando la leche con b-galactosidasa, la cual ya se comercializa actualmente.

3.1.3 Clasificación de las enzimas. Una forma general de denominar a las enzimas es añadir el sufijo "asa" al nombre del sustrato. Así, la ureasa es la enzima que cataliza la hidrólisis de la urea formando amoníaco y dióxido de carbono, bajo la siguiente reacción:



Sin embargo con el descubrimiento de nuevas enzimas esta nomenclatura resulta a veces confusa. Actualmente se ha adoptado ciertas recomendaciones de la Internacional Enzyme Commission, que pretende sistematizar la nomenclatura y clasificación de las diferentes enzimas conocidas. El sistema anteriormente mencionado divide a las enzimas en seis clases que a su vez pueden tener diferentes subclases (Cuadro 1).

⁹ TORERO, Augusto. Las enzimas exógenas: Insumos básicos para la fabricación del alimento balanceado para animales. [online]. 21/09/2005 [Citado noviembre 18 de 2008], 9 p. Available from World Wide Web: http://www.engormix.com/s_articles_view.asp?art=525

A) Oxido-reductasas: Son las enzimas relacionadas con las oxidaciones y las reducciones biológicas que intervienen de modo fundamental en los procesos de respiración y fermentación. Las oxidoreductasas son importantes a nivel de algunas cadenas metabólicas, como la escisión enzimática de la glucosa, fabricando también el ATP, verdadero almacén de energía. Extrayendo dos átomos de hidrógeno, catalizan las oxidaciones de muchas moléculas orgánicas presentes en el protoplasma; los átomos de hidrógeno tomados del sustrato son cedidos a algún captor. En esta clase se encuentran las siguientes subclases principales: Deshidrogenasas y oxidasas. Son más de un centenar de enzimas en cuyos sistemas actúan como donadores, alcoholes, oxácidos aldehídos, cetonas, aminoácidos, DPNH₂, TPNH₂, y muchos otros compuestos y, como receptores, las propias coenzimas DPN y TPN, citocromos, O₂, etc.

B) Las Transferasas: Estas enzimas catalizan la transferencia de una parte de la molécula (dadora) a otra (aceptora). Su clasificación se basa en la naturaleza química del sustrato atacado y en la del aceptor. También este grupo de enzimas actúan sobre los sustratos más diversos, transfiriendo grupos metilo, aldehído, glucosilo, amina, sulfato, sulfúrico, etc.

Cuadro 1. Clasificación de las enzimas de acuerdo a su modo de acción

<p>Óxido – Reductasas (reacciones de oxido- reducción)</p> <p>Actúan sobre " : CH – OH "</p> <p>Actúan sobre " : C = O "</p> <p>Actúan sobre " : C = CH – "</p> <p>Actúan sobre " : CH – NH₂ "</p> <p>Actúan sobre " : CH – NH – "</p>	<p>Hidrolasas (reacciones de hidrólisis)</p> <p>Esteres</p> <p>Enlaces glucosídico</p> <p>Enlaces pepsídicos</p> <p>Otros enlaces C – N</p> <p>Anhídridos de ácido</p>
<p>Transferasas (transferencia de grupos funcionales)</p> <p>Grupos de un átomo de C</p> <p>Grupos aldehídos o cetónicos</p> <p>Grupos acilos</p> <p>Grupos glucosilos</p> <p>Grupos fosfatos</p> <p>Grupos que contienen azufre</p>	<p>Liasas (Adición a los dobles enlaces)</p> <p>: C = C :</p> <p>: C = O</p> <p>: C = N –</p>
<p>Isomerasas (reacción de isomerización)</p> <p>Racemasas</p>	<p>Ligasas (Formación de enlaces con escisión de ATP)</p> <p>: C – O</p> <p>: C – N</p> <p>: C – S</p> <p>: C – C</p>

Fuente: Avendaño y Cornejo, 1998

C) Las Hidrolasas: Esta clase de enzimas actúan normalmente sobre las grandes moléculas del protoplasma, como son la de glicógeno, las grasas y las proteínas. La acción catalítica se expresa en la escisión de los enlaces entre átomos de carbono y nitrógeno (C-Ni) o carbono oxígeno (C-O); Simultáneamente se obtiene la hidrólisis (reacción de un compuesto con el agua) de una molécula de agua. El hidrógeno y el oxidrilo resultantes de

la hidrólisis se unen respectivamente a las dos moléculas obtenidas por la ruptura de los mencionados enlaces. La clasificación de estas enzimas se realiza en función del tipo de enlace químico sobre el que actúan. A este grupo pertenecen proteínas muy conocidas: la pepsina, presente en el jugo gástrico, y la tripsina y la quimiotripsina, segregada por el páncreas. Desempeñan un papel esencial en los procesos digestivos, puesto que hidrolizan enlaces pépticos, estéricos y glucosídicos.

D) Las isomerasas: Transforman ciertas sustancias en otras isómeras, es decir, de idéntica fórmula empírica pero con distinto desarrollo. Son las enzimas que catalizan diversos tipos de isomerización, sea óptica, geométrica, funcional, de posición, etc. Se dividen en varias subclases. Las racemasas y las epimerasas actúan en la racemización de los aminoácidos y en la epimerización de los azúcares. Las primeras son en realidad pares de enzimas específicas para los dos isómeros y que producen un solo producto común. Las isomerasas cis – trans modifican la configuración geométrica a nivel de un doble ligadura. Los óxidos – reductasas intramoleculares catalizan la interconversión de aldosas y cetosas, oxidando un grupo CHOH y reduciendo al mismo tiempo al C = O vecino, como en el caso de la triosa fosfato isomerasa, presente en el proceso de la glucólisis; en otros casos cambian de lugar dobles ligaduras, como el isopentenil fosfato isomerasa, indispensable en el cambio biosintético del escualeno y el colesterol.

Las transferasas intramoleculares (o mutasas) pueden facilitar el traspaso de grupos acilo, o fosforilo de una parte a otra de la molécula, como la lisolecitina acil mutasa que transforma la 2 – lisolecitina en 3 – lisolecitina, etc. Algunas isomerasas actúan realizando inversiones muy complejas, como transformar compuestos aldehídos en compuestos cetona, o viceversa. Estas últimas desarrollan una oxidorreducción dentro de la propia molécula (oxido reductasa intramoleculares) sobre la que actúan, quitando hidrógeno, a algunos grupos y reduciendo otros; actúan ampliamente sobre los aminoácidos, los hidroxácidos, hidratos de carbono y sus derivados.

E) Las Liasas: Estas enzimas escinden (raramente construyen) enlaces entre átomos de carbono, o bien entre carbono y oxígeno, carbono y nitrógeno, y carbono y azufre. Los grupos separados de las moléculas que de sustrato son casi el agua, el anhídrido carbónico, y el amoníaco. Algunas liasa actúan sobre compuestos orgánicos fosforados muy tóxicos, escindiéndolos; otros separan el carbono de numerosos sustratos.

F) Las Ligasas: Es un grupo de enzimas que permite la unión de dos moléculas, lo cual sucede simultáneamente a la degradación del ATP, que, en rigor, libera la energía necesaria para llevar a cabo la unión de las primeras. Se trata de un grupo de enzimas muy importantes y recién conocidas, pues antes se pensaba que este efecto se llevaba a cabo por la acción conjunta de dos enzimas, una fosfoquinasa, para fosforilar a una sustancia A ($A + ATP \rightarrow A - P + ADP$) y una transferasa que pasaría y uniría esa sustancia A, con otra, B ($A - P + B \rightarrow A - B + Pi$). A este grupo pertenecen enzimas de gran relevancia reciente, como las aminoácido –ARNt ligasas conocidas habitualmente con el nombre de sintetetasas de aminoácidos –ARNt o enzimas activadoras de aminoácidos que representan el primer paso en el proceso biosintético de las proteínas, y que forman uniones C-O; las ácido-tiol ligasas, un ejemplo típico de las cuales es la acetil coenzima. A sintetetasas, que forma acetil

coenzima. A partir de ácido acético y coenzima A ; las ligasas ácido – amoniaco (glutamina sintetasa), y las ligasas ácido-aminoácido o sintetasa de péptidos, algunos de cuyos ejemplos más conocidos son la glutación sintetasa, la carnosina sintetasa, etc. (Avendaño y Cornejo, 1998)¹⁰.

3.1.4 Producción de Enzimas Exógenas. La producción de enzimas extracelulares se hace de manera exitosa utilizando hongos filamentosos, tales como los de género *Aspergillus*. Existen ciertas cepas de *Aspergillus* capaces de producir cantidades de hasta algunos gramos por litro de estas proteínas. También, este genero de hongos es capaz de desarrollar de manera correcta modificaciones postraslacionales de proteínas eucarióticas, además de que muchas cepas de *Aspergillus* son clasificadas como GRAS (generalmente reconocidas como seguras). La tecnología para fermentación a larga escala por *Aspergillus* y el procesamiento posterior de las proteínas a sido bien establecida. El significado real de las excelentes características secretorias del *Aspergillus*, es que las proteínas producidas por este organismo pueden ser purificadas del medio de cultivo, y ahí, ser incluidas en el alimento de los animales (Connely, 1992)¹¹.

3.2 LAS ENZIMAS EN LA PRODUCCIÓN PECUARIA.

La aplicación de enzimas en alimentos para animales se hace con la finalidad de: a) Remover o destruir factores antinutritivos en raciones para no rumiantes; b) Mejorar la digestibilidad total de la dieta. La baja digestibilidad de lagunas materias primas es por lo regular el resultado de la falta de enzimas endógenas del animal para extraer los nutrientes de los complejos dentro del ingrediente alimenticio; c) Aumentar la digestibilidad de polisacáridos no aminolíticos.

De manera general, los no rumiantes carecen de la capacidad endógena para hidrolizar los carbohidratos de este tipo por lo que cuando se adicionan las enzimas necesarias los componentes monosacáridos producto de su hidrólisis, se pueden absorber y utilizar; d) Complementar la adición de las enzimas endógenas producidas por el animal. En aves jóvenes cuando el sistema enzimático aún no se desarrolla completamente, hay deficiencia de algunas enzimas; e) Liberan algunos de los nutrientes atrapados, como azúcares simples y lisina; f) para reducir el impacto contaminante de las heces de los animales en el ambiente. El contenido de fosfatos en las heces de algunos animales tiene un potencial muy elevado como contaminantes (Salvador y Solorio, 2008)¹².

¹⁰Avendaño y Cornejo. Clasificación, características y aplicaciones de las enzimas amilolíticas de origen microbiano. En: Revista de agroquímica y tecnología de alimentos, ISSN 0034-7698, Vol. 28, N°. 4, , pags. 463-472 [online] 1988 [Citado noviembre 21 de 2008], 9 p. Available from World Wide Web: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=955041>

¹¹ CONNEELY, O.M. 1992. From DNA to feed conversion: Using biotechnology to improve enzyme yields and livestock performance. In: T.P. Lyons (ED.) Biotechnology in the Feed Industry. P 48. Alltech Technical Publications, Nicholasville, KY.

¹² SALAVADOR , Federico Y SOLORIO , Fernando. Utilización de enzimas exógenas en aves y porcinos. Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Zootecnia. [online] [Citado noviembre 18 de 2008], 9 p. Available from World Wide Web: <http://comunidad.uach.mx/fsalvado/ENZIMAS-NO%20RUMIANTES.htm>

En la última década las enzimas se han establecido como un aditivo estándar en la industria de la alimentación animal. El uso de las enzimas exógenas en el alimento de los animales aumenta la utilización de todos los constituyentes del alimento y hace posible el uso de ingredientes de menor calidad. Esto por supuesto, se traduce en costos menores de alimentos y utilidades más altas (Spring y Rheinheimer, 1999)¹³.

Lo anterior cobra mayor importancia si se tiene en cuenta su necesidad no solamente por motivos de control internos de calidad sino además de seguridad hacia el cliente de que esta recibiendo lo que se le ofrece al precio adecuado.

Adicionalmente, Piquer¹⁴ indica que la suplementación de enzimas de origen exógeno en alimentación de monogástricos pretende suplir las deficiencias enzimáticas de los animales para mejorar la utilización de materias primas y permitir el uso de materias primas alternativas.

En este sentido cabe destacar que la utilización de enzimas con actividades β -glucanasa y xilanasas en alimentación avícola ha aumentado de forma considerable durante la última década, permitiendo una mayor utilización de cebada y trigo en los piensos; se ha observado que las mejoras en crecimientos y en índices de transformación son proporcionalmente más marcadas en animales jóvenes que en animales adultos

3.2.1 Fisiología enzimática en las aves. Fisiológicamente, las aves adaptan el funcionamiento del tracto intestinal a las características del contenido digestivo y por tanto a la composición del alimento. Las aves ajustan la liberación de enzimas y modifican la velocidad de tránsito del contenido digestivo a fin de maximizar la digestión de los alimentos y la absorción de los nutrientes. Diversos trabajos indican que la respuesta funcional viene modulada por el estado sanitario del tracto intestinal. Cuando la capacidad del sistema es insuficiente, las respuestas fisiológicas, hormonales e inmunológicas conducen a una disminución del apetito y a diarreas mecánicas con la finalidad de reducir o en su caso eliminar la causa del problema (Mateos, Lázaro y Gracia, 2002)¹⁵.

Adicionalmente, si persisten las causas, se modifican las condiciones del TGI con un crecimiento rápido de bacterias patógenas en detrimento de la microflora beneficiosa

¹³ SPRING P., FILER K. Y RHEINHEIMER C. 1999. Las enzimas: Métodos y aplicaciones en la industria de la alimentación animal. Biotecnología en la industria de la alimentación animal. Alltech México S.a de C.V. Vol. VII.

¹⁴ PIQUER, F.J. Bases de la utilización de complejos enzimáticos en nutrición animal: estudio comparativo entre especies. PFIZER Salud Animal. [online] [Citado noviembre 18 de 2008], 7 p. Available from World Wide Web: <http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/96capituloVII.pdf>

¹⁵ MATEOS, R. LÁZARO Y M.I. GRACIA. Modificaciones nutricionales y problemática digestiva en aves. Departamento de Producción Animal. En: XVIII Curso de especialización FEDNA [online]. BARCELONA, 4 y 5 de Noviembre de 2002 [Citado noviembre 18 de 2008], 23 p. Available from World Wide Web: http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/2002CAP_II.pdf

nativa. Por tanto, en ausencia de antibióticos, se necesitan estrategias para reducir al mínimo la incidencia de enfermedades entéricas asociadas a cambios en la microflora. Una posible solución sería utilizar alimentos más digeribles, pero es una opción costosa. Una segunda posibilidad consiste en mejorar la estructura y el estado de salud del intestino, lo que se puede conseguir de diferentes modos. Una tercera posibilidad es mejorar la digestibilidad de las materias primas disponibles mediante el procesado de ingredientes o de piensos completos y la utilización de enzimas exógenas (García, 2000)¹⁶.

Las necesidades nutricionales de pollitos y pavitos recién nacidos no se conocen de forma exacta. Al nacimiento, los mecanismos de absorción están desarrollados pero no son maduros y la capacidad digestiva no es completamente funcional. A edades tempranas las aves priorizan sus necesidades y el coeficiente alométrico es mayor para los órganos que aportan que para los que demandan nutrientes. Es decir, los órganos digestivos y los órganos responsables de la respuesta inmunitaria tienen prioridad para recibir nutrientes sobre los tejidos musculares (García, 2000)¹⁷.

Se ha encontrado que el peso máximo (g órgano/g PV) del proventrículo, molleja, hígado, páncreas e intestino delgado se alcanzaba a los 4,6, 3,5, 7,8, 5,5 y 7,8 d de edad, respectivamente, datos que confirman los publicados por Mateos, Lázaro y Gracia¹⁸ sostienen que la digestión y absorción de nutrientes depende en gran medida de la actividad enzimática del páncreas, órgano que es funcionalmente inmaduro en los primeros estadios de vida. Por tanto, la digestibilidad de la proteína, lípidos y almidón es incompleta durante los primeros días de vida. Para favorecer el desarrollo temprano del páncreas y del TGI en general, se requiere el acceso rápido del pollito a agua y alimento y unas fuentes adecuadas de energía y proteína en el pienso de iniciación (Goddeeris, *et al*),¹⁹

Desde otra perspectiva, es importante mencionar que la producción avícola está condicionada por un gran número de factores, comerciales, técnicos y sociales y son quizá estos últimos los que de una manera más clara están resultando determinantes a la hora de establecer los modos de producción de las aves. Entre estos factores sociales, quizá uno de los más determinantes sea la progresiva reducción de la capacidad de tratamiento de los animales. Esta reducción, posiblemente muy sensata desde el punto de vista de la salud pública, aunque a veces nos pueda parecer exagerada, implica la necesidad de ajustar la producción de aves a una situación de restricción de uso de agentes exógenos para potenciar la producción.

¹⁶ GARCÍA, M. (2000) Evaluación de complejos enzimáticos en alimentación de pollos de engorde. 105 p. Trabajo de grado (Doctorado en Ciencias Agrarias). Universidad Politécnica de Madrid, España

¹⁷ *Ibid.*, p. 67.

¹⁸ MATEOS, R. LÁZARO Y M.I. GRACIA, *Op. cit.*, p. 23.

¹⁹ GODDEERIS, B.M., BOERSMA, W.J.A., COX, E., VAN DER STEDO, Y., KOENEN, M.E., VANCAENEGHEM, S., MAST, J. y VAN DEN BROECK, W. (2002) En: Nutrition and health of the gastrointestinal tract. M.C. Bock, H.A. Vahl, L. de Lange, A.E. Van de Braak, G. Hemke y M. Hessing (Eds.). Wageningen Academic Publishers, Países Bajos, pp. 97-134.

Esta restricción se vuelve aún más severa en el caso de los promotores de crecimiento (sustancias empleadas a baja dosis en los alimentos de los pollos para mejorar sus rendimientos zootécnicos). Ante la tesitura de tener que realizar el engorde de los animales sin promotores, se han ido desarrollando, en los últimos años, una gran variedad de productos que persiguen el objetivo de mantener los resultados técnicos de los pollos en los valores actuales empleando sustancias “amigables”, que no produzcan rechazo entre los consumidores.

Existen sustancias pertenecientes a grupos muy diversos, entre los que podemos considerar: Las enzimas exógenas: Al efecto conocido de las enzimas de permitir el empleo de niveles elevados de cereales con altos niveles de polisacáridos no amiláceos, se añadiría una reducción de la flora potencialmente patógena en el intestino, posiblemente como consecuencia de la mayor velocidad de tránsito alcanzada al reducir la viscosidad de la digesta (Barragán, 2008)²⁰.

Al respecto Salvador y Solorio argumentan que: “El uso de enzimas en alimentos para aves se ha enfocado predominantemente a la hidrólisis de la fibra o de la fracción de polisacáridos no aminolíticos (B – glucanos y arabinosilanos) de los granos de cereales, los cuales no pueden ser digeridos por las enzimas endógenas de las aves”²¹.

Sin embargo, las enzimas son empleadas con el propósito de suplementar el suministro de enzimas endógenas y mejorar la capacidad digestiva. Sin embargo, una consideración muy importante para seleccionar el tipo de enzimas y emplearla en los alimentos de los animales es la naturaleza de los sustratos donde estas trabajaran, ya que los principales componentes de los granos de cereales son el almidón, proteínas, grasas, polisacáridos no – almidón, hemicelulosas y pentosas. Estos componentes cuando son digeridos completamente, constituyen una fuente esencial de nutrientes, sin embargo, cuando son parcialmente digeridos, estos podría constituir problemas específicos, tales como una utilización pobre de nutrientes y la presencia de camas húmedas (Williams, 1997)²².

3.3 UTILIZACIÓN DE COMPLEJOS ENZIMÁTICOS EN AVICULTURA

En los últimos años la composición de las dietas destinadas a aves especialmente la de pollos de engorde ha cambiado sustancialmente. Se ha incrementado notablemente el uso de cereales y leguminosas, diferentes al maíz y a la torta de soja, con contenidos considerables de factores antinutritivos y no nutritivos, especialmente polisacáridos no amiláceos (NSP).

²⁰ BARRAGÁN, José. El uso de alternativas a los promotores de crecimiento en la producción avícola. FEDNA [online] [Citado noviembre 18 de 2008], 7 p. Available from World Wide Web: http://www.wpsa-aece.com/img/informacion/18_07_37_Barragan.pdf

²¹ SALVADOR , Federico Y SOLORIO , Fernando, Op. cit., p. 9.

²² WILLIAMS, P.E.V. 1997. Poultry production and science: Future directions in nutrition. World's Poultry. Sci. J. 53:33-48.

Los β -glucanos, presentes principalmente en la cebada y en la avena, los pentosanos en el trigo, centeno y triticale, y los α -galactósidos en guisantes, habas y altramuza ejercen un efecto antinutritivo en pollos manifestado por una reducción de los parámetros productivos y de la utilización de los nutrientes de la dieta, y por la aparición de camas húmedas y pastosas. Estos cambios de formulación se deben en parte al gran desarrollo de la industria productora de enzimas degradadores de polisacáridos no amiláceos (EDPNA), siendo las β -glucanasas y pentosanasas las enzimas de uso más regular en estos momentos como aditivos en dietas con alto contenido de cebada y trigo (Piquer, 2008)²³.

3.3.1 Polisacáridos no amiláceos en los cereales. Los polisacáridos no amiláceos representan, por su cantidad e implicaciones nutricionales, el grupo más importante dentro de los carbohidratos no almidón presentes en las dietas destinadas a monogástricos.

Los componentes de la fracción de carbohidratos no almidón y su digestibilidad en avicultura se encuentran bien definidos y clasificados según su solubilidad se resumen en el cuadro 2. (Piquer, 2008)²⁴.

Los β -glucanos y arabinosilanos (pentosanos) son los principales polisacáridos no amiláceos presentes en las paredes celulares de los cereales. La estructura química de los β -glucanos es similar a la de la celulosa, a excepción del tipo de enlaces, y consiste en unidades glucopiranosídicas unidas por enlaces β (1-4), entre los cuales se intercalan enlaces β (1-3). Estos enlaces β (1-3) rompen la linealidad de la molécula introduciendo irregularidades, impiden la formación de fibrillas y favorecen su solubilidad y la formación de soluciones viscosas.

Los arabinosilanos, de estructura más compleja que los β -glucanos, están formados por dos tipos de azúcares: xilosa y arabinosa. Son polímeros lineales de longitud variable, formados por unidades de D-xilosa unidas mediante enlaces β (1-4), con ramificaciones en las posiciones 02 y 03 de unidades de arabinosa (Figura 1). Estas ramificaciones de arabinosa son las que dan solubilidad al polímero, ya que sin las mismas los polímeros de xilosa podría interaccionar entre sí, formar agregaciones de peso molecular más grande y precipitar. La solubilidad de los NSP no está solamente determinada por el tamaño de la molécula y su concentración, influye también la cantidad y disposición de las ramificaciones, las cargas eléctricas y la forma en que están unidos a otros componentes de la pared celular (Figura 2) (Tejedor, Albino y Rostagno, 2001)²⁵.

²³ PIQUER, F.J. Op. cit., p. 14.

²⁴ Ibid., p. 15

²⁵ Tejedor, A., Albino, L., Rostagno, H., et al. 2001 Efecto de la adición de enzimas en dietas de pollo basadas en maíz y harina de soya sobre la digestibilidad ileal de nutrientes. Rev. de Zootecnia, Vol. 30, Numero 3,

Cuadro 2.- Clasificación de los carbohidratos no almidón presentes en las dietas de monogástricos

Solubles en H ₂ O	- Monosacáridos	- Glucosa - Fructosa - Xilosa - Arabinosa
	- Sacarosa - Lactosa - α-galáctosidos	- Rafinosa - estaquiosa - Vervascosa
	- Polisacáridos no almidón	- β-glucanos - Pentosanos - Arabinoglactanos - Galactomananos - Sustancias pécticas
Insolubles en H ₂ O	- Lignina	
	- Polisacáridos no almidón	- Celulosa - Hemicelulosas - Sustancias pécticas
		- β-glucanos - Xilanos - Manosa

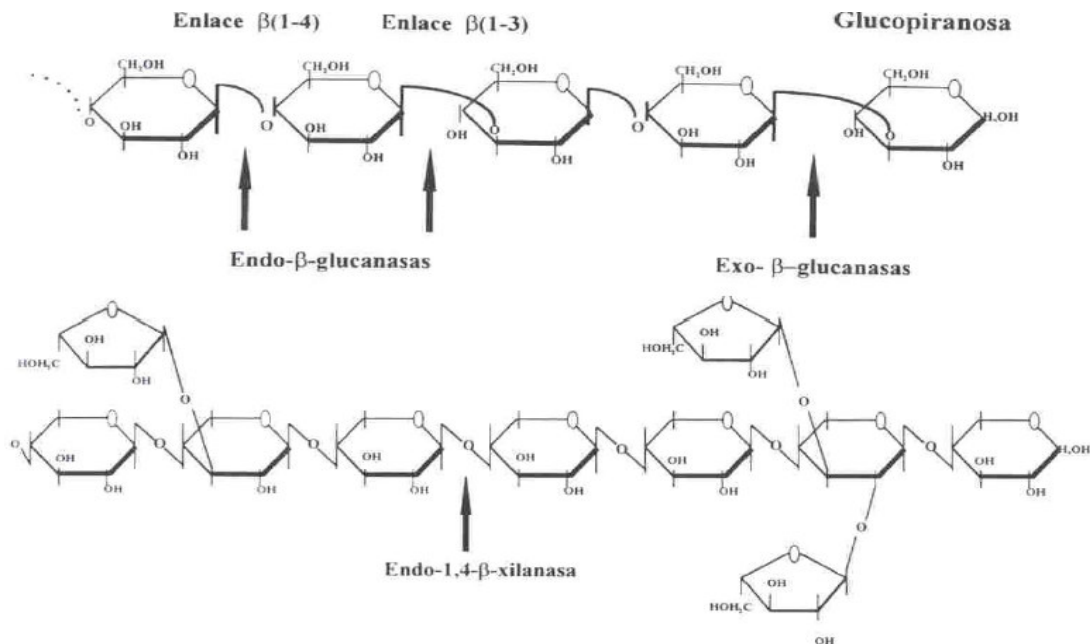
Fuente: Piquer, 2008

3.3.2 Efecto antinutritivo de los β-glucanos y pentosanos. Respecto a este tema es importante anotar que la presencia de estos polisacáridos en solución dentro del digestivo, puede modificar y en algunos aspectos entorpecida las condiciones y la fisiología de la digestión de las aves especialmente por su capacidad gel-formadora.

La utilización de enzimas permite en la mayoría de los casos eliminar o aliviar estos problemas. El uso de altos niveles de cebada y en muchos casos de trigo, reduce los parámetros productivos como consecuencia directa o indirecta de un aumento de la viscosidad intestinal, modificando ésta la velocidad de tránsito de la digesta a través del intestino. Como consecuencia de todo ello la energía metabolizable de la dieta y la digestibilidad de los principales nutrientes de la misma se reducen (Francesch, 2002)²⁶.

²⁶ FRANCESCH, M. Bases de la utilización de complejos enzimáticos en avicultura. Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentarias. En: XII Curso De Especializacion FEDNA. [online]. Madrid, 4 y 5 de Noviembre de 2002 [Citado noviembre 18 de 2008], 13 p. Available from World Wide Web: <http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/96capituloVIII.pdf>

Figura 1.- Estructura de β -glucanos de la cebada y arabinoxilanos del trigo



Fuente: Tejedor, Albino y Rostagno, 2001

Con referencia a los cereales, el centeno, la cebada y la avena, cereales con un mayor contenido en β -glucanos, son los que presentan una capacidad viscosa más elevada, mientras que la del trigo es muy pequeña. En concordancia con estos resultados, ensayos *in vivo* demuestran una relación directa entre la ingestión de cebada y centeno y la viscosidad de su extracto acuoso y el incremento de la viscosidad del contenido intestinal, así como de la reducción de esta viscosidad con la adición de β -glucanasas y pentosanasas (Cuadro 3)

Cuadro 3 Viscosidad útil potencial de algunos cereales y subproductos

Ingrediente	Viscosidad útil potencial* Máximo-mínimo
Trigo	1,64-5,16
Maíz	0,6
Cebada	18,45-20,39
Avena	13,22
Triticale	2,77-7,27
Centeno	27,21
Sorgo	0,26
Gluten meal	0,28
Gluten feed	1,3
Destilados de maíz	3,74
Tercerillas (harinilla blanca)	4,52
Salvado de trigo	2,94-3,66

*Viscosidad útil potencial = Log (viscosidad relativa).ml/g MS

Fuente: Francesch, 1996

En pollos broilers de 21 días, la adición de β -glucanasa a una dieta con 60% de cebada de alta viscosidad, reduce de 8,9 a 5,5 horas el tiempo de excreción de un 50% de marcador, y de 14,1 a 11,5 h el tiempo medio de retención de la digesta. Sin adición de enzima, la máxima excreción de marcador ocurre en la cuarta hora, mientras que con el enzima ésta se adelanta a la tercera hora. Esta reducción de la velocidad del paso de la digesta a través del intestino podría explicar el menor consumo observado con dietas de alta viscosidad.

De otra parte cabe destacar la importancia que tiene la utilización de materias primas fibrosas de desecho en la alimentación de las aves, cuya inclusión en la formulación de concentrados debe realizarse teniendo en cuenta tanto sus potencialidades como sus limitantes.

En este sentido Álvarez (1999)²⁷ realizó un ensayo con el objeto de evaluar el efecto de la adición de enzimas exógenas sobre la digestibilidad y valor energético de dietas que contienen niveles crecientes de afrechillo de trigo para pollos de engorde, donde concluyó que la suplementación con enzimas aumenta ($P < 0,001$) la digestibilidad de la materia seca, fibra detergente neutro, fibra detergente ácido y extracto etéreo (EE).

Se lograron, además, incrementos de 6,4%; 13,9%; 14,0% y 22,5% para MS, FDN, FDA y EE, respectivamente, siendo en este último nutriente donde se logró mayor recuperación del deterioro causado por la inclusión de la materia prima evaluada. Igualmente, la adición de enzima pudo recuperar una proporción importante del valor energético que se perdía con la inclusión del afrechillo ($P < 0,001$), sobre todo cuando los niveles de este último eran iguales o superiores a 30%. Se concluye que la inclusión de niveles crecientes de afrechillo de trigo disminuyó significativamente la digestibilidad y por ende la energía metabolizable de las dietas. Sin embargo, la adición de enzimas logró recuperar significativamente estos parámetros.

Por otra parte existe numerosa documentación sobre los efectos benéficos de la fibra soluble sobre la salud en dietas para humanos, ya que favorece el tránsito de la digesta y la absorción de nutrientes.

Los mismos efectos han sido descritos en aves; los solubilizados impiden la digestión de nutrientes, siendo la grasa de la dieta el nutriente más afectado. Dado que la grasa es absorbida en forma de micelas, su difusión será limitada en mayor grado por un efecto "malla" del gel que por moléculas individuales. Además el tránsito digestivo se hace más lento, lo que se traduce en un menor consumo de alimento (Cuadro 4). En particular la incapacidad de los pollitos de aumentar el consumo para compensar el efecto diluyente de la fracción fibrosa de la cebada es el principal factor responsable de los bajos rendimientos de pollitos alimentados con cebada sin la adición de enzimas. Con la edad aumenta la

²⁷ ÁLVAREZ, RAMÓN. Índices Digestivos en Aves con Dietas de Afrechillo de Trigo y Enzimas Exógenas. En: Formato Electronico De La Revista Científica De La Facultad De Ciencias Veterinarias UCV. [online]. Vol: 40 Nro: 4 1999 [Citado noviembre 18 de 2008], 233 p. Available from World Wide Web: http://bibliofcv.veter.ucv.ve/cgi-win/be_alex.exe?Autor=%C1lvarez,+Ram%F3n&Nombred=rfcv_ucv

capacidad de las aves para adaptarse a la fibra soluble y la respuesta a las enzimas de la dieta es consecuentemente menor.

Otros posibles efectos de la utilización de enzimas como la mayor digestibilidad de los materiales celulósicos, o el aumento de las secreciones endógenas del tracto gastrointestinal (amilasas, proteasas, lipasas) no han sido demostrados como lo afirma Campbell²⁸, adicionalmente, la celulosa es digerida muy lentamente incluso en condiciones óptimas. Las enzimas endógenas son de cualquier modo producidas en cantidades suficientes, con la posible excepción de la α -amilasa en lechones destetados (Campbell, 1993)²⁹

3.3.3 Utilización de fitasas en producción de pollo de engorde. La suplementación con enzimas en alimentos para aves es necesaria, en algunos casos, para eliminar factores antinutricionales de los cereales y así mejorar la digestión y absorción del fósforo de dietas de inicio.

Camiruaga, *et al.*, (2001)³⁰ por ejemplo, argumentan que desafortunadamente, muchos granos presentan altas concentraciones de ácido fítico, conteniendo entre el 60-80% del fósforo total. El fósforo fitato no es utilizable por los pollos debido a la falta de enzimas necesarias para hidrolizar el fitato en fósforo inorgánico e inositol además de la complejidad de su molécula (Figura 2). Esta limitación presenta 2 problemas: el primero radica en la formulación adecuada de dietas que satisfagan los requerimientos de fósforo de los animales y el segundo, en el impacto ambiental del fósforo no utilizado y excretado en las heces. La adición de fitasa mejora la utilización del fósforo presente en los alimentos al reducir la necesidad de suplementar la dieta con fósforo inorgánico.

²⁸ Ibid., p. 4.

²⁹ CAMPBELL, G.L. Utilización de enzimas en granos de cereales: fitasas glucanasas y pentosanasas. Department of Animal and Poultry Science University of Saskatchewan. En: XII Curso De Especializacion FEDNA. [online]. BARCELONA, 8 y 9 de Noviembre de 1993 [Citado noviembre 20 de 2008], 13 p. Available from World Wide Web: http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/93CAP_8.pdf

³⁰ M. CAMIRUAGA, F. GARCIA, R. ELERA y C. SIMONETTI. Respuesta productiva de pollos broilers a la adición de enzimas exógenas a dietas basadas en Maíz o Triticale. Departamento de Zootecnia Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal Pontificia Universidad Católica de Chile, En: Cien. Inv. Agr. 28(1): 23-36. 2001 [online] Santiago, Chile, 2001 [Citado noviembre 19 de 2008], 14 p. Available from World Wide Web: <http://www.rcia.puc.cl/Espanol/pdf/28-1/23-36.pdf>

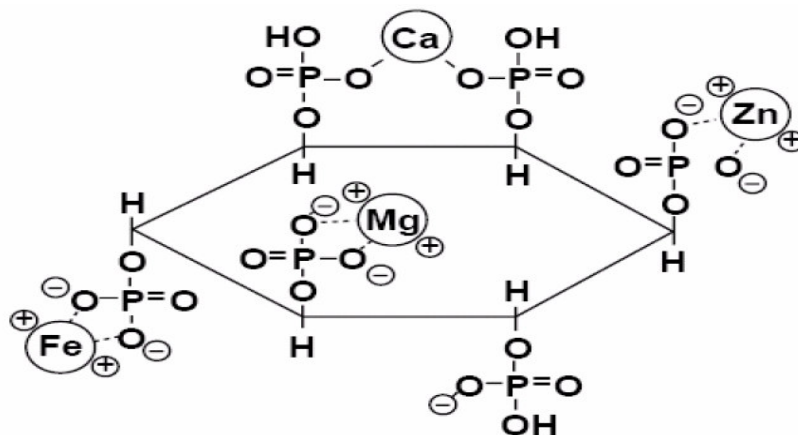
Cuadro 4 Efecto de la suplementación con β -glucanasas sobre el crecimiento, índice de conversión y digestibilidad de la grasa cuando se suministran dietas de cebada descascarillada con alta viscosidad

	Trigo	Cebada sin cáscara (-enzimas)	Cebada sin cáscara (+enzimas)
Ganancia de peso			
0-2 semanas	234	142	248
6-8 semanas	915	905	870
Índice de Conversión			
0-2 semanas	1,66	1,95	1,54
6-8 semanas	2,35	2,55	2,48
Digestibilidad grasa			
0-2 semanas	74,1	53,2	76,3
6-8 semanas	78,6	69,4	74,1

Fuente: Campbell, 1993

La fitasa, al hidrolizar el fitato a inositol y fosfato inorgánico, mejora la utilidad de la proteína, aminoácidos y nitrógeno en las aves. Esta enzima pueden ser aplicada a dietas basadas en harina de soya, sorgo, avena y maíz y puede producir diversas acciones benéficas como aumentar el consumo alimenticio y ganancia de peso vivo, mejorar la digestibilidad de la materia seca, del nitrógeno y de los aminoácidos, reducir el contenido de fósforo en las heces hasta en un 50%, mejorar la utilización de Ca: P (1,3:1), disminuir la fosfatasa alcalina de la sangre, aumentar el fósforo sérico y la concentración de magnesio y zinc en la tibia, incrementar el fósforo metatarsal y la concentración de Ca y P tibial al agrandar las zonas cartilaginosa y proliferativa.

Figura 2 Estructura de la molécula de fitato y posibles enlaces



Fuente: Camiruaga, *et al*,2001

De otra parte, la retención de minerales mejora cuando se le adiciona fitasa microbial a dietas basadas en cereales, bajo condiciones donde las cantidades de fuentes inorgánicas de estos elementos sean subóptimas y por consiguiente, su excreción es reducida. Finalmente, la fitasa microbial no sólo reduce la necesidad de la suplementación mineral, incrementando la utilidad de los cationes ligados al ácido fítico, sino que también tiene un fuerte impacto sobre el medio ambiente reduciendo la contaminación de estos minerales, minimizando la excreción de fósforo y nitrógeno en las heces.

Así mismo, en aves hembras, la adición de fitasa tiende a mejorar la digestibilidad ileal aparente de nitrógeno y aminoácidos, con la excepción de lisina, metionina, fenilalanina y prolina y en machos, incrementa la digestibilidad ileal aparente de la proteína cruda, pero no la digestibilidad ileal aparente de aminoácidos excepto de metionina y fenilalanina (Newkirk y Classen, 1995)³¹.

La respuesta reducida de la fitasa observada en machos enfatiza la necesidad de investigar esta curiosa respuesta dependiente del sexo, identificando los factores que contribuyen a la variabilidad de la respuesta.

Es de anotar que el afrechillo de arroz no constituye un ingrediente común de las raciones pero en épocas de crisis (alto precio del maíz) la industria avícola ha recurrido a su utilización. Sin embargo muchos autores mencionan que la inclusión de este tipo de alimento no se ha realizado a niveles superiores al 12% dado que en la práctica se han observado efectos negativos sobre el desempeño de las aves por la presencia de factores antinutricionales.

En este sentido, Azcona, *et al.*(2008),³² realizaron un ensayo con el objetivo de evaluar el uso de una fitasa comercial en raciones de pollos con afrechillo de arroz para mejorar su valor nutritivo y poder así incrementar su nivel de inclusión en las raciones, encontrando que la inclusión de 20% de afrechillo en la dieta, aún cuando se formuló en términos de aminoácidos digestibles, afectó negativamente el consumo de alimento, ganancia de peso y conversión, además de una caída en el contenido de cenizas en tibias.

El agregado de fitasa por su parte produjo una mejora en la ganancia de peso aunque sin igualar el peso alcanzado por el grupo control, el consumo no fue mejorado, la conversión alimenticia resultante no presentó diferencias respecto del grupo control. El contenido de cenizas en tibias se equiparó con el del control; resultados que dejan entrever que la fitasa mejora la retención de fósforo y la digestibilidad de las proteínas y aminoácidos.

³¹ NEWKIRK, R. AND H. CLASSEN, 1995. Nutritional impact of canola meal phytate in broiler chicks. Poultry Science 74:14

³² AZCONA, J., GALLINGER, C., BERNIGAUD, I., IGLESIAS, B y SCHANG, M, Uso de fitasa en dietas para pollos adicionadas con afrechillo de arroz. En: Durante el XX Congreso Latinoamericano de Avicultura, [online] Porto Alegre, Brasil, 2008-02-01 [Citado noviembre 21 de 2008], Available from World Wide Web: <http://www.wattpoultry.com/IndustriaAvicola/Article.aspx?id=20906>

Por otra parte, con respecto a la obtención industrial de la enzima mencionada la producción comercial de fitasa para ser usada como suplemento enzimático exógeno en dietas se la obtiene de cultivos microbiales, siendo ésta además más efectiva dentro del ambiente gastrointestinal. La fitasa procedente de *Aspergillus ficuum* resulta ser más termoestable. Formas purificadas de la enzima retienen el 40% de su actividad después de ser sometidas a temperaturas de 68 °C por 10 minutos. Por otra parte, la fitasa microbiana es activa sobre un amplio rango de pH. En pollos, la hidrólisis del fitato ocurre principalmente dentro del buche (pH 5-6), el proventrículo y molleja (pH 2-4). Esto puede explicarse, en parte, la efectividad y consistencia de la acción de la fitasa microbiana comparada con la procedente de las plantas (Eeckout y De Paepe, 1991)³³.

3.3.4 Fitasas de origen vegetal. Las fitasas de origen vegetal se conocen desde hace mucho tiempo, pertenecen al tipo 6- fitasa y se caracterizan por hidrolizar al ácido fítico comenzando por el grupo ortofosfato situado en la posición 6 de la molécula, dando lugar como primer producto intermediario al D-mioinositol 1, 2, 3, 4, 5 pentafofosfato más una molécula de ortofosfato. Estas fitasas hidrolizan completamente al ácido fítico. El pH óptimo de las fitasas vegetales oscila entre 5.0 y 5.6; medios muy ácidos o alcalinos las inactivan de forma irreversible. Su temperatura óptima se encuentra entre 45 a 60° C. Las fitasas vegetales suelen ser menos efectivas que las fúngicas. Esta menor efectividad se le ha atribuido al estrecho rango de pH y al mayor grado de inactivación de las fitasas vegetales en el estómago. No obstante, se ha observado un efecto aditivo entre ambas fitasas, y una óptima incorporación de ingredientes vegetales con alta actividad fitásica puede incluso eliminar por completo la adición de fosfatos inorgánicos (Cervantes *et al.*, 2008)³⁴.

3.3.5 Fitasas de origen microbiano. Se han detectado en microorganismos de los géneros: *Aerobacter aerogenes*, *Bacillus subtilis*, *Klebsiella aerogenes* y *Pseudomonas sp.*, pero sólo la producida por el *Bacillus subtilis* es de carácter extracelular; algunos de los inconvenientes de las fitasas bacterianas son su bajo rendimiento productivo y su pH neutro-alcalino lo cual limita su utilización como aditivo en la alimentación animal. Las fitasas de la flora microbiana del intestino grueso, aunque tienen actividad hidrolítica sobre los fitatos, no ejercen ningún efecto benéfico para el animal porque el fósforo liberado no se absorbe y es totalmente excretado (Cervantes *et al.*, 2008)

³³ EECKOUT, W., AND M. DE PAEPE, 1991. The quantitative effects of an industrial microbial phytase and wheat phytase on the apparent phosphorus absorbability of a mixed feed by piglets. Proceeding of Fifth Forum of Applied Bio-technology. Part II. University of Gent. Bélgica. 1643 - 1646 pp.

³⁴ CERVANTES, M., SAUER, W., MORALES, A., ARAIZA, A., ESPINOZA, S. y YÁÑEZ, J. Manipulación nutricional del cerdo para disminuir la contaminación ambiental. Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California, [online] Mexicali, México [Citado noviembre 20 de 2008], 14 p. Available from World Wide Web: http://www.sian.info.vc/porcinos/congresos/porcicultura_2008/cervantes.htm

Forsberg (2003)³⁵, por su parte sostiene que las fitasas también son producidas por hongos del género *Aspergillus*. Estos hongos producen enzimas extracelulares del tipo 3-fitasa con capacidad hidrolítica del mioinositol hexafosfato (IP6) sobre el grupo ortofosfato situado en posición 3 de la molécula, dando lugar a Dmioinositol 1, 2, 4, 5, 6-pentafosfato y una molécula de ortofosfato. Estas fitasas no hidrolizan por completo el IP6, siendo incapaces de degradar el éster monofosfórico (IP1). De todos los organismos estudiados (plantas, bacterias y hongos), el *Aspergillus niger* es el que produce la fitasa extracelular más activa.

Este hongo produce dos fitasas (A y B) y una fosfatasa ácida de pH 6,0. La fitasa tipo A actúa dentro de un rango de pH de 2.5-5.0 y a una temperatura óptima de 58 °C. La fitasa de tipo B un pH óptimo de 2,5 y una temperatura óptima de 63 °C. En la actualidad hay, al menos, cuatro fitasas comerciales disponibles, tres de ellas obtenidas por fermentación de un *Aspergillus* genéticamente modificado (Natuphos®, Novo phytase® y Finase®), y otra por extracción del medio de cultivo de un *Aspergillus* no modificado genéticamente (Alltech phytase®).

Desde este punto de vista es posible mencionar que la utilización de las fitasas en la industria de los alimentos para animales se ha visto favorecida por la mejora constante en la utilización de ingredientes como minerales, aminoácidos y otros aditivos y por la generación de nuevas tecnologías que han permitido la obtención de la enzima a escala industrial, esto ha permitido una disminución en el costo de producción de la enzima.

3.4 IMPORTANCIA ECOLÓGICA DE LA UTILIZACIÓN DE ENZIMAS EN AVICULTURA

Las dietas para aves producidas de manera intensiva se caracterizan por contener factores antinutricionales o desequilibrio en el contenido de nutrientes. En los cereales se encuentran cantidades importantes de ácido fítico que captura de manera directa al fósforo haciéndole indisponible para el animal; de manera indirecta también atrapa moléculas de otros minerales (Ca, Cu, Zn, Mg) y proteínas reduciendo su digestibilidad. Además, los cereales contienen arabinoxilanos que atrapan proteínas e impiden su total digestión.

En general, la reducción en la disponibilidad de algunos nutrientes provocada por estos compuestos, obliga a su adición complementaria en la dieta, lo cual resulta en una excreción excesiva de compuestos nitrogenados y del mismo fósforo en las heces, provocando condiciones de contaminación de suelos y aguas aledañas a los centros de producción.

Así mismo, los cereales (trigo, sorgo, maíz) y pastas de oleaginosas contienen proporciones desequilibradas de aminoácidos con respecto a los niveles requeridos por los animales. Las dietas se formulan para cubrir el requerimiento de lisina, primer aminoácido limitante en

³⁵ FORSBERG, C. W., PHILLIPS, GOLOVAN, M. FAN, R. MEIDINGER, A. AJAKAIYE, D. HILBORN, AND R. HACKER, 2003. The Enviropig physiology, performance, and contribution to nutrient management advances in a regulated environment: The leading edge of change in the pork industry. J. Anim. Sci. 81(Suppl. 2):E68-E77.

todos los cereales. En consecuencia, el contenido del resto de los aminoácidos en esas dietas es excesivo y, en casos como leucina, el contenido puede ser hasta cuatro veces superior al valor requerido. De esta manera, las dietas típicas para aves proveen cantidades excesivas de varios minerales y aminoácidos que son excretadas y se convierten en fuentes de contaminación ambiental.

3.4.1 Utilización de dietas con exceso de proteína. Un problema es que sin duda acarrea la utilización de dietas con excesos de proteína es el olor el cual puede constituirse como un verdadero perjuicio a las personas que habitan en las proximidades por la sensación de suciedad que acompaña a estos vertidos, así como la aparición de síntomas evidentes de la degradación ambiental en el entorno, son otros factores que pueden llevar a los vecinos del lugar a interponer una demanda.

Más del 50% del N de los alimentos es excretado como ácido úrico, por tanto una estrategia sería inhibir su conversión a amonio, además de las múltiples combinaciones de manejo nutricional, sistemas de alojamiento, opciones de tratamiento, almacenaje y disposición de residuales, para reducir la contaminación ambiental y proveer a largo plazo un crecimiento sostenible.

Los compuestos de N gaseoso, desprendido de la volatilización de las excretas provoca olores desagradables, mientras que los productos sólidos de la excreción son aquellos asociados con ineficiencia digestiva y aquellos de origen metabólico, o sea por la contribución de los dos procesos básicos (digestión y metabolismo) y a cualquier tratamiento al cual ha estado sujeto el balance del producto total de la excreción (Lon-Wo, 2008)³⁶.

La adición de aminoácidos sintéticos, en dietas bajas en proteína para aves en crecimiento, mejora el balance entre los aminoácidos contenidos en la dieta, y como consecuencia, reduce la contaminación ambiental al disminuir la excreción de nitrógeno en las heces y orina. La reducción moderada en el contenido de PC (hasta cuatro unidades porcentuales) de dietas a base de sorgo (*Sorghum vulgare*)-pasta de soya (*Glycine soja*), acompañada con la inclusión de lisina y treonina sintéticas, no afecta el comportamiento productivo. Sin embargo, una reducción mayor (cinco o más unidades porcentuales) provoca una disminución en la ganancia de peso y en la eficiencia alimenticia, aún cuando estas dietas sean complementadas de manera apropiada para que todos los aminoácidos cubran los requerimientos.

De esta manera, la excreción de N y amoniaco puede reducirse mediante la manipulación de los ingredientes de la dieta, la cual puede hacerse de dos formas principalmente; una se basa en el uso de fuentes de proteínas altamente digestibles y aminoácidos disponibles, y la

³⁶ LON-WO, Esmeralda. La producción avícola y la contaminación ambiental. Instituto de Ciencia Animal. [online] Cuba [Citado noviembre 20 de 2008], 14 p. Available from World Wide Web: http://www.sian.info.ve/porcinos/publicaciones/encuentros/viii_encuentro/memorias/esmeralda.htm

otra consiste en reducir el contenido de proteína en la dieta. De estas, la reducción en el contenido de proteína es la mas práctica, aplicable y conveniente y se logra al reducir el porcentaje de proteína en la dieta y adicionar en forma libre las cantidades de cada uno de los aminoácidos que se conviertan en deficientes por esa reducción (Cervantes *et al.*, 2008).

De acuerdo a las anteriores consideraciones se deduce el grave problema que acarrea la utilización irracional de la proteína en la alimentación animal, que adicionalmente conduce a un incremento considerable de los costos de producción por el concepto de alimentación; se requiere entonces explorar diferentes alternativas que permitan la optimización de los recursos para lo cual la utilización de enzimas exógenas puede constituir una opción viable en aras de lograr este objetivo; puesto que este tipo de compuestos generan una acción catalítica que permite la escisión de las moléculas de substratos a partículas más simples volviéndolas más aprovechables y evitando así una reducción significativa a nivel económico y ambiental.

En este sentido, Campbell y Bedford determina que: “El uso de carbohidrasas en dietas con trigo para mejorar la digestibilidad de los aminoácidos, está documentado. Dietas a base de trigo, en lugar de sorgo o maíz, con niveles subóptimos de PC, aparentemente no se han evaluado; además, la información disponible relacionada con el efecto de la adición de proteasas a dietas con trigo es nula”³⁷.

Las enzimas son substrato-dependientes y por tanto muy específicos en su acción y pueden mejorar la productividad de las aves aumentando bien la digestibilidad de los nutrientes, los efectos beneficiosos de la adición de enzimas exógenas en dietas de ponedoras se deben principalmente a una mejora en la digestibilidad de los nutrientes mientras que en el caso del broiler el aumento de consumo de pienso también es importante. Se han encontrado mejoras de hasta un 8% en la digestibilidad del almidón y de hasta un 19% en el caso de la proteína (Mateos, Lázaro y Gracia, 2002)³⁸.

³⁷ CAMPBELL, G. L., Y M. R. BEDFORD. 1992. Enzyme applications for monogastric feeds; a review. *Can. J. Anim. Sci.* 72: 449-466.

³⁸ MATEOS, R. LÁZARO Y M.I. GRACIA, *Op. cit.*, p. 13.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

La utilización de enzimas en la alimentación avícola, se ha constituido como una actividad de gran impacto en la producción, actividad que se ha promovido por el desarrollo de nuevos complejos enzimáticos a bajo costo y técnicas más desarrolladas para su empleo. Todo esto con el propósito no solo de incrementar la eficiencia de los ingredientes convencionales sino también el empleo de materias primas no convencionales.

Es diverso el tipo de procesos no solo biológicos que pueden ser mediados por acción enzimática, por lo que casi cualquier factor anti-nutricional puede ser reconvertido por la enzima adecuada, a un costo razonable.

Mediante la utilización de estos productos, se reducirá el empleo de antibióticos como aditivos y se reducirá la contaminación del medio ambiente e impactará positivamente en los aspectos económicos de la producción animal.

La suplementación con fitasas es una técnica de gran aplicación en plantales avícolas con elevada densidad de animales donde preocupa el fósforo como agente contaminante. La suplementación con fitasas es un medio eficaz, de mejorar la utilización del fósforo, esta actividad debe entrar a formar parte de un programa optimizar los recursos y reducir los niveles de fósforo en el estiércol.

RECOMENDACIONES

Realizar proyectos y estudios de viabilidad basados en la utilización de enzimas exógenas en plantales avícolas del departamento de Nariño.

Evaluar el comportamiento animal en respuesta a la Adición de enzimas exógenas a dietas constituidas por subproductos de cereales producidos en nuestro departamento.

BIBLIOGRAFIA

ALLTECH. Las enzimas. [online] [Citado noviembre 21 de 2008], Available from World Wide Web: <http://www.alltechmexico.net/Allzyme.pdf>

ÁLVAREZ, RAMÓN. Índices Digestivos en Aves con Dietas de Afrechillo de Trigo y Enzimas Exógenas. En: Formato Electronico De La Revista Cientifica De La Facultad De Ciencias Veterinarias UCV. [online]. *Vol: 40 Nro: 4 1999* [Citado noviembre 18 de 2008], 233 p. Available from World Wide Web: http://bibliofcv.veter.ucv.ve/cgi-win/be_alex.exe?Autor=%C1lvarez,+Ram%F3n&Nombred=rfcv_ucv

AVILA, Ernesto. Utilización de enzimas en dietas para aves. centro de enseñanza, investigación y extensión en producción avícola. facultad de medicina veterinaria y zootecnia. universidad nacional autónoma de México. 2003.

AZCONA, J., GALLINGER, C., BERNIGAUD, I., IGLESIAS, B y SCHANG, M, Uso de fitasa en dietas para pollos adicionadas con afrechillo de arroz. En: Durante el XX Congreso Latinoamericano de Avicultura, [online] Porto Alegre, Brasil, 2008-02-01 [Citado noviembre 21 de 2008], Available from World Wide Web: <http://www.wattpoultry.com/IndustriaAvicola/Article.aspx?id=20906>

BARRAGÁN, José. El uso de alternativas a los promotores de crecimiento en la producción avícola. FEDNA [online] [Citado noviembre 18 de 2008], 7 p. Available from World Wide Web: http://www.wpsa-aca.com/img/informacion/18_07_37_Barragan.pdf

CAMPBELL, G. L., Y M. R. BEDFORD. 1992. Enzyme applications for monogastric feeds; a review. *Can. J. Anim. Sci.* 72: 449-466.

CAMPBELL, G.L. Utilización de enzimas en granos de cereales: fitasas glucanasas y pentosanasas. Department of Animal and Poultry Science University of Saskatchewan. En: XII Curso De Especializacion FEDNA. [online]. BARCELONA, 8 y 9 de Noviembre de 1993 [Citado noviembre 20 de 2008], 13 p. Available from World Wide Web: http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/93CAP_8.pdf

CAMIRUAGA, F. GARCIA, R. ELERA y C. SIMONETTI. Respuesta productiva de pollos broilers a la adición de enzimas exógenas a dietas basadas en Maíz o Triticale. Departamento de Zootecnia Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal Pontificia Universidad Católica de Chile, En: *Cien. Inv. Agr.* 28(1): 23-36. 2001 [online] Santiago, Chile, 2001 [Citado noviembre 19 de 2008], 14 p. Available from World Wide Web: <http://www.rcia.puc.cl/Espanol/pdf/28-1/23-36.pdf>

CERVANTES, M., SAUER, W., MORALES, A., ARAIZA, A., ESPINOZA, S. y YÁÑEZ, J. Manipulación nutricional del cerdo para disminuir la contaminación ambiental. Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California, [online] Mexicali,

México [Citado noviembre 20 de 2008], 14 p. Available from World Wide Web: http://www.sian.info.ve/porcinos/congresos/porcicultura_2008/cervantes.htm

CONNELLY, O.M. 1992. From DNA to feed conversion: Using biotechnology to improve enzyme yields and livestock performance. In: T.P. Lyons (ED.) Biotechnology in the Feed Industry. P 48. Alltech Technical Publications, Nicholasville, KY.

DURAN, Rafael. Technical Manager Danisco Animal Nutrition. Enzimas exógenos, sus efectos sobre la Nutrición y sobre la Flora microbiana intestinal del lechón destetado 2003. Disponible en la World Wide web: <http://www.avancesentecnologiaporcina.com/contenidos/enzioc2.htm>.

ECKOUT, W., AND M. DE PAEPE, 1991. The quantitative effects of an industrial microbial phytase and wheat phytase on the apparent phosphorus absorbability of a mixed feed by piglets. Proceeding of Fifth Forum of Applied Bio-technology. Part II. University of Gent. Bélgica. 1643 - 1646 pp.

FORSBERG, C. W., PHILLIPS, GOLOVAN, M. FAN, R. MEIDINGER, A. AJAKAIYE, D. HILBORN, AND R. HACKER, 2003. The Enviropig physiology, performance, and contribution to nutrient management advances in a regulated environment: The leading edge of change in the pork industry. J. Anim. Sci. 81(Suppl. 2):E68–E77.

FRANCESCH, M. Bases de la utilización de complejos enzimáticos en avicultura. Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentarias. En: XII Curso De Especialización FEDNA. [online]. Madrid, 4 y 5 de Noviembre de 2002 [Citado noviembre 18 de 2008], 13 p. Available from World Wide Web: <http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/96capituloVIII.pdf>

GARCÍA, M. (2000) Evaluación de complejos enzimáticos en alimentación de pollos de engorde. 105 p. Trabajo de grado (Doctorado en Ciencias Agrarias). Universidad Politécnica de Madrid, España

GODDEERIS, B.M., BOERSMA, W.J.A., COX, E., VAN DER STEDO, Y., KOENEN, M.E., VANCAENEGHEM, S., MAST, J. y VAN DEN BROECK, W. (2002) En: Nutrition and health of the gastrointestinal tract. M.C. Bock, H.A. Vahl, L. de Lange, A.E. Van de Braak, G. Hemke y M. Hessing (Eds.). Wageningen Academic Publishers, Países Bajos, pp. 97-134.

LON-WO, Esmeralda. La producción avícola y la contaminación ambiental. Instituto de Ciencia Animal. [online] Cuba [Citado noviembre 20 de 2008], 14 p. Available from World Wide Web: http://www.sian.info.ve/porcinos/publicaciones/encuentros/viii_encuentro/memorias/esmeralda.htm

MATEOS, R. LÁZARO Y M.I. GRACIA. Modificaciones nutricionales y problemática digestiva en aves. Departamento de Producción Animal. En: XVIII Curso de

especializacion FEDNA [online]. Barcelona, 4 y 5 de Noviembre de 2002 [Citado noviembre 18 de 2008], 23 p. Available from World Wide Web: http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/2002CAP_II.pdf

MONTES, Ma. del Carmen e MAGAÑA, Ignacio. Enzimas con aplicación industrial. XXX Aniversario de Biotecnología y Bioingeniería. [online]. Septiembre-octubre de 2002 [Citado noviembre 18 de 2008], 4 p. Available from World Wide Web: <http://www.cinvestav.mx/Portals/0/Publicaciones%20y%20Noticias/Revistas/Avance%20y%20perspectiva/sepoct02/5%20HORCASITAS.pdf>

NETTO, Diana Victoria. Biología – Metabolismo, Las enzimas. [online] [Citado noviembre 21 de 2008], Available from World Wide Web: http://www.fisicanet.com.ar/biologia/metabolismo/ap02_enzimas.php

NEWKIRK, R. AND H. CLASSEN, 1995. Nutritional impact of canola meal phytate in broiler chicks. Poultry Science 74:14

NIÑO, Oscar. Generalidades de las enzimas. . [online] [Citado noviembre 21 de 2008], Available from World Wide Web: <http://www.alfinal.com/monografias/enzimasmonografia.shtml>

PEREZ, Mónica. Uso de pasta de soya obtenida por expeller como fuente de proteína no degradable para vacas lecheras. Consultora de Nutrición Animal. ASA/MCA2004

PIQUER , F.J. Bases de la utilización de complejos enzimáticos en nutrición animal: estudio comparativo entre especies. PFIZER Salud Animal. [online] [Citado noviembre 18 de 2008], 7 p. Available from World Wide Web: <http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/96capituloVII.pdf>

SALAVADOR , Federico Y SOLORIO , Fernando. Utilización de enzimas exógenas en aves y porcinos. Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Zootecnia. [online] [Citado noviembre 18 de 2008], 9 p. Available from World Wide Web: <http://comunidad.uach.mx/fsalvado/ENZIMAS-NO%20RUMIANTES.htm>

SPRING P., FILER K. Y RHEINHEIMER C. 1999. Las enzimas: Métodos y aplicaciones en la industria de la alimentación animal. Biotecnología en la industria de la alimentación animal. Alltech México S.a de C.V. Vol. VII.

TEJEDOR, A., ALBINO, L., ROSTAGNO, H., et al. Efecto de la adición de enzimas en dietas de pollo basadas en maíz y harina de soya sobre la digestibilidad ileal de nutrientes. Rev. de Zootecnia, Vol. 30, Numero 3, 2001

TORERO, Augusto. Las enzimas exógenas: Insumos básicos para la fabricación del alimento balanceado para animales. [online]. 21/09/2005 [Citado noviembre 18 de 2008], 9 p. Available from World Wide Web: http://www.engormix.com/s_articles_view.asp?art=525

VIIKARI, M. RANUA, A. KANTELINEN, M. LINKO, J. SUNDQUIST, 1987, Proc. of the 3rd Int. Conf. on Biotechnology in Pulp and Paper Industry. Estocolmo p.67.

WILLIAMS, P.E.V. 1997. Poultry production and science: Future directions in nutrition. World's Poultry. Sci. J. 53:33-48.