

**UTILIZACIÓN DE COMPLEJOS ENZIMÁTICOS EXÓGENOS EN LOS
SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN PORCINA**

MARIA ISABEL NARVAEZ VILLOTA

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
ESPECIALIZACIÓN EN PRODUCCIÓN DE RECURSOS ALIMENTARIOS
PARA ESPECIES PECUARIAS
VICERRECTORIA DE POSTGRADOS Y RELACIONES INTERNACIONALES
SAN JUAN DE PASTO
2008**

**UTILIZACIÓN DE COMPLEJOS ENZIMÁTICOS EXÓGENOS EN LOS
SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN PORCINA**

MARIA ISABEL NARVAEZ VILLOTA

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

**Asesor:
EDMUNDO APRAEZ GUERRERO
Zootecnista, MSc, Ph.D**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
ESPECIALIZACIÓN EN PRODUCCIÓN DE RECURSOS ALIMENTARIOS
PARA ESPECIES PECUARIAS
VICERRECTORIA DE POSTGRADOS Y RELACIONES INTERNACIONALES
SAN JUAN DE PASTO
2008**

“Las ideas y conclusiones aportadas en la monografía, son de
responsabilidad exclusiva del autor”

Artículo 1ro. del acuerdo N° 324 de Octubre 11 de 1966, emanado del Honorable
Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de Aceptación:

Firma del Asesor

Firma del Jurado

Firma del Jurado

San Juan de Pasto, Noviembre de 2008

DEDICATORIA

A Dios por ser mi fortaleza a través de los años y por ayudarme a comprender todas las situaciones que se presentan.

A mi madrina Martha por su ejemplo y dedicación.

A mis padres Florencio y Esperanza por su comprensión y enseñanzas.

A mi hermana Martha por su alegría y motivación.

A profesores y amigos.

AGRADECIMIENTOS

UNIVERSIDAD DE NARIÑO, Facultad de Ciencias Pecuarias, San Juan de Pasto.

UNIVERSIDAD DE NARIÑO, Vicerrectoría de investigaciones, postgrados y relaciones internacionales – VIPRI, San Juan de Pasto

EDMUNDO APRAEZ GUERRERO, Zootecnista, MSc, Ph.D., Universidad de Nariño, San Juan de Pasto.

AYDA PAULINA DÁVILA SOLARTE, Zootecnista, MSc, Universidad de Nariño, San Juan de Pasto.

OSCAR JULIAN ARROYAVE SIERRA, Zootecnista, MSc, Centro Latinoamericano de especies menores. CLEM, Tulúa Valle del Cauca.

CARLOS CRHISTIAN ENRIQUEZ INSUASTY, Zootecnista, San Juan de Pasto.

A todas aquellas personas que de alguna u otra forma hicieron posible este trabajo.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	14
1. JUSTIFICACIÓN.....	15
2. OBJETIVOS.....	16
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	16
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	16
3. CAPITULO I.....	17
3.1 PRINCIPIOS DE LA TECNOLOGIA ENZIMÁTICA EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA ANIMAL.....	17
3.1.1 Definición y generalidades de enzimas.....	17
3.1.2 Nomenclatura y clasificación de las enzimas.....	18
3.1.4 Mecanismos de catálisis y regulación.....	20
3.1.5 Cofactores enzimáticos.....	23
3.2 FACTORES QUE REGULAN LA ACTIVIDAD ENZIMÁTICA EN LOS ALIMENTOS.....	23
3.2.1 Ph.....	24
3.2.2 Temperatura.....	24
3.2.3 Actividad de agua.....	25
3.2.4 Radiaciones ionizantes.....	26
3.3 FUNDAMENTOS DE LA UTILIZACIÓN DE ENZIMAS EN BIOTECNOLOGÍA DE ALIMENTOS.....	26
3.3.1 Aspectos generales sobre el mercado de las enzimas.....	27
3.3.2 Fuentes de enzimas para la industria alimentaria.....	29
3.3.3 Métodos para obtención y purificación de enzimas:.....	31
3.3.4 Inmovilización de enzimas.....	33
3.3.5 Enzimas de uso frecuente en tecnología de alimentos.....	34

	Pág.
4. CAPITULO II.....	39
4.1 DESCRIPCIÓN DEL ACIDO FÍTICO, POLISACÁRIDOS NO AMILÁCEOS Y METABOLITOS SECUNDARIOS PRESENTES EN LAS DIETAS PORCINAS	39
4.1.1 Ácido Fítico	39
4.1.2 Polisacáridos no amiláceos (PNA).....	40
4.1.3 Metabolitos secundarios	42
5. CAPITULO III.....	44
5.1 GENERALIDADES SOBRE LA TRANSICION FISIOLÓGICA DE LECHONES EN LA ETAPA POSTDESTETE	44
5.1.1 Cambios morfológicos en el sistema digestivo	44
5.1.2 Importancia del consumo de alimento.	46
5.1.3 Destete a una dieta seca.	46
5.1.4 Destete a una dieta líquida	47
5.1.5 Regulación térmica y necesidades energéticas.....	48
5.1.6 Capacidad de ingestión.....	48
5.1.7 Capacidad de acidificación	48
5.1.8 Desarrollo del sistema enzimático	49
5.1.9 Factores dietéticos relacionados con la adaptación digestiva.....	52
5.1.10 Los cereales en la alimentación.....	54
6. CAPITULO IV.....	58
6.1 UTILIZACIÓN DE ENZIMAS EXOGENAS EN DIETAS PORCINAS	58
6.1.1 Carbohidrasas.....	59
6.1.2 Proteasas.....	59
6.1.3 Interacción entre las enzimas exógenas y la flora microbiana	60
6.1.4 Experiencias investigativas de la utilización de enzimas exógenas.....	60
7. CAPITULO V.....	70
7.1 IMPLICACIONES MEDIOAMBIENTALES QUE CONLLEVA LA UTILIZACIÓN DE FITASAS EN LA ALIMENTACIÓN PORCINA	70
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	74

	Pág.
8.1 CONCLUSIONES	74
8.2 RECOMENDACIONES	75
BIBLIOGRAFÍA	76

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Fuentes de enzimas	29
Cuadro 2. Enzimas comercializadas en el mercado de las materias primas para dietas animales.	37

GLOSARIO

ALIMENTACIÓN: serie de normas o procedimientos para proporcionar a los animales una nutrición adecuada.

CATALIZADOR: Sustancia que acelera o retarda un proceso químico.

DESTETE: es la etapa que corresponde al fin de la lactancia en los mamíferos y el paso a la complementación con otros alimentos.

ENZIMA: Sustancia de naturaleza proteica que cataliza reacciones químicas, siempre que sea termodinámicamente posible.

EXÓGENA: Que se forma o nace en el exterior.

METABOLITOS SECUNDARIOS: son compuestos químicos sintetizados por las plantas que cumplen funciones no esenciales en ellas e intervienen en las interacciones ecológicas.

NUTRICION: es la ciencia que estudia los procesos físicos y químicos que sufre el alimento durante su paso por el tracto digestivo, la absorción de los nutrientes y su posterior utilización por medio de procesos metabólicos.

POLISACÁRIDOS NO AMILÁCEOS: corresponden a ciertas fibras contenidas por los cereales que son solubles en agua y contribuyen a la viscosidad del contenido intestinal.

REACCIÓN QUÍMICA: es todo proceso en el que una o más sustancias sufren transformaciones químicas para convertirse en otra.

SUSTRATO: es una molécula sobre la que actúa una enzima

RESUMEN

La presente monografía, describe los principios de la tecnología enzimática, así como su influencia que ha impartido en la industria alimentaria animal; además se expone el origen, clasificación, mecanismos y factores relacionados con la actividad enzimática.

Se define también el papel que desempeña el ácido fítico, los polisacáridos no amiláceos (PNA) y metabolitos secundarios en referencia a la inhibición de la actividad de algunas enzimas digestivas o el bloqueo del acceso a los sustratos, afectando a los ingredientes de origen vegetal que constituyen el componente mayoritario de las dietas porcinas.

Seguido a esto, se mencionan las generalidades sobre la transición fisiológica del lechón dirigida hacia los cambios morfológicos en el sistema digestivo, así como el desarrollo enzimático y factores dietéticos relacionados con la adaptación digestiva en la etapa de destete. Otro propósito interesante, es presentar la descripción y contrastes de algunas investigaciones realizadas en función de medir el efecto en la digestibilidad ileal aparente, incremento de peso, consumo y comportamiento productivo, de la inclusión de enzimas exógenas en dietas porcinas a base de cereales.

Por último, se describen las implicaciones medioambientales que conlleva la utilización de fitasas y las posibles consecuencias respecto al nivel de actividad presente en la dieta.

Palabras claves: Porcinos, Enzimas, Investigaciones, Metabolitos secundarios, Polisacáridos no amiláceos.

ABSTRACT

This monograph describes the principles of enzymatic technology and its influence has given in the food animal; also describes the origin, classification, mechanisms and factors related to the enzymatic activity.

It was also defines the role of phytic acid, the non-starch polysaccharides (NSP) and secondary metabolites in reference to inhibiting the activity of some digestive enzymes or blocking access to the substrates, affecting the ingredients from plants constitute the majority component of swine diets.

Following this, the general mentioned on the physiological transition piglet directed towards the morphological changes in digestive system, as well as development and enzyme dietary factors related to adaptation in the digestive stage of weaning.

Another interesting purpose is to present the description and hire some research conducted on the basis of measuring the effect on the apparent ileal digestibility, weight gain, consumption and productive performance, the inclusion of exogenous enzymes in pig diets based on cereals.

Finally, it describes the environmental implications involved in the use of phytase and possible consequences regarding the level of activity present in the diet.

Key words: Pigs, Enzymes, Research, Secondary metabolites, Non-starch polysaccharides.

INTRODUCCIÓN

“En el contexto mundial, el empleo de enzimas exógenas en la producción de animales monogástricos, es una práctica que se dirige a la sustitución de los promotores de crecimiento y a la disminución del deterioro ambiental”¹; “esto por cuanto los nuevos conceptos y tendencias, unidos al incremento del grado de intensificación de los sistemas de producción animal obligan a acceder a estrategias que converjan en un uso mas eficiente de los recursos naturales y económicos disponibles sin que afecten los indicadores de productividad”².

Investigaciones relacionadas con la nutrición y alimentación del cerdo muestran la importancia de las enzimas exógenas, la cual radica en posibles beneficios, como son: “mejora en la digestibilidad de los nutrientes del alimento, inactivación y/o destrucción de determinados metabolitos secundarios, aumento de la digestibilidad de los polisacáridos no amiláceos (PNA), permitir una mayor flexibilidad en la composición de la dieta y complementar la actividad de las enzimas endógenas”³; estas características permiten visualizar a las enzimas como un aditivo potencial para ser utilizado en la producción porcícola, la cual está en constante búsqueda de alternativas que propicien una mayor productividad con criterios de calidad.

“Lo anterior, ha despertado un interés creciente sobre la utilización de enzimas para mejorar el rendimiento del animal, ya que en la actualidad se presenta como una de las alternativas tecnológicas capaces de contribuir a estimular los complejos mecanismos de degradación de la pared celular vegetal de los cereales y otras fuentes de alimentos de uso frecuente en la nutrición de monogástricos”⁴.

¹ CASTRO, M. Uso de aditivos en la alimentación de animales monogástricos. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, Tomo 39, Número Especial, 2005. p.3 <<http://200.55.142.53/data/files/rcca/311.pdf>>

² GONZALEZ, Eliel. Utilización de enzimas fibrolíticas en cabras lecheras. Evaluación de su actividad y características fermentativas *in Vitro*. Barcelona 2004 p.2 < www.tesisexarxa.net>

³ PARTRIDGE, Gary. Mejorando el valor alimenticio de los subproductos de granos en alimentos para cerdos por adición de enzimas. En artículos técnicos, 2001 <www.engormix.com>

⁴ GONZALEZ, Op. Cit., p.2

1. JUSTIFICACIÓN

“La industria porcina esta a la vanguardia en materia de nutrición y alimentación; en este ámbito se encuentra la inclusión de enzimas exógenas, cuya perspectiva a futuro en dietas porcinas pasa desde el desarrollo de combinaciones enzimáticas adecuadas a los nuevos ingredientes, así como en fabricar enzimas más estables y más baratas, lo que ocasionará resultados positivos en los sistemas de producción”⁵.

El desarrollo de este trabajo a partir de la literatura actualizada de investigaciones ejecutadas en la producción porcina respecto a la utilización de enzimas exógenas es importante, a fin de comprender su eficiencia y efectos dentro del aspecto nutricional y fisiológico de los animales junto con los impactos positivos para el medioambiente; tal como describen Liu y Baidoo⁶ en la reducción de excreción mineral de las granjas, lo cual es trascendental, por cuanto en los últimos años, el deterioro del ambiente resultante de la cría de animales, se ha convertido en una preocupación de los países desarrollados y en desarrollo, debido a las concentraciones de elementos minerales en los excrementos que contribuyen a contaminar el suelo, agua y aire; aspectos fundamentales a tener en cuenta para favorecer una producción eficiente y rentable pero segura para el medio.

La organización y socialización de este estudio basado en experiencias investigativas actuales, conllevará a la generación de un material temático dirigido hacia nuevas propuestas en el campo de la alimentación porcina; además su importancia radica que en países latinoamericanos la utilización de enzimas exógenas esta en pleno auge, para descubrir los verdaderos efectos a nivel fisiológico, nutricional y ambiental.

⁵ CARRO, María y RANILLA, María. Los aditivos antibióticos promotores del crecimiento de los animales: situación actual y posibles alternativas. España. 2002. p.1 <http://www.produccionbovina.com/informacion_tecnica/invernada_promotores_crecimiento/01-aditivos_antibioticos_promotores.htm>

⁶ LIU y BAIDOO, Exogenous enzymes for pig diets: an overview. Universidad de Manitoba. Canadá. 2000. p.2<www.idrc.ca/en/ev-30967-201-1-DO_TOPIC.html>

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Organizar y analizar un compendio bibliográfico sobre la utilización de enzimas exógenas en la alimentación porcina y las implicaciones medioambientales de su uso.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Identificar los principios de la tecnología enzimática aplicables a la industria alimentaria animal.
- Describir y analizar los efectos fisiológicos y nutricionales relacionados con la utilización de enzimas exógenas en dietas porcinas.
- Documentar las implicaciones ambientales del uso de complejos enzimáticos exógenos en la alimentación animal.

3. CAPITULO I

3.1 PRINCIPIOS DE LA TECNOLOGIA ENZIMÁTICA EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA ANIMAL

3.1.1 Definición y generalidades de enzimas. Las enzimas, poseen una serie de características interesantes para la industria alimentaria, por tal motivo a continuación se describen los aspectos básicos y las implicaciones de estos catalizadores biológicos para el ámbito industrial.

“Datos de reseña histórica revelan que el uso de enzimas se remonta miles de años atrás, tal y como muestra la función de los microorganismos en la producción de alimentos fermentados y de alimentos alcohólicos”⁷.

“El nombre de enzima, fue propuesto en 1867 por el fisiólogo alemán Wilhelm Kühne (1837 – 1900)”⁸; el término es de origen griego en: dentro + zymée: fermento y su uso es relativamente reciente, apenas desde la primera mitad del siglo XX⁹, y es en este periodo, donde se purifican y se caracterizan millares de enzimas, lo que ha permitido conocer su mecanismo de acción”¹⁰.

“Varios autores coinciden en una definición general y sencilla para el término enzima, como una proteína en cuya estructura globular se entrelazan y se pliegan una o más cadenas polipeptídicas, que aportan un pequeño grupo de aminoácidos para formar el sitio activo, lugar donde se realiza la reacción”¹¹.

“Dentro de las principales características que poseen estos catalizadores, se menciona que son muy activos en medios acuosos y en condiciones leves de temperatura, presión, pH, etc., son específicos y selectivos; pueden modificar un único enlace o grupo funcional en una molécula que tenga varias posiciones modificables”¹². “Además, las enzimas son macromoléculas biológicas que no alteran el medio ambiente; por tanto, estos biocatalizadores se presentan como una alternativa muy interesante a los catalizadores químicos”¹³.

⁷ RODRIGUEZ, Juan. Enzimas aplicadas a los alimentos. Chile, 2006. p.1 <www.chilepotenciaalimentaria.com>

⁸ ENCICLOPEDIA MICROSOFT ENCARTA. Online. Enzima, 2008 p.1 <<http://es.encarta.msn.com>>

⁹ NIÑO, Oscar. La ingeniería enzimática, 2001. p.2 <<http://www.alfinal.com/monografias/ingenieriaenzimatica.shtml>>

¹⁰ NAVAS, Jesús. Enzimas [Diapositiva]. Departamento Biología Molecular . Universidad de Cantabria, 2008 <<http://grupos.unican.es>>

¹¹ ARIAS, Edison y LASTRA, Jorge. Biotecnología - Tecnología Enzimática. 11 de Febrero de 2004 p.4 <<http://www.revistaciencias.com/publicaciones>>

¹² Ibid., p.1

¹³ ARROYO, Miguel. Tecnología Enzimática Aplicada, 2003. p.4 <<http://www.ucm.es/info/ecsa/fichas/0300010.htm>>

“Las enzimas poseen tamaños y estructuras tridimensionales, que son el resultado de su esqueleto estructural y sus grupos funcionales sustituyentes; esta conformación de las moléculas determina sus interacciones y funciones”¹⁴.

En la actualidad existen más de 2000 enzimas perfectamente caracterizadas y registradas, se conoce la secuencia de aminoácidos de decenas de ellas y se sabe que en una bacteria como “*E. coli* existen más de 300 proteínas; la mayor parte son enzimas, todas ellas separables analíticamente y conocidas desde un punto de vista químico, fisicoquímico y cinético”¹⁵.

3.1.2 Nomenclatura y clasificación de las enzimas. “Muchas enzimas han sido designadas con el sufijo *asa* al nombre del sustrato, otras han recibido su nombre en función del tipo de reacción que catalizan”¹⁶; sin embargo, existe una clasificación sistemática, donde cada enzima es descrita por un número con cuatro dígitos precedido de “EC”; “donde el primer número clasifica a la enzima de acuerdo a la base de su mecanismo”¹⁷. “Este sistema divide a las enzimas en seis clases que a su vez pueden tener diferentes subclases”¹⁸; a continuación se menciona el máximo nivel de clasificación:

a. **EC 1 Oxido-reductasas:** “Catalizan reacciones de oxidorreducción o redox, precisan la colaboración de las coenzimas de oxidorreducción que aceptan o ceden los electrones correspondientes; tras la acción catalítica, las coenzimas quedan modificadas en su grado de oxidación por lo que deben ser transformadas antes de volver a efectuar la reacción catalítica”¹⁹.

“Son importantes a nivel de algunas cadenas metabólicas, como la escisión enzimática de la glucosa y sintetizando el ATP. En esta clase se encuentran las siguientes subclases principales: deshidrogenasas y oxidasas”²⁰.

b. **EC 2 Transferasas:** “Transfieren grupos activos (obtenidos de la ruptura de ciertas moléculas) a otras sustancias receptoras. Suelen actuar en procesos de interconversión de monosacáridos, aminoácidos, etc”²¹.

c. **EC 3 Hidrolasas:** Actúan normalmente sobre las grandes moléculas del protoplasma, como son la de glucógeno, las grasas y las proteínas. La acción catalítica se expresa en la escisión de los enlaces entre átomos de carbono y nitrógeno (C-N) o carbono oxígeno (C-O); Simultáneamente se obtiene la hidrólisis de una molécula de agua. “El hidrógeno y el oxidrilo resultantes de la hidrólisis se

¹⁴ DEPARTAMENTO DE BIOQUIMICA Y BIOLOGIA MOLECULAR. Estructura tridimensional de las proteínas. Universidad Peruana Cayetano Heredia, 2006. p. 1 <<http://www.upch.edu.pe>>

¹⁵ GARCÍA, QUINTERO Y LÓPEZ. Biotecnología alimentaria. Editorial: Limusa, 2002.p.4 <<http://books.google.com.co/books>>

¹⁶ LEÓN, Rosa y VIGARA, Javier. Enzimas. Universidad de Huelva. 2007. p. 75 <<http://www.uhu.es>>

¹⁷ MOSS, G. Enzyme Nomenclature. Queen Mary University of London. 2008 p.3 <<http://www.chem.qmul.ac.uk/iubmb/enzyme/>>

¹⁸ AYALA, Pedro. Clasificación de las enzimas. Universidad de Sonora. 2006. p. 1 <<http://payala.mayo.uson.mx/>>

¹⁹ COLABORADORES DE WIKIPEDIA. Enzima .Wikipedia, La enciclopedia libre, 2008. p. 4 <<http://es.wikipedia.org>>

²⁰ LUDEÑA, Marco. La Enzimología. Universidad Peruana Cayetano Heredia, 1999. p.4 <<http://www.monografias.com>>

²¹ COLABORADORES DE WIKIPEDIA. Op. cit., p. 4

unen respectivamente a las dos moléculas obtenidas por la ruptura de los mencionados enlaces²². “Una característica importante de las hidrolasas es la intervención sobre la digestión de los alimentos, previamente a otras fases de su degradación²³”.

“A este grupo pertenecen proteínas muy conocidas: la pepsina, presente en el jugo gástrico, y la tripsina y la quimiotripsina, secretada por el páncreas. Desempeñan un papel esencial en los procesos digestivos, puesto que hidrolizan enlaces pépticos, estéricos y glucosídicos²⁴”.

d. **EC 4 Liasas:** “Catalizan reacciones en las que se eliminan grupos (H_2O , CO_2 y NH_3) para formar un doble enlace o añadirse a un doble enlace, capaces de catalizar la reducción en un sustrato, este por acción de la enzima es transformado en producto y es liberado del sitio activo, quedando libre para recibir otro sustrato²⁵”.

e. **EC 5 Isomerasas:** “Actúan sobre determinadas moléculas obteniendo de ellas sus isómeros de función o de posición. Suelen actuar en procesos de interconversión. Las reacciones no implican un cambio neto en las concentraciones de compuestos que no sea el sustrato y el producto²⁶”.

f. **EC 6 Ligasas:** “Realizan la degradación o síntesis de los enlaces denominados "fuertes" mediante al acoplamiento a sustancias de alto valor energético (como el ATP)²⁷”.

3.1.3 La especificidad enzimática. La especificidad de las enzimas es muy importante para los seres vivos. Cada célula contiene varios cientos de miles de compuestos diferentes, y existen muchas combinaciones posibles entre las reacciones químicas que estos compuestos pueden experimentar. “Las enzimas aseguran de manera específica la realización de aquellas reacciones que son esenciales e indispensables para que la célula viva²⁸”.

Las enzimas suelen ser muy específicas tanto del tipo de reacción que catalizan como del sustrato involucrado en la reacción. “En este sentido, la forma, la carga y las características hidrofílicas/hidrofóbicas de las enzimas y los sustratos son los responsables de dicha especificidad. Las enzimas también pueden mostrar un elevado grado de estereoespecificidad, regioselectividad y quimioselectividad²⁹”.

²² LUDEÑA, Op.cit., p. 4

²³ COLABORADORES DE WIKIPEDIA. Op.cit., p.1

²⁴ LUDEÑA, Op.cit., p. 4

²⁵ COLABORADORES DE WIKIPEDIA. Op. cit., p.1

²⁶ BIOLOGY ONLINE. 2005<<http://www.biology-online.org>>

²⁷ COLABORADORES DE WIKIPEDIA. Op.cit., p. 2

²⁸ _____ Cofactores enzimáticos. Universidad de Huelva, 2007. p.2 <www.uhu.es>

²⁹ JAEGER KE. y EGGERT T. Antioselective biocatalysis optimized by directed evolution. Curr Opin Biotechnol. Vol. 15 (4). 2004. p.3 <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>>

“La especificidad de la acción enzimática es lo más misterioso de su conducta biológica. Todavía más si se piensa en que están controladas por el genoma, lo que significa que es una especificidad adquirida a través de la evolución, donde el genoma produce exactamente las enzimas que se requieren”³⁰.

3.1.4 Mecanismos de catálisis y regulación. La catálisis enzimática es una disciplina de la enzimología que estudia los mecanismos de catálisis por los cuales las proteínas o ácidos nucleicos con actividad enzimática pueden favorecer la reacción de ciertos sustratos y su conversión en productos. Este hecho está subordinado a las leyes de la catálisis química convencional: es decir, “la existencia de un enzima no permite la aparición de nuevas reacciones, ni va en contra de la termodinámica del proceso; simplemente, acelera su velocidad favoreciendo una ruta de menor coste energético incluyendo en la dinámica de la reacción un estado intermediario de alta energía de modo que aumente el número de moléculas activas, capaces de crear y destruir nuevos enlaces”³¹.

“Las reacciones químicas de las células en su mayoría son catalizadas por enzimas, con la particularidad de que cada enzima solo cataliza una reacción”³², además el origen del producto parece depender de la facilidad de contacto”³³.

“Casi todas las enzimas son mucho más grandes que los sustratos donde actúan, y solo una pequeña parte de la enzima se encuentra directamente involucrada en la catálisis; esta región es conocida como centro activo”³⁴, el cual está formado por una constelación de grupos funcionales que determinan la afinidad, la especificidad y la capacidad de transformación química del sustrato por la enzima”³⁵. “Las enzimas también pueden contener sitios con la capacidad de unir cofactores, necesarios a veces en el proceso de catálisis, o de unir pequeñas moléculas, como los sustratos o productos de la reacción catalizada”³⁶.

“A continuación se describe el mecanismo de formación del complejo enzima - sustrato, donde en una reacción catalizada por una enzima (E), los reactivos se denominan sustratos (S), es decir la sustancia sobre la que actúa la enzima. El sustrato es modificado químicamente dando lugar a uno o más productos (P) y a la enzima (E), que vuelve a estar disponible para reaccionar con otra molécula de sustrato. Como esta reacción es reversible se expresa de la siguiente manera”³⁷:

³⁰ GEBAUER, Gabriel. La homeopatía, las enzimas y la información. 2001 p. 1 <<http://www.homeoint.org>>

³¹ COLABORADORES DE WIKIPEDIA. Catálisis enzimática [en línea]. Wikipedia, La enciclopedia libre, 2008. p.1 <http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Cat%C3%A1lisis_enzim%C3%A1tica&oldid=17395576>

³² SAENZ, Chaco. Mecanismo de acción de las enzimas. 2004. p.1 <<http://fai.unne.edu.ar>>

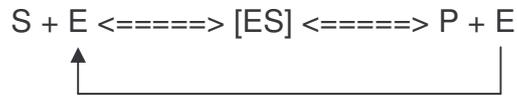
³³ LUDEÑA. Op. cit., p. 6

³⁴ _____ The Catalytic Site Atlas at The European Bioinformatics Institute, 2001. p.2 <<http://www.ebi.ac.uk/thornton-srvdatabases/CSA/>>

³⁵ PERETÓ et al. Fundamentos de bioquímica. Universidad de Valencia., 2007. p 100 <<http://books.google.com.co>>

³⁶ _____ The Catalytic Site Atlas at The European Bioinformatics Institute, Op. cit., p. 2

³⁷ SAENZ, Op. cit., p. 1



Las moléculas del sustrato se unen al sitio activo, donde tiene lugar la catálisis. La estructura tridimensional de este sitio, donde solo puede entrar un determinado sustrato (ni siquiera sus isómeros) es lo que determina la especificidad de las enzimas. El acoplamiento es tal que E. Fisher en 1894 enunció: "el sustrato se adapta al centro activo o catalítico de una enzima como una llave a una cerradura"³⁸.

"No obstante, el inconveniente de la hipótesis es que si el centro activo posee una estructura prediseñada para el sustrato, caso de que sea reversible el proceso, a la vez debe estar perfectamente diseñado para que también encaje el producto de la reacción"³⁹.

"Además, la teoría de la llave-cerradura es, más allá de su insuficiencia explicativa, una buena demostración de este error de perspectiva. La llave coincide con su cerradura por razones particulares; pero eso desconoce el hecho de que entre el sitio activo de la enzima y el sustrato existe, desde antes de la formación del complejo, una semejanza estructural que permite que la formación de ese complejo sea posible"⁴⁰.

"Otra hipótesis más moderna es la enzima flexible o de ajuste inducido (modelo de Koshland), que sugiere que el sitio activo no necesita ser una cavidad previa geométricamente rígida y preexistente, sino que debe tener una disposición espacial precisa y específica que se induce y adapta al sustrato cuando interacción con él. Independientemente del modelo, una vez formado el complejo enzima sustrato, mediante un mecanismo de distorsión, se activan los enlaces que hay que romper y se aproximan los grupos que hay que enlazar, favoreciendo la formación del producto resultante de la reacción catalizada y quedando la enzima libre para comenzar de nuevo el proceso catalítico"⁴¹.

El modelo de ajuste inducido propone que las interacciones iniciales entre la enzima y el sustrato son relativamente débiles, pero suficientes para producir ciertos cambios conformacionales en la enzima, que estabilizan e incrementan la

³⁸ Ibid., p.3

³⁹ _____ Cofactores enzimáticos. Op. cit., p.2

⁴⁰ GEBAUER, G. Op. cit., p. 1

⁴¹ _____ Cofactores enzimáticos, Op. cit., p.2

fuerza de la interacción. Estos cambios conformacionales implican a una serie de aminoácidos catalíticos del centro activo, en los cuales se producen los enlaces químicos correspondientes entre la enzima y el sustrato. “Después de la unión, uno o más mecanismos de catálisis disminuyen la energía del estado de transición de la reacción, por medio de una ruta alternativa a la reacción”⁴².

“Los mecanismos de catálisis se clasifican de acuerdo a: catálisis covalente, catálisis por proximidad y alineación de orbitales, catálisis ácido-base general, catálisis por iones metálicos y catálisis electrostática”⁴³.

“Los estudios de cinética enzimática no permiten obtener el tipo de catálisis utilizada por una enzima. Sin embargo, algunos datos cinéticos pueden proporcionar una serie de indicios que lleven a realizar otro tipo de estudios dirigidos a determinar dicho tipo de catálisis. Por otro lado, variaciones en el pH pueden producir efectos drásticos en la V_{max} pero no en la K_m , lo que podría indicar que un residuo del centro activo precisa un estado concreto de ionización para que se pueda llevar a cabo la catálisis enzimática”⁴⁴.

“El metabolismo consiste en una serie de reacciones catalizadas por enzimas, donde los productos de una reacción se convierten en los reactivos de la siguiente, lo que se conoce como vías metabólicas. Las células deben poder regular estas vías metabólicas y lo hacen a través de reguladores enzimáticos; los inhibidores naturales regulan el metabolismo mientras que los artificiales son utilizados por la medicina, agronomía”⁴⁵.

Se define como inhibidor a un efector que hace disminuir la actividad enzimática, a través de interacciones con el centro activo u otros centros específicos. “De esta forma, existen dos tipos de inhibidores: isostéricos y alostéricos, estos últimos causan un cambio conformacional con repercusión negativa en la actividad enzimática”⁴⁶.

Los inhibidores isostéricos pueden ser de dos tipos:

a. Inhibidor reversible: pueden ser inhibidores competitivos, los que se unen a la enzima ingresando en el sitio activo, impidiendo así su enlace con el sustrato. Los inhibidores no competitivos se fijan a la enzima independientemente de que lo haga o no el sustrato; el inhibidor, por tanto, no impide la fijación del sustrato a la enzima, pero si impide la acción catalítica.

⁴² Ibid., p. 2

⁴³ COLABORADORES DE WIKIPEDIA. Cinética enzimática [en línea]. Wikipedia, La enciclopedia libre, 2008 p.1 <http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Cin%C3%A9tica_enzim%C3%A1tica&oldid=18225955>

⁴⁴ Ibid., p.3

⁴⁵ SAENZ, Op. cit., p. 6

⁴⁶ INHIBICION ENZIMATICA. [diapositiva] España, 2000. p.6 <<http://www.usal.es>>

b. Inhibición irreversible: “hay inhibidores que se unen covalentemente al sitio activo de una enzima, esta unión es permanente e inactiva a la enzima destruyendo su capacidad de unirse al sustrato”⁴⁷.

3.1.5 Cofactores enzimáticos. “Bien sea que consistan en una única cadena polipeptídica plegada o en varias unidades, muchas enzimas requieren otras moléculas no proteicas para funcionar llamados cofactores”⁴⁸.

El cofactor puede ser un ión metálico o bien una molécula orgánica, llamada coenzima, aunque algunas enzimas necesitan de ambos. “El complejo enzima-cofactor catalíticamente activo recibe el nombre de holoenzima. Cuando se separa el cofactor, la proteína restante, que por sí misma es inactiva catalíticamente, se designa con el nombre de apoenzima”⁴⁹. “Cuando en las enzimas el ión metálico es un cofactor, el puede actuar como: centro catalítico primario, grupo puente para reunir el sustrato y la enzima formando un complejo de coordinación y como agente estabilizante de la conformación de la proteína enzimática en su forma catalíticamente activa”⁵⁰.

“Además, cada una de las coenzimas catalogadas contiene como parte de su estructura, una molécula de alguna vitamina. Las coenzimas actúan por lo general como transportadores intermedios de átomos específicos o de electrones. Aquellos cofactores que están fuertemente unidos a la apoenzima son denominados grupos prostéticos; en otros casos las coenzimas están unidas débilmente a la apoenzima y actúan fundamentalmente como uno de los sustratos específicos de la enzima”⁵¹.

3.2 FACTORES QUE REGULAN LA ACTIVIDAD ENZIMÁTICA EN LOS ALIMENTOS.

“Desde el punto de vista fisicoquímico, y como consecuencia de su estructura proteica, la actividad catalítica de las enzimas depende del pH y de la temperatura de reacción, característica que resulta de fundamental importancia en una aplicación industrial”⁵². “Además, dentro de los puntos que se tienen en cuenta al utilizar enzimas incorporadas a los alimentos es que éstas al ser completamente

⁴⁷COLABORADORES DE WIKIPEDIA. Inhibidor enzimático [en línea]. Wikipedia, La enciclopedia libre, 2008 p.2 <<http://es.wikipedia.org/w/index.php>>

⁴⁸ SAENZ. Op. cit., p.4

⁴⁹ Ibid., p4

⁵⁰ OCHOA, Luz, TINOCO, Perla y ORTIZ, Miguel. Enzimas. Instituto Nacional de Salud Pública. México. 2008. p.20 [diapositivas] <<http://www.scribd.com>>

⁵¹ COFACTORES ENZIMÁTICOS, Op.cit., 3

⁵² GARCÍA, QUINTERO Y LÓPEZ. Op. cit., p.104

naturales tienen alta susceptibilidad al ambiente que las rodea el cual puede influir fácilmente en el rendimiento de las mismas”⁵³.

3.2.1 Ph. “La actividad de las enzimas depende mucho de la concentración de iones de hidrógeno del medio, ya que esto afecta el grado de ionización de los aminoácidos del sitio activo, del sustrato o complejo enzima-sustrato; todo esto llega a influir en la afinidad y en los casos en que los sustratos no son ionizables, los grupos iónicos de las enzimas son los únicos afectados por el pH”⁵⁴.

“La intensidad máxima de la actividad de la enzima, ocurre en el pH óptimo, con rápida disminución de la actividad a cada lado de este valor”⁵⁵. Normalmente las enzimas actúan en cercanía a la neutralidad, en torno a cinco y ocho aunque existen excepciones como la tripsina que actúa en torno a dos, o la lipo-oxigenasa que lo hace a pH básico nueve. “Así pues, la actividad de una enzima está restringida a un intervalo de estabilidad. Este hecho se utiliza en alimentos en los que interesa favorecer o inhibir la actividad enzimática”⁵⁶, ya que cualquier cambio brusco de pH puede alterar el carácter iónico de los grupos amino y carboxilo en la superficie proteica, afectando así las propiedades catalíticas”⁵⁷.

Sin embargo, la literatura reporta también que el pH *per se* no afecta la actividad enzimática, sino la concentración de protones. “Los protones además de alterar la estructura de la enzima y el sustrato, pueden participar también en la reacción como sustrato o producto. En esos casos, la concentración de protones afecta directamente la velocidad de la reacción”⁵⁸.

3.2.2 Temperatura. “en general, los aumentos de temperatura aceleran las reacciones químicas, por cada 10°C de incremento, la velocidad de reacción se duplica”⁵⁹. “Un parámetro importante para hacer apreciaciones y comparaciones sobre el efecto de la temperatura en la tasa de reacción para diversas enzimas es conocido como Q₁₀ el cual se define como el factor por el cual la constante de reacción es incrementada al elevar la temperatura en 10°C”⁶⁰.

Al principio la velocidad de reacción aumenta cuando la temperatura se eleva debido al incremento de la energía cinética de la energía de las moléculas

⁵³ ALVARADO y VEGA. Uso de levadura viva, enzimas y ácidos dicarboxílicos en ganado lechero en condiciones tropicales .Costa Rica, 2000. p.6 <<http://www.saf-agri.com>>

⁵⁴ ITESCAM. Cinemática de las reacciones enzimáticas. México, 2005 p. 4 <www.itescam.edu.mx>

⁵⁵ CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD. Efecto del pH y de la temperatura sobre la actividad de la transaminasa. Universidad Autónoma Metropolitana. 2002. p. 1 <<http://www.uam.mx/>>

⁵⁶ LARRE, Iker. Utilización de enzimas en la elaboración de alimentos. San Sebastián. España., 2000. p.3 <<http://www.ikerlarre.e.telefonica.net/paginas/enzimas.htm>>

⁵⁷ HERNANDEZ, Rubén. Enzimas En: LibroBotánicaOnLine. Universidad de Los Andes. Venezuela. 2001. p.8 <<http://www.forest.ula.ve>>

⁵⁸ Ibid., p. 8

⁵⁹ GONZALEZ, Juan. Enzimas En: Curso de Biomoléculas. Universidad del País Vasco. p. 3. 2000 <<http://www.ehu.es/biomoleculas/enzimas/tema11.htm>>

⁶⁰ KELP. Food Science and Technology citado por BIOQUIMICA Y CIENCIAS BIOLÓGICAS. Enzimas y Temperatura, 1990. p.12 <<http://apuntesdebioquimica.tripod.com>>

reactantes. “Sin embargo, al final, la energía cinética de la enzima excede a la barrera energética para romper los enlaces débiles de hidrogeno que conservan su estructura secundaria y terciaria”⁶¹; es importante tener en cuenta que si la temperatura se eleva demasiado (mayor a 55°C)⁶², es posible que se desnaturalice la enzima provocando una desorganización de su estructura con pérdida de la actividad catalítica”⁶³.

“Las enzimas muestran una temperatura óptima de acción, donde los límites de actividad para la mayor parte de las enzimas tienen lugar entre los 10 °C y 50 °C”⁶⁴.

3.2.3 Actividad de agua. La actividad de agua (a_w) de un producto es la fracción del contenido de humedad total que está en forma libre. “Normalmente este valor en un producto alimentario condiciona las alteraciones relacionadas con el desarrollo de microorganismos, la inestabilidad química y enzimática”⁶⁵.

Las enzimas son más susceptibles a la desnaturalización e inactivación a altos contenidos de humedad, para mantener su actividad, deben mantener su estructura por ello la mayoría de reacciones enzimáticas se ralentizan a valores de a_w inferiores a 0.8. El cese aparente de las reacciones a baja humedad no se debe a la inactivación irreversible de la enzima, porque después de la humificación a una a_w mayor, la hidrólisis se reanuda a una velocidad característica de la nueva a_w alcanzada”⁶⁶.

“A niveles muy bajos de humedad, la actividad enzimática puede ser afectada cualitativamente. Es el caso de la α -amilasa que a una humedad del 20 % (4% de agua libre) produce principalmente glucosa y maltosa a partir de almidón; a niveles más elevados se forman también otros oligosacáridos. Quizás lo que ocurre es que a niveles muy bajos de "agua libre", la rigidez del medio impide la difusión de la enzima o del substrato, limitándose así la hidrólisis a aquellas porciones del substrato que están en contacto inmediato con la enzima”⁶⁷.

En los cereales y harinas almacenados es posible detectar, fácilmente, actividad lipolítica y proteolítica. “A niveles de humedad superiores a 15% esta actividad es debida, generalmente, a las enzimas de los hongos que crecen en el cereal y que pueden participar también en las reacciones hidrolíticas, desarrollándose rancidez

⁶¹ CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD. Op. cit., p.1

⁶² ITESCAM. Op. cit., p.4

⁶³ DEPARTAMENTO DE BIOQUÍMICA Y BIOFÍSICA MOLECULAR. El Proyecto Biológico. Universidad de Arizona. 2004 p. 3 <<http://www.biologia.arizona.edu>>

⁶⁴ CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD. Op. cit., p.1

⁶⁵ AQUALAB. Actividad de agua en alimentos, 2002. p.2 <www.aqualab.com>

⁶⁶ Ibid., p.2

⁶⁷ SISIB. Propiedades generales de las enzimas. Universidad de Chile, 2000. p.3 <<http://mazinger.sisib.uchile.cl>>

por la acción enzimática sobre la fracción proteolítica o lipídica durante el almacenamiento”⁶⁸.

3.2.4 Radiaciones ionizantes. “Consisten en un proceso físico no térmico que se puede utilizar para destruir la presencia de ciertos microorganismos, así mismo son capaces de inactivar enzimas”⁶⁹. Esta técnica se basa en la exposición de ciertos alimentos a radiaciones ionizantes durante un determinado período. Se utilizan como fuentes de energía la radiación gamma, ultravioleta, los rayos X y los electrones acelerados. “La cantidad de energía por unidad de masa de producto se define como dosis y su unidad es el Gray (Gy), que es la absorción de un Julio de energía por kilo de masa irradiada”⁷⁰. “En ocasiones la radiación necesaria irá en función de una serie de factores como concentración de la enzima, temperatura del alimento, pH, entre otros”⁷¹.

“Uno de los problemas en este campo es que la destrucción de las enzimas requiere de dosis de radiación mucho más elevadas que para la destrucción de los microorganismos y en algunos casos es más práctico utilizar en forma combinada calor e irradiación para inactivar enzimas”⁷². “Sin embargo, hace muchos años que se está investigando la irradiación como método de conservación de alimentos; varios países decidieron aprobar esta técnica, luego de que la Comisión del Codex Alimentarius adoptara en 1983 una norma mundial sobre alimentos irradiados”⁷³.

3.3 FUNDAMENTOS DE LA UTILIZACIÓN DE ENZIMAS EN BIOTECNOLOGÍA DE ALIMENTOS.

“Un aspecto fundamental de la biotecnología de alimentos es la investigación acerca de los procesos de elaboración de productos alimenticios mediante la utilización de organismos vivos, procesos biológicos o enzimáticos”⁷⁴. “Para apoyar los procesos productivos de la industria alimentaria y agroalimentaria existe la línea de investigación de la tecnología enzimática y biocatálisis”⁷⁵.

“El área de tecnología enzimática y biocatálisis incluye el extenso campo de las fermentaciones en procesamiento de alimentos, así como la mejora genética de microorganismos de aplicación en tecnología de alimentos y la producción de proteínas y enzimas de uso alimentario”⁷⁶.

⁶⁸ Ibid., p.3

⁶⁹ ORDOÑEZ, Juan, et al. Aplicación de radiaciones ionizantes a los alimentos. En: Revista del Comité Científico. España, 2004. p.11 <<http://www.aesa.msc.es>>

⁷⁰ DOMINGUEZ, Laura. Conservación de alimentos. Dirección Nacional de Alimentos. Buenos Aires. Argentina, 2000. p.1 <<http://www.alimentosargentinos.gov.ar>>

⁷¹ LARRE, Op. cit., p.2

⁷² SISIB. Op. Cit., p.2

⁷³ DOMINGUEZ, Op.cit., p. 1

⁷⁴ LUCAS, Emilio. Biotecnología de Alimentos. Febrero 2004. p.2 <<http://www.ilustrados.com>>

⁷⁵ Ibid., p.2

⁷⁶ S.I.T. Servicios de Información técnica. Biotecnología de Alimentos, 2002. p.5 <<http://www.ciz.org.ve/SIT%20ALIMENTOS.htm>>

“Los progresos que realizan actualmente la ingeniería genética y la biotecnología permiten augurar un desarrollo cada vez mayor del uso de los enzimas, al disponer de un suministro continuo de materiales con la actividad deseada a precios razonables”⁷⁷.

“Las enzimas intervienen en prácticamente todas las áreas involucradas en la tecnología de alimentos, por lo que investigadores en este campo deben aprender a caracterizar y aplicar las enzimas exógenas, activar o inhibir, dependiendo del alimento y de las enzimas endógenas, así como también aprovechar su termoestabilidad para asociar su desactivación con tratamientos térmicos y emplearlas como parámetros de control de calidad o aprovecharlas como herramienta analítica”⁷⁸.

Además, la utilización de enzimas en los alimentos presenta una serie de ventajas de índole económica y tecnológica. “La gran especificidad de acción que tienen las enzimas hace que no se produzcan reacciones laterales imprevistas; así mismo se puede trabajar en condiciones moderadas, especialmente de temperatura, lo que evita alteraciones de los componentes más lábiles del alimento”⁷⁹.

“Desde el punto de vista de la salud, puede considerarse que las acciones enzimáticas son en último extremo naturales; incluso las enzimas también pueden inactivarse fácilmente cuando se considere que ya han realizado su misión, quedando entonces asimiladas al resto de las proteínas presentes en el alimento”⁸⁰. Para garantizar la seguridad de su uso deben tenerse en cuenta algunas consideraciones; en aquellas enzimas que sean producidas por microorganismos, estos no deben ser patógenos ni sintetizar a la vez toxinas, antibióticos, etc. Los microorganismos ideales son aquellos que tienen ya una larga tradición de uso en los alimentos (levaduras de la industria cervecera y fermentos lácticos). “Además, tanto los materiales de partida como el procesado y conservación del producto final deben estar acordes con las prácticas habituales de la industria alimentaria por lo que respecta a pureza, ausencia de contaminantes, higiene, entre otros”⁸¹.

3.3.1 Aspectos generales sobre el mercado de las enzimas. Mundialmente, la producción de enzimas está desarrollándose aun más, bajo el principio de optimizar procesos y convertirlos en bioprocesos. La aplicación de esta industria gira en torno a países industrializados que tienen la capacidad de investigar y producir a gran escala estas proteínas, lo cual margina a países menos desarrollados a causa de carencia de recursos, infraestructura y desarrollo en el

⁷⁷ _____. Enzimas. Universidad de Zaragoza. España, 2000 p.1 <<http://milksci.unizr.es>>

⁷⁸ GARCÍA, QUINTERO Y LÓPEZ. Op. cit., p.105

⁷⁹ ARIAS y LASTRA. Op. cit., p. 3

⁸⁰ Ibid., p.3

⁸¹ Ibid., p.4

campo biotecnológico. “Sin embargo, esta afirmación no ha sido un impedimento para que en diversos lugares del mundo se investigue en el área de la enzimología y el impacto que estas ocasionan en los procesos y reacciones químicas”⁸².

En cuanto al mercado de las enzimas es impactante, por un lado, el hecho de que de más de dos mil enzimas registradas sólo una 60 sean producidas comercialmente y de éstas sólo cinco cubran más del 80% del mercado. Por otro lado, más de la mitad del mercado lo ocupan Dinamarca y Holanda, con las compañías Novo y Gist Brocades, respectivamente. “Otras compañías de importancia son Solvay, Pfizer, Rohm and Haas y Amano. En Japón, la producción de enzimas es una de las áreas más avanzadas siendo líderes en la obtención enzimática en medio sólido”⁸³.

“En América Latina existen empresas productoras de enzimas en México, Brasil, Argentina y Uruguay, muchas de las cuales son subsidiarias de empresas transnacionales, como es el caso de Pfizer en México y Brasil y Novo en Brasil”⁸⁴.

“En Colombia el desarrollo en torno a la agroindustria, así como el de otras áreas de la biotecnología, está afectado por problemas como la creciente brecha científica y tecnológica con respecto a los países industrializados”⁸⁵. Según la firma internacional, Frost & Sullivan, analistas dedicados al estudio de mercados mundiales, el comercio de enzimas esta seccionado en distintos segmentos dependiendo la industria y la aplicabilidad de estas. Según el estudio, para el año 2003 se generó cerca de 142 millones de dólares solo en la industria alimenticia siendo el sector más innovador el de la ingeniería genética a partir de organismos modificados. “Con un 47.3%, de los ingresos, las enzimas destinadas al procesamiento del almidón (amilasas) y los azúcares componen el sector mas amplio en la industria”⁸⁶

Colombia no realiza producciones de enzimas a escala industrial, por lo cual deben ser importadas de diversos países como Europa, Japón, Estados Unidos, Canadá y México. “La importación de enzimas en Colombia se hace en su mayor parte a través de representantes o casas comerciales pero algunas industrias de cervecería, molinería y lácteos hacen importación directa de las enzimas que requieren”⁸⁷.

Aunado a lo anterior, el criterio de viabilidad económica de un proceso como la industria de las enzimas esta estrechamente relacionado con las normas

⁸² DURANGO *et al.* Producción de enzimas amilasa microbiana, mediante fermentación en estado líquido. Universidad Pontificia Bolivariana. Montería, 2008. p.3 <<http://docencia.izt.uam.mx>>

⁸³ GARCÍA, QUINTERO Y LÓPEZ. Op. cit., p.11

⁸⁴ IZQUIERDO Y DE LA RIVA. Plant biotechnology and food security in Latin América and the Caribbean. Citado por Carrera, Jorge. p.3

⁸⁵ DURANGO. Op.cit., p.3

⁸⁶ AGRO-BIO. Bio-boletín. Citado por Durango et al. p.4

⁸⁷ ILLANES A. Biotecnología de Enzimas. Citado por Durango et al. p.6

legislativas que rigen tanto para las operaciones que los componen como para la pureza del producto final. Muchas restricciones legales se refieren a materias de seguridad que afectan, por un lado, a la maquinaria utilizada en el proceso y, por otro, a los planes posteriores con el producto. “Evidentemente a la hora de calcular los costos de un proceso, deben tenerse en cuenta los destinados a cubrir los requisitos legales correspondientes”⁸⁸.

“En el caso de materiales biológicos existen varias áreas que estudian el riesgo potencial de efectos nocivos, las cuales son: microbiología, toxicidad química, toxicidad relacionada con la actividad de las enzimas, reacciones alérgicas”⁸⁹.

3.3.2 Fuentes de enzimas para la industria alimentaria. “Las enzimas de fuentes microbiológicas (bacterias, hongos y levaduras) se producen en la industria de la fermentación, la industria de carnes es la fuente principal de las enzimas derivadas del páncreas, estómago e hígado de los animales. El cuadro 1 ejemplifica algunas de las fuentes de enzimas”⁹⁰.

Cuadro 1. Fuentes de enzimas⁹¹

Enzima	Fuente
α-amilasa	Páncreas bovino-porcino
Lisosima	Albúmina de huevo
Fosfolipasa	Páncreas porcino
Tripsina	Páncreas bovino-porcino
Quimiotripsina	Páncreas bovino-porcino
Pepsina	Mucosa porcina
Renina	Bovinos
β-amilasa	Grano de cebada
Peroxidasa	Raíz de rábano
Papaina	Leche de papaya
Amilasa	Bacillus Subtilis, Aspergillus Níger, Aspergillus cryzae
Penicilinas	Bacillus Subtilis
Invertasa	S. Cerevisiae, Aspergillus cryzae
Celulasa	Aspergillus Níger, Trichoderma sp.
Pectinasa	Clostridium sp.

Las fuentes de enzimas pueden ser de tipo vegetal, animal y microbiana.

⁸⁸ Ibid., p.2

⁸⁹ Ibid.,p.2

⁹⁰ NIÑO, Oscar. Op. cit., p.3

⁹¹ Ibid., p.3

a. Enzimas de tipo vegetal se encuentran las proteasas, carbohidrasas (las cuales descomponen residuos de azúcares de carbohidratos superiores, α -amilasas y β -amilasas).

b. Enzimas de tipo animal están las esterases (Lipasa se produce en la mucosa gástrica, el páncreas y las semillas de ricino, fosfotasa; se obtiene de tejidos animales, óseo, muscular, tripsina y quimotripsina se produce en el páncreas y pectasas)

c. Enzimas del tipo microbiano provienen de bacterias y hongos. Los microorganismos pueden secretar una serie de enzimas hidrolíticas que los organismos animales son incapaces de producir. “Para ello es necesario pasar por ensayos con cientos de cepas antes de identificar una adecuada a las necesidades del investigador, y que además produzca suficiente volumen”⁹².

El 90% de las enzimas que se utilizan en la industria alimentaria tienen su origen en los microorganismos; las enzimas microbianas son aceleradores de origen biológico, de creciente aplicación industrial a nivel mundial, con tendencia a reemplazar los de origen químico. “Sus principales beneficios son: generar menos costos energéticos, no contaminar, reducir impactos ambientales negativos de los procesos industriales, alta selectividad y reducir la formación de productos no deseados evitando el manejo de sustancias químicas peligrosas”⁹³.

El primer aspecto a considerar en el desarrollo de un sistema de producción de enzimas microbianas es, la selección del microorganismo adecuado para el proceso, el cual debe tener las siguientes características deseables:

- a. El microorganismo no debe ser patógeno, ni asociarse con la producción de toxinas. Los aspectos de reglamentación de la FDA (Food and Drug Administration), consideran GRAS a una enzima producida por un microorganismo GRAS (Generalmente reconocido como seguro).
- b. La enzima debe ser producida con altos rendimientos.
- c. El costo de producción debe ser razonable, lo que implica que el microorganismo pueda crecer rápidamente, en sustratos grado industrial, consumiéndolos totalmente y con pocos requerimientos específicos.
- d. La selección del microorganismo puede hacerse en términos de las características deseadas para la enzima⁹⁴.

A continuación se mencionan las ventajas de la utilización de enzimas en la industria alimentaria:

⁹² ARIAS y LASTRA. Op.cit., p. 10

⁹³ CAPITALIA COLOMBIA. Boletín Centro de Inversiones. Edición No. 1 del 9 de Julio de 2006. <www.capitaliacolombia.com>

⁹⁴ GARCÍA, QUINTERO Y LÓPEZ. Op. cit., p.578

- Reducción de la viscosidad (hidrólisis)
- Mejorar extracciones (degradación de pectina)
- Hacer bioconversiones (glucosa a fructosa)
- Causar separaciones (separación del suero en queso)
- Sustitución de ingredientes y coadyuvantes en proceso.
- Ahorro con procesos más eficientes obteniendo menos subproductos indeseados y mayor capacidad de planta con un incremento de rendimiento de producto⁹⁵.

3.3.3 Métodos para obtención y purificación de enzimas:

Para la producción se emplean métodos de escala industrial, dentro de los cuales se distinguen 2 tipos de procedimientos:

- “Los métodos de emersión (fermentación superficial), en medios sólidos o pastosos, con ventilación de la superficie. Una vez terminado el proceso de fermentación, los medios sólidos se homogenizan, se ajusta la humedad alrededor de 10-12% y se pulverizan”⁹⁶.

- “Los métodos de inmersión, en los que los microorganismos productores se instalan en el interior de un tanque que contiene un medio de cultivo líquido. Finalizada la fermentación, los productos se purifican y normalizan. Pueden comercializarse en forma líquida o sólida”⁹⁷.

“Empleando distintos métodos de purificación es posible obtener altas concentraciones enzimáticas, que permiten una mejor comercialización de la enzima para usos industriales”⁹⁸.

“Básicamente, en estas industrias los cultivos celulares son la mejor opción para la elaboración de enzimas. Una vez estos cultivos celulares se encuentran maduros, se procede a la “cosecha” de los mismos. Para la producción de enzimas es necesario entonces el desarrollo de tecnologías y procesos de separación eficientes, que den lugar a enzimas de alta pureza y que a la vez obtengan mejores rendimientos de enzima por sustrato empleado”⁹⁹.

En el proceso de extracción de enzimas a partir de las células que las contienen, a menudo es necesario dividir finamente el tejido, por medio de un homogeneizador; también se utilizan técnicas más modernas tales como el ultrasonido, autólisis y congelamiento-descongelamiento. “Uno de los métodos de purificación de

⁹⁵ MUNDO ALIMENTARIO. Aplicación de las enzimas en la producción industrial, 2003. p.9 <<http://www.alimentariaonline.com>>

⁹⁶ TORERO, Augusto. Las enzimas exógenas: insumos básicos para la fabricación del alimento balanceado para animales. *En*: ECAG Informa. No. 42. 2007 p.10 <www.revistaecag.com>

⁹⁷ *Ibid.*, p.10

⁹⁸ NIÑO, Oscar. *Op cit.*, p.3

⁹⁹ *Ibid.*, p.3

enzimas es la cristalización de las mismas. Primero se cambia el pH, con lo que se retiran algunas proteínas, o se emplean solventes orgánicos que separen diversas proteínas¹⁰⁰. A veces se emplean también columnas de cromatografía que permiten la obtención de distintos sueros, con diferentes concentraciones de enzimas. “Una vez se obtienen estos licores, se cristalizan en repetidas ocasiones, lo que da como resultado un cristal enzimático de buena actividad específica”¹⁰¹.

Las principales propiedades de las enzimas que contribuyen a la separación son: tamaño, carga, solubilidad y centros de enlace específico. Según estas características se utilizan los siguientes métodos:

- a. Separación basada en tamaño o masa: Centrifugación, cromatografía de exclusión, diálisis y ultrafiltración.
- b. Separación basada en la polaridad (carga): Cromatografía de Intercambio Iónico, electroforesis, Isoelectric Focusing (separación basada en el punto isoeléctrico), cromatografía de Interacción Hidrofóbica.
- c. Separación basada en la solubilidad: cambios en pH, cambios en fortaleza iónica y disminución en la constante isoeléctrica.
- d. Separación basada en centros de enlace específicos: Cromatografía de afinidad, elución por afinidad, cromatografía tinte-ligando, cromatografía de inmunoadsorción y cromatografía de enlace covalente¹⁰².

“Además, la selección del método depende de la escala de preparación, rendimiento requerido, tiempo y equipo disponible”¹⁰³.

“Otro punto fundamental a tener en cuenta para la determinación del éxito de la preparación son: medición de pureza por medio de electroforesis y espectrometría de masa, determinar la actividad catalítica y realizar titulaciones centro activo”¹⁰⁴.

“Cuando las enzimas han sido purificadas, éstas se encuentran listas para su comercialización y serán empleadas en diversos campos; dadas las características de las enzimas su eficiencia es alta y sus condiciones de operación bastante aceptables. Las aplicaciones de las enzimas son diversas y, por lo tanto, el desarrollo en la ingeniería del proceso son necesarios para cada uno de los casos particulares”¹⁰⁵.

¹⁰⁰ LUDEÑA, Op. cit., p.2

¹⁰¹ NIÑO. Op. cit., p. 3

¹⁰² SANTOS, Lizette. Enzimología y Química de Proteínas. Agosto 2007. p 7 <<http://marc.pucpr.edu/facultad/santos/613.htm>>

¹⁰³ Ibid., p. 8

¹⁰⁴ Ibid., p.13

¹⁰⁵ NIÑO, Oscar. Op. cit

3.3.4 Inmovilización de enzimas. “Es el método en el que se confina o localiza a la enzima en una región definida del espacio, para dar lugar a formas insolubles que retienen su actividad catalítica y que pueden ser reutilizadas repetidamente. La enzima es inmovilizada con un material (matriz de polímero) y se une química o físicamente entre catalizador y matriz”¹⁰⁶.

“La inmovilización es una tecnología que permite la obtención de derivados enzimáticos más estables que la enzima en solución, admite el diseño de reactores de fácil manejo y control. La novedad es la utilización de soportes activados que permiten la inmovilización covalente multipuntual de las enzimas, lo que supone un incremento muy notable de su estabilidad, así como el mantenimiento de la actividad tras sucesivos ciclos puesto que no se produce su deserción.”¹⁰⁷.

La inmovilización puede presentar los siguientes inconvenientes:

- a. La alteración de la conformación de la enzima.
- b. La heterogeneidad del sistema enzima-soporte.
- c. Pérdida de actividad de la enzima durante la movilización¹⁰⁸.

Las distintas formas de inmovilización de las enzimas son:

- a. Enzimas unidos: Se unen mediante un enlace covalente o bien están adsorbidos a una superficie mediante interacciones de otro tipo.
- b. Enzimas encerrados: Enzimas encerrados en el interior de una matriz, y son accesibles desde el exterior mediante poros.
- c. Microencapsulados: La enzima se encierra en unas microcápsulas.
- d. Enzimas incluidos en redes: La enzima forma parte de una red y pueden reaccionar con algunos complejos como el glutaraldehído¹⁰⁹.

La alteración de un alimento puede corresponder a la cantidad de enzimas endógenas o exógenas; si las enzimas endógenas para una determinada actividad son insuficientes, con un proceso tecnológico se pueden añadir sistemas con enzimas exógenas. Cuando se trata de una enzima exógena, la aplicación se puede llevar a cabo de diferentes formas, así:

- a. Preparado soluble purificado: La enzima se encuentra solubilizada en disolución o en polvo, y se añade al alimento en una determinada concentración.

¹⁰⁶ BAÑEZ, J. Química Industrial Alimentaria: Biotecnología.2006 <www.eis.uva.es/~jmbsanz/alimentaria.html>

¹⁰⁷ ACEBAL y CASTILLÓN. Biotecnología enzimática y biotransformaciones de interés industria. Universidad Complutense de Madrid, 2001. p.6 <http://www.ucm.es/info/otri/complutecno/fichas/tec_cacebal1.htm>

¹⁰⁸ BAÑEZ, Op. cit., p.2

¹⁰⁹ Ibid., p.2

- b. Aplicación de enzimas inmovilizadas: como las enzimas están fijas sobre un soporte de materia inerte, se pasa el alimento líquido a través del soporte de modo continuo¹¹⁰.

3.3.5 Enzimas de uso frecuente en tecnología de alimentos. Se encuentran las oxidoreductasas (glucosa oxidasa, catalasa) e hidrolasas (proteasas, amilasas, lactasa, invertasa, enzimas pectinolíticas y lipasa).

a. **Glucosa oxidasa:** “Cataliza la oxidación de la glucosa desprendiéndose agua oxigenada. Se utiliza en alimentos en los que hay propensión a la reacción de Maillard, de manera que eliminando la glucosa se evita esta reacción de pardeamiento no enzimático”¹¹¹.

b. **Catalasa.** “Cataliza la descomposición de agua oxigenada. Se utiliza conjuntamente con la glucosa oxidasa porque el H₂O₂ tiene efectos no deseables sobre el alimento”¹¹².

c. **Amilasas.** “Son las más estudiadas debido a su influencia directa en la degradación del almidón, uno de los productos alimentarios más explotados a nivel mundial”¹¹³. Ocupan cerca de un 25% en el mercado enzimático llegando a sustituir completamente procesos de hidrólisis química en la industria del almidón; esto se debe a una característica esencial dentro de esta familia de proteínas. “La termoestabilidad de esta enzima, industrialmente, ha hecho que las amilasas tengan gran aplicabilidad en diversos procesos”¹¹⁴; además “las amilasas poseen gran importancia en la producción de alimentos y de biocombustibles”¹¹⁵.

Acción y clasificación. “Las amilasas hidrolizan moléculas de almidón dando como productos dextrinas y polímeros compuestos progresivamente por unidades de glucosa”¹¹⁶. “Esta familia de enzimas hidrolíticas esta compuesta por unas proteínas catalíticas: alfa-amilasa, beta-amilasa, glucoamilasa e isoamilasa”¹¹⁷.

“Las α-amilasas (E.C. 3.2.1.1), rompen al azar los enlaces en el interior del sustrato (endoamilasas); se encuentran ampliamente distribuidas en tejidos vegetales, donde juegan un rol muy importante en la degradación del almidón en la germinación de las semillas; en

¹¹⁰ LARRE, Op. cit., p.3

¹¹¹ DURANGO, et al. Op. cit., p.3

¹¹² LARRE, Op. cit., p.5

¹¹³ DURANGO, et al, Op. cit., p.3

¹¹⁴ ASGHER, et al. op. cit., p.950

¹¹⁵ WHITEBURST, R. enzymes in food Technology citado por Castro. Obtención de amilasas fúngicas a partir de *Aspergillus* sp. Aislado de semillas de lentejas. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogota <www.utadeo.edu.co>

¹¹⁶ ASGHER, M. et. al A thermostable α-amylase from a moderately thermophilic *Bacillus subtilis* strain for starch processing. Citados por Durango et al. p.4

¹¹⁷ TRIPATHI, Pallavi, et al. α-amylase of mung bean (*Vigna radiata*) correlation of biochemical properties and tertiary structure by homology modelling. Citados por Durango et al. p.5

tejidos animales, cumpliendo una misión digestiva; y en diversas especies de microorganismos como hongos y bacterias”¹¹⁸.

“Las β -amilasas (E.C. 3.2.1.2) hidrolizan ordenadamente unidades de maltosa a partir de los extremos no reductores del sustrato (exoamilasas)”¹¹⁹. Están presentes en la mayoría de las plantas superiores y ausentes en los mamíferos, su existencia en microorganismos es dudosa. Se han cristalizado β -amilasas a partir de trigo, malta de cebada, patata dulce y soya. “La enzima hidroliza únicamente enlaces glicosídicos a 1-4, con inversión en la configuración del C1 en el glicosido, de la forma α a la forma β ”¹²⁰.

“Las glucoamilasas, liberan unidades de glucosa a partir de los extremos no reductores del sustrato”¹²¹

d. **Invertasas** (E.C 3.2.1.26). “Hidrolizan el residuo terminal no reductor de β -D fructofuranósidos. El principal sustrato es la sacarosa, pero también pueden hidrolizar rafinosa para dar fructosa y melibiosa. La enzima también tiene actividad fructotransferasa”¹²².

“El pH óptimo es 4.5, pero se logra un 80% de actividad en el rango entre 3.5 – 4.5; tienen actividad máxima entre 50-60°C. La invertasa es de gran importancia en la industria de alimentos porque la hidrólisis de la sacarosa forma jarabes más dulces, los monosacáridos formados por la acción de la invertasa son más solubles que la sacarosa y por lo tanto no cristalizan en los jarabes concentrados”¹²³.

e. **Fitasas**. De forma global, la fitasa (mioinositol hexafosfato fosfohidrolasa) es capaz de hidrolizar el ácido fítico, produciendo ortofosfato inorgánico, capaz de ser absorbido por la pared gastro-intestinal del cerdo, además de una serie de esteres fosfóricos del mio-inositol. “Las fitasas microbianas se pueden obtener a partir de numerosas bacterias (*Aerobacter aerogenes*, *Bacillus subtilis*, *Klebsiella aerogenes*, *Escherichia coli* y *Pseudomonas spp.*), levaduras y hongos. Estas fitasas tienen un pH óptimo de actuación a 2.5 y una temperatura óptima de 60°C”¹²⁴.

“Las fitasas vegetales tienen un pH óptimo entre 5 – 5.5 y una temperatura óptima de actuación alrededor de los 50°C. Debido a esta nula actividad en condiciones

¹¹⁸ TRIPATHI, Op. cit., p.3

¹¹⁹ CARRERA, Op. Cit., p.11

¹²⁰ TUCKER Y WOODS. Enzymes in Food Processing. Citados por Carrera, Op. Cit., p. 11

¹²¹ CARRERA, Op. cit., p 11

¹²² CARRERA, Módulos de biotecnología. Citado por Carrera Op. cit., p.12

¹²³ Ibid., p. 12

¹²⁴ QUILES, A y HEVIA, M. Empleo de fitasas en ganado porcino. En: Producción animal. Julio-Agosto 2007. No. 234 p. 14 <www.edicionestecnicasreunidas.com>

de pH bajo, a su rápida degradación tras el proceso térmico y a su enorme variedad cuantitativa en el reino vegetal tienen poca utilidad en la alimentación del cerdo”¹²⁵.

“Las principales enzimas utilizadas en la alimentación de los animales monogástricos son: β -glucanasa, xilanasa, α -amilasa, α -galactosidasa, fitasas, celulasas y proteasas”¹²⁶. (Cuadro 2)

¹²⁵ Ibid., p. 14

¹²⁶ ASOCIACIÓN ARGENTINA CABAÑEROS DE PORCINOS. Actualidad porcina, 2006. p.3 <<http://www.aacporcinos.com.ar>>

Cuadro 2. Enzimas comercializadas en el mercado de las materias primas para dietas animales¹²⁷.

Enzima	Acción	Sustrato	Tipo de alimento	Beneficios
β -Glucanasas	β -glucanos a oligosacáridos y glucosa	Dietas basadas en cebada, avena y centeno	Dietas para aves y cerdos	Reducción de humedad en excrementos por una mejor utilización del alimento
Amilasas	Degradación del almidón de cereales a dextrinas y azúcares	Alto almidón en dietas con cereales	Dietas iniciación cerdos y terneros	Mayor disponibilidad de los cereales en dietas de iniciación
Celulasas	Celulosa a productos con bajo peso molecular y glucosa	Dietas altas en fibra	Forrajes de baja calidad	Mayor disponibilidad de energía
Pentosanas (Xilanasas)	Arabinosilanos a productos con bajo peso molecular y azúcares	Centeno, cebada y trigo	Dietas para cerdos y aves	Mejora la calidad y mayor utilización del alimento
α -galactosidasa	Degrada oligosacáridos y FAN	Soya y otras leguminosas	Dietas para cerdos	Mayor disponibilidad de energía lechones
Fitasas	Incrementa la disponibilidad del fósforo desde ácido fítico	Diferentes dietas	Dietas para cerdos y aves	Reduce la necesidad de fósforo inorgánico
Proteasas	Proteína a péptidos y aminoácidos	Productos del trigo y proteínas de leguminosas	Sustituto de leche de soya o uso de proteínas de soya	Alta digestibilidad de la proteína, menor excreción de nitrógeno
Lipasas	Grasas a ácidos grasos	Grasas animales y vegetales	Dietas para mascotas y pollos de engorde	Mejor digestibilidad y mayor retención de energía

¹²⁷ MEDEL, P. Op. cit.,p.2

“Los suplementos enzimáticos son proteínas sensibles que pueden perder parte de su actividad en el transcurso del almacenamiento, durante el procesamiento de los alimentos o en la degradación ácida o proteolítica de este en el intestino animal; por lo que los resultados que se obtengan al suplementarlas en los alimentos pueden depender de varios factores”¹²⁸.

“Los avances en tecnología de fabricación de alimentos balanceados han dado como resultado un incremento en la temperatura y presión de procesamiento; lo cual genera preocupación sobre la termoestabilidad de ingredientes alimenticios más sensibles al calor, tales como vitaminas, aminoácidos y enzimas; por ello en estos casos las enzimas deben ser agregadas en forma líquida después de la peletización”¹²⁹.

“En conclusión, la utilización de las enzimas a nivel industrial exige estabilidad tanto en el producto puro, como en mezclas posteriores y en el alimento terminado; el método eficaz para la evaluación del funcionamiento de los productos enzimáticos es *in vivo*, administrándolos a la dieta base y midiendo la respuesta en términos de rendimiento”¹³⁰.

¹²⁸ PIQUER, citado por Elizarraraz R. Efecto de la suplementación de enzimas en la dieta para pollo de engorda sobre los parámetros productivos. México, 1999. p.8

¹²⁹ HARKER, citado por Elizarraraz R. Op. cit., p. 9

¹³⁰ Ibid., p. 10

4. CAPITULO II

4.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁCIDO FÍTICO, POLISACÁRIDOS NO AMILÁCEOS Y METABOLITOS SECUNDARIOS PRESENTES EN LAS DIETAS PORCINAS

“Un papel importante que desempeñan las enzimas exógenas es reducir algunos metabolitos secundarios de las dietas de monogástricos; donde se utiliza como componentes mayoritarios los ingredientes de origen vegetal, por lo cual hay que tener en cuenta que la presencia de ácido fítico, los polisacáridos no amiláceos (PNA) y metabolitos secundarios, inhiben la actividad de algunas enzimas digestivas o impiden el acceso de estas a los sustratos, afectando la digestibilidad de los nutrientes y por ende la productividad animal, de ahí la importancia de realizar una descripción a cerca de estos componentes”¹³¹.

4.1.1 Ácido Fítico. El ácido mioinositol hexafosfórico-IP6-, es un compuesto formado por un radical inositol esterificado con seis radicales ortofosfatos. Es un componente esencial de los granos de cereales y leguminosas, y representa a la vez una reserva de fósforo, otros minerales y glúcidos. “El ácido fítico o los fitatos de Na, Mg, K, Ca, Zn, Cu, Fe son hidrolizados por una enzima fosfatasa ácida (fitasa), liberando los ortofosfatos y el inositol”¹³².

El fósforo fítico constituye la porción principal del fósforo total de las semillas de cereales y oleaginosas, representando el 60-80% de este fósforo. La concentración de fósforo fítico depende principalmente de la parte de la planta de donde procede, acumulándose fundamentalmente en la semilla. “Los cereales y sus subproductos contienen grandes cantidades mientras que las harinas oleaginosas y los granos de leguminosas poseen niveles moderados. En el maíz casi el 90% del ácido fítico se encuentra concentrado en el germen”¹³³.

“La molécula del ácido fítico posee un alto contenido en fósforo (28,2%) y sus 6 radicales fosfóricos muestran una fuerte capacidad para quelar varios cationes. Un mol de ácido fítico puede quelar de 3 a 6 moles de calcio formando fitatos insolubles en el pH intestinal. Esta misma capacidad hace que el ácido fítico forme también una amplia variedad de sales insolubles con cationes di- y trivalentes a pH neutro (Zn, Cu, Co, Mn, Fe y Mg), impidiendo que estos minerales

¹³¹ SALVADOR y SOLORIO, Op. cit., p. 2

¹³² BRENES, et al. Las enzimas en nutrición porcina II y III, 2000 p.3 <www.providesasa.com>

¹³³ RAVINDRAN et al., citados por Brenes et al. p.3

puedan ser absorbidos a nivel intestinal. Esta capacidad quelante sólo la manifiestan las formas IP6 o IP5¹³⁴.

“El ácido fítico puede interferir en la digestión de la proteína al afectar la solubilidad de ésta y la de las pepsinas debido a los enlaces iónicos que se forman, a pH ácido, entre el ácido fítico con fuerte carga negativa y la carga positiva de las proteínas. A pH neutro y alcalino, tanto el ácido fítico como la proteína poseen cargas negativas, por lo que se cree que cationes multivalentes como el calcio son necesarios para formar el complejo fitato-proteína¹³⁵.”

“La interacción del ácido fítico no se limita solamente a las proteínas ingeridas con el alimento, sino que también afecta a las enzimas proteolíticas. En condiciones "*In vitro*", se ha observado que este ácido inhibe la actividad de la tripsina, posiblemente al unirse con iones calcio en la molécula de esta enzima, aumentando así la susceptibilidad de su autólisis. El ácido fítico también inhibe la conversión de tripsinógeno en tripsina por un mecanismo similar de quelación del calcio; este ión se considera necesario para la hidrólisis del enlace peptídico que hace que el tripsinógeno se convierta en su forma activa, la tripsina¹³⁶.”

“La digestión del almidón se puede afectar con el ácido fítico por inhibirse la actividad α -amilásica. Este efecto no es de naturaleza competitiva, sino que se produce al unirse a la proteína enzimática y al quelar los iones calcio, necesarios para su normal actividad; sin embargo, puede actuar directamente sobre el almidón, uniéndose a las proteínas que se encuentran ligadas a este polisacárido¹³⁷.”

4.1.2 Polisacáridos no amiláceos (PNA). “Originariamente eran considerados como una parte poco importante en la nutrición de monogástricos; sin embargo existe evidencia de que algunos PNA tienen actividad antinutricional y afectan tanto la energía como la utilización de proteínas, especialmente en los animales jóvenes¹³⁸.”

“Los PNA son azúcares complejos, no digeribles para los monogástricos por falta de enzimas adecuadas, como por ejemplo la alfa-galactosidasa; las formas más frecuentes son los pentosanos y β -glucanos contenidos en los granos de cereales¹³⁹; sin embargo, el

¹³⁴ BRENES, et al. Op.cit., p.3

¹³⁵ Ibid., p. 3

¹³⁶ SZKUDELSKI, citado por Brenes et al. p.3

¹³⁷ YOON et al., citados por Brenes et al. p.5

¹³⁸ SEARS, WALSG Y HOYOS. Enzimas citados por Rebollar, M. p.6

¹³⁹ TORERO Augusto, Las enzimas exógenas: Insumos básicos para la fabricación del alimento balanceado para animales. *En: Artículos Técnicos Engormix*. 2001 p. 1 <www.engormix.com>

término PNA cubre una gran variedad de moléculas de polisacáridos como celulosa, polisacáridos pépticos, mananos y xiloglucanos de los cuales se excluye el α -glucano¹⁴⁰. Además, son numerosos los estudios realizados al papel de la fibra en las dietas de monogástricos debido a que los PNA solubles presentan efectos antinutricionales y por ende su utilización de estos como material alimenticio es limitada¹⁴¹. En cuanto a los xilanos y glucanos, aunque no inhiben la acción de ninguna enzima ni son tóxicos, si impiden la digestión de proteína, y energía, principalmente¹⁴².

“Algunos de los componentes de la pared celular vegetal ejercen encapsulación de nutrientes que habitualmente son muy digestibles (almidón, grasas o proteínas), afectando su digestión¹⁴³. Cereales viscosos como el trigo y el centeno, contienen un alto porcentaje de polisacáridos no amiláceos solubles mayormente β -glucanos, xilanos y arabinosilanos en la pared celular del endosperma. Estos compuestos no son modificados de manera considerable en el tracto digestivo de los monogástricos, perjudica la disponibilidad de los nutrientes, causa demoras en la tasa de paso de la ingesta resultando en una colonización mayor de microorganismos los cuales predisponen a los animales a enfermedades¹⁴⁴ además, aumenta la viscosidad intestinal que reduce la digestión de nutrientes y su absorción, y aumenta el consumo de agua, traduciéndose en un aumento de la humedad de las excreciones¹⁴⁵.”

“El cerdo no es capaz de liberar la energía que originan los PNA, ya que este complejo de carbohidratos es resistente a las enzimas endógenas; sin embargo las enzimas microbianas añadidas a la dieta son eficaces contra el crecimiento de algunos componentes deprimentes como el β -glucano. “Otro aspecto a destacar es que la microflora intestinal fermenta los PNA, generando ácidos grasos volátiles y gases en el tracto intestinal del animal, lo que provoca alteraciones digestivas además de perder la posibilidad de aprovechar dichos azúcares como energía¹⁴⁶; por el contrario, la presencia en la ración de otros PNA insolubles, almidón resistente o lactosa contribuye a facilitar el tránsito digestivo, y mediante su fermentación permite reducir la fermentación de proteína;

¹⁴⁰ CHOCT. Citado por Ortiz. Utilización de alternativas naturales a los antibióticos promotores del crecimiento en la salud intestinal y parámetros productivos de pollos broilers. Quillota, Mayo 2004. p.9 <http://uev.altavoz.net/prontus_unidadad/site/artic/20061215/asocfile/20061215104649/ortiz_perla.pdf>

¹⁴¹ CARRÉ. Citado por Ortiz. Op. cit., p.6

¹⁴² CROMWELL et al., y YI et al., citados por Salvador y Solorio. Op. cit., p.2

¹⁴³ TOREIRO, Op. Cit., p.2

¹⁴⁴ BRUFAU, Joaquim. La Prohibición de la Comunidad Económica Europea del Uso de Antibióticos como Promotores de Crecimiento y sus Consecuencias. En: Alternativas Potenciales. España, 2001. p.3 <www.saf-agri.com/spanish/INFORTEC/queretaro13.htm>

¹⁴⁵ MARCUS. K. Nutrición y calidad de la cama. Aviagen. <<http://www.aviagen.com>>

¹⁴⁶ TOREIRO, Op. cit., p.2

incrementando la concentración de ácidos grasos volátiles y reduciendo el número de enterobacterias en la digesta”¹⁴⁷.

4.1.3 Metabolitos secundarios. Los efectos antinutricionales de las sustancias naturales no fibrosas generadas por el metabolismo secundario de las plantas, como mecanismo de defensa ante el ataque de mohos, bacterias, insectos y pájaros, o en algunos casos, productos del metabolismo de las plantas sometidas a condiciones de estrés y que al estar contenidos en ingredientes utilizados en la alimentación de animales ejercen efectos contrarios a su óptima nutrición, reduciendo el consumo e impidiendo la digestión, la absorción y la utilización de nutrientes por el animal, “se conocen como metabolitos secundarios y su naturaleza, mecanismos de acción y potencia de sus efectos son muy variados y tienen una amplia distribución en el reino vegetal”¹⁴⁸.

“La acción de los metabolitos secundarios no sólo consiste en interferir con el aprovechamiento de los nutrientes sino que en varios casos promueve pérdidas importantes de proteína endógena y en algunos casos produce daños al organismo del animal que los consume”¹⁴⁹. “En efecto, son factores antinutritivos porque el cerdo nunca tendrá actividad enzimática para digerirlos, aunque tenga un sistema digestivo completamente maduro, y serán sustrato de fermentaciones microbianas indeseables causantes de problemas digestivos, gases, reducción de la digestibilidad de nutrientes y de la absorción de la proteína, aumento fecal de la excreción de nitrógeno, y abundantes heces blandas”¹⁵⁰.

La biotecnología tiene el potencial de mejorar la digestibilidad en animales monogástricos, particularmente para eliminar tales factores que interfieren con la digestión o la absorción. Los metabolitos secundarios constituyen un reto para los investigadores encargados de desarrollo enzimático ya que consiste en una preparación para dietas maíz-soya. “La soya contiene muchos inhibidores de tripsina, quimotripsina, oligosacáridos y galactomananos del grupo de la rafinosa. Se ha logrado éxito con complejos enzimáticos que contienen galactomanosa, alfa-galactosidasa e invertasa para desdoblar esta porción de metabolitos, generando la liberación de valores adicionales de energía para el animal”¹⁵¹.

“Algunos ejemplos de estos compuestos son: taninos, inhibidores de tripsina, lecitinas, polisacáridos no amiláceos y oligosacáridos específicos”¹⁵². “La suplementación de proteasas ayuda a destruir a los inhibidores de tripsina y el

¹⁴⁷ PEREZ, Jose. Op. cit., p.3

¹⁴⁸ CASSO Y MONTERO, Factores antinutricionales en la alimentación de animales monogástricos, 2000. p.2 <<http://www.sian.info.ve>>

¹⁴⁹ Ibid., p.3

¹⁵⁰ RUEDA, Vicenta. Aditivos en porcino. Universidad Santiago de Compostela, 2000. p.4 <<http://www.3tres3.com>>

¹⁵¹ Torero, Op. cit.

¹⁵² CASSO Y MONTERO, Op. cit. p.5

contenido de lectinas en las leguminosas; con lo cual se mejora la digestibilidad de la proteína y en general su valor nutricional”¹⁵³.

Dentro de las perspectivas de trabajo con los metabolitos secundarios, la predominancia de los sistemas intensivos pecuarios en países donde la producción de los ingredientes de la alimentación convencional es insuficiente y por ello deben importarse en grandes volúmenes, justifica la perspectiva de continuar y ampliar los trabajos científicos y tecnológicos tendientes a la expansión y diversificación de la plataforma de materias primas de alimentos para animales, a fin de sostener los niveles productivos de dichos sistemas y eventualmente, disminuir su dependencia actual se conocen como metabolitos secundarios. “En esta perspectiva, los trabajos con recursos de potencial nutricional disponibles a nivel local están fuertemente enfocados al estudio y tratamiento de los compuestos secundarios debido a sus efectos antinutricionales”¹⁵⁴.

“Los problemas relativos al conocimiento de estos compuestos, que persisten como tales para la incorporación de nuevos ingredientes y su generalización tecnológica son: insuficiencias en el conocimiento de las vías de acción de aquellos sobre los animales de interés, dificultad para su detección con métodos asequibles y económicos, insuficiencias en los métodos analíticos y falta de estandarización de los mismos y de las unidades para la medición de los metabolitos secundarios y los actuales métodos de detoxificación frecuentemente resultan insuficientes ante la variabilidad en la presencia y contenido en un ingrediente”¹⁵⁵.

“La adición de enzimas en la alimentación de los animales permite el desglose de estos factores antinutricionales y, por tanto, más rápida y más completa digestión de los alimentos, para mejorar el valor nutritivo”¹⁵⁶.

“Ante lo anterior se han propuesto líneas de trabajo que además de superar esas insuficiencias, se enfoquen a la identificación de niveles umbrales de acción de los metabolitos secundarios en los animales de interés (particularmente en el cerdo como el modelo animal más similar al humano), así como hacia procesos de detoxificación que incluyan el mejoramiento genético, los procesos biotecnológicos y la utilización de enzimas”¹⁵⁷.

¹⁵³ GHAZI et al, citados por Elizarraraz R. p.12

¹⁵⁴ Ibid., p.6

¹⁵⁵ CASSO y MONTERO. Op.cit., p.5

¹⁵⁶ DSM Nutritional Products. Feed enzymes. 2007 p.1 <<http://www.dsm.com>>

¹⁵⁷ Ibid.. p.2

5. CAPITULO III

5.1 GENERALIDADES SOBRE LA TRANSICION FISIOLÓGICA DE LECHONES EN LA ETAPA POSTDESTETE

“Las condiciones productivas actuales se dirigen hacia una precocidad en el destete, donde los principales objetivos que se persiguen son: la obtención de un mayor número de lechones por cerda/año, menor pérdida de peso de la cerda, es decir, mejor condición de la cerda para empezar la nueva gestación y mejor potencial de crecimiento en el lechón tras el destete, siempre y cuando éste vaya acompañado de una correcta alimentación”¹⁵⁸.

“Cuando los lechones son apartados de su madre con muy pocas semanas de vida estos tienen que adaptarse, tanto física como fisiológicamente, al nuevo medio y a la nueva dieta”¹⁵⁹, el destete es una fase crítica para el lechón ya que se enfrenta a diferentes fuentes de estrés; sin embargo, probablemente el principal reto sea el nutricional, ya que el lechón pasa de la alimentación líquida rica en nutrientes altamente digestibles y adecuados a sus requerimientos, a una dieta sólida con nuevas materias primas y nuevos nutrientes”¹⁶⁰.

5.1.1 Cambios morfológicos en el sistema digestivo. Para el diseño de dietas en lechones, la comprensión de la evolución del sistema digestivo es un aspecto de gran importancia. “A continuación se presentan los diferentes factores asociados con los cambios en la estructura intestinal que ocurren al destete y el efecto potencial de diversos factores nutricionales sobre la salud intestinal y el crecimiento de cerdos destetados”¹⁶¹.

“En condiciones naturales el intestino delgado del lechón experimenta cambios morfológicos y fisiológicos importantes durante las 24 horas tras el destete, ya que el sistema digestivo se adapta progresivamente a cantidades superiores de alimento sólido, con una concentración mayor de proteína vegetal y niveles menores de leche”¹⁶², originando modificaciones en las secreciones digestivas y en la estructura de la mucosa intestinal reduciéndose la altura de las

¹⁵⁸ GUTIÉRREZ, Angela. Nutrición del lechón destetado. IV Jornadas Técnicas de Porcino NANTA. Holanda, 2003. p.2<www.nanta.es>

¹⁵⁹ Ibid., p.3

¹⁶⁰ MORILLO, et.,al. Suplementación enzimática en dietas para lechones. En: Congreso Anual Internacional de la American Society of Animal Science. EEUU, 2003. p.8 <www.myaenzimas.com/articulos/suplementacion_2003.pdf>

¹⁶¹ ALLEE y TOUCHETTE. Efectos de la nutrición sobre la salud intestinal y el crecimiento de lechones. XV curso de especialización. Avances en nutrición y alimentación animal. FEDNA, 2000. p.10 <www.etsia.upm.es>

¹⁶² AGUILERA, et al. Desarrollo del aparato digestivo de lechones destetados alimentados con subproductos lácteos. Universidad Autónoma de Querétaro, 2006 p.1 <<http://www.cio.mx>>

vellosidades”¹⁶³, hasta en un 63%”¹⁶⁴, hiperplasia de las criptas intestinales, reducción de la actividad específica de algunas enzimas y la reducción de la capacidad de absorción”¹⁶⁵.

“Hay numerosos estudios que han evaluado la morfología intestinal de lechones lactantes en las primeras 4-5 semanas de edad, donde se reporta que las vellosidades son mucho más largas durante la lactancia que después del destete y las criptas no son generalmente tan profundas. Esto sugiere que hay un buen balance entre la descamación de las células del extremo de las vellosidades y la hiperplasia de las células de la cripta, lo que implica una relación óptima entre longitud de las vellosidades y profundidad de las criptas durante la lactancia”¹⁶⁶. Investigaciones realizadas en función de este cambio morfológico, hay resultados contradictorios; por cuanto no se observó efectos en dietas con pasta de soya intacta o hidrolizada”¹⁶⁷, dietas con plasma porcino”¹⁶⁸, concentrado de proteína de soya, leche en polvo y harina de pescado”¹⁶⁹. Por otro lado, animales alimentados con caseína mostraron vellosidades más desarrolladas”¹⁷⁰, así mismo, la inclusión de leche en polvo mostró un efecto positivo, probablemente por la alta digestibilidad ileal de sus proteínas o por los componentes de la leche que son favorables a la preservación del epitelio intestinal”¹⁷¹.

“Después del destete, el bajo consumo disminuye el vaciado gástrico y el tránsito digestivo en intestino delgado y por esto, el reducido aporte de nutrientes en el tubo digestivo produce también un descenso en la altura de las vellosidades”¹⁷², aunado al cambio morfológico de la mucosa intestinal debido al nuevo ambiente nutricional que se establece en su interior”¹⁷³. En consecuencia, la anorexia post-destete conlleva una atrofia de las vellosidades intestinales; cuando el lechón empieza la ingesta del alimento, el problema, lejos de resolverse, se agrava; el intestino delgado del lactante no tiene capacidad enzimática para la digestión de ingredientes de origen vegetal, sobre todo por su

¹⁶³ PLUSKE et al., citados por Chapinal et al. Bienestar del lechón en la fase de lactación, destete y transición, 2007. p.6 <<http://www.avancesentecnologiaporcina.com>>

¹⁶⁴ ROPPA, Luciano. Nutrición de los lechones en la fase del destete. 2002. p 2 <www.vetefarm.com>

¹⁶⁵ PLUSKE et al, op. cit., p. 6

¹⁶⁶ ALLEE y TOUCHETTE, Op. cit., p3

¹⁶⁷ SPREEUWENBERG, et al., citados por SOUZA et al. Morfología del tracto digestivo de lechones alimentados con dietas con aislado o concentrado de proteínas de soya. En: Archivos Latinoamericanos de Producción Animal. Universidad Autónoma de Querétaro. 2007 p.138 <<http://www.alpa.org.ve>>

¹⁶⁸ JIANG et al., citados por SOUZA et al., p138

¹⁶⁹ MAKKINK et al., citados por SOUZA et al., p138

¹⁷⁰ DUNSFORD et al., citados por SOUZA et al p 138

¹⁷¹ SPREEUWENBERG, et al., citados por SOUZA et al. p138

¹⁷² PEREZ, José. Adaptación digestiva del lechón recién destetado. España. 2008 p. 1 <<http://www.3tres3.com>>

¹⁷³ DE SOUZA, et al. Efecto de diferentes cereales sobre la morfología intestinal de lechones recién destetados. Técnica Pecuaria México 2005 43(3) p. 310 <<http://www.tecnicapecuaria.org.mx>>

contenido en carbohidratos complejos”¹⁷⁴. Por lo anterior, es importante tener en cuenta que el periodo de recuperación del crecimiento de las vellosidades puede durar hasta la quinta semana postdestete dependiendo de la composición de la dieta”¹⁷⁵.

“Es fundamental, conocer que a lo largo de estómago y del intestino delgado se producen simultáneamente los dos tipos de digestión, la enzimática que es predominante, y la microbiana que es minoritaria”¹⁷⁶. “Sin embargo, en el tramo distal del intestino delgado la cantidad de amilasa endógena presente disminuye drásticamente, mientras que la actividad enzimática microbiana se incrementa, incluidas proteasas bacterianas que hidrolizarán la amilasa pancreática en ciego y colon”¹⁷⁷.

“La producción de jugo pancreático en un lechón es prácticamente constante durante la lactancia, pero disminuye al destete debido a la caída de consumo de alimentos. Por esto, si estimulamos el consumo inmediatamente después del destete, contribuiremos para una mayor producción de las enzimas digestivas del páncreas”¹⁷⁸.

5.1.2 Importancia del consumo de alimento. “El consumo de alimento es extremadamente importante desde el punto de vista de la salud intestinal, ya que este conduce a un mayor crecimiento de la mucosa, mientras que en los períodos de consumo reducido, como ocurre después del destete, la mucosa se atrofia”¹⁷⁹.

5.1.3 Destete a una dieta seca. Es crítico que los lechones empiecen a consumir pienso seco después del destete tan pronto como sea posible; por tanto cualquier producto que mejore la digestión de alimento después del destete puede mejorar indirectamente la morfología intestinal. “Por el contrario, cualquier producto incluido en esta dieta que reduzca el consumo puede resultar indirectamente en un deterioro adicional del intestino y en un retraso de la fase de recuperación”¹⁸⁰.

Existen referencias de que la harina de soja es uno de los principales ingredientes de la dieta de lechones que puede causar un aumento de la atrofia de las vellosidades. “Se cree que proteínas inmunológicamente activas de la harina de soja, tales como la glicinina y β -conglucina, son responsables de las reacciones de hipersensibilidad que causan la atrofia de las vellosidades”¹⁸¹.

¹⁷⁴ MARTINEZ, Daniel. Adaptación digestiva del lechón destetado. España. 2008 p. 1 <<http://www.3tres3.com>>

¹⁷⁵ SOUZA et al. Op. cit., p 138

¹⁷⁶ MARTÍNEZ, Daniel. Implicaciones digestivas y metabólicas del consumo de almidón resistente en el cerdo 2006 p. 51 <www.tdr.cesca.es/pdf>

¹⁷⁷ MORALES, Joaquín. Efecto de la fermentación microbiana en el intestino grueso sobre la digestión, absorción y utilización de nutrientes: comparación entre el cerdo Landrace y el Ibérico. Tesis. Universidad Autónoma de Barcelona. 2002. p. 20 <<http://www.tesisxarxa.net>>

¹⁷⁸ ROPPA, Op. cit. p2

¹⁷⁹ DIAMOND Y KAROSOV. Citados por Allee y Touchette. Op. cit., p.2

¹⁸⁰ ALLEE y TOUCHETTE, Op. cit., p. 3

¹⁸¹ Ibid., p. 4

Investigaciones determinaron que el suministro de una dieta con harina de soja como única fuente de proteína o de dietas maíz-soja resultaban en una disminución en la altura de las vellosidades en la sección media del intestino delgado con respecto a dietas en las que la caseína era la única fuente de proteína. “También observaron un aumento en la profundidad de las criptas en todas las zonas del intestino delgado muestreadas (25, 50 y 75% de la longitud total) en los lechones alimentados con la dieta de harina de soja con respecto a los que recibían las dietas maíz-soja o caseína”¹⁸².

Estos resultados sugieren que la harina de soja causa más daño al intestino delgado después del destete y que retrasa la recuperación de la estructura óptima de la mucosa. “Sin embargo, el daño producido no parece ser de larga duración ya que los lechones alimentados con harina de soja muestran resultados similares a los que reciben otra fuente de proteína cuando se consideran el conjunto del período post-destete”¹⁸³.

“En contraste, investigaciones no mostraron ningún efecto de la harina de soja sobre la morfología del intestino delgado en comparación con concentrados de proteína de soja como con leche descremada en polvo”¹⁸⁴.

El uso de ración mojada después del destete aparentemente mejora el funcionamiento y la integridad del aparato digestivo, por proporcionar condiciones adecuadas a la acción de las enzimas digestivas y por reducir las alteraciones en las vellosidades intestinales. El mejor efecto de la ración ofrecida húmeda, se verifica en los lechones más débiles al destete, pues poseen un sistema digestivo menos desarrollado. “Si fueran criados con raciones secas, tendrían mucha dificultad en hacer la digestión y podrán pesar 16% menos que aquellos que reciben raciones húmedas”¹⁸⁵.

5.1.4 Destete a una dieta líquida. El efecto de la mejora del consumo por el suministro de un reemplazante líquido sobre la ganancia de peso y la morfología intestinal ha sido evaluado. Existen diferencias entre ellos en cuanto a los cambios en la longitud de las vellosidades; observándose un aumento de este parámetro en lechones alimentados con un reemplazante líquido con respecto a lechones recién destetados o los que permanecían con la madre. Donde se concluye que al mantener un alto nivel de consumo por el suministro de un reemplazante lácteo suplementario inmediatamente después del destete, puede reducirse considerablemente la atrofia de las vellosidades asociada con el cambio a una dieta seca. Sin embargo, estos trabajos también sugieren que aún en estos casos puede existir un cierto grado de atrofia de las vellosidades. “Esto podría deberse

¹⁸² DUNSFORD et al., citados por Allee y Touchette. Op. cit., p.3

¹⁸³ Ibid., p. 4

¹⁸⁴ MAKKINK et al., citados por Allee y Touchette. Op. cit., p.4

¹⁸⁵ ROPPA, Luciano. Op. cit p. 3

bien al período de adaptación a la dieta líquida o bien al estrés que supone para los lechones la separación de su madre y el cambio de alojamiento”¹⁸⁶.

En estos últimos años ha habido un gran interés por el uso de nuevos productos en la alimentación de los cerdos, tales como los probióticos y las enzimas. Las enzimas muestran un potencial para mejorar la digestibilidad de la ración. Pero el uso de estas nuevas técnicas tiene su aplicación limitada en las raciones servidas bajo la forma seca, porque ellas no proporcionan un ambiente adecuado para los probióticos y en ellos las enzimas no tienen oportunidad de actuar de mejor forma sobre el sustrato. El medio líquido proporciona mejores condiciones para la acción biológica de los probióticos y de las enzimas. “Sabemos que las raciones líquidas desarrollan con mayor facilidad los procesos indeseables de fermentación y el desafío actual es el de aprender a controlar estos procesos, para permitir el desarrollo de esta técnica, que mucho contribuirá para una mejor producción de cerdos”¹⁸⁷.

A continuación se mencionan los condicionantes fisiológicos de los destetes precoces, particularidades a tener en cuenta para el diseño de las dietas post-destete:

5.1.5 Regulación térmica y necesidades energéticas. El lechón al destete no dispone de un mecanismo eficaz para su termorregulación, debido al escaso espesor de su tejido adiposo subcutáneo, la delgadez de su piel y la escasez de pelos. “Este hecho, junto lo limitado de la ingesta en los primeros días post-destete con relación a sus altas necesidades basales, provoca un déficit energético que debe corregirse mediante el manejo y el suministro de un pienso palatable rico en nutrientes asimilables”¹⁸⁸.

5.1.6 Capacidad de ingestión. La capacidad de ingestión es muy limitada en los primeros días post-destete, siendo frecuente la pérdida de peso en este período, el factor clave que limita la capacidad de ingesta es la digestibilidad del pienso; por ello se deben adoptar estrategias que contribuyan a aumentar el consumo, tales como la utilización de aromas, edulcorantes y otros aditivos, de eficacia cuestionada en algunos trabajos y demostrada en otros”¹⁸⁹.

5.1.7 Capacidad de acidificación. La acidificación gástrica es fundamental para la activación del sistema pepsinógeno/pepsina, responsable de la degradación primaria de la proteína alimentaria (el pepsinógeno se activa a pH = 2) y para el correcto control de la flora intestinal. Normalmente, la acidificación gástrica queda asegurada con la producción de HCl estomacal; sin embargo, aunque los lechones

¹⁸⁶ Ibid., p. 4

¹⁸⁷ ROPPA, Op. cit., p.3

¹⁸⁸ MENDEL, P., LA TORRE, M. Y MATEOS G. Nutrición y alimentación de lechones destetados precozmente. En: curso de especialización Avances en nutrición y alimentación animal. FEDNA. Madrid, 2003. p.6 <www.etsia.upm.es>

¹⁸⁹ VÁZQUEZ, et al. Peso de órganos digestivos de lechones destetados alimentados con diferentes fuentes de proteína. En: Memorias del VIII Verano de la Ciencia de la Región Centro. Universidad Autónoma de Querétaro. México. 2000 p.1 <<http://www.uaq.mx>>

poseen la capacidad de producirlo, no lo hacen en cantidades importantes hasta pasadas varias semanas de vida. Esto no supone ningún problema pues, durante la lactación, el pH del estómago del lechón se mantiene bajo gracias a la producción de ácido láctico a partir de la fermentación microbiana de la lactosa.

“Ahora bien, si el lechón no tuviera acceso a la lactosa, el pH estomacal podría subir y producir un descenso en la eficacia digestiva a la vez que se permitiría el paso de patógenos al intestino delgado”¹⁹⁰.

De acuerdo a investigaciones, existen dos estrategias principales para reducir el pH gástrico en lechones. En primer lugar, la lactosa incluida en la dieta no sólo es mejor digerida por la alta actividad de la lactasa, sino que también es un sustrato para los lactobacilos, lo que reduce el pH como resultado de los productos de la fermentación. “En segundo lugar, acidificantes tales como el ácido cítrico, fumárico, fórmico y propiónico pueden añadirse a la dieta de lechones”¹⁹¹.

5.1.8 Desarrollo del sistema enzimático. “El lechón neonato, tiene todo su pool enzimático digestivo para utilizar eficientemente las secreciones calostrales y la leche materna”¹⁹²; incluso durante la gestación, concretamente algunas semanas anteriores al parto, el cuerpo del lechón, todavía feto, empieza a producir cantidades apreciables de lactasa y otras enzimas específicas necesarias para la digestión de la leche. “En el momento del parto, tanto la actividad de la peptidasa como la de la lactasa son altas, mientras que la actividad de la sucrasa, la maltasa incrementará post-parto”¹⁹³.

“En el estómago del lechón se segregan, fundamentalmente las enzimas proteolíticas y la lipasa pancreática; las enzimas proteolíticas del estómago son secretadas por las células de la mucosa de las glándulas gástricas de las regiones fúndicas y pilóricas, estimulando dicha liberación la histamina y la acetilcolina. Todas las proteasas gástricas son liberadas como zimógenos, necesitando de iones H⁺ para convertirse en enzimas”¹⁹⁴. Las principales proteasas de la mucosa gástrica del lechón son: pepsina A y B, gastricsina o pepsina C y quimosina. De todas ellas la quimosina es la que tiene un mayor protagonismo en los primeros días de vida del lechón ya que es una enzima de coagulación láctea pero con escasa acción proteolítica, lo que permite que las inmunoglobulinas y factores de crecimiento presentes en el calostro

¹⁹⁰ GUTIÉRREZ, Op. cit., p.6

¹⁹¹ ALLEE y TOUCHETTE, Op. cit., p.4

¹⁹² SISIB. Algunas consideraciones fisiológicas del cerdo lactante y su significación productiva en relación al destete. 2000. p.9
<<http://www.monografiasveterinaria.uchile.cl>>

¹⁹³ SANGILD et al., citados por Gutiérrez. Op. cit., p.7

¹⁹⁴ QUILES y HEVIA. Fisiología del sistema enzimático del lechón. Universidad de Mursia, 2003. p.3.
<<http://www.edicionestecnicasreunidas.com>>

pasen sin ser digeridos al intestino delgado en las primeras horas de vida”¹⁹⁵.

Hasta el momento del destete la actividad proteolítica general de la mucosa gástrica es baja, a excepción de la quimosina, por lo que la digestión de las proteínas en el estómago también es baja”¹⁹⁶. Ahora bien, después del destete hay un aumento continuado de las concentraciones, principalmente, de pepsinógeno A y gastricsina. Este aumento en la secreción de estas proteasas no solo está influenciado por la edad del lechón sino también por la ingesta de alimento sólido antes y después del destete”¹⁹⁷. De tal forma que los lechones que reciben alimentación sólida durante la lactancia presentan una mayor actividad enzimática proteolítica en el momento del destete con respecto a aquellos lechones que sólo han consumido leche materna.

El páncreas está constituido por una parte exocrina encargada de la síntesis de las enzimas pancreáticas. La respuesta enzimática del páncreas está determinada por la presencia de ácidos grasos, aminoácidos, peptonas y ácido en el intestino delgado; en el caso de los lechones también intervienen otros factores que estimulan la actividad enzimática del páncreas como son la enterostatina y la pancreastatina “El páncreas produce cuatro tipos de enzimas: carbohidrasas (α -amilasa y quitinasa), proteasas (endopeptidasas: tripsina, quimotripsina, elastasa pancreática, elastasas I y II y proteasa E y exopeptidasas: carboxipeptidasas A y B), lipasas (triaglicerol lipasa, carboxicolesterasa, fosfolipasa A, esterol esterasa y colipasa) y nucleasas (ribonucleasa pancreática)”¹⁹⁸.

“La capacidad del lechón para digerir almidón, es nula tras el parto pero aumenta con la edad”¹⁹⁹; hasta los 21-28 días de edad su sistema digestivo no produce cantidades apreciables de lipasas, amilasas y otros enzimas que degradan los nutrientes contenidos en materias primas de origen vegetal; el desarrollo no es completo hasta las 8 semanas”²⁰⁰. Esta reducida capacidad de digestión puede provocar la llegada de cantidades importantes de proteína sin digerir al intestino grueso, las cuales son susceptibles de ser fermentadas y de inducir procesos diarreicos”²⁰¹. El almidón de las dietas debe ser completamente despolimerizado a glucosa para que pueda ser absorbido en intestino delgado; esta despolimerización es llevada a cabo por enzimas como las α -amilasas salivares y pancreáticas (no rompen enlaces al azar), cuya relación entre la secreción es de

¹⁹⁵ Ibid., p. 3

¹⁹⁶ SANGILD, et al. Effect of fluid ingestion on gastrin secretion in the fetal pig. *Reproduction in Domestic Animals*, 1993. p. 150.

¹⁹⁷ QUILES y HEVIA. Op. cit., p.3

¹⁹⁸ ERLANSON et al. Pancreatic procolipase activation peptide-enterostatin-inhibits pancreatic enzyme secretion in the pig. p. 410. 1991.

¹⁹⁹ SWING et al., citados por Gutiérrez

²⁰⁰ CUNNINGHAM, citado por Mendel, P., Latorre, M. y Mateos G., Op. cit., p.2

²⁰¹ DAPOZA, Carlos. Alimentación nitrogenada del lechón. Madrid, 2002. p.1 <www.prodivesa.com>

1:250.000”²⁰², no obstante su actuación es significativa, ya que se considera que estas enzimas contribuyen en un 15% al total de la digestión del almidón”²⁰³. En estómago, el reducido pH inactiva la α -amilasa, y no es hasta el duodeno en donde el pH del contenido digestivo se neutraliza y donde las enzimas pancreáticas y de la mucosa pueden actuar”²⁰⁴.

➤ **Digestión de carbohidratos.** La primera enzima encontrada en la degradación del alimento ingerido es la α -amilasa, secretada por las glándulas salivales submaxilar y sublingual. La digestión enzimática del almidón continúa durante su tránsito y residencia en la región esofágica del estómago, hasta su mezclado con el HCl, contenido en el jugo gástrico, que reduce el pH con lo cual se limita la actividad de la α -amilasa. “El sitio principal para la digestión de los carbohidratos de almacenamiento en los cerdos, es el intestino delgado; luego el pH de la digesta gástrica, fluyendo al duodeno, es gradualmente aumentado hasta un nivel adecuado para la actividad de la carbohidrasa de secreción alcalina del jugo pancreático, la bilis y los productos de las glándulas de Brunner”²⁰⁵.

La hidrólisis del almidón continúa, como resultado de la secreción de α -amilasa por el páncreas. La acción de la amilasa pancreática en el cerdo, difiere de la salival por su desigual acción sobre los enlaces susceptibles al inicio de la hidrólisis, produciendo relativamente mayor cantidad de azúcares reductores (especialmente maltosa), comparada con los productos de largas cadenas. “La amilasa pancreática es producida en grandes cantidades, generalmente siendo suficiente para hidrolizar de 5-10 veces la cantidad de sustrato consumido por el cerdo; esto es, en contraste con los bajos niveles de α -amilasa de la saliva”²⁰⁶.

“Un grupo de carbohidrasas son maltasas, lactasa y trehalasa, aunque los sustratos primarios de las maltasas son los productos finales de la digestión de la α -amilasa del almidón, ellas también hidrolizan otros sustratos como: maltasa Ia (Isomaltasa) ataca isomaltosa y dextrinas limitantes, maltasa Ib (sucrasa) degrada sucrosa, maltasa II (glucoamilasa) y maltasa III hidrolizan maltodextrosa, almidón, isomaltosa, dextrinas limitantes, tiranosa y maltosucrosa”²⁰⁷.

“La lactasa, parecida a la maltasa tiene múltiples actividades, además de lactosa, puede también hidrolizar celobiosa y gentibiosa a un pH de 6.0; entonces la lactasa tiene tanto acciones β -glucosidasas como β -galactosidasas. La trehalasa

²⁰² LOW Y LONGLAND. 1990 citados por Martínez. Implicaciones digestivas y metabólicas del consumo de almidón resistente en el cerdo Tesis. Universidad Autónoma de Barcelona. 2006. p. 35

²⁰³ BJORCK. citado por Martínez., Op.cit., p. 35

²⁰⁴ MARTINEZ, Op. cit., p.3

²⁰⁵ CETINA, Rubén. Digestión Enzimática. 44 [diapositivas] Universidad Autónoma de Yucatán. México, 2000 <www.uady.mx>

²⁰⁶ Ibid., p.35

²⁰⁷ SISIB. Sistema digestivo. Chile, 2001. p 8 <www.mazinger.sisib.uchile.cl>

es específica para α -1 trehalosa con un pH óptimo de 6.0 hidrolizándola en dos moléculas de α -glucosa²⁰⁸.

“Parte del almidón o azúcares resisten a la digestión enzimática, sin embargo los carbohidratos que alcanzan el tracto digestivo posterior (30-50%) son fermentables y su velocidad de degradación puede variar considerablemente²⁰⁹.”

➤ **Digestión de lípidos.** La grasa en la dieta está constituida predominantemente de triglicéridos con algo de fosfolípidos, esteroides y ésteres de esteroles. La lipasa pancreática secretada en el lumen del intestino delgado inicia la digestión de triglicéridos. “Para una mejor actividad de la lipasa, se requiere que la enzima se complemente con las sales biliares y el cofactor co-lipasa donde el complejo queda como una interfase lípido-acuosa que es enzimáticamente activo²¹⁰.”

La lipasa actúa sobre los ésteres de alcohol primario y por lo tanto hidroliza grupos éster en las posiciones 1 y 3 del glicerol (en la mitad), produciendo 1,2-diglicérido y luego 2-monoglicéridos y ácidos grasos libres. Esas dos reacciones son reversibles, así que hay un constante cambio de ácidos grasos en las posiciones 1-3 durante la hidrólisis. La enzima podría hidrolizar 1-monoglicéridos si son disueltos en la fase lípida. “Si están en solución micelar (mezcla de monoglicéridos, ácidos grasos libres y sales biliares), serían degradados por la colesteroles esterasa hasta la completa hidrólisis produciendo glicerol y ácidos grasos libres, siendo esta una reacción irreversible²¹¹.”

“La fosfolipasa pancreática hidroliza los fosfolípidos de la dieta, al remover los ácidos grasos en la posición 2 del glicerol, produciendo lisolecitina. La mucosa intestinal secreta fosfatasa alcalina, la cual puede hidrolizar lisolecitina posteriormente, pero se sabe que la lisolecitina es absorbida directamente por la mucosa²¹².”

“Por cuanto a la utilización de fuentes de grasa de origen vegetal y animal ésta se ve afectada, pues las grasas complejas forman en el sistema digestivo gotas grandes con un área de superficie mínima para el ataque enzimático; en cambio la grasa de la leche, son pequeñas gotas recubiertas por una lipoproteína que permite una adecuada digestión enzimática²¹³.”

5.1.9 Factores dietéticos relacionados con la adaptación digestiva. Puesto que los músculos y otros tejidos proteicos se desarrollan rápidamente en los

²⁰⁸ CETINA, Op.cit., p. 36

²⁰⁹ PEREZ, J. y GASA, J. Nutrición y patología digestiva en porcino. En: XVIII curso de especialización FEDNA. Barcelona. 2002. p.60 <http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/2002CAP_IV.pdf>

²¹⁰ CETINA Op. cit., p.38

²¹¹ Ibid., p.39

²¹² Ibid., p.40

²¹³ CAMPABADAL, Carlos y NAVARRO, Hector. Alimentación del lechón al destete. Centro de Investigaciones en Nutrición Animal. México, 1996 p.3 <<http://www.soyamex.com.mx>>

cerdos jóvenes, y la ingesta de alimentos es baja, los requerimientos de aminoácidos y proteínas de un cerdo destetado son altos. “Debido a los cambios fisiológicos que el cerdo recién destetado experimenta, las fuentes proteicas introducidas en dietas post-destete deben cumplir una serie de requisitos mínimos de nutrición y seguridad; dichas proteínas pueden ser de origen vegetal (semillas oleaginosas) y/o animal (pescado, suero)”²¹⁴.

Las proteínas de los granos no son de fácil digestión para el lechón; los productos de semillas oleaginosas contienen factores antinutricionales y proteínas que son antígenos del recubrimiento intestinal del animal. “Los primeros reducen la capacidad de digestión mientras que las segundas producen una respuesta alérgica y una disminución en el rendimiento; un adecuado procesamiento de la misma destruye los factores antinutricionales y mejora las tasas de crecimiento y el consumo de los animales”²¹⁵.

“La viscosidad de la dieta provocada por algunos compuestos antinutricionales en los cereales puede afectar la pérdida de aminoácidos endógenos; algunas investigaciones, indican que la mayor viscosidad del alimento, disminuye la secreción endógena de la mayoría de aminoácidos esenciales y algunos no esenciales en cerdos”²¹⁶. En la actualidad se incorpora aminoácidos sintéticos con el fin de prevenir el exceso de proteína a nivel de intestino grueso que pueda originar fermentaciones anómalas, proliferación de coliformes y problemas de diarrea”²¹⁷.

“El contenido de fibra es otro factor dietético relacionado con la adaptación digestiva del lechón; diferentes publicaciones sugieren limitar la fibra soluble e incorporar cierta cantidad de fibra insoluble. La fibra soluble puede aumentar la viscosidad y fermentaciones intestinales, mientras que la insoluble puede reducir el tiempo de tránsito y aumentar la capacidad de retención de agua de las heces”²¹⁸. Por ello, es necesaria la evaluación de las fuentes altas en fibra, determinando su valor nutritivo con la caracterización de su fracción fibrosa; una de las técnicas analíticas utilizadas es el método gravimétrico y/o enzimático-químico al representar los procesos digestivos que tienen lugar en el tracto digestivo, lo cual permite determinar con más exactitud el contenido de fibra dietética en los alimentos”²¹⁹.

²¹⁴ GUTIERREZ, Op. cit., p.3

²¹⁵ Ibid., p. 3

²¹⁶ CHI, et al. Viscosidad de la dieta y su efecto sobre la pérdida de aminoácidos endógenos recuperados en ileon terminal de cerdos. En: Agrocencia 2005 julio-agosto Vol .39 número 004. p.8 <<http://www.agrociencia.dalyc.org/viscosidad.pdf>>

²¹⁷ MATEOS, G. y MEDEL, P. Nutrición III: Adaptación digestiva del lechón recién destetado. p. 1. 2008 <<http://www.3tres3.com>>

²¹⁸ Ibid., p. 1

²¹⁹ SAVON, Lourdes. Utilización de alimentos altos en fibra. En: Alimentación no convencional de especies monogástricas. Instituto de Ciencia Animal. Cuba, 2003. p.34 <<http://www.avpa.ula.ve>>

Por otra parte, en las especies monogástricas la fibra dietética no se clasifica sólo atendiendo a su composición, sino al grado de solubilidad en agua con lo que se asumen los conceptos de fibra dietética soluble y fibra dietética insoluble, composición química de los componentes de la pared celular (estructura primaria), de los aspectos estructurales de los polisacáridos constituyentes (estructura secundaria) y la denominada estructura terciaria que se refiere a la relación estructura y comportamiento funcional de los componentes de la pared celular y sus efectos fisiológicos. “Estas fracciones se caracterizan por tener efectos fisiológicos diferentes, debido a lo cual constituye una necesidad conocer sus componentes cualitativa y cuantitativamente para predecir desórdenes nutricionales y de salud”²²⁰.

“Un programa de alimentación para lechones postdestete debe estar enfocado en el conocimiento del desarrollo del sistema digestivo y los cambios que en él ocurren, como son el proceso enzimático, los cambios en pH, el flujo de materia seca y los tiempos de retención producidos por los diferentes tipos de ingredientes ya que un cambio drástico de la leche materna en una dieta basada en cereales y proteínas de soya, será acompañada de una reducción en el crecimiento y la presencia de diarrea postdestete”²²¹. Por ello, es interesante resaltar el hecho de que, a pesar de los efectos negativos de determinados ingredientes, algunos autores coinciden en recomendar la utilización en porcentajes bajos de proteínas vegetales, de manera que se va exponiendo al lechón a los ingredientes que en el futuro supondrán el grueso de su alimentación; llegados a este punto, el empleo de enzimas exógenas que permitan una inclusión de fuentes de proteína vegetal con mayor seguridad, se hace realmente interesante”²²².

5.1.10 Los cereales en la alimentación. “Los cereales constituyen entre un 45 y un 55% de las dietas de lechones, lo que supone alrededor del 60% de la energía que consumen. Además, los cereales aportan cantidades importantes de proteína, fibra y en el caso del maíz y la avena, grasa”²²³.

Los cereales contienen mucho almidón (50-60%) y muy poca fibra (menos del 5%, excepto la avena y algunas variedades de cebada), por lo que son utilizados como ingredientes energéticos. “El contenido proteico de los cereales es bajo (alrededor del 10%); aunque el 85-90% es proteína verdadera, se trata de proteína con un bajo contenido en lisina, metionina y triptófano”²²⁴.

²²⁰ Ibid., p 34

²²¹ CAMPABADAL, Carlos y NAVARRO, Héctor. Op. cit., p. 3

²²² DURAN, Rafael, Op. cit., p.2

²²³ PARTRIDGE Y GILL, citados por Mendel, P., Latorre, M. y Mateos G., Op.cit., p.3

²²⁴ FLORES, M. y RODRIGUEZ, M. Nutrición animal. Universidad de las Palmas de Gran Canaria, 2006 p.2. <<http://www.webs.ulpgc.es/nutranim/tema9.htm>>

“El cereal tradicional en dietas de destete, especialmente en las de iniciación, ha sido el maíz y en un segundo término el trigo, probablemente debido a su bajo contenido en fibra, obteniéndose resultados similares con ambos cereales”²²⁵.

“El maíz, convenientemente complementado con materias primas proteicas, aminoácidos esenciales, complementos minerales y correctores vitamínico-minerales se emplea sin límite de inclusión en la mayoría de las raciones de monogástricos”²²⁶. “Con niveles parecidos de PNA, maíz y sorgo suelen ser cereales con menor contenido de paredes celulares y su valor nutricional se ve mejorado por su mayor porcentaje en almidón; sin embargo las enzimas exógenas de interés para mejorar la digestión del maíz y sorgo son las xilanasas (buscando romper las membrana celular que envuelve almidón y proteína en el interior del endospermo) y, en menor medida, la celulasa”²²⁷.

“Un subproducto, como es la torta gruesa de maíz está constituida principalmente de un 70% de hemicelulosa y un 23% de celulosa. Los enlaces glucosídicos β (1- 4) presentes en la celulosa y la hemicelulosa son resistentes a las enzimas digestivas de los monogástricos, pero si pueden ser separados por enzimas microbiales. El uso de enzimas exógenas se presenta como una alternativa, a fin de hidrolizar parte de la fracción de hemicelulosa y así incrementar la digestibilidad de este materia”²²⁸.

“La cebada se ha utilizado poco en alimentación de monogástricos no herbívoros debido a que su concentración energética es relativamente baja, menor contenido en almidón y en grasa, y mayor contenido en fibra. Tradicionalmente la inclusión de cebada se limitaba a un 20-30% de la ración de los animales en cebo, ya que contiene β -glucanos que reducen su digestibilidad porque forman geles de elevada viscosidad que dificultan el acceso de las enzimas del animal a los substratos y el transporte de los nutrientes hasta el lumen intestinal para su posterior absorción; no obstante, el desarrollo de β -glucanasas por las industrias de aditivos ha permitido que la inclusión de cebada en las dietas se pueda aumentar hasta niveles incluso superiores al 50% de la ración”²²⁹.

²²⁵ DE RODAS et al citados por Mendel, P., Latorre, M. y Mateos G. Op. cit., p.1

²²⁶ FLORES y RODRIGUEZ Op. cit. p.2

²²⁷ PARTRIDGE, Op. cit., p.3

²²⁸ CRUCES, et. al., Análisis químico y digestibilidad *in Vitro* de la torta gruesa de maíz hidrolizada tratada con enzimas exógenas. En: Revista Científica. Vol XII Suplemento 2, Octubre, 2002. p.1 <www.saber.ula.ve/revistacientifica/pdfs/articulo20.pdf>

²²⁹ *Ibid.*, p.2

La cebada tiene un mayor contenido en fibra, parte de la cual es indigestible y a veces se encuentra ligada a proteínas. Esta fibra no es totalmente digerida y absorbida en los primeros tramos del tracto digestivo y llega al intestino grueso donde es susceptible de fermentar. “Empleando enzimas, esta fibra es absorbida en el tracto digestivo evitando así diarreas no específicas y la creación de gases además de mejorar la absorción de nutrientes”²³⁰.

“Las variedades de cebada desnuda se utilizan en dietas para lechones recién destetados ya que son una buena fuente de proteína y carbohidratos sin el exceso de fibra encontrado en las variedades normales de cebada. Ambas variedades, sin embargo, contienen beta-glucanos, un carbohidrato que resiste la digestión y aumenta la viscosidad intestinal”²³¹.

“El trigo que se utiliza en alimentación animal es el trigo blando, ya que prácticamente todo el trigo duro se utiliza para obtener sémola para la industria de la pasta”²³². El valor energético del trigo es ligeramente inferior al del maíz (alrededor del 95% el del maíz), pero contiene más proteína que el maíz, existiendo variedades de trigo con un contenido proteico en torno al 20%. El trigo, aunque se utiliza poco en alimentación animal, puede sustituir totalmente al maíz en las raciones de los monogástricos; no obstante, contiene cantidades variables de pentosanos que (además de ser indigestibles) le dan un aspecto muy pulverulento, por lo que es conveniente granular las raciones con un alto contenido de trigo; de hecho, la inclusión de trigo en los piensos favorece la consistencia del gránulo; finalmente, el trigo contiene poca grasa, lo que evita la acumulación de grasa insaturada en las canales cuando se incluyen cantidades altas de trigo en las raciones de acabado de los animales de abasto”²³³.

“En el triticale, los arabinosilanos son el principal factor antinutritivo y su concentración es intermedia entre la del trigo y la del centeno. Dado que los arabinosilanos no son digeridos fácilmente, existe cierto escepticismo respecto a la utilización de triticale en dietas para lechones”²³⁴.

“En conclusión, para reducir el impacto del destete en el crecimiento y salud del animal recién destetado, pueden resultar útiles los alimentos funcionales que atenúen o eviten los problemas gastrointestinales, lo que podría mejorar la función digestiva y el

²³⁰ GIL, Francisco. Empleo de enzimas en nutrición animal. España, 2000. p. 1 <<http://www.terra.es/personal2/adymix>>

²³¹ MAVROMICHALIS y PATON. Nuevos ingredientes en la alimentación de cerdos. XX curso de especialización FEDNA 2004 p.7 <www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/04CAP_7.pdf>

²³² FEDERACIÓN VENEZOLANA DE PORCICULTURA. La crisis alimentaria y su impacto en la producción agrícola animal en Venezuela. Caracas, 2008. p. 25 <<http://www.unimet.edu.ve>>

²³³ MAVROMICHALIS y PATON, Op. cit., p. 4

²³⁴ Ibid., p. 7

crecimiento”²³⁵; entre estos se encuentran los complejos multienzimáticos los cuales destruyen las paredes celulares de diversos cereales haciendo que los distintos nutrientes intracelulares puedan estar disponibles para ser asimilados por el sistema digestivo de los animales”²³⁶.

²³⁵ FIGUEROA et al. Alimentos funcionales para cerdos al destete. En: Veterinaria México. Vol. 37. No. 1 enero – marzo 2006, p.3 <<http://www.medigraphic.com>>

²³⁶REBOLLAR, María. Evaluación de indicadores productivos en pollos de engorda al incluir maíz y pasta de soya extruidos y malta de cebada. En: Tesis. Maestro en ciencias pecuarias Universidad de Colima. Diciembre de 2002 p.60 <<http://digeset.mx>>

6. CAPITULO IV

6.1 UTILIZACIÓN DE ENZIMAS EXOGENAS EN DIETAS PORCINAS

“La inclusión de las enzimas en alimentos para animales jóvenes es importante puesto que va a ayudar al equipo enzimático propio del animal a hidrolizar los principios inmediatos que ingiere; debido a que su capacidad digestiva se encuentra todavía inmadura tal como se describe en el capítulo II”²³⁷. “Además, la mejora en la digestión de los polisacáridos no amiláceos de algunas materias primas de uso común en dietas porcinas, indigestibles por las enzimas endógenas del cerdo, permiten su mejor aprovechamiento digestivo aumentando sus márgenes de inclusión”²³⁸.

“Otro propósito interesante de utilizar enzimas exógenas es reducir el efecto de compuestos antinutricionales presentes en los ingredientes NSP, mayormente β -glucanos y xilanos, que están disponibles en cereales viscosos (cebada, trigo, centeno, etc.). Su importancia radica en que estos compuestos no son modificados de manera considerable en el tracto de los monogástricos y por lo tanto afectan la viscosidad de la ingesta y la microflora intestinal”²³⁹.

Además, el empleo de enzimas exógenas, presenta las siguientes ventajas:²⁴⁰.

- Acelera las reacciones químicas que permiten al animal ingerir parte del 15-25% que de otra forma no aprovecharía.
- Ayudan a romper la fibra e incrementan la disponibilidad de los nutrientes en la digestión.
- Permite modificar los niveles de incorporación de materias primas en las fórmulas de piensos

A continuación se describe la influencia del papel de las enzimas tanto en la nutrición del lechón destetado, como en otras fases productivas; teniendo en cuenta lo más interesante de las carbohidrasas y proteasas, modo de acción y posibles beneficios.

²³⁷ NICODEMUS, et. al. Utilización de enzimas en piensos de conejos. Universidad Politécnica de Madrid, 2000. p.2 <www.cunicultura.com>

²³⁸ MATEOS Y MEDEL. Aditivos en porcino: adición de enzimas y marco regulador. 2008. p.2 <<http://www.3tres3.com>>

²³⁹ COWAN, citado por Brufau, Joaquim. Op.cit., p.2

²⁴⁰ GIL, Op. cit., p.2

6.1.1 Carbohidrasas. “(Amilasas, beta-glucanasas, xilanasas). Las carbohidrasas son enzimas de aplicación en piensos de destete, en los que se busca mejorar la digestibilidad de la fracción PNA y otros componentes almidonosos”.²⁴¹.

“En el caso de los cereales, la suplementación enzimática puede ir orientada, al contenido de amilasas para ayudar al equipo enzimático del lechón o a la hidrólisis de β -glucanos y xilanos para la posible liberación de nutrientes y disminución de viscosidad, aunque este último argumento posiblemente tenga muy poca importancia cuantitativa por el elevado contenido en agua en el tracto intestinal del joven lechón”²⁴².

6.1.2 Proteasas. Las fuentes proteicas empleadas históricamente en la alimentación del lechón han sido siempre de gran calidad nutritiva, debido en parte a su origen como a los procesos tecnológicos a los que se les somete. “Sin embargo el costo de estos ingredientes por una parte, así como las recientes imposiciones legales sobre la utilización de productos de origen animal por otra, ha forzado a un mayor empleo de fuentes proteicas de origen vegetal, incluso en dietas de lechones destetados”²⁴³.

La mayor parte de los trabajos con proteasas se han llevado a cabo con productos de soya, por ser ésta la fuente proteica vegetal por excelencia. La menor digestibilidad ileal de la proteína, asociado al aumento de pérdidas endógenas nitrogenadas debido a los metabolitos secundarios y a las reacciones alérgicas provocadas en el entorno intestinal del lechón, convierten a las proteasas en una enzima de interés indudable. “Caine y col. realizaron unos estudios *In vitro* llevados a cabo con una subtilisina (proteasa), en los que se aprecia el potencial que estos productos tienen al solubilizar la proteína, disminuyendo los niveles de metabolitos secundarios al mismo tiempo”²⁴⁴. Beal lo corrobora, con el interés hacia un tratamiento previo de las harinas de soya con proteasas y lo relaciona además con la posibilidad de reducir los efectos nocivos de los factores antinutricionales (factores antitripsicos, lectinas)²⁴⁵. “Además, las enzimas proteolíticas exógenas, mejoran la digestibilidad de los aminoácidos, disminuyendo el desperdicio de proteínas”²⁴⁶.

“Sin embargo, Morales et al., evaluó el efecto de una proteasa en dietas con trigo (*Triticum aestivum*) en la digestibilidad ileal aparente

²⁴¹ DURAN, Rafael. Enzimas exógenas, sus efectos sobre la nutrición y sobre la flora microbiana intestinal del lechón destetado. En: ANAPORC., España 2001. p. 5 <<http://www.nanta.es>>

²⁴² MORILLO, et. al., Enzyme Supplementation to piglet diets. J. Anim.Sci. 81. En: Congreso anual internacional de la American Society of Animal Science, 2003. <www.nanta.es>

²⁴³ *Ibid.*, p. 2

²⁴⁴ CAINE y col. Citados por Durán. Op. cit., p. 3

²⁴⁵ BEAL, citado por Durán. Op. cit., p.5

²⁴⁶ MORALES, M. Digestibilidad ileal de aminoácidos y comportamiento productivo de cerdos alimentados con dietas a base de trigo, adicionadas con una proteasa fangal. En: Agrociencia, sep-oct 2002. vol.36.no.005 p.205<www.redalyc.com>

de aminoácidos y el comportamiento productivo de cerdos en crecimiento, donde los resultados mostraron que la adición de una proteasa fungal a dietas bajas en proteína, con trigo no tiene efecto en la respuesta productiva ni en la digestibilidad aparente de aminoácidos”²⁴⁷.

“Las amilasas, proteasas y pectinasas pueden modificar la viscosidad de mezclas de alimentos para animales domésticos. Distintas enzimas hidrolíticas pueden influenciar la cohesión y la capacidad aglutinante del agua contenida en los alimentos; cuando las proteínas, el almidón y las grasas son hidrolizadas por las enzimas, los productos obtenidos son aminoácidos, péptidos, azúcares o ácidos grasos libres”²⁴⁸.

6.1.3 Interacción entre las enzimas exógenas y la flora microbiana. La interacción entre la composición de la fibra de la dieta y la microflora bacteriana en animales sanos y enfermos, ha sido ampliamente estudiada. “Pluske menciona la importancia de ciertas fibras solubles y almidón resistente (almidón no digerido enzimáticamente) en la aparición de determinadas enfermedades digestivas, la disentería porcina, inducida por la *Serpulina hyodysenteriae*”²⁴⁹.

La fibra soluble indigestible se ha identificado como una de las influencias negativas en el síndrome cólico inespecífico, particularmente en lechones de entre 15-40 kg, alimentados dietas granuladas y basadas en trigo. “La posterior adición de xilanasas específicas en estas dietas ejerció un efecto beneficioso en el síndrome, hasta el punto de dejar de alimentar en harina y/o abandonar la reformulación de dietas más caras”²⁵⁰.

Otros estudios se refieren a determinadas interacciones positivas entre ciertas enzimas exógenas y alimentos inductores de diarrea, especialmente en lechones recién destetados. “En ocasiones, la aplicación de enzimas con ciertas cantidades sub-terapéuticas de antibióticos se traduce en una alternativa válida a la utilización sistemática de otros antibióticos”²⁵¹.

6.1.4 Experiencias investigativas de la utilización de enzimas exógenas. La utilidad de las enzimas en cerdos no está tan claramente establecida como en dietas para aves. “Parte de esto se relaciona con los β -glucanos que son fácilmente digeridos en el intestino delgado, y de hecho se han observado

²⁴⁷ Ibid., p.522

²⁴⁸ CLIFFORD. Las enzimas y su aplicación en nutrición animal citado por Rebollar Maria Evaluación de indicadores productivos en pollos de engorda al incluir maíz y pasta de soya extruidos y malta de cebada. Tesis. Universidad de Colima. Diciembre de 2002 p.55 <<http://pdigestet.mx>>

²⁴⁹ PLUSKE, citado por Durán. Op. cit., p. 3

²⁵⁰ HAZZLEDINE Y PARTRIDGE, Citados por Durán. Op. cit., p. 5

²⁵¹ Ibid., p.5

digestibilidades más altas para los β -glucanos que para el almidón²⁵². Cualquier mejora de los rendimientos por una reducción de la viscosidad sería debida probablemente a una disminución de la viscosidad gástrica, dado que es bien conocido que generalmente las gomas retrasan el vaciado gástrico. Esto no parece tener una importancia especial en cerdos dado que su digesta suele ser más acuosa debido a un elevado componente fluido. “Sin embargo, y dada la reducida capacidad enzimática del lechón después del destete, es razonable pensar que las enzimas exógenas puedan tener un efecto positivo sobre los rendimientos”²⁵³.

“Se debe tener en cuenta que las enzimas sometidas a pH bajos, como sucede en el estómago de los cerdos, no son activas y además son inactivadas de forma irreversible con una exposición prolongada”²⁵⁴. Por lo tanto parece que cualquier degradación de los componentes de la dieta debe suceder durante la entrada inicial del alimento en el estómago del cerdo, cuando la acidez natural del estómago es tamponada con el alimento ingerido. “La posibilidad de actuación de las enzimas exógenas ha de ser anterior a la completa acidificación del alimento consumido”²⁵⁵.

“El uso de enzimas como la Alfa-galactosidasa, Beta-glucanasa y Celulasa modifica definitivamente las condiciones físico-químicas del contenido digestivo, rompe las paredes celulares, acelera la hidrólisis de los polisacáridos no almidonosos y disminuye la viscosidad intestinal, favoreciendo la asimilación de estos ahora azúcares simples, en forma de energía”²⁵⁶.

“La suplementación con α -1,6-galactosidasa reduce satisfactoriamente los α -1,6-galactosidos en el tracto digestivo del cerdo, siendo más representativo para cerdos en finalización que para cerdos jóvenes; sin embargo, esta suplementación no mejora el rendimiento constante de crecimiento o la digestibilidad de nutrientes”²⁵⁷.

“Al facilitarle al animal la digestión del alimento mediante el efecto hidrolítico que tienen las enzimas, mejora la biodisponibilidad y la absorción en el tracto digestivo del alimento, resultando en un ahorro de energía que se refleja en una mejor conversión y ganancia de peso; con el consiguiente impacto favorable en los costos”²⁵⁸.

“En el caso de los cereales, la suplementación enzimática puede ir orientada al contenido de amilasas para ayudar al equipo enzimático

²⁵² CAMPBELL, Op. cit., p.4

²⁵³ MEDEL, LATORRE y MATEOS, Op. cit. p. 10

²⁵⁴ BAAS, et al., citado por Gómez E. Op. cit., p 93

²⁵⁵ CAMPBELL, G. Op. cit. p. 10

²⁵⁶ TOREIRO, Op. cit., p.2

²⁵⁷ VELDMAN Y GDALA, citados por Kim y Baker. Op. cit., p.4

²⁵⁸ SALVADOR Y SOLORIO, Op. cit., p.3

del lechón o a la hidrólisis de β -glucanos y xilanos para la posible liberación de nutrientes y disminución de viscosidad, aunque este último argumento posiblemente tenga muy poca importancia cuantitativa por el elevado contenido en agua en el tracto intestinal del joven lechón²⁵⁹. En investigaciones realizadas con referencia a la viscosidad y mayor capacidad de fermentación en el cerdo, la influencia de las enzimas sobre la absorción aparente de nutrientes es más reducida en el caso del porcino que en las aves²⁶⁰. Sin embargo, Taverner y Campbell, en estudios destinados a determinar la digestibilidad ileal de energía y proteína se ha observado que la utilización de α -glucanasas y xilanasas la mejora es significativa, aunque estas diferencias no se reflejaron a nivel de digestibilidad fecal²⁶¹.

“De Oliveira et al., evaluó el suministro de enzimas exógenas con diferentes niveles y fuentes de proteína en dietas para lechones en crecimiento, destetados a los 21 días de edad, donde se trabajó nivel cero de enzima más tres dietas con contenido 0,2; 0,4 y 0,6% de complejo enzimático Allzyme Vegpro; los resultados obtenidos fueron mayores incrementos de peso y consumo para las dietas con crecientes niveles de enzimas, mientras la conversión alimenticia no tuvo variación²⁶²”.

Hurtado et al., estudiaron el funcionamiento y la digestibilidad de sustancias nutritivas y determinación del nivel de enzima endógeno en cerdos en crecimiento con dietas suplementadas con enzimas exógenas. Las dietas experimentales consistieron en maíz, soya, vitaminas y minerales más la adición de enzimas exógenas (amilasa, lipasa y proteasa). La composición básica de las dietas era el 18.00 % de proteína cruda y 3400 kcal/kilogramos de energía digestible (DE). Las características estudiadas fueron energía digestible, energía metabolizable y la digestibilidad de proteína cruda, donde los resultados mostraron que la adición de enzimas exógenas afectó el coeficiente de digestibilidad de la proteína bruta, aunque ningunas diferencias significativas fueron observadas sobre la digestibilidad de energía. “Los niveles de enzimas endógenas no fueron afectados por la adición de enzimas exógenas; sin embargo, el peso del animal afectó niveles de tripsina y de la amilasa²⁶³”.

“Morillo et al, evaluaron la eficacia de la utilización de un complejo enzimático (CE N° 34) que contenía β -glucanasa (275 U/g), xilanasas

²⁵⁹ MORILLO, et al. Op. cit., p.8

²⁶⁰ PIQUER, F Op. cit., p. 4

²⁶¹ TAVERNER Y CAMPBELL, citados por Piquer. Op.cit., p.3

²⁶² DE OLIVEIRA et al. Utilización de enzimas exógenas en dietas con diferentes fuentes y niveles de proteína para lechones en fase de crecimiento. 2005. p.4 <<http://www.scielo.br/scielo.php>>

²⁶³ HURTADO et al. Adición de enzimas exógenas para lechones de 10 a 30 Kg. de peso En: Revista Brasileira de zootecnia, 2000 p.5 <<http://www.scielo.br/scielo.php>>

(400 U/g) y α -amilasa (3.100 U/g) en dietas para lechones destetados a 21 días de edad, basadas en una mezcla de cereales (cebada, maíz y trigo); donde obtuvieron un incremento de 8% para crecimiento y consumo, sin afectar el índice de transformación en el periodo experimental²⁶⁴. Así mismo, Gracia et al, obtuvieron ganancias de peso, 6% superior a la de aquellos animales con dieta control con la utilización de 500 ppm de complejo enzimático²⁶⁵ y un estudio realizado en la Universidad de Pelotas en Brasil, también pone de manifiesto como un complejo multienzimático formado por galactosidasa, amilasa, celulasa, proteasa y pentosanasa, estimula el consumo de alimento en lechones y mejora el índice de conversión aumentando la velocidad de crecimiento²⁶⁶.

“Otra investigación que corrobora los beneficios de las enzimas exógenas es la adición de xilanasa obtenida a partir de *A. niger* FAS 128 realizada por Tapingkae et al., en dietas para lechones donde se incrementó la digestibilidad *In Vitro* de la materia seca, la materia orgánica, la fibra bruta y la grasa bruta respecto a las dietas suplementadas con una xilanasa comercial; de lo cual concluye que los animales presentaron mayor ganancia media diaria y menor índice de conversión; de ahí que la xilanasa utilizada, puede ser una enzima competitiva para ser utilizada como aditivo²⁶⁷.

Finnfeeds ha realizado pruebas con enzimas y betaina en lechones post-destete, con dietas basadas en trigo, cebada y maíz; donde se utilizó un complejo enzimático que contenía 150 U/g β -glucanasa, 4000 U/g xilanasa, 1000 U/g α -amilasa y 25 U/g pectinasa, otro complejo incluía además 500 U/g proteasa. La dieta control se adicionó con un complejo enzimático de 250, 400 y 1000 U/g β -glucanasa, xilanasa y α -amilasa respectivamente. De acuerdo al tratamiento se adicionó betaina y solo el control tenía promotores de crecimiento. En general, la combinación de complejo enzimático-betaina tuvo la mayor respuesta para el consumo, crecimiento e índice de conversión. Los estudios con enzimas y betaina mostraron respuestas en la mejora de los resultados productivos tanto si se utilizó o no antibióticos como promotores de crecimiento en las dietas. “Sin embargo, la respuesta fue mayor cuando no se utilizaron promotores de crecimiento²⁶⁸. Con estos resultados se corrobora la posibilidad de reemplazar los antibióticos con la adición de enzimas²⁶⁹.

²⁶⁴ MORILLO et al. Op. cit., p. 80

²⁶⁵ GRACIA, et al. Suplementación enzimática en dietas para lechones. Avances en tecnología porcina. Vol. I. 2004 p.5 <www.myaenzimas.com>

²⁶⁶ RUEDA, VICENTA. Op. cit., p. 3

²⁶⁷ TAPINGKAE et al. Influencia de la inclusión de xilanasa obtenida de *Aspergillus Níger* FAS128 sobre la digestibilidad in vitro y los parámetros productivos en lechones. *Animal feed science and technology*, 140:125-138. 2008 <www.sciencedirect.com>

²⁶⁸ Ibid., p.1

²⁶⁹ SIMMINS, Finnfeeds International Ltd., Wiltshire. Interacción de los enzimas con otros aditivos en dietas para porcino. 2000. p.1

Es importante revisar las dietas que incluyan subproductos, bien sea por alternativas alimentarias o por costos, Partridge, evaluó el efecto de una enzima específica xilanasa sobre la digestibilidad de nutrientes en una dieta con subproducto de maíz y trigo comparada a un control basado en maíz; donde observó que al agregar las enzimas apropiadas al alimento, las que el animal no puede segregar por si mismo, se logra incrementar la digestibilidad. “Estos extranutrientes liberados pueden ser utilizados por el cerdo para una mejor ganancia magra y conversión de alimento y de manera importante, ahorrar en costos de producción usando dietas económicas para mantener el mismo rendimiento del cerdo”²⁷⁰.

“La suplementación con enzimas en dietas con altas cantidades de cebada mejora el rendimiento en el crecimiento de los lechones, sin tener efecto sobre las actividades enzimáticas del páncreas, pero con una disminución en actividades proteolíticas, tripsina, amilasa y lipasa en el contenido duodenal”²⁷¹.

Inbarr et al., informó que la dieta basada en cebada con suplementos enzimáticos aumento la ganancia diaria de peso y conversión alimenticia en lechones destetados ($p < 0,05$). Así mismo, Yin et al., mostró que β -glucanasas y xilanasa mejoran el crecimiento y el ratio de ganancia cuando lechones fueron alimentados con dietas basadas en cebada. Lindberg et al., encontró que al incluir enzimas como β -glucanasas, xilanasas y celulasas podría aumentar el crecimiento especialmente en ganancia de masa corporal. “Datos obtenidos por Baidoo y Liu, muestran que la conversión alimenticia en respuesta a la suplementación de enzimas relacionada con la edad, genera mejoras del 10% para cerdos de 8-20 Kg, 5.3% para cerdos de 20 -40 kg y 3 % para cerdos de 40-60 kg”²⁷².

“Labala, también presenta resultados satisfactorios, donde la preparación de una enzima β -glucanasa aumentó la disponibilidad de energía alimentaria en un 13% y un aumento de la absorción de la proteína de la dieta en un 21% en los cerdos alimentados con dietas basadas en cebada”²⁷³.

“Sin embargo, los resultados negativos también se informan, Baas y Thacker no encontraron ningún efecto de β -glucanasas en crecimiento de cerdos en acabado”²⁷⁴.

Investigadores de la Universidad de Minesota, compararon dos variedades de cebada desnuda con una concentración alta y baja de beta-glucanos y xilosa en dietas para lechones recién destetados (21 días), así como la suplementación con una preparación enzimática de betaglucanasas y xilanasas. Como se esperaba,

²⁷⁰ PARTRIDGE, Op. cit., p. 3

²⁷¹ LI W.F. et al. Effects of non-starch polysaccharides enzymes on pancreatic and small intestinal digestive enzyme activities in piglet fed diets containing high amounts of barley. 2004 .p.1 <www.wjgnet.com>

²⁷² Ibid, p. 3

²⁷³ LABALA, Jorge. Aditivos en alimentación porcina. En: Vetinews. 2006. p.3<<http://www.vetifarma.com.ar>>

²⁷⁴ BAAS y THACKER, Op. cit., p.4

en los lechones que recibían las dietas con cebada de alta concentración en polisacáridos no amiláceos (PNA) “la viscosidad de la digesta fue mayor y la adición de enzimas redujo la viscosidad en la zona distal del intestino delgado”²⁷⁵.

“Lo anterior es explicado porque las enzimas añadidas a la dieta efectivamente reducen o eliminan la viscosidad por actividad endolítica, incluso cuando se incluyen a niveles muy bajos. La mayor parte de los resultados señalan la reducción de la viscosidad como el mecanismo principal por el cual la β - glucanasas de la dieta ejercen su efecto, aunque también se argumenta que las enzimas añadidas a la dieta degradan las paredes celulares del endospermo, eliminando su acción encapsuladora y exponiendo el almidón y la proteína intracelulares a las enzimas endógenas”²⁷⁶.

“La digestibilidad ileal aparente de la materia seca, energía y aminoácidos también fue mejorada con la suplementación enzimática, y este efecto fue mayor para las variedades de cebada con alta concentración de PNA. Por tanto, las dietas basadas en cebada desnuda para lechones deben ser suplementadas con enzimas adecuados y su nivel de inclusión debe ser establecido de acuerdo con la calidad de la cebada”²⁷⁷.

“Se estima que un cerdo de 20 kg de peso vivo degrada aproximadamente el 30% de los β -glucanos de la cebada en el íleon terminal y a los 30-50 kg el 70%”²⁷⁸.

“Los polisacáridos no amiláceos que no son degradados en el intestino delgado pueden ser utilizados para producir ácidos grasos volátiles más rápidamente en el colon y ciego cuando se suplementa la dieta con β -glucanasas y xilanasas”²⁷⁹.

“Con el objeto de evaluar la digestibilidad total aparente en cerdos alimentados con torta gruesa de maíz se realizó un experimento donde se utilizaron tratamientos con hidrólisis álcali y con hidrólisis enzimática con Termamyl (amilasa), Avizyme (xilanasas, proteasa, amilasa) y Ceremix (amilasa, Glucanasas, proteasa); donde los resultados mostraron que el tratamiento enzimático tuvo un importante efecto sobre la fracción menos digestible de la torta gruesa produciendo una ruptura de los enlaces disminuyendo los efectos antinutricionales de los polisacáridos no amiláceos, además

²⁷⁵ YIN, et al. Livestock Production Science No. 71: 109-120. 2001 <<http://www.sciencedirect.com>>

²⁷⁶ CAMPBELL, G. Utilización de enzimas en granos de cereales: fitasas, glucanasas y pentosanasas. En: IX curso de especialización FEDNA. 1993. p. 4 <www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/93CAP_8.pdf>

²⁷⁷ Ibid, p.6

²⁷⁸ INBARR et al. y ROTTER citados por PIQUER Op.cit., p.6

²⁷⁹ PIQUER ,Op. cit., p.3

se determinó que es factible el uso de la torta gruesa hasta en un 40% siendo tratada enzimáticamente”²⁸⁰.

Varios autores han investigado los efectos de la digestibilidad en los suplementos enzimáticos para cerdos, Dierick y Decuyper informaron mejoras en digestibilidad tanto *In Vitro* como *In Vivo* en dietas con trigo. La digestibilidad ileal de proteína, grasa, fibra dietética, aminoácidos y el fósforo aumento sustancialmente, sin embargo, estas mejoras no fueron acompañadas para materia seca y orgánica. “En contraste Liu y Baidoo encontraron aumento en la digestibilidad ileal de la materia seca y energía bruta”²⁸¹.

“La mayoría de los estudios de la digestibilidad muestran respuestas positivas al agregado de enzimas, con mejoras importantes en dietas con alto contenido de β -glucanos, Inberr reporta 40% de incremento en digestibilidad; otro resultado interesante es el de Wenk cuando utiliza plantas de maíz (17% de fibra cruda y 42 % de FDN), en sustitución del 50% de la dieta basal para cerdos de 40Kg, donde la administración de suplementos enzimáticos aumentó la digestibilidad de la energía bruta, el nitrógeno, FDN, FDA en 3, 6, 5, 10 y 11% respectivamente”²⁸².

“No obstante, otros estudios no mostraron respuesta en digestibilidad, lo que indica que la respuesta a la administración de suplementos enzimáticos puede variar de acuerdo a la concentración, composición de la dieta y edad del animal”²⁸³.

Un equipo de investigadores formularon tres dietas para cerdos en fase de ceba con tres clases de trigo, suplementadas y no, con una enzima carbohidrasa (xilanasas de *Trichoderma longibrachiatum* con 4000 unidades/g de producto). El índice de conversión no resultó significativamente afectado por los tratamientos. La suplementación enzimática restauró los resultados de velocidad de crecimiento de los cerdos alimentados con trigos de media y baja calidad a los niveles alcanzados con trigos de calidad alta. 2Por tanto, la calidad del trigo afecta significativamente a los rendimientos productivos, pero las carbohidrasas pueden reducir el impacto negativo de trigos de baja calidad”²⁸⁴.

“Las necesidades en fósforo en las dietas de iniciación y de la fase I se cubren en gran parte mediante el aporte por los productos lácteos. En fases posteriores, las necesidades vienen habitualmente cubiertas

²⁸⁰ CRUCES, et al. Digestibilidad total aparente de la torta gruesa de maiz hidrolizada tratada con enzimas exógenas. Universidad Central de Venezuela. En: Revista científica vol. XII, No. 2 Octubre. p. 466 <www.redalyc.com>

²⁸¹ LIU y BAIDOO, Exogenous enzymes for pig diets: an overview. Universidad de Manitoba, Canadá. 2000 p.3 <www.idrc.ca>

²⁸² INBORR y WENK citados por Liu y Baidoo Op. Cit., p.4

²⁸³ MELLANGE citado por Liu y Baidoo Op. Cit., p.4

²⁸⁴ CADOGAN, PARTRIDGE y SIMMINS. Proceedings of the British Society Animal Science 2000 p.21 <<http://www.publish.csiro.au>>

por cantidades crecientes de fosfato dicálcico²⁸⁵. Al complementar las dietas de cerdos con la actividad de fitasas 500 U/kg, existe un aumento de la digestibilidad de fósforo de 44,2% a 52,4% y el de calcio de 44,2% a 51,7%. Lechones suplementados con fitasa 1500 U/kg, mejoraron el incremento de peso (de 424 g / día a 529 g / d)²⁸⁶. Según Donayre es recomendable reemplazar del 0.1% hasta el 0.12% del fósforo inorgánico por fitasa²⁸⁷.

“La actividad endógena de la fitasa en la mucosa intestinal del cerdo es casi nula, ya que las fitasas intestinales no son efectivas en la hidrólisis de los fitatos en dietas equilibradas²⁸⁸. “Además, las fitasas de los microorganismos del intestino grueso no influyen en la utilización del fósforo, porque, aun cuando tengan capacidad fitásica, el fósforo liberado no se absorbe y es excretado en su totalidad²⁸⁹”.

“En opinión de Shelton et al., el aporte de fitasas en el alimento puede reducir, en parte, el aporte de microminerales, al liberarse algunos de ellos en la hidrólisis de los fitatos; así mismo, Kies et al., afirman que la adición de fitatos por encima de las dosis estándares actuales (500UF/kg) puede mejorar la utilización de los minerales (P, Ca, Mg, Na, K, y Cu)²⁹⁰”.

“Johnston et al., manifiesta que la adición de fitasas junto con la reducción de los niveles de calcio y fósforo en la dieta incrementan la digestibilidad de la energía, los aminoácidos y otros nutrientes²⁹¹”.

“Así mismo, informó que la adición de fitasa a dietas para cerdos en crecimiento aumentó la digestibilidad total de aminoácidos en relación con los alimentados con una dieta control y Mroz et al., confirma estos resultados con incrementos de la digestibilidad total aparente de aminoácidos (a excepción de Cisteína y Prolina) en dietas con fitasa²⁹²”.

“Existe menos investigación sobre los efectos de la fitasa en materia de disponibilidad de energía en cerdos. Murry et al., reportó ningún efecto sobre la energía digestible cuando 700 unidades de fitasa/kg se agregaron a la dieta de millo-harina de soja, pero con un aumento de la energía digestible, cuando se añadieron 1000 unidades de fitasa/kg. Johnston et al., informó que la adición de fitasa aumento la

²⁸⁵ MENDEL, LATORRE Y MATEOS, Op. cit., p. 25

²⁸⁶ JONGBLOED, KEMME y MROZ. El papel de la fitasa microbiana en la producción porcina citados por CHOCT Enzymes in animal nutrition: the unseen benefits 1997 p.6 <<http://www.idrc.ca>>

²⁸⁷ DONAYRE, Juan. Como elegir fitasa – un nuevo enfoque dentro de la formulación de raciones. 2005. p.2 <www.Engormix.com>

²⁸⁸ YI y KORNEGAY citados por Quiles y Hevia Op.cit., p.2

²⁸⁹ QUILES y HEVIA op. cit., p.4

²⁹⁰ SHELTON et al y KIES et al. Citados por Quiles y Hevia Op. cit., p. 20

²⁹¹ JOHNSTON et al. citados por Layne, J. The non-phosphorus effects of dietary phytase in swine and poultry. 2004 p.16<http://etd.lsu.edu/docs/available/etd-03242004-154627/unrestricted/Shelton_dis.pdf>

²⁹² JOHNSTON et al y MROZ et al. Citados por Layne, J. Op. cit., 16

digestibilidad aparente de energía bruta ileal en cerdos y no tiene efecto sobre la digestibilidad de la energía total”²⁹³.

“O’Doherty et al., indicó que la adición de fitasa en dietas para cerdos de acabado aumentó la digestibilidad de la energía”²⁹⁴. “Sin embargo, otras investigaciones informaron que la adición de fitasa no tuvo ningún efecto sobre la digestibilidad de energía en los cerdos”²⁹⁵.

“La magnitud de la respuesta a la fitasa microbiana ha mostrado ser influenciada por diversos factores incluyendo, fuente de P, niveles en la dieta, cantidad de fitasa añadida, su distribución y estabilidad dentro del alimento y la relación Ca:P. Por lo tanto, el uso de fitasa es cuidadosamente controlada en ensayos experimentales así como bajo pruebas de campo ya que los resultados han sido diversos”²⁹⁶.

La inclusión de fitasas puede mejorar entre otros nutrientes la digestibilidad de los aminoácidos, del calcio (Murry et al.) y del zinc (Pallauf et al.). Quian et al. obtuvieron una mayor eficacia de la adición de fitasas cuando la relación Ca:Ptotal era de 1,2 :1, que cuando era superior (1,6 :1 ó 2,0 :1), observación que coincide con los datos aportados por Liu et al. De hecho, se obtuvo un descenso en el crecimiento, el consumo y los niveles de fósforo en plasma al incrementar el Ca de la dieta de 0,4 a 0,8% en dietas bajas en fósforo con dos niveles de adición de fitasa (750 y 1.200 UI). Por tanto, se recomienda utilizar niveles reducidos de Ca y mantener una relación Ca a Ptotal de 1,2 a 1,4:1. “Para asegurar el buen funcionamiento de esta enzima, se debe considerar el nivel y tipo de fitasa utilizada, el nivel de Ptotal y fítico de la dieta, el nivel de Ca y la relación Ca:P total”²⁹⁷.

“Han et al., realizó un trabajo con cerdos en cebo donde obtuvo una mayor respuesta a las fitasas exógenas en cuanto a crecimiento y nivel de fósforo sanguíneo al suplementar dietas bajas en fósforo con ácido cítrico. Sin embargo, Radcliffe et al., obtuvieron respuestas positivas a la adición de ácido cítrico y a la suplementación con enzimas en lechones, pero no encontraron efectos sinérgicos”²⁹⁸.

En el cerdo, la actividad fitásica intestinal es despreciable cuando se la compara con la de la fosfatasa alcalina, incluso cuando la ingesta de fósforo es muy baja y lo hace en forma de fitato. “Ambas actividades fitásica y fosfatásica alcalina, están influenciadas por la composición de la dieta disminuyéndolas niveles altos de

²⁹³ MURRY et al y JOHNSTON et al. Citados por Layne, J. Op. cit., p.16

²⁹⁴ O’DOHERTY et al, citados por Layne. Op. cit., p.17

²⁹⁵ MURRY, O’QUINN ET AL., GEBERT ET AL., PALLAUF WALZ Y SAUER ET AL, citados por Layne. Op.cit., p.17

²⁹⁶ TAYLOR, CROMWELL y LINDEMANN. Biodisponibilidad del fósforo en harina de carne y hueso para cerdos. Journal of Animal Science 2005. p.1 <www.jas.fass.org>

²⁹⁷ MENDEL, LATORRE Y MATEOS, Op. cit., p. 25

²⁹⁸ HAN et al y RADCLIFFE et al citados por MENDEL, LATORRE y MATEOS Op. cit., p.17

calcio y magnesio, y aumentándolas altos niveles de vitamina D3. Se puede concluir, pues, que las fitasas y fosfatasas intestinales no son efectivas en la hidrólisis de los fitatos en dietas porcinas equilibradas²⁹⁹.

“En opinión de Grela y Krasucki, la fitasa microbiana mejora la digestibilidad total aparente de la proteína en cerdas en gestación y lactación en un 2.3 y 1.9%, respectivamente³⁰⁰. “Sin embargo en la literatura científica existen trabajos que no detectan ningún efecto de la fitasa microbiana sobre la digestibilidad total aparente en lechones, en cerdos en crecimiento o en cerdas reproductoras, estas diferencias pueden deberse a las distintas dosis de fitasas, composición de las dietas utilizadas en las experiencias³⁰¹.

“De los datos presentados se concluye que el papel de las enzimas exógenas es reducir los factores antinutricionales de la dieta, donde se ayuda a maximizar la digestión en el intestino delgado a través de sus efectos positivos sobre factores tales como, la capacidad de retención de agua, encapsulamiento de los nutrientes, viscosidad, flujo de la digesta³⁰² y productividad³⁰³, además, muchas investigaciones hasta el presente muestran efectos significativos y reportan que la actividad de las enzimas digestivas exógenas en el tracto digestivo se concentra principalmente en la parte anterior del intestino delgado y la respuesta de magnitud variable depende de una adecuada formulación de raciones y de la interacción positiva de los preparados enzimáticos con los componentes de la dieta³⁰⁴, por el contrario, otros trabajos no muestran efecto claro por la inclusión enzimática sobre los rendimientos productivos³⁰⁵.

“El futuro traerá productos más específicos, acordes a cada realidad de mercado y circunstancia, cocktails enzimáticos más potentes, complejos multienzimáticos elaborados por una única cepa (hongo o bacteria), desarrollados en ambientes muy similares al tracto digestivo de los animales, fruto de diferentes procesos de elaboración, siempre buscando mejorar su eficacia, manteniéndose costo-efectivos³⁰⁶.

²⁹⁹ PARTRIDGE, Op. cit., p.3

³⁰⁰ GRELA Y KRASUCKI. Citados por Quiles y Hevia Op. cit., p. 22

³⁰¹ TRAYLOR et al. y LIAO et al. Citados por Quiles y Hevia Op. cit., p.22

³⁰² BEDFORD, M.R. AND SCHULTZ, H. Exogenous enzymes for pigs and poultry. Nutrition Research Reviews. 11: 91-114.1998

³⁰³ YIN, Y.L. et al. Effects of supplementing diets containing hullless barley varieties having different levels of non-starch polysaccharides with b-glucanase and xylanase on the physiological status of the gastrointestinal tract and nutrient digestibility of weaned pigs. Liv. Prod. Sci. 71: 97-107. 2001

³⁰⁴ QUINTERO, Armando. Uso de enzimas en la nutrición de cerdos. Universidad del Zulia. Vol.2. 1995 p.1
<http://www.sian.info.ve/porcinas/publicaciones/revista_cientifica/quintero.htm>

³⁰⁵ MEDEL, P. et al. Processing of barley and enzyme supplementation in diets for young pigs. Anim. Feed Sci. Technol. 95: 113-122. 2002

³⁰⁶ TEXEIRA, et al. Niveles de enzimas exógenas en raciones para lechones en crecimiento. Reunión Anual de la Sociedad Brasileña de zootecnia, 2001

7. CAPITULO V

7.1 IMPLICACIONES MEDIOAMBIENTALES QUE CONLLEVA LA UTILIZACIÓN DE FITASAS EN LA ALIMENTACIÓN PORCINA

“Las explotaciones porcinas futuras estarán condicionadas por varios aspectos claves que determinarán su viabilidad y continuidad: la bioseguridad, las condiciones medioambientales y el bienestar de los animales”³⁰⁷.

“La producción animal intensiva, la cual es representada por la porcicultura tecnificada y semitecnificada, tiene en común el hecho de que sus resultados aparentemente dependen poco de las condiciones naturales de su entorno, ya que su principal característica es el uso de insumos externos, así como el de un importante consumo de energía”³⁰⁸.

Sin embargo, el nivel de deterioro que actualmente tienen los recursos naturales hace necesario poner en práctica acciones de conservación, dirigidas a recuperarlos y a manejarlos adecuadamente con el fin de asegurar su disponibilidad futura.

Bajo las condiciones normales de producción, la habilidad digestiva de los cerdos no supera el 80%, en algunos casos como el fósforo, la digestibilidad en el maíz es tan sólo de 10 a 15%. Esto significa que del 20 al 90% de los nutrientes consumidos en el alimento son eliminados en las heces, provocando deterioro tanto en la eficiencia productiva como en la ecología del ambiente.

“Los impactos ambientales directos de la producción porcina intensiva son: la contaminación del aire, suelo y agua por gases, heces y orina; originados durante el proceso de producción. El manejo que se haga de las excretas es primordial, ya que representan un alto riesgo de contaminación del suelo y mantos freáticos principalmente con nitratos y fosfatos por el probable escurrimiento y filtración, lo cual incrementa el proceso de eutrofización de los mantos acuíferos. Otra de las consecuencias ecológicas es la relacionada con la aportación de nitrógeno hacia la atmósfera lo cual contribuye a la formación de lluvia ácida”³⁰⁹.

³⁰⁷ PALOMO citado por SALAZAR, Gerardo. Compendio de Tecnologías para el manejo y utilización de las excretas de las granjas porcícolas. p.3 <www.produccionbovina.com>

³⁰⁸ MARISCAL, Gerardo. Tratamiento excretas cerdos. FAO, Capítulo 7. 2007 p.3 <www.fao.org/wairdocs/LEAD/X6372S/x6372s08.htm>

³⁰⁹ LEON, citado por MARISCAL. Op. cit., p.4

“Se han realizado varios cálculos para estimar la cantidad de excreta que se producen en una explotación porcina; a continuación se enumeran algunos de ellos; Pérez, menciona que por cada 70 kg de peso vivo en granja, se producen entre 4 y 5 kg de excreta, por su parte Gadd, menciona que el promedio de producción de excretas en engorda, puede ser un décimo del peso vivo por día, lo que representa 1.36 kg de heces y 4.73 litros de orina por día en promedio desde el destete hasta el peso al sacrificio. Sin embargo, la cantidad producida de excretas varía de acuerdo a las instalaciones, equipos y a los factores ligados al animal y al alimento”³¹⁰.

“Los principales contaminantes de las excretas porcinas pueden dividirse a su vez en: físicos como la materia orgánica y los sólidos en suspensión; químicos como el nitrógeno, el fósforo y el potasio excretados y el olor el cual es ocasionado por una gran cantidad de compuestos orgánicos volátiles, sin embargo, el principal problema ocasionado por las excretas es la contaminación química debida a la excreción de grandes cantidades de nitrógeno (en forma de nitratos), fósforo y potasio”³¹¹.

“Entre las alternativas para disminuir la contaminación ocasionada por las excretas esta el uso de fitasas, por cuanto la adición de estas enzimas en dietas de cerdos disminuye la excreción de fósforo de 44 a 61%”³¹²; puesto que mejoran la disponibilidad de fosfatos de los vegetales”³¹³.

“Recientes estudios han mostrado que al agregar la enzima fitasa a la dieta de las aves y cerdos se puede aumentar la cantidad de fósforo disponible al animal. Lo cual debe de permitir a los productores poder reducir de 0.1 á 0.12% la cantidad de fósforo inorgánico. De esta manera se reduce la cantidad de fósforo en el estiércol y por consiguiente la contaminación ambiental”³¹⁴.

“La eficacia de fitasa en lechones ha sido ampliamente demostrada”³¹⁵. Kornegay y Quian, estimaron que el porcentaje de fósforo liberado del ácido fítico por la acción de las fitasas rondaba el 40%, situándose la equivalencia entre 0,1 y 0,2% de fósforo disponible por cada 1.000 UI de fitasa. Este incremento en la digestibilidad reduce el fósforo fecal entre el 25 y el 50%”³¹⁶.

³¹⁰ DOURMAND, citado por MARISCAL. Op. cit., p.4

³¹¹ SUTTON et al y PEET-SCWERING et al. Citados por Mariscal. Op.cit., p.4

³¹² GRANDHI y VEUM, citados por James et al., Effect of Phytase Dosage and Source on Growth Performance and Bone Development of Nursery Pigs. Professional Animal Scientist, Feb. 2008 p.5 < http://findarticles.com/p/articles/mi_qa4035/is_200802/ai_n24393803>

³¹³ BRUFAU, Op. cit., p. 4

³¹⁴ DONAYRE, Op. cit. p. 2

³¹⁵ KORNEGAY y QUIAN, YI et al., MURRY et al., Citados por Mendel, Latorre y Mateos Op. cit., p.5

³¹⁶ PALLAUF et al, LEI et al y YI et al .,citados por Mendel, Latorre y Mateos,. Op. cit., p. 25

“En relación a otra fase productiva, un estudio realizado por Hill et al, donde evaluó el uso de subproductos de destilería (DDGS) en dietas para cerdas de alta producción con inclusión de fitasa; concluyó que la excreción de fósforo fítico a nivel fecal fue menor en los animales alimentados con DDGS + Fitasa que en los alimentados con el resto de tratamientos, además, la inclusión de un 15% de DDGS en las dietas de lactación no compromete la productividad de la cerda y además aporta proteína, energía y fósforo”³¹⁷.

“La nueva generación de fitasas ayudan a los productores a mantenerse un paso adelante frente a las presiones económicas. Mientras que la mayor cantidad de fitasas del mercado derivan de diferentes especies de hongos, un producto de nueva generación se deriva de bacterias, lo cual le otorga propiedades distintivas (mayor rango de actividad en los distintos pH del tracto digestivo, mayor resistencia a la degradación por las enzimas propias del animal, mayor afinidad por los fitatos y mayor termoresistencia.”³¹⁸

Cerdos alimentados con dietas reducidas en calcio y fósforo, suplementadas con la misma dosis de fitasa durante el período productivo, la nueva generación de fitasa es alrededor de un 45% más efectiva en el aumento de ganancia de peso y un 70% más efectiva en mejorar la conversión alimenticia.

“Estas diferencias se deben a la habilidad superior de liberar más fósforo del fitato de la dieta, conjuntamente con el beneficio secundario de reducir las propiedades antinutricionales del fitato; con esta reducción, más energía y aminoácidos se vuelven disponibles para el animal, con los beneficios consecuentes para el crecimiento y la utilización del alimento”³¹⁹.

“No obstante, investigaciones no muestran aumentos en la digestibilidad de los nutrientes en la dieta, sin llegar a influir en un positivo impacto ambiental; tal es el caso de la inclusión de un complejo enzimático, compuesto por amilasa, celulasa, pentosanasa, α -galactosidasa y proteasa en dietas para cerdos, a base de maíz y harina de soya. Donde la ausencia de resultados positivos por la administración de suplementos para cerdos de 50 a 150 días de edad, obtenidos en esa investigación, podría estar relacionado con el método empleado, los niveles de PNA, la dieta y el bajo nivel de inclusión de las enzimas a la dieta”³²⁰.

³¹⁷ HILL, G. Et al. Utilización de subproductos de destilería y fitasa en las dietas de cerdas en lactación para complementar los requerimientos de fósforo y reducir la concentración de fósforo a nivel fecal. 2008. Journal of Animal Science, 86:112-118 <<http://www.3tres3.com>>

³¹⁸ Partridge, Gary. Op. cit.p3

³¹⁹ Ibid., p.2

³²⁰ RUIZ, et al. Enzyme complex for swine: nutrient digestion, metabolism, performance and environmental impact. Revista Brasileira de Zootecnia. Vol.37 No.3. 2008 p.8 <www.scielo.br/rbz>

“La utilización de las fitasas en la industria de los alimentos para animales se ha visto favorecida recientemente por lo atractivo de sus precios (descenso de los costos de producción por la aplicación de nueva biotecnología), la mejora en la utilización de varios nutrientes (minerales, aminoácidos, energía), el aumento del rendimiento animal y la disminución del grado de polución ambiental (menor eliminación de efluentes)”³²¹. Sin embargo, la actividad de la fitasa no es totalmente predecible, ya que el beneficio que consigue depende de varios factores, incluyendo el material crudo empleado, fuente de fitasa, edad del animal, contenido dietético de calcio, fósforo y vitamina D, así como, el nivel de actividad fitasa presente en la dieta”³²².

³²¹ BRENES, et.al., 2000 Op.cit., p. 3

³²² BEDFORD, citado por Gómez, E. Op. cit., p.95

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES

- La utilización de enzimas exógenas en lechones destetados mejora algunos parámetros productivos como ganancia de peso, incremento en el consumo, conversión alimenticia, ya que influyen en la digestibilidad de las dietas y sustituyen el descenso de producción de enzimas endógenas propias del aparato digestivo inmaduro, con la posibilidad de disminuir los promotores de crecimiento.
- La utilización de enzimas en alimentación porcina se constituye en un medio por el cual se mejora el aprovechamiento de recursos alimentarios que en el pasado se descartaban por el simple efecto negativo que ocasionaban bien sea por la baja digestibilidad, niveles altos de fibra o PNA, entre otros.
- Es conveniente realizar énfasis en la digestión de los subproductos fibrosos utilizados en la alimentación porcina, ya que la biotecnología enzimática puede dar lugar al máximo aprovechamiento de estas materias primas en el momento de realizar una formulación económica y de buenas características nutricionales, principalmente en la fase de levante y acabado.
- La utilización de enzimas exógenas en la alimentación animal tiene un limitante que es un substrato específico para su actividad además de la variabilidad en la composición de las materias primas que se usan para la elaboración de balanceados.
- Es importante tener en cuenta que existen unos factores que intervienen en la actividad enzimática como la edad y peso del animal, origen y composición química de la dieta, raza, métodos analíticos para determinar las enzimas, etc., y además, se debe de tener en cuenta que dichos factores no actúan de forma aislada sino que presentan interacciones entre sí.
- Es conveniente analizar las ventajas obtenidas con la adición de enzimas exógenas a las dietas post-destete respecto a los beneficios económicos, ya que la alimentación inicial se constituye en un mínimo porcentaje de la alimentación total y se hace necesario el criterio de evaluación económica y rentable en lo que se refiere a su aporte en los costos de producción y su beneficio en la producción total.

- La biotecnología tiene un amplio rango de aplicación en la industria de alimentos para animales, ya que sus objetivos son producir alimentos de mejor calidad en forma más eficiente y segura para la salud y el medio ambiente, con lo que se contribuye a una agricultura sostenible que utiliza con respeto los recursos naturales.

8.2 RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio de factibilidad a cerca de la utilización de enzimas exógenas en dietas para lechones postdestete, en una granja porcícola del departamento de Nariño.
- Realizar proyectos para evaluar la adición de enzimas exógenas con diferentes recursos alimentarios y en todas las etapas productivas del ganado porcino.
- Desarrollar monografías y proyectos que incluyan el uso de enzimas fibrolíticas exógenas en dietas para rumiantes, para tener conocimiento a cerca de los efectos que conlleva la utilización de estos aditivos.

BIBLIOGRAFÍA

_____. Cofactores enzimáticos. Universidad de Huelva 2007. 6 p.
<www.uhu.es>

_____. The Catalytic Site Atlas at The European Bioinformatics Institute, 2001
4 p. <<http://www.ebi.ac.uk/thornton-srvdatabases/CSA/>>

_____. Enzimas. Universidad de Zaragoza. España, 2000 3 p.
<<http://milksci.unizr.es>>

ACEBAL y CASTILLÓN. Biotecnología enzimática y biotransformaciones de
interés industria. Universidad Complutense de Madrid, 2001. 12 p.
<http://www.ucm.es/info/otri/complutecno/fichas/tec_cacebal1.htm>

AGUILERA, et al. Desarrollo del aparato digestivo de lechones destetados
alimentados con subproductos lácteos. Universidad Autónoma de Querétaro.
2006. 5 p.<<http://www.cio.mx>>

ALLEE y TOUCHETTE. Efectos de la nutrición sobre la salud intestinal y el
crecimiento de lechones. En: XV curso de especialización. Avances en nutrición y
alimentación animal. FEDNA. Universidad de Missouri. 2000, 14 p
<www.etsia.upm.es>

ALVARADO y VEGA. Uso de levadura viva, enzimas y ácidos dicarboxílicos en
ganado lechero en condiciones tropicales .Costa Rica. 2000. 12 p.<<http://www.saf-agri.com>>

AQUALAB. Actividad de agua en alimentos. 2002 p. 2 <www.aqualab.com>

ARIAS, Edison y LASTRA, Jorge. Biotecnología - Tecnología Enzimática. 11 de
Febrero de 2004. 12 p. <<http://www.revistaciencias.com/publicaciones>>

ARROYO, Miguel. Tecnología Enzimática Aplicada, 2003. 15 p.
<<http://www.ucm.es/info/ecsa/fichas/0300010.htm>>

ASOCIACIÓN ARGENTINA CABAÑEROS DE PORCINOS. Actualidad porcina.
2006 p.3 <<http://www.aacporcinos.com.ar>>

AYALA, Pedro. Clasificación de las enzimas. Universidad de Sonora. 2006. p. 1
<<http://payala.mayo.uson.mx/>>

BAÑEZ, J. Química Industrial Alimentaria: Biotecnología. 2006
<www.eis.uva.es/~jmbsanz/alimentaria.html>

BEDFORD, M.R. AND SCHULTZ, H. Exogenous enzymes for pigs and poultry. Nutrition Research Reviews. 11: 91-114.1998

BIOLOGY ONLINE. 2005<<http://www.biology-online.org>>

BIOQUIMICA Y CIENCIAS BIOLÓGICAS. Enzimas y Temperatura. 1990
<<http://apuntesdebioquimica.tripod.com>>

BRENES, et al. Las enzimas en nutrición porcina II y III, 2000
<www.providesa.com>

BRUFAU, Joaquim. La Prohibición de la Comunidad Económica Europea del Uso de Antibióticos como Promotores de Crecimiento y sus Consecuencias. En: Alternativas Potenciales. España 2001. 7 p. <www.saf-agri.com/spanish/INFORTEC/queretaro13.htm>

CADOGAN, PARTRIDGE y SIMMINS. Proceedings of the British Society Animal Science 2000 p.21<<http://www.publish.csiro.au>>

CAMPABADAL, Carlos y NAVARRO, Héctor. Alimentación del lechón al destete. Centro de Investigaciones en Nutrición Animal. México, 1996 23p
<<http://www.soyamex.com.mx>>

CAMPBELL, G. Utilización de enzimas en granos de cereales: fitasas, glucanasas y pentosanas. En: IX curso de especialización FEDNA. 1993. 18 p.
<www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/93CAP_8.pdf>

CAPITALIA COLOMBIA. Boletín Centro de Inversiones. Edición No. 1 del 9 de Julio de 2006. <www.capitaliacolombia.com>

CARRERA, Jorge. Producción y aplicación de enzimas industriales Facultad de ciencias Agropecuarias. Vol 1 Marzo 2003 p. 2
<<http://www.unicauca.edu.co/biotecnologia/ediciones/vol1/Ar11.pdf>>

CARRO, María y RANILLA, María. Los aditivos antibióticos promotores del crecimiento de los animales: situación actual y posibles alternativas. España. 2002.<http://www.produccionbovina.com/informacion_tecnica/invernada_promotor es_crecimiento/01-aditivos_antibioticos_promotores.htm>

CASSO Y MONTERO, Factores antinutricionales en la alimentación de animales monogástricos, 2000.6 p <<http://www.sian.info.ve>>

CASTRO, M. Uso de aditivos en la alimentación de animales monogástricos. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, Tomo 39, Número Especial, 2005. <http://200.55.142.53/data/files/rcca/311.pdf>

CASTRO. Obtención de amilasas fúngicas a partir de Aspergillus sp. Aislado de semillas de lentejas. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogota <www.utadeo.edu.co>

CETINA, Rubén. Digestión Enzimática. 44 [diapositivas] Universidad Autónoma de Yucatán. México, 2000 <www.uady.mx>

CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD. Efecto del pH y de la temperatura sobre la actividad de la transaminasa. Universidad Autónoma Metropolitana. 2002. p. 1 <<http://www.uam.mx/>>

COLABORADORES DE WIKIPEDIA. Enzima .Wikipedia, La enciclopedia libre, 2008. p. 4 <<http://es.wikipedia.org>>

COLABORADORES DE WIKIPEDIA. Catálisis enzimática [en línea]. Wikipedia, La enciclopedia libre, 2008 <http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Cat%C3%A1lisis_enzim%C3%A1tica&oldid=17395576>

COLABORADORES DE WIKIPEDIA. Cinética enzimática [en línea]. Wikipedia, La enciclopedia libre, 2008 15 p. <http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Cin%C3%A9tica_enzim%C3%A1tica&oldid=18225955>

COLABORADORES DE WIKIPEDIA. Inhibidor enzimático [en línea]. Wikipedia, La enciclopedia libre, 2008 <<http://es.wikipedia.org/w/index.php>>

CRUCES, et al. Digestibilidad total aparente de la torta gruesa de maíz hidrolizada tratada con enzimas exógenas. Universidad Central de Venezuela. En: Revista científica vol. XII, No. 2 Octubre. 500 p. <www.redalyc.com>

CHAPINAL et al. Bienestar del lechón en la fase de lactación, destete y transición. P.6 2007 <<http://www.avancesentecnologiaporcina.com>>

CHI, et al. Viscosidad de la dieta y su efecto sobre la pérdida de aminoácidos endógenos recuperados en ileon terminal de cerdos. En: Agrociencia 2005 julio-agosto Vol .39 número 004. 25 p. <<http://www.agrociencia.redalyc.com/viscosidad.pdf>>

DAPOZA, Carlos. Alimentación nitrogenada del lechón. Madrid. 2002 p 1 <www.prodivesa.com>

DEPARTAMENTO DE BIOQUIMICA Y BIOFISICA MOLECULAR. El Proyecto Biológico. Universidad de Arizona. 2004 16 p <<http://www.biologia.arizona.edu>>

DEPARTAMENTO DE BIOQUIMICA Y BIOLOGIA MOLECULAR. Estructura tridimensional de las proteínas. Universidad Peruana Cayetano Heredia. 2006 p. 1 <<http://www.upch.edu.pe>>

DE OLIVEIRA et al. Utilización de enzimas exógenas en dietas con diferentes fuentes y niveles de proteína para lechones en fase de crecimiento. 2005 8 p. <<http://www.scielo.br/scielo.php>>

DE SOUZA, et al. Efecto de diferentes cereales sobre la morfología intestinal de lechones recién destetados. Técnica Pecuaria México, 2005. 43(3) 309-321. <<http://www.tecnicapecuaria.org.mx>>

DOMINGUEZ, Laura. Conservación de alimentos. Dirección Nacional de Alimentos. Buenos Aires. Argentina. 2000 2 p. <<http://www.alimentosargentinos.gov.ar>>

DONAYRE, Juan. Como elegir fitasa – un nuevo enfoque dentro de la formulación de raciones. 2005. 3 p. <www.Engormix.com>

DSM Nutritional Products. Feed enzymes, 2007. 8 p. <<http://www.dsm.com>>

DURAN, Rafael. Enzimas exógenos, sus efectos sobre la nutrición y sobre la flora microbiana intestinal del lechón destetado. En: ANAPORC, 2001. 10 p. <<http://www.nanta.es>>

DURANGO et al. Producción de enzimas amilasa microbiana, mediante fermentación en estado líquido. Universidad Pontificia Bolivariana. Montería. 2008. 37 p. <<http://docencia.izt.uam.mx>>

ELIZARRARAZ R. Efecto de la suplementación de enzimas en la dieta para pollo de engorda sobre los parámetros productivos. Tesis. México. 1999. 56 p. <<http://digeset.ucol.mx>>

ERLANSON et al. Pancreatic procolipase activation peptide-enterostatin-inhibits pancreatic enzyme secretion in the pig, 1991. 619 p.

ENCICLOPEDIA MICROSOFT ENCARTA. Online. Enzima. 2008 <<http://es.encarta.msn.com>>

- FEDERACIÓN VENEZOLANA DE PORCICULTURA. La crisis alimentaria y su impacto en la producción agrícola animal en Venezuela. Caracas, 2008. 38p. <<http://www.unimet.edu.ve>>
- FIGUEROA et al. Alimentos funcionales para cerdos al destete. En: Veterinaria México. Vol. 37. No. 1 enero – marzo 2006. 18 p.<<http://www.medigraphic.com>>
- FLORES, M. y RODRIGUEZ, M. Nutrición animal. Universidad de las Palmas de Gran Canaria. 2006 p.2 <<http://www.webs.ulpgc.es/nutranim/tema9.htm>>
- GARCÍA, QUINTERO Y LÓPEZ. Biotecnología alimentaria. Editorial: Limusa. 2002. 825 p. <<http://books.google.com.co/books>>
- GEBAUER, Gabriel. La homeopatía, las enzimas y la información. 2001 p. 1 <<http://www.homeoint.org>>
- GIL, Francisco. Empleo de enzimas en nutrición animal. España. p. 1. 2000 <<http://www.terra.es/personal2/adymix>>
- GOMEZ, Elena. Transformación y mejora del valor nutritivo de la harina de guisante mediante la adición de enzima fitasa. Universidad de Granada. Tesis. 2005. 223 p. <<http://hera.ugr.es>>
- GONZALEZ, Eliel. Utilización de enzimas fibrolíticas en cabras lecheras. Evaluación de su actividad y características fermentativas in Vitro. Barcelona 2004 <www.tesisnarxa.net>
- GONZALEZ, Juan. Enzimas En: Curso de Biomoléculas. Universidad del País Vasco. España, 2000 5 p. <<http://www.ehu.es/biomoleculas/enzimas/tema11.htm>>
- GUTIÉRREZ, Ángela. Nutrición del lechón destetado. IV Jornadas Técnicas de Porcino NANTA. Holanda, 2003. 10 p.<www.nanta.es>
- GRACIA, et al. Suplementación enzimática en dietas para lechones. Avances en tecnología porcina. Vol. I. 2004. 12 p. <www.myaenzimas.com>
- GRANDHI y VEUM, citados por James et al., Effect of Phytase Dosage and Source on Growth Performance and Bone Development of Nursery Pigs. Professional Animal Scientist, Feb. 2008 <http://findarticles.com/p/articles/mi_qa4035/is_200802/ai_n24393803>
- HERNANDEZ, Rubén. Enzimas En: LibroBotánicaOnLine. Universidad de Los Andes. Venezuela. 2001. 14 p<<http://www.forest.ula.ve>>

HILL, G. Et al. Utilización de subproductos de destilería y fitasa en las dietas de cerdas en lactación para complementar los requerimientos de fósforo y reducir la concentración de fósforo a nivel fecal. 2008. Journal of Animal Science, 86:112-118 <<http://www.3tres3.com>>

HURTADO et al. Adición de enzimas exógenas para lechones de 10 a 30 Kg de peso En: Revista Brasileira de zootecnia, 2000. 10 p. <<http://www.scielo.br/scielo.php>>

INHIBICION ENZIMATICA. [diapositiva] España, 2000. 20 p. <<http://www.usal.es>>

ITESCAM. Cinemática de las reacciones enzimáticas. México, 2005 p. 4 <www.itescam.edu.mx>

JAEGER KE. y EGGERT T. En antioselective biocatalysis optimized by directed evolution. Curr Opin Biotechnol. Vol. 15 (4). 2004. 10 p. <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>>

JONGBLOED, KEMME y MROZ. El papel de la fitasa microbiana en la producción porcina citados por CHOCT Enzymes in animal nutrition: the unseen benefits 1997 <<http://www.idrc.ca>>

KELP. Food Science and Technology citado por BIOQUIMICA Y CIENCIAS BIOLÓGICAS. Enzimas y Temperatura, 1990. 30 p. <<http://apuntesdebioquimica.tripod.com>>

KIM y BAKER. Use of enzyme supplements in pig diets base don soyabean meal. Pig News and Information 2003 Vol 24. No. 3 p. 92 <<http://www.3tres3.com/nutrimail>>

LABALA, Jorge. Aditivos en alimentación porcina. En: Vetinews. 2006. p.3 <<http://www.vetifarma.com.ar>>

LARRE, Iker. Utilización de enzimas en la elaboración de alimentos. San Sebastián. España, 2000. 13 p. <<http://www.ikerlarre.e.telefonica.net/paginas/enzimas.htm>>

LAYNE, Jason. The non-phosphorus effects of dietary phytase in swine and poultry. 144 p. 2004 <http://etd.lsu.edu/docs/available/etd-03242004-154627/unrestricted/Shelton_dis.pdf>

LEÓN, Rosa y VIGARA, Javier. Enzimas. Universidad de Huelva. 2007. p. 75 <<http://www.uhu.es>>

LI W.F. et al. Effects of non-starch polysaccharides enzymes on pancreatic and small intestinal digestive enzyme activities in piglet fed diets containing high amounts of barley. 2004. 6 p. <www.wjgnet.com>

LIU y BAIDOO, Exogenous enzymes for pig diets: an overview. Universidad de Manitoba. Canadá, 2000. 5 p. <www.idrc.ca/en/ev-30967-201-1-DO_TOPIC.html>

LUCAS, Emilio. Biotecnología de Alimentos. Febrero 2004. <<http://www.ilustrados.com>>

LUDEÑA, Marco. La Enzimología. Universidad Peruana Cayetano Heredia. P.4. 1999 <<http://www.monografias.com>>

MARCUS. K. Nutrición y calidad de la cama. Aviagen. <<http://www.aviagen.com>>

MARISCAL, Gerardo. Tratamiento excretas cerdos. FAO, Capítulo 7. 2007 8 p. <www.fao.org/wairdocs/LEAD/X6372S/x6372s08.htm>

MARTINEZ, Daniel. Adaptación digestiva del lechón destetado. España. 2008 p. 1 <<http://www.3tres3.com>>

MARTÍNEZ, Daniel. Implicaciones digestivas y metabólicas del consumo de almidón resistente en el cerdo Tesis. Universidad Autónoma de Barcelona. 2006. p. 35 <www.tdr.cesca.es/pdf>

MATEOS, G. y MEDEL, P. Aditivos en porcino: adición de enzimas y marco regulador. 2008. <<http://www.3tres3.com>>

MATEOS, G. y MEDEL, P. Nutrición III: Adaptación digestiva del lechón recién destetado, 2008. 4 p. <<http://www.3tres3.com>>

MAVROMICHALIS y PATON. Nuevos ingredientes en la alimentación de cerdos. XX curso de especialización FEDNA 2004 7 p. <www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/04CAP_7.pdf>

MEDEL, P. et al. Processing of barley and enzyme supplementation in diets for young pigs. Anim. Feed Sci. Technol. 95: 113-122. 2002

MENDEL, P., LA TORRE, M. Y MATEOS G. Nutrición y alimentación de lechones destetados precozmente. En: curso de especialización Avances en nutrición y alimentación animal. FEDNA. Madrid, 2003. 14 p. <www.etsia.upm.es>

MORALES, Joaquín. Efecto de la fermentación microbiana en el intestino grueso sobre la digestión, absorción y utilización de nutrientes: comparación entre el

cerdo Landrace y el Ibérico. Tesis. Universidad Autónoma de Barcelona. 2002. 552 p. <<http://www.tesisenxarxa.net>>

MORALES, M. Digestibilidad ileal de aminoácidos y comportamiento productivo de cerdos alimentados con dietas a base de trigo, adicionadas con una proteasa fangal. En: *Agrociencia*, sep-oct 2002. vol.36. 515- 522 p.<www.redalyc.com>

MORILLO, et. al., Enzyme Supplementation to piglet diets. *J. Anim.Sci.* 81. En: Congreso anual internacional de la American Society of Animal Science, 2003. 90 p. <www.nanta.es>

MOSS, G. Enzyme Nomenclature. Queen Mary University of London. 2008. 25 p. <<http://www.chem.qmul.ac.uk/iubmb/enzyme/>>

MUNDO ALIMENTARIO. Aplicación de las enzimas en la producción industrial, 2003. 15 p. <<http://www.alimentariaonline.com>>

NAVAS, Jesús. Enzimas [Diapositiva]. Departamento Biología Molecular. Universidad de Cantabria. 2008 <<http://grupos.unican.es>>

NICODEMUS, et. al. Utilización de enzimas en piensos de conejos. Universidad Politécnica de Madrid, 2000. 8 p. <www.cunicultura.com>

NIÑO, Oscar. La ingeniería enzimática. 2001 8 p. <<http://www.alfinal.com/monografias/ingenieriaenzimatica.shtml>>

OCHOA, Luz, TINOCO, Perla y ORTIZ, Miguel. Enzimas. Instituto Nacional de Salud Pública. México. 2008. 40 [diapositivas] <<http://www.scribd.com>>

ORDOÑEZ, Juan, et al. Aplicación de radiaciones ionizantes a los alimentos. En: *Revista del Comité Científico*. España, 2004 p. 11 <<http://www.aesa.msc.es>>

ORTIZ, Perla. Utilización de alternativas naturales a los antibióticos promotores del crecimiento en la salud intestinal y parámetros productivos de pollos broilers. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Quillota, Mayo 2004. 108 p <http://ucv.altavoz.net/prontus_unidadacad/site/artic/20061215/asocfile/20061215104649/ortiz_perla.pdf>

PARTRIDGE, Gary. Mejorando el valor alimenticio de los subproductos de granos en alimentos para cerdos por adición de enzimas. En *artículos técnicos*, 2001 <www.engormix.com>

PERETÓ et al. Fundamentos de bioquímica. Universidad de Valencia.2007. p 100 <<http://books.google.com.co.>>

PEREZ, José. Adaptación digestiva del lechón recién destetado. España. 2008 p. 1 <<http://www.3tres3.com.>>

PEREZ, J. y GASA, J. Nutrición y patología digestiva en porcino. En: XVIII curso de especialización FEDNA. Barcelona, 2002 70 p. <http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/2002CAP_IV.pdf>

PLUSKE et al., citados por Chapinal et al. Bienestar del lechón en la fase de lactación, destete y transición, 2007. 16 p. <<http://www.avancesentecnologiaporcina.com>>

QUILES y HEVIA. Fisiología del sistema enzimático del lechón. Universidad de Mursia p. 3. 2003 <<http://www.edicionestecnicasreunidas.com>>

QUILES, A y HEVIA, M. Empleo de fitasas en ganado porcino. En: Producción animal. Julio-Agosto 2007. No. 234. 25 p. <www.edicionestecnicasreunidas.com>

QUINTERO, Armando. Uso de enzimas en la nutrición de cerdos. Universidad del Zulia. Vol.2. 1995 p.1 <http://www.sian.info.ve/porcinos/publicaciones/revista_cientifica/quintero.htm>

REBOLLAR, María. Evaluación de indicadores productivos en pollos de engorda al incluir maíz y pasta de soya extruidos y malta de cebada. Tesis. Universidad de Colima. Diciembre de 2002 p.55 <<http://pdigestet.mx>>

RODRIGUEZ, Juan. Enzimas aplicadas a los alimentos. Chile. 2006. p. <www.chilepotenciaalimentaria.com>

ROPPA, Luciano. Nutrición de los lechones en la fase del destete. 2002. p. 2 <www.vetefarm.com>

RUEDA, Vicenta. Aditivos en porcino. Universidad Santiago de Compostela, 2000. 10 p. <<http://www.3tres3.com>>

RUIZ, et al. Enzyme complex for swine: nutrient digestion, metabolism, performance and environmental impact. Revista Brasileira de Zootecnia. Vol.37 No.3. 2008 12 p. <www.scielo.br/rbz>

SAENZ, Chaco. Mecanismo de acción de las enzimas. 2004. p.1 <<http://fai.unne.edu.ar>>

SALAZAR, Gerardo. Compendio de Tecnologías para el manejo y utilización de las excretas de las granjas porcícolas. <www.produccionbovina.com>

SANGILD, et al. Effect of fluid ingestion on gastrin secretion in the fetal pig. *Reproduction in Domestic Animals*, 1993. 214 p.

SANTOS, Lizette. *Enzimología y Química de Proteínas*. Agosto 2007. p 7 <<http://marc.pucpr.edu/facultad/santos/613.htm>>

SAVON, Lourdes. Utilización de alimentos altos en fibra. En: *Alimentación no convencional de especies monogástricas*. Instituto de Ciencia Animal. Cuba, 2003 p.34 <<http://www.avpa.ula.ve>>

SEARS, WALSG Y HOYOS. Enzimas citados por Rebollar, María en *Evaluación de indicadores productivos en pollos de engorda al incluir maíz y pasta de soya extruidos y malta de cebada*. En: Tesis. Universidad de Colima. Diciembre de 2002. p.65.

SIMMINS, Finfeeds International ltd., Wiltshire. *Interacción de los enzimas con otros aditivos en dietas para porcino*. 2000 12 p.

SISIB. Algunas consideraciones fisiológicas del cerdo lactante y su significación productiva en relación al destete. Chile 2000 <<http://www.monografiasveterinaria.uchile.cl>>

SISIB. *Propiedades generales de las enzimas*. Chile 2000, 20 p <<http://mazinger.sisib.uchile.cl>>

SISIB. *Sistema digestivo*. Chile, 2001. p 8 <www.mazinger.sisib.uchile.cl>

S.I.T. Servicios de Información técnica. *Biología de Alimentos*, 2002. 9 p. <<http://www.ciz.org.ve/SIT%20ALIMENTOS.htm>>

SOUZA et al. Morfología del tracto digestivo de lechones alimentados con dietas con aislado o concentrado de proteínas de soya. En: *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. Vol. 15. No. 4. 134-140. Universidad Autónoma de Querétaro. 2007 <<http://www.alpa.org.ve>>

TAPINGKAE et al. Influencia de la inclusión de xilanasa obtenida de *Aspergillus Níger* FAS128 sobre la digestibilidad in vitro y los parámetros productivos en lechones. *Animal Feed Science and Technology*, 140:125-138. 2008 <www.sciencedirect.com>

TAYLOR, CROMWELL y LINDEMANN. Biodisponibilidad del fósforo en harina de carne y hueso para cerdos. *Journal of Animal Science* 2005. p.1 <www.jas.fass.org>

TEXEIRA, et al. Niveles de enzimas exógenas en raciones para lechones en crecimiento. Reunión Anual de la Sociedad Brasileña de zootecnia, 2001

TORERO, Augusto. Las enzimas exógenas: insumos básicos para la fabricación del alimento balanceado para animales. En: ECAG Informa. No. 42. 2007 <www.revistaecag.com>

VÁZQUEZ, et al. Peso de órganos digestivos de lechones destetados alimentados con diferentes fuentes de proteína. En: Memorias del VIII Verano de la Ciencia de la Región Centro. Universidad Autónoma de Querétaro. México, 2000 3p. <<http://www.uaq.mx>>

YIN, Y.L. et al. Effects of supplementing diets containing hullless barley varieties having different levels of non-starch polysaccharides with b-glucanase and xylanase on the physiological status of the gastrointestinal tract and nutrient digestibility of weaned pigs. Livestock Production Science No. 71: 97-107. 2001 <<http://www.sciencedirect.com>>