

# USO DE ENZIMAS EN DIETAS PARA CERDOS

J. S. Radcliffe  
Purdue University  
West Lafayette, IN 47907-2042, USA

## INTRODUCCIÓN

Las enzimas digestivas son producidas por los cerdos y transportadas en varias secreciones del tracto gastrointestinal, donde ayudan a facilitar la degradación del alimento ingerido; no obstante, existen ciertos componentes de la dieta para los cuales los cerdos no producen enzimas específicas o cuando menos no en cantidades suficientes como para que éstas los degraden. Como resultado, dichos componentes de la ración y los nutrimentos que contienen, se excretan. Además, algunos componentes alimenticios no digeribles pueden tener efectos antinutricionales. Por ejemplo, el fitato consiste en un anillo inositol con seis átomos de carbono, cada uno de los cuales tiene adherido un grupo fosfato, indigerible para el cerdo. Como resultado este compuesto se excreta, por lo que se pierde el fósforo asociado a él. Además, debido a su alta carga negativa en pH neutro, el fitato se puede unir a otras moléculas cargadas positivamente, impidiendo que queden disponibles para su absorción. Por lo tanto, la presencia de fitato en la dieta no sólo produce una disminución en la digestibilidad del fósforo sino también en la del calcio, la energía y la proteína bruta. Los avances en la tecnología de la fermentación y los mejoramientos en materia de biotecnología han hecho que la producción comercial de muchas enzimas resulte costeable. Dichas enzimas se pueden agregar a la dieta de los cerdos para mejorar la digestibilidad de los nutrimentos y el rendimiento animal. Desgraciadamente, es poca la información que respalda el uso de muchos de estos productos enzimáticos en los alimentos para cerdos. En el presente trabajo intentaremos revisar e interpretar algunos de los datos que existen en la literatura sobre el uso de las enzimas en las dietas para porcinos.

## ANTECEDENTES

Los requerimientos de nutrimentos de los cerdos se pueden desglosar en seis grandes categorías, a saber: 1) agua, 2) proteína, 3) carbohidratos, 4) lípidos, 5) minerales y 6) vitaminas. Por lo general, pensamos que las enzimas ayudan a digerir los nutrimentos de tres de estas seis clases (proteínas, carbohidratos y grasas). Los cerdos no requieren proteínas, carbohidratos ni lípidos como tales en la ración, sino más bien los componentes de estas moléculas grandes, específicamente, aminoácidos, azúcares simples y ácidos grasos. Las proteasas, carbohidrasas y lipasas producidas por el cerdo catalizan el desdoblamiento de proteínas, carbohidratos y lípidos, y representan clases de enzimas más que a las enzimas mismas. Dentro de cada clase de enzimas existe una multitud de miembros, cada uno de los cuales tiene un blanco específico. Por ejemplo, la tripsina es una enzima considerada como proteasa o peptidasa que rompe específicamente a los polipéptidos del lado del carboxilo de los residuos de lisina y arginina. La quimotripsina también es una proteasa o peptidasa que cataliza la digestión de los polipéptidos del lado del carboxilo de los aminoácidos aromáticos. Tal vez el papel de las enzimas en la digestión y absorción de minerales y vitaminas sea menos

obvio, pero es igualmente importante. Muchas proteínas requieren uno o más minerales para su doblamiento adecuado y para su estructura tridimensional y, por ello, mientras la proteína este intacta en el aparato gastrointestinal, el mineral no está disponible para su absorción. Las vitaminas A, D, E y K son liposolubles, y muchas dependen de las lipasas para quedar disponibles para el animal. El papel de las enzimas en la digestión se complica todavía más por la complejidad de las configuración de los nutrimentos presentes en la dieta. Por ejemplo, las proteínas son complejos formados por múltiples cadenas de polipéptidos, las cuales están unidas entre sí por varios mecanismos para formar la estructura tridimensional de la proteína. Como ya indicamos, los minerales con frecuencia forman complejos con las proteínas para ayudar a constituir las estructuras terciaria y cuaternaria de las mismas. Muchas proteínas también están glicosiladas, lo cual significa que se han adherido a ellas varios azúcares y esto ejerce influencia sobre la funcionalidad de la proteína. Mientras más compleja sea ésta, más barreras presentará para la digestión. Cada estrato de complejidad debe ser separado para que las enzimas puedan tener acceso a sus sitios de acción.

Para complicar el asunto todavía más, existen ciertas estructuras químicas en la mayoría de los ingredientes que las enzimas que producen los cerdos no son capaces de degradar. Algunos de estos compuestos también son antinutrientes y tal vez el más conocido de esta categoría sea el fitato. Hasta hace poco, los nutrimentos contenidos o ligados a estos compuestos indigestibles se consideraban como no disponibles, por lo que se hacía lo posible para evitar administrar ciertos ingredientes que contenían cantidades altas de compuestos indigestibles o antinutricionales. No obstante, los mejoramientos en los sistemas de fermentación y biotecnología han hecho posible ahora producir varias enzimas de manera costeable como para poder agregarlas a las dietas del porcino.

### **Limitaciones a la administración de enzimas exógenas al alimento**

Todas las enzimas son proteínas y –por ende– las que se agreguen al alimento serán degradadas a péptidos y aminoácidos, tal como ocurre con cualquier otra proteína de la ración. Uno de los retos a que se enfrentan los fabricantes de las enzimas es desarrollar productos capaces de resistir la digestión durante un tiempo suficientemente prolongado como para llegar a su sitio de acción. Por ejemplo, una enzima como la  $\beta$ -mananasa tiene un pH óptimo de alrededor de 7.0 y debe resistir la digestión en el estómago y el duodeno antes de llegar a la sección del tracto gastrointestinal donde el pH sea suficientemente alto como para activarse. Además, las proteínas son termolábiles y –por lo tanto– no suelen resistir las temperaturas asociadas con la peletización del alimento, por lo que la industria de las enzimas tiene el reto adicional de encontrar métodos para resolver este problema de falta de estabilidad ante el calor. Para resolver este problema se han seguido dos caminos: primero, desarrollar enzimas termoestables y, segundo, sencillamente aplicar las enzimas después de haber peleteado el alimento.

Otra limitación en el uso de las enzimas en la nutrición del cerdo ha sido la capacidad de reproducir *in vitro* los resultados que se obtendrán en el animal. Por ejemplo, es posible agregar varias enzimas que ataquen a los polisacáridos no amiláceos (*NSP*, por sus siglas en inglés) al alimento de los cerdos bajo situaciones de laboratorio,

incrementando así la liberación de azúcares a partir de dichos *NSP*. Existen evidencias que sugieren que esto también ocurre *in vivo*; sin embargo, no siempre se obtienen mejoramientos en el crecimiento y la digestibilidad, o no son de la magnitud que se esperaba. Esto se puede deber a que –aun cuando se ha investigado la capacidad de liberar polisacáridos no amiláceos normalmente indigeribles– se ha prestado poca atención a las posibilidades que tiene el cerdo de utilizar los azúcares que comprenden los polisacáridos no amiláceos, particularmente los que son distintos a las hexosas. Los datos obtenidos recientemente indican que muchos de estos carbohidratos –los pentosanos por ejemplo– se utilizan con mucho menos eficiencia que la glucosa u otros azúcares del grupo de las hexosas (Knudsen, 2001).

## **USO DE ENZIMAS EN LA NUTRICIÓN DEL CERDO**

En años recientes se ha discutido mucho el uso de las enzimas en las dietas para la porcicultura; no obstante, existen muy pocas publicaciones en la literatura a la que se hace referencia, que respalden el uso de las enzimas en las dietas para cerdos, con excepción de la fitasa. Con mucha frecuencia los resultados de los estudios en aves se han usado como modelo para los cerdos, pero desgraciadamente el pollo de engorda no siempre es un buen modelo para evaluar la eficacia de las enzimas en el cerdo.

El resto de la presente publicación la dividiremos en dos grandes secciones: la primera se referirá a las fitasas y a una comparación entre los productos elaborados con fitasa que existen actualmente en el mercado estadounidense. En la segunda sección presentaremos una revisión de la literatura sobre el uso de enzimas distintas a la fitasa en los alimentos para cerdos, con énfasis en el uso de varias enzimas que ataca a los polisacáridos no amiláceos.

### **Fitasas**

Las fitasas constituyen una subclasificación de un grupo mayor de enzimas conocido como fosfatasas (Kies, 1996), que son enzimas que catalizan la hidrólisis de los fosfatos ligados a ésteres. En este proceso, el fosfato ligado se desprende del sustrato y en un paso intermedio se liga a la enzima antes de ser disuelto en agua. Específicamente, las fitasas son fosfatasas que catalizan la hidrólisis del fosfato del fitato.

El ácido fítico ( $C_6H_{18}O_{24}P_6$ ) conocido formalmente como mioinositol 1, 2, 3, 4, 5, 6 hexa, dihidrógeno fosfato (*IUPAC-IUB*, 1975) se muestra en la Figura 1. El fitato –que es la sal del ácido fítico– sirve como modo principal de almacenamiento del fósforo en las plantas, representando del 60 al 80% del fósforo total.

Los animales monogástricos no secretan fitasa en cantidades suficientes para degradar a la molécula del fitato y, por ello, el fósforo incorporado a dicha molécula no está disponible para ser absorbido. Es por ello que los porcicultores deben agregar grandes cantidades de una fuente inorgánica de fósforo disponible para satisfacer los requerimientos de este mineral. El fósforo fítico no disponible se excreta y esto tiene el potencial de crear problemas de contaminación ambiental.

*Capacidad Quelante de Minerales del Ácido Fítico.* Ante un pH neutro, se ha demostrado que el ácido fítico porta uno o dos átomos de oxígeno cargados

negativamente en cada grupo fosfato (Erdman, 1979), lo cual le da hasta un total de 12 cargas negativas, debido a las cuales el ácido fítico tiene la capacidad de unirse a diversos cationes bi y trivalentes, incluyendo Ca, Mg, Zn, Cu, Fe, Co y Cr en el intestino delgado del cerdo, y a aminoácidos o péptidos (Figura 2), haciendo que no queden disponibles para la absorción (Maga, 1982; Reddy *et al.*, 1982; Morris 1986).

La mayor afinidad del ácido fítico es hacia el Zn y el Cu, mientras que su afinidad por el Ca es muy baja; sin embargo, debido a la concentración mucho mayor de Ca en las dietas de los cerdos en comparación con las de Zn y Cu, es posible un efecto sobre el Ca. También se ha demostrado que los grupos fosfato aniónicos del fitato tienen la capacidad de unirse a las proteínas (Prattley *et al.*, 1982) y a los aminoácidos, teniendo su mayor afinidad por los aminoácidos básicos lisina, arginina e histidina (Reddy *et al.*, 1982).

*Fuentes de fitasa.* La fitasa se encuentra en forma natural en los ingredientes alimenticios de origen vegetal, siendo más abundante en ciertas plantas que en otras. Por ejemplo, el trigo es extremadamente alto en fitasa, mientras que el maíz y la pasta de soya tienen una actividad mínima de esta enzima. Las fitasas de las plantas (6-fitasa) expresan su máxima actividad ante un pH aproximadamente de 5.0, con valores reportados para la fitasa de cebada, soya, maíz, cacahuete, trigo y salvado de trigo de pH 5.2, 5.3, 5.6, 5.0, 5.2 y 5.0, respectivamente. Nayini y Markakis (1986) publicaron que el pH óptimo para la fitasa de la soya era de 4.5 a 4.8. Se ha observado que la mayor actividad de la fitasa de origen vegetal ocurre a una temperatura de 50°C, con un rango reportado en la literatura de 45 a 57°C (Irving, 1980). La cantidad de fitasa presente en las fuentes de origen vegetal varía grandemente, encontrando las mayores concentraciones en la cebada, el triticale y el trigo.

Los adelantos en materia de biotecnología, cultivos celulares y tecnología de purificación han permitido la producción comercial de fitasas de origen microbiano para ser usadas en las dietas para cerdos. Existen diversas fitasas comerciales en forma de polvo, granulares y/o líquidas, con tasas de inclusión que generalmente oscilan entre el 0.10 y el 0.005% de la dieta. La mayoría de las fitasas disponibles comercialmente son ya sea 4-fitasas o 6-fitasas, lo cual significa que de preferencia rompen al fosfato que se encuentra en las posiciones del carbono 4 o el carbono 6 del fitato. Se trata de productos originados a partir de microorganismos como *Aspergillus* o *Peniophora*.

*Comparación de las fuentes de fitasa en las dietas para cerdos.* Desgraciadamente, existe muy poca información que compara los productos de fitasa disponibles comercialmente y un problema grande que se presenta al revisar la literatura es que muchos de los primeros datos que se publicaron sobre las fuentes de fitasa comparan productos que no representan las versiones disponibles actualmente de estos productos. Por ejemplo, Ronozyme fitasa representa un arreglo corporativo entre Novozymes (antes Novo Nordisk) y DSM. Hace varios años se realizó una cantidad bastante amplia de investigaciones para comparar la fitasa SP938 de Novo Nordisk con Natuphos, pero Ronozyme fitasa es diferente del producto de fitasa original de Novo Nordisk y, por lo tanto, no es posible usar estos datos. De la misma manera, Alltech modificó recientemente sus métodos de producción en un intento por elaborar un

producto con actividades colaterales garantizadas. Por lo tanto, hay que descartar muchos de los antiguos datos en los que se comparó la fitasa Allzyme con Natuphos.

La buena noticia para los porcicultores es que la existencia de fabricantes múltiples a la larga hará que baje el costo de la fitasa. Al comparar las fuentes de esta enzima es importante tomar en consideración diversos factores, de los cuales, tal vez, el más importante sea el precio, que habrá que compararlo con su valor respectivo de retorno, y no con el número de unidades que tenga cada producto. En otras palabras, si el producto A es 1.2 veces más efectivo que el producto B, pero cuesta 1.4 veces más, el producto B será una mejor opción. Al evaluar los datos publicados, es esencial analizarlos y presentarlos con base en su contenido analizado de fitasa en el alimento, y no con base en valores calculados. No obstante, esto puede introducir un error adicional debido a la inconsistencia en los análisis de la fitasa. Todos los fabricantes de esta enzima agregan un margen de seguridad a sus mezclas para compensar las mermas en la actividad de la enzima durante el almacenamiento. La magnitud de este margen de seguridad depende del uso al que este destinado el producto, del fabricante, y de la época del año. No es raro encontrar productos con 30% o más de actividad de fitasa sobre la concentración garantizada en la etiqueta.

Otra consideración importante es el uso para el que está diseñada la fitasa; por ejemplo, si se habrá de mezclar con el alimento en harina, si se usará en una premezcla para adicionarla antes de peletear la fórmula o si se aplicará después de la peletización. La estabilidad térmica es menos importante si el producto se mezcla con el alimento en harina y éste no se habrá de procesar con calor o si se mezclará con la ración una vez peleteada. No obstante, habrá que considerar si se aplica después del peleteado, pero antes de que los pelets se enfríen. Si se agrega la fitasa al alimento antes del peleteado, la estabilidad ante el calor es una preocupación de gran importancia. Todas las fuentes de fitasa pierden algo de su actividad durante el peleteado. Los datos indican que Ronozyme P<sub>CT</sub> puede tener mejor estabilidad térmica a las temperaturas asociadas normalmente con el proceso de peletización. Si se comparan los precios por unidad en esta situación, se deberá utilizar la actividad analizada en el pelet y no la cantidad de fitasa agregada. En otras palabras, un producto con mayor estabilidad térmica puede ser preferible si el producto se va a mezclar con la ración antes de peletearla. No obstante, un producto menos estable puede tener un mayor valor si su precio fuere menor por unidad que otro más termoestable. Desgraciadamente, debido a que el precio de los productos de fitasa varía grandemente entre un cliente y otro, es imposible publicar números definitivos en esta sección. Es por ello que cada productor deberá evaluar su propia situación y decidir cuál fuente de fitasa le resulta más costeable.

### **Enzimas diferentes a la fitasa**

Además de la fitasa, se han realizado importantes investigaciones con otras dos familias de enzimas, a saber: carbohidrasas y proteasas, habiendo atraído las primeras más investigación hacia las enzimas que digieren a los polisacáridos no amiláceos. El uso de estas encimas y de las proteasas es limitado en las dietas elaboradas con maíz y pasta de soya, por su baja proporción de polisacáridos no amiláceos y la alta digestibilidad de su proteína. La digestibilidad ileal aparente de la proteína bruta en este

tipo de dietas es cercana al 90% y, por ello, el potencial de incrementar dicha digestibilidad es pequeño. Como resultado, la mayor parte de la investigación sobre la suplementación de las dietas de aves y cerdos con enzimas distintas a la fitasa se ha enfocado hacia fórmulas que contienen ingredientes alternativos como trigo y cebada.

Dentro de la categoría de los polisacáridos no amiláceos los  $\beta$  glucanos en la cebada y la avena, y pentosanos en el trigo, el triticale y el centeno han recibido la mayor atención. Ni los cerdos ni las aves producen las enzimas necesarias para degradar los polisacáridos no amiláceos y, por ende, la energía que éstos contienen casi no está disponible. En el intestino grueso del cerdo se digieren algunos polisacáridos no amiláceos, liberando un poco de energía disponible en forma de ácidos grasos volátiles, pero éste no es un proceso muy eficiente en el porcino, por lo que la mayoría de la energía que contienen estos polisacáridos se pierde. Además de esta utilización ineficiente, las moléculas de polisacáridos no amiláceos tienen propiedades antinutritivas. Los que son solubles tienen una alta capacidad de retención de agua y esto reduce el tiempo de interacción sustrato-enzima, con la producción de heces adherentes o excreción fecal.

Por lo tanto, los beneficios de agregar enzimas específicas para los polisacáridos no amiláceos no sólo consisten en la liberación de los monosacáridos y su subsiguiente contribución en energía, sino también en la degradación o eliminación de los componentes antinutritivos presentes en estos compuestos. Existen abundantes datos sobre los beneficios de agregar estas enzimas a las dietas de las aves, aunque en el caso de los cerdos existen mucho menos resultados publicados. Además, resulta complicada la interpretación de los resultados de muchos estudios porque en ellos se utilizaron mezclas de enzimas, siendo imposible discernir el efecto directo de cualquiera de ellas en particular.

En muchos estudios se encontraron mejoramientos en la ganancia promedio de peso (Thomke *et al.*, 1980; Bedford *et al.*, 1992; Cos *et al.*, 1993; Newman *et al.*, 1993) y en la eficiencia alimenticia (Thomke *et al.*, 1980; Newman *et al.*, 1993), cuando se agregó  $\beta$ -glucanasa a las dietas de cerdos que contenían cebada (Cuadro 1). No obstante, casi la misma cantidad de estudios ha publicado no haber obtenido efecto alguno después de la adición de  $\beta$ -glucanasa a las dietas que contenían cebada, en lo referente a ganancia de peso (Thacker *et al.*, 1992; Inbarr *et al.*, 1993) y eficiencia alimenticia (Thacker *et al.*, 1992; Cos *et al.*, 1993; Inbarr *et al.*, 1993). De manera similar, las investigaciones sobre el efecto de la inclusión de xilanasa en dietas que contenían trigo o centeno han generado resultados mixtos. Cos *et al.* (1993) encontraron un mejor promedio de ganancia de peso cuando agregaron xilanasa a una dieta para cerdos que contenía trigo. Estos resultados están respaldados por los hallazgos de Lenis *et al.* (2000). Bartoska *et al.* (2000) obtuvieron resultados similares con dietas que contenían cebada y triticale. Sin embargo, Bedford *et al.* (1992) no encontraron efecto alguno con la suplementación de xilanasa a una dieta preparada con centeno y soya sobre la ganancia promedio de peso ni sobre la eficiencia alimenticia. Algo similar observamos en la publicación de Bartoska *et al.* (2000), quienes obtuvieron un mejoramiento en la ganancia de peso, pero ningún efecto sobre la eficiencia alimenticia después de suplementar la dieta con xilanasa.

Una enzima que se ha investigado con dietas preparadas a base de maíz y pasta de soya es la  $\beta$ -mananasa. Los mananos –en particular los galactomananos– son otros polisacáridos no amiláceos solubles, que impactan negativamente la digestión y disminuyen el vaciado gástrico, haciendo más lento el tiempo de tránsito gastrointestinal, incrementando la capacidad de retención de agua del bolo alimenticio y disminuyendo la retención de proteínas (Couch *et al.*, 1967; Verma y McNab, 1982; Low y Rainbird, 1984; Rainbird *et al.*, 1984; Patel y McGinnis, 1985; Sambrook y Rainbird, 1985; Hahn *et al.*, 1995; Chen *et al.*, 1996; Brown *et al.*, 1988).

El estudio publicado en Taiwán por Chen *et al.* (1996) despertó el interés por agregar  $\beta$ -mananasa a las dietas de los cerdos. Estos investigadores estudiaron la adición de 0.5 Kg de una preparación de  $\beta$ -mananasa por tonelada de alimento para cerdos de engorda, comparando un alimento a base de maíz y pasta de soya, con la inclusión de un nivel bajo de cascarilla de cebada (0.357%), con cerdos que recibieron la misma dieta, pero adicionada de  $\beta$ -mananasa, observando un incremento en la digestibilidad de la energía y el calcio en el segundo grupo, en comparación con los animales cuya dieta no se suplementó con la enzima. La excreción fecal también fue más baja en los cerdos que recibieron las dietas suplementadas con  $\beta$ -mananasa. Pettey *et al.* (1999) publicaron dos estudios con cerdos al destete, cuya dieta incluía una preparación de  $\beta$ -mananasa al nivel del 0.05%. En ambos estudios encontraron mejor promedio de ganancia de peso y eficiencia alimenticia con la adición de  $\beta$ -mananasa. En el segundo experimento, los cerdos suplementados con la enzima al nivel citado obtuvieron resultados similares en cuanto a ganancia de peso y eficiencia alimenticia a los de otro grupo cuya dieta se suplementó con aceite de soya para proporcionar 100 Kcal adicionales de energía metabolizable/Kg de ración. Más recientemente, Pettey *et al.* (2000) publicaron sus hallazgos con un estudio realizado con cerdos en crecimiento y finalización, además de un estudio sobre el metabolismo, en el que investigaron los efectos de la adición de  $\beta$ -mananasa a una dieta elaborada con maíz y pasta de soya, encontrando mejor ganancia de peso y eficiencia alimenticia en los cerdos que consumieron un alimento suplementado con 0.05% de una preparación de  $\beta$ -mananasa. No obstante, en la prueba de balance no encontraron efecto alguno de la  $\beta$ -mananasa sobre las digestibilidades de la energía, el nitrógeno, el fósforo ni la materia seca.

En 1999, Radcliffe *et al.* publicaron un experimento en el que utilizaron cerdos control a los que colocaron una cánula en la válvula ileocecal (*S/ICV*) y les administraron una dieta suplementada con Hemicell (una  $\beta$ -mananasa) a razón del 0.05%. Observaron incrementos en la digestibilidad aparente de la energía en la totalidad del tracto (*ATTD*) y en la digestibilidad ileal aparente (*AID*) de la materia seca (*DM*) (N. del T.: consignamos aquí las siglas en inglés de estos términos). Sin embargo, las diferencias observadas en la digestibilidad ileal de la materia seca no se encontraron en la *ATTD* de la materia seca. La discrepancia entre estos dos parámetros se puede deber a la absorción de energía que ocurre en el intestino grueso, en donde los microorganismos son capaces de utilizar los sustratos y convertirlos en ácidos grasos volátiles que se pueden absorber en el mismo intestino grueso, siendo utilizados como fuentes de energía para varios procesos metabólicos. Parece razonable deducir de este estudio que el cerdo se está ajustando a los efectos nocivos de los  $\beta$ -mananos en el intestino delgado, incrementando la absorción al nivel del intestino grueso. Sin embargo, este

ajuste no es totalmente adecuado para resolver los efectos adversos de dichos  $\beta$ -mananos sobre la *ATTD* de la energía. Al agregar la  $\beta$ -mananasa a una dieta alta en proteína bruta, la *ATTD* de la energía se incrementó del 89.00 al 89.54% y –aunque este incremento es pequeño– resulta de importancia debido al alto costo de agregar ingredientes ricos en energía a la dieta.

Una de las observaciones más interesantes hechas por Radcliffe *et al.* (1999) fue el incremento numérico en la digestibilidad de los aminoácidos cuando se agregó Hemicell a la dieta. Ninguno de estos incrementos tuvo significancia estadística pero –con excepción de la prolina, la tirosina y la lisina– se observaron incrementos numéricos en todos los aminoácidos medidos, con la adición de dicho producto. Los valores de probabilidad variaron de 0.13 a 0.33, excepción hecha de la glicina, cuyo valor fue 0.53. Los  $\beta$ -mananos de la dieta pueden disminuir la digestibilidad de los aminoácidos al disminuir su absorción e incrementar la pérdida de proteína endógena, pues aumentan la descamación de células epiteliales en el intestino delgado. Los resultados de este estudio sugieren que la adición de Hemicell a la dieta puede contrarrestar algunos de estos efectos. La ausencia de una influencia significativa del Hemicell sobre la digestibilidad de los aminoácidos se puede haber relacionado con el pequeño número de animales usado en este estudio, con el breve tiempo en que éstos recibieron cada dieta, con los niveles de proteína bruta y con la cantidad relativamente pequeña de sustrato en la ración, sobre el cual pudiera actuar la  $\beta$ -mananasa.

Varios estudios se han consagrado a la investigación de mezclas de enzimas (cócteles). En la mayoría de ellos se han utilizado carbohidrasas múltiples en las dietas para cerdos. El Cuadro 2 presenta un resumen de los resultados de crecimiento obtenidos en estos trabajos, los cuales son sumamente variables, pues más o menos la mitad de los trabajos muestra efectos positivos, mientras que en el resto no se encontraron efectos después de suplementar las dietas con las enzimas.

Para resumir, el uso de enzimas en las dietas para cerdos sigue siendo muy limitado. La mayoría de la investigación disponible se basa en enzimas que se estudiaron por primera vez en la década de 1980 y su uso en dietas a base de maíz y pasta de soya es muy limitado. Las  $\beta$ -glucanasas y las xilanasas pueden resultar benéficas cuando se adicionan a dietas que contienen cebada y trigo, aunque parece que la respuesta es mucho mayor y más efectiva en aves, y parece que su principal beneficio es el resultado de disminuir la capacidad de retención de agua del bolo alimenticio más que incrementar la disponibilidad de los carbohidratos. Parece que el cerdo dista mucho de verse tan afectado adversamente por la alta capacidad de retención de agua de la dieta como las aves. Además, la liberación de carbohidratos de los polisacáridos no amiláceos, y su absorción y utilización subsecuentes, es un proceso ineficiente. Por lo tanto, los beneficios nutricionales de agregar enzimas específicas contra dichos polisacáridos, en muchos casos, puede producir sólo un incremento muy pequeño en la digestibilidad de la energía, pues el porcino puede obtener un poco de la energía de los polisacáridos no amiláceos, en el intestino grueso. Citando al Dr. Chesson del Instituto de Investigación Rowett (Chesson, 2000): “Si es que habrá de ocurrir una expansión significativa en el uso de enzimas en la nutrición animal, la experiencia sugiere que son pocas las posibilidades de que esto suceda mediante cambios en la composición en la

dieta, de su uso en rumiantes o de manera adjunta a alguna forma de tecnología de alimentos. Los beneficios habrán de buscarse en términos del medio ambiente, de la calidad de los productos y, tal vez más importante, de la salud y el bienestar de los animales”. Ciertamente, si observamos a la enzima que existe actualmente en el mercado y que se utiliza con más éxito, la fitasa, estaremos de acuerdo con este planteamiento. Entonces –en conclusión– parece que las enzimas distintas a la fitasa que existen actualmente tienen un uso apenas limitado en los alimentos para cerdos. No obstante, pueden tener un lugar en las raciones que contienen granos con niveles más elevados de polisacáridos no amiláceos, particularmente cuando se administran a cerdos jóvenes.

### **LITERATURA CITADA**

Batorska, M., A. Rekiel, J. Wiscek, and J. Koslacz. 2000. The influence of xylanase in diets for pigs on fattening performance and carcass quality. In: Third European Symposium on Feed Enzymes. pp. 45.

Bedford, M.R., J.F. Patience, H. L. Classen, and J. Inbarr. 1992. The effect of dietary supplementation of rye- and barley-based diets on digestion and subsequent performance in weaning pigs. *Canadian Journal of Animal Science*, 72, 97–105.

Bohme, H. 1990. Experiments on the effect of enzyme supplements as growth promoters for piglets. *Landbauforschung Völkenrode*, 40(3), 213–217.

Brown, N. J., J. Worthing, R. D. E. Rumsey, and N. W. Read. 1988. The effect of guar gum on the distribution of a radiolabelled meal in the gastrointestinal tract of the rat. *Brit. J. Nutr.* 59:223-231.

Chen, S., C. Kuo, F. Chang, S. Chen, W. T. H. Chang, H. Y. Hsiao, and D. Fodge. 1996. Effect of industrial beta-mannanase in different fiber content diets on growth, carcass quality, nitrogen balance, and nutrient digestibility for finishing pigs. Unpublished Report from the Animal Research Institute of the Taiwan Sugar Corporation.

Chesson, A. 2000. Are enzymes destined to remain niche products in the feed industry? In: Third European Symposium on Feed Enzymes. pp. 19.

Cos, R., E. Esteve-Garcia, and J. Brufau. 1993. Effect of glucanase in barley based diets and xylanase in wheat based diets for weaning piglets. In Wenk, C.; Boessinger, M., ed., *Enzymes in animal nutrition*. Kartause Ittingen, Thurgau, Switzerland. pp. 129–132.

Couch, J. R., Y. K. Bakshi, T. M. Ferguson, E. B. Smith, and C. R. Creger. 1967. The effect of processing on the nutritional value of guar meal for broiler chicks. *Brit. Poultry Sci.* 8:243-250.

Erdman, J. W., Jr. 1979. Oilseed phytates: Nutritional implications. *J. Am. Oil Chemists' Soc.* 56:736-741.

Gotterbarm, G. and P.-A. Geraert. 2000. Benefits of a multi-component enzyme in wheat or barley-fed pigs. In: Third European Symposium on Feed Enzymes. pp. 54.

Hahn, J. D., M. J. Gahl, M. A. Giesemann, D. P. Holzgraefe, and D. W. Fodge. 1995. Diet type and feed form effects on the performance of finishing swine fed the mannanase enzyme product Hemicel<sup>®</sup>. *J. Anim. Sci.* 73(Suppl. 1):175.

Hogberg, H.; Shurson, G.; Horrocks, S.; Haines, W. 1983. Starter studies — effect of adding fat and supplemental digestive enzymes to the diet and weaning management on pig performance. Michigan State University Agricultural Experiment Station. Research Report. pp. 31–34.

Inbarr, J.; Ogle, R.B. 1988. Effect of enzyme treatment of piglet feeds on performance and post-weaning diarrhoea. *Swedish Journal of Agricultural Research*, 18, 129–133.

Inbarr, J.; Schmitz, M.; Ahrene, F. 1993. Effect of adding fibre and starch degrading enzymes to a barley/wheat based diet on performance and nutrient digestibility in different segments of the small intestine of early weaned pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 44, 113–127.

Irving, G. C. J. 1980. Phytates. In: D. J. Cosgrove (Ed.) *Inositol Phytates*. p. 85-127 Elsevier, Amsterdam.

IUPAC-IUB. 1975. Enzyme nomenclature recommendations. Supplement I. *Biochim Biophys. Acta* 429:1.

Kies, A. K. 1996. Phytase: mode of action. In: M. B. Coelho and E. T. Kornegay, (Eds.) *Phytase in Animal Nutrition and Waste Management*. pp 205-212. BASF Corporation, Mount Olive, NJ.

Lenis, N. P., G. C. M. Bakker, R. van der Weij-Jongbloed, J. Th. M. van Diepen, H. Schulze, and P. H. Simmins. 2000. Xylanase addition significantly improves feed utilization in diets downspecified in digestible energy and digestible amino acids. In: Third European Symposium on Feed Enzymes. pp. 65-66.

Levic, J. D. and S. A. Sredanovic. 2000. The use of enzymes in pig diets containing sunflower meal. In: Third European Symposium on Feed Enzymes. pp. 67.

Low, A. G. and A. L. Rainbird. 1984. Effect of guar gum on nitrogen secretion into isolated loops of jejunum in conscious growing pigs. *Brit. J. Nutr.* 52:499-505.

Maga, J. A. 1982. Phytate: its chemistry, occurrence, food interactions, nutritional significance, and methods of analysis. *J. Agric. Food Chem.* 30:1-9.

Mellange, J.; Inbarr, J.; Gill, B.P. 1992. Enzyme supplementation of wheat, barley or sugar beet pulp based diets for early weaned piglets: effect on performance and fecal

nutrient digestibility. Proceedings, British Society for Animal Production. Durrant. Paper 135.

Morris, E. R. 1986. Phytate and dietary mineral bioavailability. In: E. Graf (Ed.) Phytic Acid: Chemistry and Applications. p 57. Pilatus Press, Minneapolis.

Nayini, N. R. and P. Markakis. 1986. Phytases. In: E. Graf (Ed.) Phytic Acid: Chemistry and Applications. p. 101. Pilatus Press. Minneapolis.

Officer, D.I. 1995. Effect of multi-enzyme supplements on the growth performance of piglets during the pre- and post-weaning periods. *Animal Feed Science and Technology*, 55, 55–65.

Patel, M. B. and J. McGinnis. 1985. The effect of autoclaving and enzyme supplementation of guar meal on the performance of chicks and laying hens. *Poultry Sci.* 64:1148-1156.

Petty, L. A., S. D. Carter, B. W. Senne, and J. A. Shriver. 1999. Effects of Hemicell addition to nursery diets on growth performance of weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 77(Suppl. 1):195.

Petty, L. A., S. D. Carter, B. W. Senne, and J. A. Shriver. 2000. Effects of Hemicell addition to corn-soybean meal diets on growth performance, carcass traits, and apparent nutrient digestibility of finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 78(Suppl. 2):73.

Prattley, C. A., D. W. Stanley, and F. R. Van de Voort. 1982. Protein-phytate interactions in soybeans. II. Mechanisms of protein-phytate binding as affected by calcium. *J. Food Biochem.* 6:255-271.

Radcliffe, J.S., B.C. Robbins, J.P. Rice, R.S. Pleasant, and E.T. Kornegay. 1999. The effects of Hemicell<sup>®</sup> on digestibilities of minerals, energy, and amino acids in pigs fitted with steered ileo-cecal valve cannulas and fed a low and high protein corn-soybean meal diet. *J. Anim. Sci.* 77(Suppl. 1):197.

Rainbird, A. L., A. G. Low, and T. Zebrowska. 1984. Effect of guar gum on glucose and water absorption from isolated loops of jejunum in conscious growing pigs. *Brit. J. Nutr.* 52:489-498.

Reddy, N. R., S. K. Sathe, and D. K. Salunkhe. 1982. Phytates in legumes and cereals. In: C. O. Chichester, E. M. Mrak, and G. F. Stewart (Eds.) *Advances in Food Research*. p 1. Academic Press Inc., New York, NY.

Roura, E., J. A. Javierre, F. Fort, T. Shurlock, C. A. Bulman, and J. A. Dalby. 2000. The use of a combination of enzymes, acids, and flavours allows replacement of milk products and cooked cereals with conventional raw materials in piglet resulting in a lower cost of the feeding. In: *Third European Symposium on Feed Enzymes*. pp. 74-75.

Sambrook, I. E. and A. L. Rainbird. 1985. The effect of guar gum and level and source of dietary fat on glucose tolerance in growing pigs. *Brit. J. Nutr.* 54:27-35.

Suga, Y., M. Kawai, S. Noguchi, G. Shimara, and H. Samejima. 1978. Application of cellulolytic and plant tissue macerating enzyme of *Irpex lacteus* Fr. as feed additive enzyme. *Agricultural Biology and Chemistry*, 42, 347–350.

Tangendjaja, B., Z.B. Johnson, and P.R. Noland. 1988. Effect of cooking and addition of enzymes on feeding value of rice bran for swine. *Nutrition Reports International*, 37(6), 449–458.

Thacker, P.A., G.L. Campbell, and J.W.D. Groolwassink. 1992. Effect of salinomycin and enzyme supplementation on nutrient digestibility and the performance of pigs fed barley- or rye-based diets. *Canadian Journal of Animal Science*, 72, 117–125.

Thomke, S., M. Rundgren, and K. Hesselman. 1980. The effect of feeding high viscosity barley for pigs. *European Association for Animal Production*, 31, 1–5.

Verma, S. V. S. and J. M. McNab. 1982. Guar meal in diets for broiler chickens. *Brit. Poultry Sci.* 23:95-105.

Cuadro 1. Resumen de los efectos sobre el crecimiento después de suplementar  $\beta$ -glucanasa, xilanasa,  $\beta$ -mananasa o celulasa a las dietas para cerdos. El signo “+” indica un efecto positivo de la enzima o enzimas sobre el crecimiento. El signo “-” indica que no se observó efecto.

Enzima	Tipo de Dieta	Gan. Prom. Diaria	Conv. Alim.	Consumo de Alimento	Referencia
$\beta$ -glucanasa	Cebada-concentrado	+	+		Thomke <i>et al.</i> , 1980
$\beta$ -glucanasa	Cebada, soya	+		-	Inbarr y Graham, 1991
$\beta$ -glucanasa	Cebada, soya	+			Bedford <i>et al.</i> , 1992
$\beta$ -glucanasa	Cebada, soya	-		-	Thacker <i>et al.</i> , 1992
$\beta$ -glucanasa	Cebada, soya	+	-	+	Cos <i>et al.</i> , 1993
$\beta$ -glucanasa	A base de trigo	+	+		Newman <i>et al.</i> , 1993
$\beta$ -glucanasa	A base de cebada y trigo	-	-		Inbarr <i>et al.</i> , 1993
Xilanasa	Centeno, soya	-	-		Bedford <i>et al.</i> , 1992
Xilanasa	Trigo, soya	+	+	-	Cos <i>et al.</i> , 1993
Xilanasa	Cebada, triticale, pasta de soya	+	-		Batorska <i>et al.</i> , 2000
Xilanasa	A base de trigo	+	+	-	Lenis <i>et al.</i> , 2000
$\beta$ -mananasa	A base de maíz y pasta de soya	+	+		Petty <i>et al.</i> , 1999
$\beta$ -mananasa	A base de maíz y pasta de soya	+	+		Petty <i>et al.</i> , 2000
Celulasa	Trigo, maíz, pescado, soya, salvado de arroz	+	+		Suga <i>et al.</i> , 1978

Cuadro 2. Resumen de los efectos sobre el crecimiento después de suplementar las dietas de los cerdos con varias combinaciones de enzimas. El signo “+” indica un posible efecto de la enzima o enzimas sobre el crecimiento. El signo “-” indica que no se observó efecto.

Enzima	Tipo de Dieta	Gan. Prom. Diaria	Conv. Alim.	Consumo de Alimento	Referencia
$\beta$ -glucanasa, xilanasa	Cebada, trigo, soya	-	-		Inbarr <i>et al.</i> , 1993
Xilanasa, amilasa	Cebada, trigo		+		Bohme, 1990
Xilanasa, amilasa, pectinasa, $\beta$ -glucanasa	Trigo, pasta de soya, pescado	-	+		Mellange <i>et al.</i> , 1992
Xilanasa, amilasa, pectinasa, $\beta$ -glucanasa	Cebada, pasta de soya, pescado	-	+		Mellange <i>et al.</i> , 1992
Xilanasa, $\beta$ -glucanasa, celulasa	A base de trigo	+	+		Gotterbarm y Geraert, 2000
Amilasa, $\beta$ -glucanasa	Cebada	-	-		Inbarr y Ogle, 1988
Amilasa, celulasa, $\beta$ -glucanasa, proteasa	Cebada, avena, pasta de soya, pescado	+			Inbarr <i>et al.</i> , 1988
Amilasa, sucrasa	A base de maíz y pasta de soya	-	-		Hogberg <i>et al.</i> , 1983
Celulasa, celulasa–amilasa	Maíz, pasta de soya, salva de arroz	-	+		Tangendjaja <i>et al.</i> , 1988
Celulasa, $\beta$ -glucanasa	Cebada pretratada con enzima	-	-		Bohme, 1990
Hemicelulasa, pectinasa, $\beta$ -glucanasa	8% de pasta de girasol	+	+		Levic y Sredanovic, 2000
Pentosanasa	Centeno–soya–SMP	-	-		Inbarr y Graham, 1991
Proteasa, amilasa, lipasa, $\beta$ -glucanasa	Trigo, pescado, carne, sebo, soya, harina de sangre	-		-	Officer, 1995

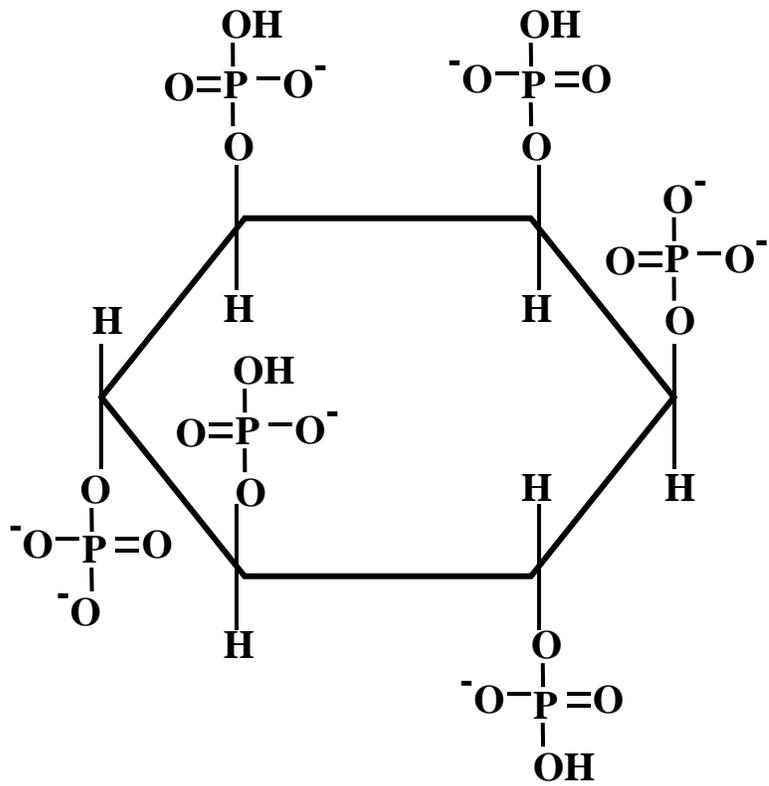


Figura 1. Estructura del ácido fólico.

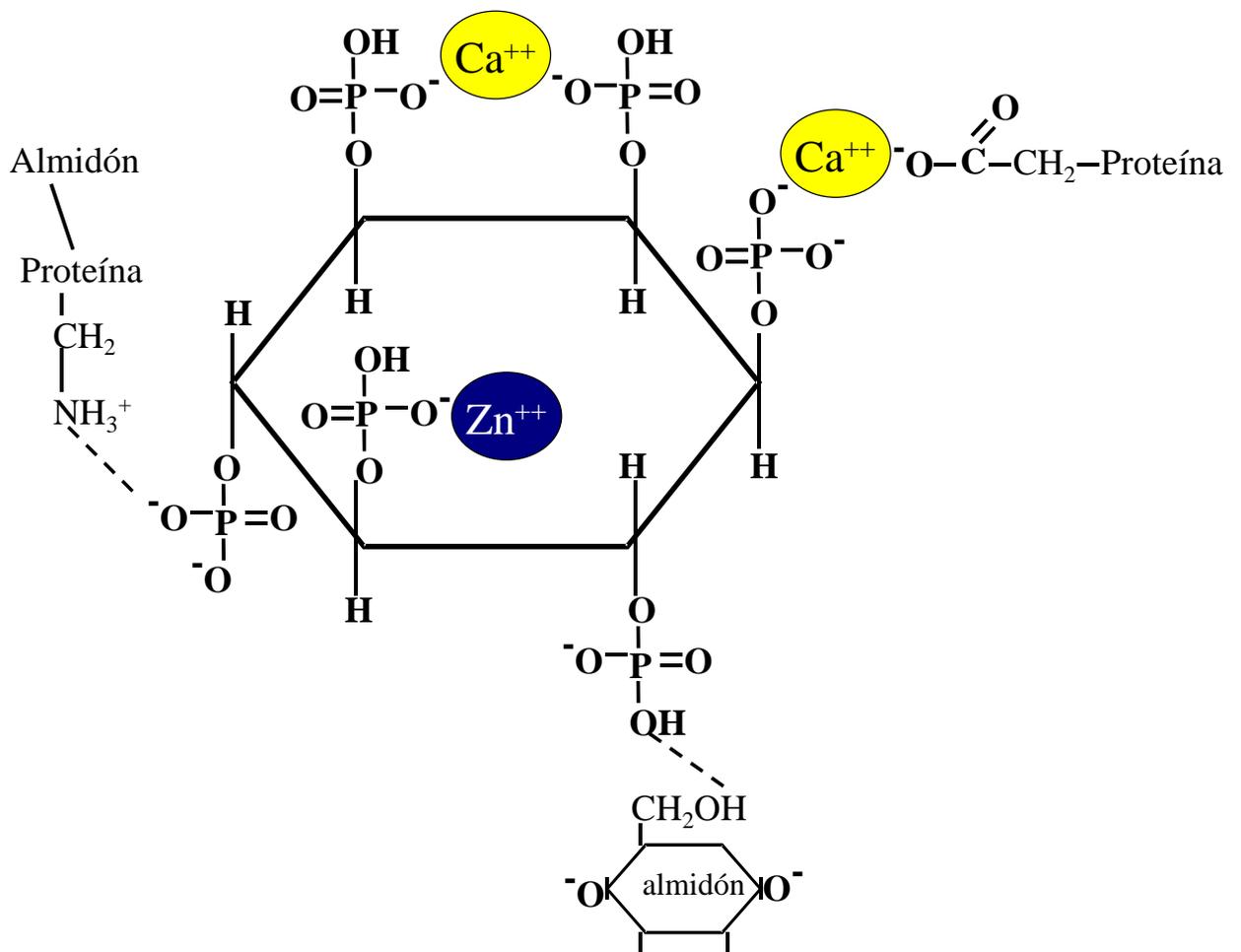


Figura 2. Capacidad quelante del ácido fólico sobre minerales, aminoácidos y almidón.