

ADITIVOS EN ALIMENTACIÓN ANIMAL: PRESENTE Y FUTURO

V. Ravindran

Institute of Food, Nutrition and Human Health,
Massey University, Palmerston North 4442, New Zealand

1.- INTRODUCCIÓN

Los aditivos para alimentación animal son tan numerosos y heterogéneos que es difícil hacer una definición precisa. No obstante, en términos generales, un aditivo alimentario se refiere a un producto incluido en la formulación a un nivel bajo de inclusión cuyo propósito es incrementar la calidad nutricional del alimento, el bienestar o la salud del animal. El reglamento CE 1831/2003 proporciona una definición más exacta en la que los aditivos para piensos se definen como sustancias, microorganismos o preparados distintos de las materias primas y premezclas, que se añaden intencionadamente al alimento o al agua para influir favorablemente en: (i) las características de los piensos o de los productos de origen animal, (ii) las consecuencias ambientales de la producción animal, (iii) los rendimientos productivos, el bienestar, la salud, mediante su influencia en el perfil de la flora microbiana intestinal o la digestibilidad de los alimentos, o (iv) por su efecto coccidiostático o histomonostático. En consecuencia, los aditivos para piensos se asignan a una o más de las siguientes categorías, dependiendo de sus propiedades y funciones.

- Aditivos tecnológicos (ej: antioxidantes, emulsificantes o acidificantes),
- Aditivos sensoriales (ej: aromas, pigmentos),
- Aditivos nutricionales (ej: vitaminas, minerales traza, aminoácidos),
- Aditivos zootécnicos (ej: potenciadores de la digestión, estabilizadores de la flora intestinal),
- Coccidiostatos o histomonostatos.

A efectos de esta revisión, sin embargo, adoptaremos un enfoque más sencillo con la intención de destacar determinados aditivos que se espera desempeñarán un papel clave en el futuro. Para proporcionar algunas bases a futuros trabajos, se destacan a continuación las tendencias que se espera dirigirán la producción animal en el futuro.

2.- TENDENCIAS FUTURAS EN NUTRICIÓN ANIMAL

El futuro de la producción porcina y avícola se verá impulsado por los cambios en la agricultura mundial y por temas sociales. Los sistemas de producción animal estarán sometidos cada vez más a restricciones gubernamentales, y al escrutinio público. La influencia de los consumidores, la protección medioambiental y la salud pública irá siendo mayor. En el futuro, es posible que la formulación de piensos se tenga que modificar para dar cabida no sólo a las necesidades basadas en resultados científicos sino también a las necesidades de la sociedad. El impacto de los aspectos sociales (antibióticos en los piensos, el medio ambiente, el bienestar, la trazabilidad, las harinas de origen animal, los organismos genéticamente modificados, etc) influirá en la toma de decisiones desde el nivel de la granja hasta la distribución de productos de origen animal (Leeson, 2007).

2.1.- Prohibición de los antibióticos como promotores del crecimiento (AGP)

En la actualidad la industria se enfrenta a un futuro sin AGP, el aditivo más eficaz que teníamos. La prohibición en la Unión Europea, y el retiro voluntario gradual de los AGP en piensos en otras partes del mundo, ha supuesto una presión adicional a favor de mejorar la salud intestinal y el bienestar de los animales. Actualmente, hay un aumento sustancial de las líneas de investigación dirigidas a evaluar productos alternativos para mantener la flora intestinal beneficiosa y la salud digestiva, donde se incluyen diversas clases de productos como enzimas, probióticos, prebióticos, fitogénicos y ácidos orgánicos. Durante los últimos 10 años, estos productos han sido ampliamente probados y su evaluación continuará en el futuro. Para ser aceptados por la industria, los efectos de estos productos deben ser demostrados por una mejora de los rendimientos productivos de los animales similar a la alcanzada con los AGP.

2.2.- Sostenibilidad

Con el aumento del interés público por el medio ambiente, la reducción de la excreción de nutrientes a los efluentes se ha convertido en un problema importante en ganadería intensiva. No hace mucho, se formulaban las dietas con el objetivo principal de suministrar todos los nutrientes (input nutricional). Hoy en día la preocupación se centra en

los residuos (output nutricional). La ganadería libera nitrógeno, fósforo y trazas de minerales al medio ambiente y debe asumir el impacto que tiene sobre éste, especialmente en la calidad del agua. Desde el punto de vista nutricional, la estrategia más obvia para cumplir con la sostenibilidad a largo plazo es diseñar raciones que cumplan el requisito medioambiental y mejoren su eficiencia de utilización de nutrientes, reduciendo así la carga de nutrientes en el estiércol.

2.3.- Materias primas

Se prevé que la demanda mundial de carne de cerdos y aves continuará aumentando durante la próxima década y este crecimiento tendrá un profundo efecto en la demanda de piensos y materias primas. También es cada vez más evidente que las materias primas tradicionales no podrán cumplir los requerimientos futuros, incluso con los pronósticos más optimistas. La primera estrategia a disposición de la industria es, por tanto, evaluar el potencial de nuevas materias primas. Una vez caracterizadas, el siguiente paso debería ser maximizar su valor nutritivo mediante el uso juicioso de aditivos para alimentación animal, tales como enzimas, suplementos aminoácidos, etc. Dado que en la mayoría de estos ingredientes no tradicionales los altos niveles de fibra y polisacáridos no amiláceos (PNA) pueden limitar la disponibilidad de nutrientes, el desarrollo de combinaciones enzimáticas dirigidas a la fracción fibrosa será crucial.

3.- ADITIVOS DE INTERÉS PARA EL FUTURO

Sobre la base de los cambios esperados en la producción pecuaria se destacaron anteriormente, tres grupos de aditivos para piensos: las enzimas exógenas, las alternativas a los AGP y los aminoácidos sintéticos, que es previsible que desempeñen un papel clave en el futuro. El presente documento se centrará en estos tres grupos. Este trabajo no pretende revisar la literatura disponible sobre la influencia de estos aditivos en el rendimiento productivo y la utilización de nutrientes en las aves y cerdos, sino proporcionar una visión crítica de su situación actual y las perspectivas futuras de su empleo en la formulación de dietas.

4.- GRUPO 1: ENZIMAS EXÓGENAS

4.1.- Introducción

El potencial de las enzimas exógenas para mejorar la utilización de nutrientes y los resultados productivos en aves se conoce desde hace muchos años. Pero es en las últimas

dos décadas, cuando se ha comprendido mejor la química de los sustratos y se ha hecho posible poner a punto la producción de enzimas específicas para el sustrato. Otros avances han venido del área de la biotecnología, específicamente en las tecnologías de fermentación e ingeniería genética. Como resultado, ahora es posible la producción de enzimas a un precio suficientemente económico para justificar su empleo en las fórmulas para alimentación animal.

El valor nutritivo potencial de las materias primas no suele hacerse realidad en la práctica debido a las limitaciones impuestas por la presencia de una serie de factores antinutritivos y la falta (o insuficiencia) de enzimas digestivas que rompan los enlaces químicos y permitan la liberación de los nutrientes. La utilización eficiente de los nutrientes es la razón principal para el uso de enzimas en alimentación animal en las dietas para monogástricos. Existe una amplia gama de enzimas disponibles para alimentación animal orientadas a diferentes sustratos (cuadro 1). El objetivo de la utilización de enzimas para alimentación animal es reducir los efectos antinutritivos de los sustratos de destino y mejorar la utilización global de nutrientes. El fin último es mejorar el rendimiento de los animales a través de mejoras en el consumo de alimento, ganancia de peso y eficiencia alimenticia.

Cuadro 1.- Tipo de enzimas alimentarias, sustrato y materia prima

Enzima	Sustrato	Materia Prima
β -glucanasas	β -glucanos	Cebada, avena y centeno
Xilanasas	Arabinoxilanos	Trigo, centeno, triticale, cebada, fibra vegetal
α -galactosidasas	Oligosacáridos	Harina de soja y leguminosas grano
Fitasas	Ácido fítico	Todos los alimentos de origen vegetal
Proteasas	Proteínas	Todas las fuentes de proteína vegetal
Amilasas	Almidón	Granos de cereales y leguminosas grano
Lipasas	Lípidos	Suplementos lipídicos y lípidos de los alimentos
Mananosas, celulasas, hemicelulasas, pectinasas	Pared celular (compuestos fibrosos)	Materias primas de origen vegetal

La industria avícola es el mayor consumidor de enzimas para alimentación animal. El alto grado de integración del sector avícola ha permitido la rápida adopción de nuevas tecnologías, y las enzimas exógenas son ahora aceptadas como un complemento de los piensos para mejorar la digestibilidad de los nutrientes y la eficiencia de utilización. En la industria porcina también existe una tendencia creciente a usar enzimas para alimentación animal, especialmente fitasas. Los beneficios de la utilización de enzimas en dietas para cerdos jóvenes son cada vez más reconocidos. Sin embargo, el uso comercial de enzimas para alimentación animal, excepto en las dietas para aves de corral, sigue siendo limitado por la variabilidad de las respuestas observadas entre estudios y los costos relativamente altos de inclusión.

4.2.- Modo de actuación

Cabe señalar que las diferentes enzimas tendrán diferentes modos de actuación. A pesar de la creciente aceptación de su uso como aditivo para piensos, el mecanismo de acción de muchas enzimas para alimentación animal está todavía por dilucidar. El consenso entre los investigadores es que uno o más de los siguientes mecanismos son los responsables de las mejoras observadas (Bedford y Schulze, 1998; Bedford y Partridge, 2001).

1. Degradación de enlaces específicos de los ingredientes que no son correctamente hidrolizados por enzimas endógenas,
2. Degradación de factores antinutritivos que disminuyen la digestibilidad y/o incrementan la viscosidad del alimento,
3. Ruptura de la pared celular y liberación de nutrientes unidos a dicha pared,
4. Cambio en la digestión de nutrientes hacia lugares más eficientes,
5. Reducción de las secreciones y pérdidas de proteínas endógenas en el intestino, reduciendo las necesidades de mantenimiento (Cowieson y Ravindran, 2007),
6. Reducción del peso del tracto intestinal y cambios en la morfología intestinal (Wu et al., 2004),
7. Cambios en el perfil de la microflora del intestino delgado y grueso. Como las enzimas tienen una influencia directa sobre la cantidad y forma de los sustratos presentes en el tracto digestivo, su uso tiene un impacto directo sobre las poblaciones microbianas del mismo (Choct et al., 1999; Apajalahti et al., 2004), y/o
8. Aumento de las enzimas digestivas endógenas, que son insuficientes o inexistentes en el animal, resultando en una mejor digestión. Especialmente en animales jóvenes con sistemas digestivos inmaduros.

4.3.- Variaciones en la respuesta a la suplementación enzimática

Está suficientemente demostrado que las respuestas de los animales a la suplementación enzimática de sus dietas no son completamente predecibles. Dichas respuestas son variables y las inconsistencias observadas pueden ser atribuidas *inter alia* al tipo de enzimas, la dosis aplicada, las actividades colaterales de otras enzimas presentes, a variaciones en la composición de las dietas y en los animales. Algunos de estos factores se describen a continuación.

4.3.1.- Densidad nutritiva de las dietas

En la mayoría de los casos, el empleo de enzimas exógenas puede ser beneficioso solo si la densidad nutritiva de las dietas es baja. La formulación de las dietas debe ser modificada para crear las condiciones que garanticen respuestas máximas a las enzimas añadidas.

4.3.2.- Diferencias entre especies

En general, los beneficios de la suplementación enzimática de las dietas parecen ser más limitados en cerdos que en aves. La excepción serían los lechones, para los cuales sí se han demostrado mejoras derivadas de la suplementación. Las diferencias en la anatomía gastrointestinal, tiempo de tránsito del alimento y capacidad del sistema digestivo parecen contribuir a las respuestas más bajas obtenidas con ganado porcino. El tiempo de tránsito digestivo de los alimentos en cerdos es mayor que en aves, lo que permite a los cerdos disponer de más tiempo que las aves para extraer los nutrientes. Además, la capacidad del aparato digestivo de cerdos es mayor por lo que se ven menos afectados que las aves por las características de viscosidad de la digesta. Esta es la razón por la que no se detectan pérdidas de eficacia alimenticia en cerdos que consumen los polisacáridos no amiláceos presentes en trigo y cebada. En aves, la existencia del buche proporciona un ambiente equilibrado para la activación de algunas enzimas, antes de que el alimento alcance el medio ácido del proventrículo. Algunas evidencias sugieren que una molleja bien desarrollada puede mejorar también la respuesta a la suplementación enzimática y dar una ventaja a las aves.

La suplementación enzimática de las dietas en ensayos de crecimiento con cerdos supone cambios incluso mayores que en aves, dado que el consumo de alimento en ganado porcino viene determinado por el contenido en energía digestible de las dietas, a diferencia de las aves donde la capacidad digestiva es más limitante. Por tanto, en ganado porcino, las enzimas podrían reducir el consumo de alimento y mejorar los rendimientos ligeramente,

aunque a niveles que son difíciles de demostrar estadísticamente. Los resultados de los ensayos de crecimiento con cerdos son también mucho más variables, dado que normalmente se utilizan menos animales que en ensayos con aves.

4.3.3.- *Edad de los animales*

En general, los beneficios potenciales de la adición de enzimas serán mayores cuando el sistema digestivo sea más simple, como ocurre en animales jóvenes. Los animales jóvenes tienen una capacidad enzimática digestiva menos desarrollada en comparación con los adultos. Por tanto, los animales jóvenes pueden beneficiarse de un amplio espectro de enzimas, tales como lipasas, proteasas y amilasas, que se añadan en dietas basadas en ciertos ingredientes. Estudios con cerdos y aves han demostrado que los beneficios de la suplementación enzimática de las dietas disminuyen con la edad de los animales. Las respuestas son generalmente mayores en broilers durante la fase starter que en la fase de acabado, y en lechones más que en cerdos en fase de crecimiento-acabado.

4.3.4.- *Calidad de las dietas*

En general, la calidad de una dieta está relacionada con el nivel de factores antinutritivos de los ingredientes; p.ej. polisacáridos no amiláceos (PNA) solubles en trigo, β -glucanos en cebada, etc. Estos niveles pueden variar ampliamente entre lotes de ingredientes. La información científica disponible sugiere que las respuestas a las enzimas son dependientes, entre otros, de la calidad del ingrediente. A menor calidad, mayor será la magnitud de las mejoras por la suplementación enzimática (Cuadro 2).

Cuadro 2.- Influencia del contenido en EMA inicial del trigo sobre la respuesta a la suplementación con xilanasas (Universidad de Massey, Nueva Zelanda, datos no publicados)

EMA inicial, MJ/kg	Nº de ensayos	% de mejora sobre el control no suplementado
< 12,0	12	11 (5-22)
– 14,0	18	5 (0-9)
> 14,0	15	1 (0-3)

¹Los valores entre paréntesis muestran el rango de respuestas obtenidas en diferentes ensayos.

4.3.5.- Nivel de inclusión del ingrediente objetivo

A mayor nivel de inclusión del ingrediente objetivo en las dietas mayor será la respuesta a la suplementación enzimática, dado que el contenido de los anti-nutrientes que están causando el problema aumentará proporcionalmente; p. ej. xilanasas y nivel de incorporación de trigo en la fórmulas.

4.3.6.- Nivel de producción de los animales control

El grado de respuesta está determinado por el nivel de rendimientos existente en los animales que reciben la dieta no suplementada. En este contexto, es destacable que las enzimas se comportan de manera similar a los AGP.

4.4.- Grupos principales de enzimas empleadas actualmente

Existen cuatro categorías de enzimas comercialmente disponibles hoy día para su empleo por la industria de fabricación de piensos compuestos: (i) Enzimas para cereales viscosos; (ii) Enzimas para cereales no-viscosos; (iii) Enzimas para ingredientes distintos a los cereales, y (iv) Fitasas microbianas.

4.5. - Enzimas para granos de cereales viscosos

Ejemplos de este grupo de enzimas incluyen glucanasas (xilanasas utilizadas en dietas basadas en trigo y β -glucanasas en dietas basadas en cebada). Más del 90% de los piensos de broilers en países donde el trigo es el cereal predominante (ej. Reino Unido, Australia, Nueva Zelanda, Canadá) contienen preparaciones de xilanasas y, a nivel mundial, hasta un 70% de los piensos de aves basados en trigo/cebada son suplementados con glucanasas. Existe un gran número de publicaciones que describen la eficacia de estas enzimas (Bedford y Schulze, 1998; Bedford y Partridge, 2001; Brufau et al., 2006) y no serán repetidas aquí.

Es ampliamente aceptado que el menor valor nutritivo del trigo y la cebada está relacionado con su contenido en PNA solubles. Estos componentes aumentan la viscosidad de la digesta, lo cual afecta a la digestión de los nutrientes por la reducción del contacto entre enzimas digestivas y sustratos y de la absorción de los productos finales de la digestión. Un aumento de la viscosidad también disminuye la velocidad de tránsito del alimento, facilitando por tanto el sobrecrecimiento de bacterias en los segmentos superiores del intestino. Esto tiene dos efectos principales: en primer lugar, la deconjugación de sales biliares que son necesarias para la emulsificación de las grasas, lo

que resulta en una disminución de la digestión de las grasas y, en segundo lugar, los efectos negativos sobre la salud intestinal (Bedford y Schulze, 1998).

Los resultados de Energía Metabolizable Aparente (EMA) en ensayos con aves sugieren que las respuestas a la suplementación enzimática dependen, en gran medida, del contenido inicial en EMA de las muestras de trigo. Una gran variabilidad en el contenido en EMA del trigo, entre 9,2 a 16,0 MJ/kg de materia seca (MS), ha sido mostrada en la literatura (Hughes y Choct, 1999). Las muestras de trigo de baja calidad, con valores de EMA menores a 13 MJ/kg de MS, muestran grandes respuestas a la suplementación enzimática, mientras que para la mayoría de los trigos se producen respuestas de pequeñas a moderadas y en trigos de buena calidad prácticamente no se registran incrementos de su valor de EMA (Tabla 2). La información sobre las respuestas a la suplementación enzimática en relación a la digestibilidad de los aminoácidos es incompleta (Hew et al., 1998). Aunque para el trigo se ha demostrado que existe una amplia variabilidad de su contenido en proteína (8,9 a 18,3%) y de la digestibilidad ileal aparente (72 a 85%) de la proteína (Ravindran et al., 2005), las causas de las diferencias en la digestibilidad de los aminoácidos en respuesta a la suplementación enzimática de trigos con distintos contenidos en proteína todavía no se conocen.

4.6.- Enzimas para granos de cereales no viscosos

Tradicionalmente, la utilización por las aves de los nutrientes y la energía de dietas basadas en cereales no viscosos, como el maíz y el sorgo, ha sido considerada elevada, pero datos recientes sugieren que no es así (Cowieson, 2005). Actualmente se sabe que existe una amplia variabilidad en valores de EMA y digestibilidad del almidón para estos cereales no viscosos y que existe la posibilidad de mejoras mediante la suplementación con enzimas que contengan una actividad amilasa significativa. Por ejemplo, el contenido en EMA de muestras de maíz procedentes de la misma estación de cosecha en Canadá puede variar hasta en 1,85 MJ kg (Leeson et al., 1993). Las razones de esta variabilidad no se conocen pero parecen estar relacionadas con diferencias en el contenido en aceite y en la digestibilidad del almidón. Entre las posibles razones para la variabilidad en la digestibilidad del almidón, pueden ser importantes las características del almidón (ratio amilosa:amilopectina), los cambios estructurales en la matriz almidón-proteína durante la cosecha (secado y almacenamiento) y las condiciones de procesado de los piensos (Cowieson, 2005). En la actualidad hay disponibles preparaciones enzimáticas comerciales específicamente desarrolladas para dietas basadas en maíz y en sorgo. La consistencia de las respuestas a las enzimas con estas dietas fue inicialmente escasa, pero actualmente hay disponibles productos enzimáticos más eficaces como se ha demostrado en trabajos recientes (Cowieson, 2010). El potencial de la suplementación enzimática de dietas

basadas en cereales no viscosos ha sido destacado en recientes revisiones por Brufau et al. (2006) y Cowieson et al. (2006).

4.7.- Enzimas para otros ingredientes

La prohibición en Europa de utilización de las harinas de carne en piensos ha creado un mercado más amplio para la harina de soja y otros ingredientes proteicos alternativos de naturaleza vegetal. Entre esos ingredientes se incluye un amplio rango de harinas de oleaginosas (p.ej. harinas de colza, girasol, palmiste, etc) y de leguminosas grano (p.ej. guisantes, altramuces). Una materia prima nueva que puede representar una solución frente al precio elevado del maíz puede venir de la propia industria de los biocarburantes – los DDGS o granos de destilería y solubles desecados. Las industrias a nivel mundial están mostrando un gran interés en los DDGS, debido a su relación efectividad-coste y a su alta disponibilidad; de hecho, es uno de los pocos ingredientes para piensos cuya oferta está asegurada en el futuro. Hay previsiones de que los DDGS se convertirán en un ingrediente habitual de las raciones en el futuro próximo.

La mayoría de estos ingredientes tiene un potencial obvio, pero el aumento de sus niveles de incorporación en piensos está limitado por restricciones nutritivas severas, como el alto contenido en fibra o PNA y la consiguiente baja digestibilidad de los nutrientes. Los PNA en estos ingredientes varían ampliamente en términos de estructura química y tipo de azúcares que los componen y, para la mayoría de estos ingredientes esta información todavía falta. Esta es la causa principal de los resultados ambiguos que se observan en estudios dirigidos a la degradación de los PNA presentes en leguminosas y harinas de oleaginosas. En general, la eficacia de las enzimas actuales en dietas de aves basadas en leguminosas y harinas de oleaginosas no convencionales es limitada (Annison et al., 1996; Kocher et al., 2002; Ghazi et al., 2002). Dada la importancia de estos ingredientes para aumentar la base de ingredientes disponibles para piensos en el futuro, es previsible la realización de gran cantidad de investigaciones dirigidas al desarrollo de preparaciones enzimáticas específicas para estos ingredientes.

4.8.- Fitasas microbianas

Cuando la primera enzima fitasa derivada de *Aspergillus niger* fue introducida comercialmente en 1991, se pensó que el empleo de fitasas microbianas estaría limitado a las áreas geográficas donde se imponen penalizaciones económicas a los niveles de P excesivos en los efluentes de las operaciones animales intensivas. En contra de esta previsión, la inclusión de enzimas fitasas en dietas para animales no-rumiantes ha sido

ampliamente aceptada y, actualmente, supera a la de enzimas que degradan los PNA utilizadas en dietas basadas en cereales viscosos.

Aparte del hecho de que su inclusión genera P disponible de forma económica y reduce la carga de P en el medio ambiente, existen un gran número de razones que justifican la amplia adopción de fitasas microbianas en la alimentación animal. Primero, en la UE la prohibición de las harinas proteicas de origen animal, que eran ampliamente utilizadas como fuente de P disponible, ha acelerado la aceptación de estas enzimas. Segundo, en algunos países, particularmente en el Este de Asia, las fitasas microbianas han demostrado su utilidad para reemplazar el fosfato tricálcico, una fuente de P inorgánico generalmente contaminada con flúor que tiene efectos negativos sobre los rendimientos productivos de los animales. Los costes de la suplementación han ido disminuyendo al avanzar los años y éste es también otro factor que ha aumentado su aceptación. Finalmente, la existencia de posibles “efectos extra-fosfóricos” de las fitasas (Ravindran et al., 1999a; Selle et al., 2000) y el desarrollo de valores matriciales para la energía y aminoácidos, además de para el Ca y P, es otro factor que ha facilitado su incorporación en las formulaciones a mínimo coste en algunos países.

La efectividad de las fitasas en la liberación del P unido a fitatos en dietas basadas en un amplio rango de ingredientes vegetales para aves y cerdos está bien documentada, y se han establecido valores de equivalencia de las fitasas para reemplazar un 0,1% de P disponible en dietas para diferentes clases de animales. Los trabajos con aves y cerdos indican mejoras en la disponibilidad del P que van desde el 20 al 45%, pero la cantidad de P fítico liberado depende de varios factores: (i) nivel de fitasas añadidas, (ii) nivel de P no fítico, (iii) nivel de Ca de la dieta y, en particular, ratio Ca:P, (iv) fuente de las fitasas, (v) fuente de fitatos (ingredientes utilizados), (vi) varios aditivos (vitamina D, ácidos orgánicos), y (vii) contenido en fitatos de la dieta (Selle and Ravindran, 2007; 2008; Selle et al., 2009).

Comprensiblemente el foco inicial de la investigación sobre fitasas microbianas se dirigió hacia la mejora de la utilización del P, dado que el ácido fítico era considerado principalmente como un factor limitante de la disponibilidad del P en alimentos de origen vegetal. La evidencia actual sugiere, sin embargo, que la influencia negativa del ácido fítico en la nutrición de animales monogástricos va más allá de sus efectos sobre la disponibilidad del P. En su estado natural, el ácido fítico forma complejos con varios minerales, proteínas y almidón, reduciendo la digestión y utilización de estos nutrientes. Por tanto, la suplementación con fitasas, durante la hidrólisis de los fitatos, puede también liberar y mejorar la disponibilidad de dichos nutrientes.

En particular, la influencia de las fitasas microbianas sobre la utilización de la proteína es un tópico de interés actual como lo evidencia el gran número de trabajos de investigación sobre este tema. En algunos estudios, sin embargo, las fitasas no tienen efectos beneficiosos sobre la digestibilidad de los aminoácidos y otros ponen en evidencia la variabilidad en las respuestas de cada aminoácido a la suplementación con fitasas. Los factores que influyen sobre la magnitud de las respuestas para los aminoácidos son probablemente complejos y, son necesarios más trabajos que permitan identificarlos y cuantificarlos. Por otro lado, los resultados publicados de los efectos de las fitasas sobre la digestibilidad de los aminoácidos en cerdos son limitados y contradictorios, y las respuestas son generalmente menos consistentes que en aves. Asociadas a menudo con la mejora en la utilización de la proteína, también se observan mejoras en la utilización de la energía con la adición de fitasas. Algunos estudios (Selle y Ravindran, 2007) han demostrado que las fitasas añadidas pueden mejorar la EMA de dietas para aves basadas en maíz, trigo y sorgo. Dependiendo del tipo de dieta, se han mostrado mejoras en la EMA que varían entre 0,10 a 0,60 MJ/kg MS. No obstante, parece que estas mejoras en términos de energía no han podido ser demostradas en cerdos (Selle y Ravindran, 2008).

4.9.- Enzimas – siguiente generación

Aunque las enzimas han tenido un impacto significativo sobre la producción animal, todavía no podemos aprovechar todo el potencial de las enzimas. Varios temas necesitan ser investigados antes de que sea alcanzado su completo potencial y estos conducirán a futuros desarrollos en la tecnología de enzimas. El empleo de enzimas en piensos de aves y cerdos es previsible que aumente en el futuro y esto conducirá a cambios en la agricultura animal mundial. Estos cambios añadirán “valor” a las enzimas para piensos y disminuirán sus costes de oportunidad.

4.9.1.- Enzimas ajustadas a la estructura y química del sustrato.

La variabilidad observada actualmente en las respuestas a las enzimas está relacionada, en parte, al escaso conocimiento actual de la composición y estructura química de los sustratos. En la mayoría de los casos, la química de los sustratos objetivos está pobremente definida. Si ésta fuese conocida con mayor precisión, la eficacia de las enzimas podría ser mejorada en gran medida. Incluso podrían ser desarrollados métodos mejores de degradación de estos sustratos y enzima(s) apropiadas, p.ej. nuevas hemicelulasas (α -galactosidasas, β -mananasas, pectinasas etc) para PNA, oligosacaridasas, amilasas y α -glucanasas para el almidón, y proteasas para proteínas específicas.

4.9.2.- *Productos enzimáticos mejorados*

Es probable que en el futuro se desarrollen mejores formas de enzimas. Una enzima “perfecta” debe tener una alta capacidad catalítica específica (por unidad de proteína), buena termoestabilidad, elevada actividad bajo un amplio rango de pH digestivos, resistencia a la proteólisis y buena estabilidad a las temperaturas ambientales. Las enzimas actuales para piensos son producidas principalmente de hongos. En el futuro, nuevos avances incluirán la producción y/o expresión de enzimas en otras formas de microorganismos, tales como bacterias y levaduras. Estas nuevas enzimas mejorarán claramente la eficacia en el tracto digestivo de las enzimas actuales. De hecho, tales desarrollos ya están teniendo lugar en el caso de numerosas enzimas exógenas.

4.9.3.- *Enzimas termostables*

Hoy día las enzimas exógenas disponibles pierden cantidades significativas de actividad cuando se procesan a temperaturas superiores a los 70°C. Como resultado, las enzimas son frecuentemente incorporadas a los piensos como líquidos, en sistemas de aplicación post-granulación, para evitar los problemas de las altas temperaturas durante la granulación. Aplicar enzimas líquidas con precisión después de la granulación puede ser un proceso complejo y costoso. En este contexto, el desarrollo de enzimas termoestables simplificará la aplicación pre-granulación de productos enzimáticos secos y promoverá el empleo de enzimas en dietas granuladas. Tres aproximaciones diferentes están siendo utilizadas para resolver este tema de supervivencia de las enzimas durante el proceso de granulación (Bedford y Cowieson, 2009): (i) el uso de cubiertas que puedan resistir el calor y la humedad empleados en la fabricación de piensos, (ii) la manipulación genética de organismos para mejorar la termotolerancia de las enzimas producidas, y (iii) el descubrimiento de organismos que produzcan enzimas intrínsecamente termoestables. Hay algunas evidencias que sugieren, sin embargo, que la cubrición de las enzimas puede reducir la eficacia del producto, en comparación con el mismo producto no recubierto (Kwakkel et al., 2000) y, por tanto, desarrollar una tecnología de cubrición apropiada es esencial.

4.9.4.- *Preparaciones enzimáticas con múltiples actividades*

Para alcanzar los máximos beneficios de la adición de enzimas a las dietas es necesario asegurar que las enzimas son elegidas sobre la base de la composición en ingredientes utilizados en la formulación de piensos. En otras palabras, necesitamos ajustar las enzimas a los sustratos presentes en el pienso. Existen evidencias recientes sugiriendo que las preparaciones con actividades enzimáticas múltiples pueden representar una

estrategia competitiva para mejorar la utilización de los nutrientes en dietas de aves. La aplicación combinada de enzimas puede resultar en efectos aditivos, sub-aditivos o sinérgicos sobre la utilización de nutrientes y los rendimientos productivos de los animales (Cowieson y Adeola, 2005; Juanpere et al., 2005).

Estos cocteles enzimáticos, más que los enzimas simples puros, representan la próxima generación de enzimas para piensos. Esto es debido a que los ingredientes de piensos son estructuralmente enormemente complejos. En su estado “natural”, los nutrientes en las materias primas no son entidades aisladas sino que existen como complejos con numerosos enlaces a proteínas, grasa, fibra y otros carbohidratos complejos. Por ejemplo, en dietas basadas en trigo tener como objetivo únicamente a los arabinoxilanos, utilizando xilanasas, puede no proporcionar todos los beneficios. Las ventajas de la inclusión simultánea de enzimas carbohidrasas, con actividad predominantemente xilanasas, y una fitasa microbiana en dietas basadas en trigo han sido demostradas tanto en términos de utilización de la proteína y la energía, como de mejora de los rendimientos productivos de los animales (Ravindran et al., 1999b). En este sentido, parece que la actividad de un tipo de enzimas puede ser facilitada por la otra, y también reducir los efectos anti-nutritivos de ciertos sustratos (PNA y fitatos) sobre la utilización de los nutrientes.

4.9.5.- Inclusión de altos niveles de enzimas

Lógicamente la magnitud de las respuestas puede ser mayor cuando se utilizan niveles de inclusión de enzimas más altos y, presumiblemente, se conseguirían mayores reducciones de los efectos anti-nutritivos. Por ejemplo, en el caso de las fitasas, dosis elevadas pueden maximizar la degradación de fitatos en las primeras fases de la digestión gástrica y también aumentar la utilización de la energía y aminoácidos. Shirley y Edwards (2003) estudiaron la suplementación enzimática de dietas basadas en maíz-soja con niveles de inclusión de fitasas crecientes hasta un máximo de 12,000 FTU/kg y observaron que las adiciones crecientes de fitasas están asociadas con incrementos sustanciales en la degradación de fitatos en el tracto digestivo total, que variaron desde el 40,3 hasta el 94,8%. Además, la degradación de fitatos estuvo correlacionada con mejoras importantes del rendimiento productivo de las aves, la retención de nutrientes, el contenido en cenizas de la tibia y el valor de EMA. Estos incrementos fueron numéricamente más pronunciados para el nivel más alto de inclusión de fitasas. Con el descenso del coste de las enzimas y el aumento de precio de las materias primas, los beneficios potenciales de usar dosis elevadas de enzimas para mejorar la extracción de energía de las materias primas puede ser una opción a ser explorada.

4.9.6.- *Aporte de fosfatos inorgánicos – no – renovables*

En el caso de las fitasas microbianas, además de la creciente presión sobre la sostenibilidad, el agotamiento de las reservas globales de fosfatos será un factor clave que aumentará su utilización en el futuro. Las producciones agrícola y animal modernas dependen en gran medida del P derivado del fosfato roca, que es una fuente no-renovable. Existen evidencias de que la oferta global de fosfato de roca, utilizado para la producción de fertilizantes (para plantas) y fosfatos inorgánicos (para animales), ha alcanzado el máximo y de que la oferta está en descenso. Análisis recientes indican que la oferta de fósforo en el mundo alcanzó un máximo en 1989 (Dery y Anderson, 2007) y que las reservas globales actuales pueden acabarse en 50-100 años (Cordell et al., 2009). También es ampliamente aceptado que la calidad del fosfato de roca restante está disminuyendo y que los costes de producción están aumentando. En cualquier caso, lo que es cada vez más aparente es que la conservación de las reservas de P global se vería favorecida con una utilización más eficiente del P fítico vegetal, a través de la utilización de fitasas en dietas de aves y cerdos.

4.9.7.- *Aumentar el empleo de enzimas en acuicultura y producción de rumiantes*

A excepción de en dietas para aves y porcino, los enzimas no han alcanzado una penetración significativa en el sector de piensos, aunque en años recientes ha aumentado el interés de las industrias de acuicultura y de rumiantes. El empleo de enzimas exógenas en dietas de rumiantes ha sido limitado hasta ahora puesto que la actividad fibrolítica del medio ruminal es normalmente muy alta y se asume que las enzimas exógenas no sobrevivirían a la proteólisis en el rumen. Sin embargo, durante la pasada década ha aumentado el número de trabajos que demuestran que las preparaciones enzimáticas pueden ser efectivas para mejorar los rendimientos del ganado vacuno en crecimiento y lactación.

En la industria acuícola, existe un interés creciente en la búsqueda de fuentes de proteína alternativas a las harinas de pescado. Los principales inconvenientes de muchos de los ingredientes alternativos disponibles son la baja digestibilidad de sus nutrientes y la presencia de un amplio rango de factores antinutritivos. Estas limitaciones pueden ser solucionadas, en parte, por la adición de enzimas exógenas siempre que sean encontrados medios óptimos para su aplicación.

Existen excelentes revisiones sobre el valor de los suplementos enzimáticos para rumiantes (Bedford y Partridge, 2001; Wang y McAllister, 2002; Beauchemin et al., 2004) y en acuicultura (Choi y Bureau, 2001; Debnath et al., 2005). Pero si bien se han

observado efectos positivos de la suplementación enzimática en estas especies, la magnitud de las respuestas ha sido muy variable. Para que la suplementación enzimática de dietas para rumiantes y peces gane aceptación, es importante que la variabilidad de estos resultados se reduzca.

5.- GRUPO 2: ALTERNATIVAS A LOS ANTIBIÓTICOS

Como una consecuencia de la prohibición de uso de los AGO en la Unión Europea, la industria de piensos mundial está invirtiendo en gran medida en investigación y desarrollo de estrategias alternativas que permitan prevenir la proliferación de bacterias patógenas, manteniendo la salud digestiva y los niveles productivos, y que optimicen la digestión de cerdos y aves. Un amplio rango de productos alternativos han demostrado afectar a las poblaciones microbianas del tracto digestivo. De una forma sencilla, estas alternativas pueden ser clasificadas en cinco grupos y, a continuación, se realizará una breve descripción de cada una de ellas.

5.1.- Suministro directo de microorganismos viables (“Direct-fed microbials”, DFM)

Un producto DFM se refiere a “un producto que contiene microorganismos viables para su administración por vía oral”. El objetivo es proporcionar microorganismos viables que ayuden en el rápido establecimiento de una flora digestiva favorable, con beneficios para la salud del hospedador (Fuller, 1989). Los DFM bacterianos, como se podía esperar, típicamente contienen uno o más géneros de bacterias que tienen un efecto beneficioso demostrado en el tracto digestivo. Las bacterias ácido-lácticas son la fuente más habitual de DFM (Tannock, 2004), representadas por *Lactobacillus* spp, aunque otros géneros (*Bifidobacterium* spp, *Enterococcus* spp, *Lactococcus* spp, y *Pediococcus* spp.) también son utilizados.

5.2.- Prebióticos

Los prebióticos son definidos como sustancias que favorecen la colonización de tracto digestivo por bacterias beneficiosas. Para estimular el crecimiento de microorganismos deseables, los prebióticos deben ser usados (p.ej. fermentados) por el microorganismo objetivo, pero también tienen que escapar a la digestión enzimática del animal hospedador y alcanzar el intestino grueso para hacerse disponibles a los organismos probióticos (Roberfroid, 1998). Hoy día hay una gran variedad de prebióticos disponibles para la industria avícola que incluyen carbohidratos, como almidón resistente, fibra

dietética (PNA como pectinas, celulosa, hemicelulosas, xilanos y goma guar), y oligosacáridos (lactosa, lactulosa, rafinosa, estaquiosa, fructo y manano-oligosacáridos).

5.3.- Acidificantes

La incorporación de una variedad de ácidos orgánicos y de sus sales – los llamados “acidificantes” – en dietas para cerdos y, en particular, para lechones, es una práctica muy frecuente y sobre la que se ha investigado ampliamente. Como indicaron Partanen y Mroz (1999) en su revisión, los ácidos orgánicos tienden a reducir el pH digestivo, poseen propiedades antibacterianas y son, por tanto, alternativas a los AGP. No obstante, todavía existe cierta falta de consistencia en las respuestas obtenidas a la suplementación con acidificantes de las dietas de cerdos en fase de crecimiento. Gran parte de esta inconsistencia es probablemente debida a la amplia variedad de acidificantes que han sido evaluados. La eficacia de los ácidos orgánicos depende en gran medida de su valor pK_a , que es el valor de pH en el cual el 50% del ácido está disociado. Generalmente, valores bajos de pK_a (p.ej. ácido cítrico, fórmico) indican un impacto mayor para bajar el pH, mientras que valores altos de pK_a (p.ej. ácido propiónico, butírico) se asocian a efectos antimicrobianos más pronunciados. La combinación de acidificantes con diferentes valores de pK_a puede, por tanto, ejercer efectos sinérgicos y maximizar el impacto beneficioso de la suplementación con ácidos orgánicos sobre la salud digestiva y los rendimientos productivos de los animales.

Algunos datos sugieren que la adición de ácidos orgánicos a las dietas de broilers está aumentando en Europa. Sin embargo, a diferencia de cerdos, la inclusión de ácidos orgánicos y sus sales en dietas de broilers no ha sido ampliamente estudiada y no es una práctica comercial frecuente. La mayor aceptación de los ácidos orgánicos por los productores de cerdos se debe a la creencia de que la acidificación de las dietas y la reducción del pH gástrico facilita la hidrólisis de la proteína en lechones destetados, aunque la reducción del pH gástrico no ha sido demostrada de forma consistente (Ravindran y Kornegay, 1993). También algunos trabajos con broilers indican que los ácidos orgánicos son metabolizados rápidamente en la parte anterior de su sistema digestivo (buche, proventrículo y molleja) y que no alcanzarían el intestino y el ciego en cantidades apreciables (Hume *et al.* 1993), lo que limitaría su actividad antibacteriana.

5.4.- Enzimas exógenas

A primera vista podría argumentarse que las enzimas no pueden clasificarse como alternativas a los AGP porque son ya un componente habitual de la mayoría de las dietas para aves basadas en cereales viscosos. Sin embargo, examinando su modo de acción (al

menos para las enzimas usadas para trigo y cebada), es aparente que una proporción significativa de sus respuestas son obtenidas a través de su influencia sobre los microorganismos intestinales (Vahjen et al., 1998; Persia et al., 2002). Por ejemplo, como ya se destacó antes, la presencia de PNA solubles del trigo o la cebada en dietas de broilers aumenta la actividad microbiana en el intestino delgado y modifica el balance de los microorganismos presentes, y estos cambios contribuyen significativamente a los efectos anti-nutritivos de los PNA. Por tanto, es evidente que las enzimas deben formar parte del conjunto de alternativas a ser consideradas en cualquier decisión de reemplazar antibióticos.

5.5.- Fitogénicos

Los aditivos fitogénicos incluyen plantas aromáticas (hierbas y especias), extractos de plantas y ácidos volátiles (normalmente conocidos como aceites “esenciales”). Se trata de un grupo de compuestos extremadamente heterogéneo en relación con su composición y el nivel de sustancias activas, y donde la interpretación de los datos de eficacia se complica con frecuencia cuando las actividades biológicas son atribuidas a más de un componente. En la mayoría de fitogénicos, los principios activos principales son aceites volátiles (timol, cinamaldehído, β -iononea y carvacrol) y compuestos polifenólicos. La popularidad de los fitogénicos se debe al hecho de que son productos naturales, normalmente considerados como seguros. Sin embargo, a diferencia de otros aditivos, la mayoría de los fitogénicos no están basados en entidades químicas definidas, y faltan fundamentos científicos sobre su modo de acción y el control de calidad. Estos son los cambios principales en términos de estandarización para cumplir las normas de la industria (Giannenas, 2008). La diversidad de principios activos de los fitogénicos garantiza que los trabajos de investigación futuros se dirigirán a la evaluación de principios activos puros y de sus actividades biológicas, individualmente o en combinación, en lugar de a productos “no definidos”. Esta aproximación también reducirá la variabilidad de los resultados observados en la literatura.

5.6.- Trabajos científicos sobre alternativas a los antibióticos

Hay disponibles excelentes revisiones de estas alternativas y un gran número de publicaciones muestran su influencia sobre la modificación del perfil de la microbiota digestiva y los rendimientos productivos de los animales (Partanen y Mroz, 1999; Dibner y Buttlin, 2002; Patterson y Burkholder, 2003; Ricke, 2003; Dibner y Richards, 2005; Giannenas, 2008; Yang et al., 2009). Los trabajos científicos indican que estas alternativas ejercen efectos beneficiosos sobre la salud digestiva del hospedador, pero los efectos de su administración sobre los resultados productivos son variables. Una de las principales debilidades de gran parte de los datos científicos obtenidos es que los trabajos

fueron realizados en condiciones experimentales que frecuentemente no pueden ser reproducidas en condiciones comerciales.

5.7.- Futuro de las alternativas a los AGP

Dada la prohibición de utilizar AGP y el interés de los consumidores por una alimentación “natural” de los animales, las alternativas “verdes” aceptables para el consumidor se han convertido en un tema comercialmente sensible. Por tanto, la solución parece sencilla: adoptar una o más de las alternativas comentadas antes. Sin embargo, la observación de las prácticas comerciales a nivel mundial indica que la industria es reticente a su adopción y que están lejos de ser una práctica universal. Por tanto, ¿dónde está el problema?...

Primero, la aproximación por parte de la industria y de los investigadores ha sido encontrar otro producto “panacea”, como lo fue el descubrimiento de los antibióticos. Sin embargo, hasta la fecha hay pocas evidencias de que esta alternativa exista.

Segundo, interacciones más complejas y delicadas con el huésped pueden afectar a la efectividad de los productos alternativos y a su control de la enteritis necrótica (en aves). Muchas de estas interacciones son muy complejas. A pesar de los grandes avances en biología molecular, nuestros conocimientos sobre los beneficios de controlar y/o mantener una población microbiana determinada dentro del intestino siguen siendo limitados.

Tercero, la repetitividad y la predicción de los efectos de las alternativas actuales a los antibióticos son limitadas. Hay una falta de consistencia en las respuestas obtenidas en los animales y gran parte de estas inconsistencias son debidas al elevado número de productos alternativos y a las diferentes dosis que han sido evaluadas.

Cuarto, las alternativas a los antibióticos son frecuentemente más costosas que los programas terapéuticos convencionales (cuadro 3); precisamente en un momento en que los consumidores demandan precios más bajos de los alimentos junto a una mejora de la calidad y seguridad alimentaria.

Finalmente, métodos de incorporación en piensos precisos y baratos para estos productos alternativos, algunos de las cuales son inestables o corrosivos, bajo las condiciones habituales de fabricación, no están completamente resueltos.

Solución - Combinación de estrategias

En resumen, un elevado número de alternativas a los AGP han sido evaluadas con el objetivo de (i) estimular el establecimiento de microorganismos beneficiosos y reducir la carga de patógenos en el digestivo, y (ii) aumentar la respuesta inmunitaria. Aunque estos aditivos han demostrado “imitar” el modo de acción de los antibióticos sobre la flora digestiva, ninguna de las alternativas actuales por sí sola es capaz de reemplazarlos. Esto no implica que deban ser descartados, sino que estos productos pueden jugar un papel importante si son combinados. Por ejemplo, se ha sugerido que se pueden esperar efectos sinérgicos si los DFM y los prebióticos se administran de forma conjunta (Roberfroid, 1998).

El problema principal es que, dentro de cada clase de alternativas, hay disponibles en el mercado un gran número de productos y su eficacia es variable. Es urgente estandarizar la metodología de evaluación de estas alternativas y optimizar sus respuestas para animales en diferentes condiciones. Como indicaba Huyghebaert et al. (2010), la característica más importante de una buena alternativa a los AGP es que sea “práctica”, y que mejore consistentemente el rendimiento productivo de los animales. Para conseguirlo, además de las alternativas descritas, la combinación con otras estrategias, incluyendo cambios en el manejo de los animales y de la alimentación, deberían también ser considerados (Mateos et al., 2002; Dahiya et al., 2006).

Cuadro 3.- Coste de utilización en el pienso de distintos productos alternativos comparado con el de antibióticos y coccidiostatos¹

	Coste, € por tonelada
Antibióticos	1-2
Anticoccidiósticos	2-3
Enzimas	2-3
DFM	4-7
Acidificantes	3-12
Oligosacaridos	2-15
Fitogénicos	3-25

¹De Huyghebaert et al. (2010).

6.- GRUPO 3: AMINOÁCIDOS CRISTALINOS

La proteína es un nutriente caro en dietas de aves y cerdos, por lo que maximizar su eficiencia de utilización es muy importante. Los genetistas han hecho su parte del trabajo proporcionando líneas de aves y cerdos que son capaces de producir ganancias de proteína con mayores eficiencias que antes. El desafío para los nutricionistas es sustentar estas mejoras del potencial genético afinando la nutrición en aminoácidos de aves y cerdos. En este contexto, la disponibilidad comercial de aminoácidos cristalinos fue uno de los grandes avances que ha permitido, y continuará haciéndolo, a los nutricionistas:

1. Cubrir con mayor precisión el perfil ideal de aminoácidos de las dietas y mejorar los rendimientos y productividad de las líneas genéticas actuales.
2. Utilizar aminoácidos digestibles, en lugar de aminoácidos totales, en la formulación de dietas (Ravindran et al., 1998; 2005; Bryden et al., 2009). La utilización de aminoácidos digestibles es particularmente relevante cuando comenzamos a ampliar el rango de ingredientes alternativos no-tradicionales que son poco digestibles. La formulación de dietas en base a aminoácidos digestibles hace posible aumentar la variedad y niveles de inclusión de ingredientes no-tradicionales, a pesar de que puedan contener niveles de aminoácidos que no son óptimos y sean poco digestibles. Los aminoácidos cristalinos permiten cumplir los perfiles de proteína “ideal”.
3. Reducir los niveles de proteína bruta de las dietas y cubrir las necesidades de aminoácidos con mayor precisión. Esto implica una mayor eficiencia en la utilización del nitrógeno y reducir la excreción de proteína, disminuyendo potencialmente los niveles de nitrógeno de los efluentes.
4. Desarrollar programas de alimentación por fases, que son un tipo de “alimentación de precisión”, que es un sistema de alimentación en el cual los niveles de aminoácidos se reducen de manera constante en el tiempo para intentar reducir los costes asociados con el suministro de un exceso de proteína o de aminoácidos.

En la actualidad hay tres aminoácidos cristalinos, principalmente DL-metionina, L-lisina HCl y L-treonina, disponibles para la industria a precios competitivos. Algo más caro, el L-triptófano también puede ser adquirido para piensos. Además, también se comercializa lisina cristalina y triptófano juntos en el mismo producto. Los aminoácidos siguientes en ser limitantes en dietas prácticas, valina e isoleucina, están autorizadas en el mercado europeo aunque la isoleucina todavía no está disponible comercialmente. La posibilidad de utilizar estos aminoácidos limitantes mejorará la formulación de dietas.

En resumen, la consideración de los aminoácidos cristalinos como aditivos está mejor justificada hoy día que en el pasado. Estos suplementos tienen que jugar un importante papel nutricional, económico y medioambiental en el futuro de los sistemas de producción animal. En algunos lugares se ha suscitado cierto interés por la rapidez de la absorción de estos aminoácidos libres respecto a los aminoácidos unidos que forman la proteínas, pero los resultados disponibles hasta ahora sugieren que los aminoácidos limitantes son utilizados más eficientemente para el crecimiento por las aves que cantidades equivalentes aportadas como proteínas intactas (D'Mello, 2003).

7.- REFERENCIAS

- ANNISON, G., HUGHES, R.J. y CHOCT, M. (1996) *Br. Poult. Sci.* 37: 157-172.
- APAJALAHTI, J., KETTUNEN, A. y GRAHAM, H. (2004) *World's Poult. Sci. J.* 52: 223-232.
- BEAUCHEMIN, K.A., COLOMBATTA, D. y MORGAVI, D.P. (2004) *Can. J. Anim. Sci.* 84: 23-36.
- BEDFORD, M.R. y PARTRIDGE, G. G. (2001) *Enzymes in Farm Animal Nutrition*. CAB International, Wallingford, UK.
- BEDFORD, M.R. y SCHULZE, H. (1998) *Nutr. Res. Rev.* 11: 91-114.
- BEDFORD, M.R. y COWIESON, A.J. (2009) En: *Proc. 17th European Symp. Poult. Nutr.* Edinburgh, Scotland. pp. 7-13.
- BRUFAU, J., FRANCESCH, M. y PEREZ-VENDRELL, A.M. (2006) *J. Sci. Food Agric.* 86: 1705-1713.
- BRYDEN, W.L., LI, X., RAVINDRAN, G, HEW, L.I. y RAVINDRAN, V. (2009) *Ileal Digestible Amino Acid Values in Feedstuffs for Poultry*. Rural Industries Research and Development Corporation, Canberra, Australia. 76 pp.
- CHOCT, M., HUGHES, R.J. y BEDFORD, M.R. (1999) *Br. Poult. Sci.* 40: 419-422
- CHOI, C.Y. y BUREAU, D.P. (2001) *Aquacult. Res.* 32 (Suppl. 1): 349-360.
- CORDELL, D., DRANGERT, J.O. y WHITE, S. (2009) *Global Environ. Change.* 19: 292-305.
- COWIESON, A.J. (2005) *Anim. Feed Sci. Technol.* 119: 293-305.
- COWIESON, A.J. (2010) *J. Poult. Sci.* 47: 1-7.
- COWIESON, A.J. y ADEOLA, O. (2005) *Poult. Sci.* 84: 1860-1867.
- COWIESON, A.J. y RAVINDRAN, V. (2007) *Br. J. Nutr.* 98: 745-752.
- COWIESON, A.J., HRUBY, M. y PIERSON, E.E.M. (2006) *Nutr. Res. Rev.* 11: 91-114.
- D'MELLO, J.P.F. (2003) *Amino Acids in Animal Nutrition*. CABI Publishing, Wallingford, U.K.

- DAHIYA, J.P., WILKE, D.C., VAN KESSEL, A.G. y DREW, M.D. (2006) *Anim. Feed Sci. Technol.* 129: 60-88.
- DEBNATH, D., SAHU, N.P., PAL, A.K., BARUAH, K., YENGGOKPAM, S. y MUKHERJEE, S.C. (2005) *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 12: 1800-1812.
- DERY, P. y ANDERSON, B. (2007) *Peak Phosphorus*. Energy Bulletin. Santa Rosa, CA. August 13, 2007. 17 pp.
- DIBNER, J.J. y BUTTLIN, P. (2002) *J. Appl. Poult. Res.* 11: 453-463.
- DIBNER, J.J. y RICHARDS, J.D. (2005) *Poult. Sci.* 84: 634-643.
- FULLER, R. (1989) Probiotic in man and animals. A review. *J. Appl. Bact.* 66: 365-378.
- GHAZI, S., ROOKE, J.A., GALBRAITH, H. y BEDFORD, M.R. (2002) *Br. Poult. Sci.* 43: 70-77.
- GIANNEANAS, I. (2008) En: *World Nutrition Forum – The Future of Animal Production* (Eds. E.M. Binder y G. Schatzmayr), Nottingham University Press. pp. 111-129.
- HEW, L.I., RAVINDRAN, V., GILL, R.J., MOLLAH, Y. y BRYDEN, W.L. (1998) *Anim. Feed Sci. Technol.* 75: 83-92.
- HUGHES, R.J. y CHOCT, M. (1999) *Aust. J. Agric. Res.* 50: 689-701.
- HUME, M.E., CORRIER, D.E., IVIE, G.W. y DELOACH, J.R. (1993) *Poult. Sci.* 72: 787-793.
- HUYGHEBAERT, G., DUCATELLE, R. y IMMERSSEEL, F.V. (2010) *Vet. J.* doi:10.1016/j.tvjl.2010.03.003
- JUANPERE, J., PEREZ-VENDRELL, A.M., ANGULA, E. y BRUFAU, J. (2005) *Poult. Sci.* 84: 571-580.
- KOCHER, A., CHOCT, M., PORTER, M.D. y BROZ, J. (2002) *Br. Poult. Sci.* 43: 54-63.
- KWAKKEL, R.P., VAN DER TOGT, P.L y KLEIN HOLKENBORG, A.B.M. (2000) En: *Proc. 3rd European Symp. on Feed Enzymes*. Noordwijkerhout, The Netherlands. pp. 63-64.
- LEESON, S., YERSEN, A. y VOLKER, L. (1993) *J. Appl. Poult. Res.* 2: 208-213.
- LEESON, S. (2007) *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources.* 2: 1-5.
- MATEOS, G.G., LAZARO, R. y GRACIA, M.I. (2002) *J. Appl. Poult. Res.* 11: 437-452.
- PARTANEN, K.H. y MROZ, Z. (1999) *Nutr, Res. Rev.* 12: 117-115.
- PATTERSON, J.A. y BURKHOLDER, K.M. (2003) *Poult. Sci.* 82: 627-631.
- PERSIA, M.E., DEHORITY, B.A. y LILBURN, M.S. (2002) *J. Appl. Poult. Res.* 11: 134-145.
- RAVINDRAN, V. y KORNEGAY, E.T. (1993) *J. Sci. Food Agric.* 62: 313-322.
- RAVINDRAN, V., HEW, L.I. y BRYDEN, W.L. (1998) *Digestible Amino Acids in Poultry Feedstuffs*. Rural Industries Research and Development Corporation, Canberra and Poultry Research Foundation, The University of Sydney, Camden, Australia.

- RAVINDRAN, V., CABAUGH, S., RAVINDRAN, G. y BRYDEN, W.L. (1999a) *Poult. Sci.* 78: 699-706.
- RAVINDRAN, V., SELLE, P.H. y BRYDEN, W.L. (1999b) *Poult. Sci.* 78: 1588-1595.
- RAVINDRAN, V., HEW, L.I., RAVINDRAN, G. y BRYDEN, W.L. (2005) *Anim. Sci.* 81: 85-97.
- RICKE, S.C.. (2003) *Poult. Sci.* 82: 632-639.
- ROBERFROID, M.B. (1998) *Br. J. Nutr.* 80 (Suppl. 2), S197–S202.
- SELLE, P.H. y RAVINDRAN, V. (2007) *Anim. Feed Sci. Technol.* 135: 1-41.
- SELLE, P.H. y RAVINDRAN, V. (2008) *Livestock Sci.* 113: 99-122.
- SELLE, P.H., RAVINDRAN, V., CALDWELL, R.A. y BRYDEN, W.L. (2000) *Nutr. Res. Rev.* 13: 255-278.
- SELLE, P., COWIESON, A.J. y RAVINDRAN, V. (2009) *Livestock Sci.* 124: 126-141.
- SHIRLEY, R.B. y EDWARDS, H.M. (2003) *Poult. Sci.* 82: 671-680.
- TANNOCK, G.W. (2004) *Appl. Environ. Microbiol.* 70: 3189–3194.
- VAHJEN, W., GLÄSER, K., SCHÄFER, K. y SIMON, O. (1998) *J. Agric. Sci. (Camb.)*. 130: 489-500.
- WANG, Y. y McALLISTER, T.A. (2002) *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 15: 1659-1676.
- WU, Y.B., RAVINDRAN, V., THOMAS, D.G., BIRTLES, M.J. y HENDRIKS, W.H. (2004) *Br Poult Sci.* 45: 76–84.
- YANG, Y., IJI, P.A. y CHOCT, M. (2009) *World's Poult. Sci. J.* 65: 97-114.