

Alimentos alternativos en combinación con suplementación enzimática para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de la producción porcina y avícola

Jorge Y. Pérez-Palencia¹

Zootec, MSc, PhD; 

Andrés F. Bolívar-Sierra²

MVZ, PhD(c); 

EDITORIAL

Para el año 2050, la población mundial alcanzará los 9100 millones de personas, 15 por ciento más que en 2021 (FAO, 2009). Para alimentar a esta población, la producción anual de cereales y carne deberá aumentar 7 y 40%, respectivamente, por encima de los niveles de producción actuales. Por lo tanto, la producción de alimentos para humanos y animales debe optimizar las prácticas sostenibles para garantizar que se satisfagan las demandas de cereales y carne, y al mismo preservar los recursos naturales y ambientales. A medida que aumenta la demanda de alimentos para los seres humanos, los animales de producción que consumen cereales, incluidos el maíz, el trigo y la soya, son reconocidos como competidores potenciales para el suministro y la seguridad alimentaria de los seres humanos (Muscat *et al.*, 2020). En este contexto, las estrategias de alimentación que incorporan alimentos alternativos en las dietas de los animales de producción, como los coproductos de cultivos agroindustriales, reducirán la competencia por los ingredientes de la alimentación humana y contribuirán a la producción de carne animal sostenible. Además, la incorporación de ingredientes alternativos en las dietas del ganado puede reducir los costos de alimentación y aumentar la rentabilidad, particularmente en las industrias porcina y avícola, donde los costos de alimentación representan entre 60 y 70% del costo total de producción (Woyengo *et al.*, 2014).

Los subproductos agroindustriales del procesamiento de cereales y otras industrias agrícolas, así como las materias primas locales, representan una oportunidad

¹ Investigador Asociado: nutrición de monogástricos. Departamento de Zootecnia, South Dakota State University, Brookings, SD, 57007, USA. Email: jorge.perezpalencia@sdstate.edu

² Estudiante de Doctorado en Ciencias Agrarias, Universidad de los Llanos. Email: andres.bolivar@unillanos.edu.co

La Revista Orinoquia es una revista de acceso abierto revisada por pares. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Internacional Creative Commons Attribution 4.0 (CC-BY 4.0), que permite el uso, distribución y reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se acredite el autor y la fuente originales.

Consulte <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

 OPEN ACCESS



para mejorar la eficiencia de los sistemas de producción animal y cumplir los objetivos actuales de sostenibilidad (Zijlstra y Beltranena, 2013). Estos ingredientes suelen contener niveles importantes de proteína, minerales, fibra y otros nutrientes. Sin embargo, su valor nutricional a menudo no es equivalente al de otros ingredientes utilizados habitualmente en las dietas de cerdos y aves (maíz y harina de soja), lo que puede limitar la sustitución directa en las dietas (Navarro *et al.*, 2018). Además, el alto contenido de fibra en forma de carbohidratos estructurales (polisacáridos no amiláceos, PNA) y factores anti nutricionales (FAN), afectan la digestibilidad de los nutrientes y en consecuencia comprometen el desempeño animal (Urriola *et al.*, 2013; Molist *et al.*, 2014). En este sentido, es necesario aumentar el valor nutricional de los coproductos agroindustriales y los cereales alternativos, mejorando la digestibilidad y la palatabilidad de estos y mitigando los FAN, de esta forma se podrá utilizar todo su potencial como ingredientes para las raciones de animales de producción. En respuesta a esta necesidad, se pueden incluir enzimas exógenas en las dietas de cerdos y aves para mejorar el valor nutricional de estos alimentos alternativos.

Las enzimas exógenas han sido uno de los avances biotecnológicos más destacados en la nutrición de animales monogástricos durante las últimas décadas (Brameld y Parr, 2016). Esta estrategia nutricional se usa comúnmente en dietas para monogástricos y se ha relacionado con una mejor utilización de nutrientes, un menor costo de alimentación y una disminución del contenido de nitrógeno y fósforo (P) inorgánico del estiércol (Kim *et al.*, 2020). Las enzimas más utilizadas son la fitasa, las carbohidrasas (β -glucanasa, xilanas, celulosa, α -amilasa, pectinasa, α -galactosidasa, β -mananasa) y proteasa; estas enzimas se usan individualmente o en forma de complejos multienzimáticos, también llamados mezclas de enzimas (Emiola *et al.*, 2009; Willamil *et al.*, 2012; Woyengo *et al.*, 2018). La inclusión de fitasa en las dietas reduce el efecto antinutricional del fitato y mejora, principalmente, la digestibilidad del P y el calcio (Ca) y, secundariamente, la digestibilidad de los aminoácidos (AA) y la energía (Jang *et al.*, 2017; She *et al.*, 2017). Por lo tanto, la suplementación con fitasa permite realizar ajustes en torno a la inclusión de fuentes de macrominerales inorgánicos en la formulación de las dietas. La eficacia de la fitasa exógena para mejorar la digestibilidad del P y Ca y reducir la concentración de P en las heces se ha demostrado claramente en dietas para cerdos cuando se incluyen entre 500 y 2500 FTU/kg de dieta (Adhikari *et al.*, 2016ab; Jang *et al.*, 2017; She *et al.*, 2017). Se ha observado que altos niveles de inclusión de fitasa (super dosis) mejoran la digestibilidad de los nutrientes y el rendimiento del crecimiento de los cerdos y se ha observado que son más efectivos durante la fase de destete que en la fase de crecimiento y finalización (Holloway *et al.*, 2018). En las dietas para aves, la suplementación de las dietas para pollos de engorde con fitasa exógena a 1039 FTU/kg en la dieta aumentó la retención de P en 8.60 unidades porcentuales (Bougouin *et al.*, 2014). Sin embargo, según los autores, el contenido de Ca de la dieta, la edad de las aves y la dosis de fitasa son factores que deben tenerse en cuenta al suplementar fitasa en las dietas para aves.

Las carbohidrasas se han utilizado para degradar los PNA de la pared celular en dietas para animales monogástricos, ya que estos componentes aumentan la vis-

cosidad de la digesta en el intestino delgado, lo que resulta en una reducción de la digestibilidad y la absorción de nutrientes y una alteración general de las funciones fisiológicas del intestino (Kiarie *et al.*, 2013; Molist *et al.*, 2014). Según Hung *et al.*, (2022), el aumento de la viscosidad de la digesta, independientemente del contenido de fibra, disminuyó la digestibilidad de los nutrientes, produjo cambios estructurales y fisiológicos en el intestino (criptas más profundas, mayor área de células caliciformes y mayor actividad de amilasa) y comprometió el desempeño productivo en cerdos. La viscosidad también puede influir en la microflora intestinal; los cambios en la fermentación microbiana en el intestino grueso podrían comprometer una importante fuente de energía para las células del colon (Jha *et al.*, 2019). Dentro de las carbohidrasas más comúnmente utilizadas en las dietas de monogástricos, la xilanasa cataliza la endo hidrólisis de enlaces 1,4-b-D-xilosídicos en xilanos liberando oligosacáridos de la fibra dietética (Katapodis y Christakopoulos, 2008). En este sentido, la suplementación con xilanasa en la dieta puede mejorar la digestibilidad de los nutrientes en dietas para monogástricos al degradar los polisacáridos en la pared celular y reducir la viscosidad de la digesta (Passos *et al.*, 2015). Además de las mejoras en el desempeño productivo, la suplementación dietaria con xilanasa se ha relacionado con beneficios para la salud intestinal de cerdos destetados y pollos de engorde, incluida una mejor morfología intestinal, reducción de la respuesta inflamatoria y modulación de la microbiota asociada a la mucosa intestinal (Duarte *et al.*, 2019; Chen *et al.*, 2020; Moita *et al.*, 2022). La inclusión de xilanasa en las dietas para cerdos (4000 a 24000 unidades/kg de alimento) mejoró el valor nutricional de las dietas que contenían ingredientes con alto contenido de fibra, mientras que la β -mananasa (800 UI) tuvo efectos limitados sobre las variables de digestibilidad de los nutrientes (Lærke *et al.*, 2015; Casas y Stein, 2016; Moran *et al.*, 2016; Kim *et al.*, 2017; Yang *et al.*, 2017). Cuando se usan en combinación (mezclas de enzimas), la eficacia de la suplementación con carbohidrasas se asocia con el tipo de cereal presente en la dieta, pero en la mayoría de los casos, mejora la digestibilidad de los nutrientes (Emiola *et al.*, 2009; Li *et al.*, 2018; Woyengo *et al.*, 2018; Zeng *et al.*, 2018).

La proteasa, otra enzima utilizada en dietas para monogástricos, puede aumentar la tasa de hidrólisis de proteínas intactas, aumentando la disponibilidad de AA y reduciendo la excreción de N (Lee *et al.*, 2018; Park *et al.*, 2020). Diferentes estudios que han evaluado los efectos de la suplementación con proteasa en dietas para cerdos reportan impactos positivos en la digestibilidad de los nutrientes (Lee *et al.*, 2018) y, en algunos casos, en el desempeño animal (Zamora *et al.*, 2011; Zuo *et al.*, 2015; Tactacan *et al.*, 2016; Upadhaya *et al.*, 2016; Chen *et al.*, 2017; Lei *et al.*, 2017). De manera similar, estudios previos en aves han reportado que la suplementación con proteasa mejoró el desempeño y la digestibilidad de los nutrientes (Ghazi *et al.*, 2002). Además, la suplementación de proteasa puede aliviar los efectos adversos de los inhibidores de proteínas y las proteínas alergénicas de ciertos ingredientes, lo que conduce a una mejora de la digestibilidad de las proteínas y a la salud inmune en animales monogástricos jóvenes (Wang *et al.*, 2020, Park *et al.*, 2020ab). Sin embargo, la efectividad de la proteasa en dietas para monogástricos puede ser variable y se ha asociado con el tipo de proteasa utilizada, la dosis y potencialmente la edad/fase del animal (Cowieson y Roos, 2016; Lee *et al.*, 2018).

En conjunto, el uso de coproductos agrícolas y otros ingredientes no convencionales en combinación con suplementación enzimática para mejorar sus características nutricionales y valor alimenticio puede ser una estrategia apropiada para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad de la producción porcina y avícola.

Alternative feedstuffs in combination with enzyme supplementation to improve efficiency and sustainability of swine and poultry production

Jorge Y. Pérez-Palencia¹

Zootec, MSc, PhD; 

Andrés F. Bolívar-Sierra²

MVZ, PhD(c); 

¹ Research Associate: Monogastric Nutrition scientist. Department of Animal Science, South Dakota State University, Brookings, SD, 57007, USA; Email: jorge.perezpalencia@sdstate.edu

² PhD candidate, Doctorate in Agricultural Sciences, Universidad de los Llanos. Email: andres.bolivar@unillanos.edu.co

By 2050 the global population will reach 9.1 billion, 15 percent higher than 2021 (FAO, 2009). To feed this larger population, annual cereal and meat production will need to rise to 7 and 40%, respectively, above current production levels. Therefore, human food and animal feed production must optimize sustainable practices to ensure cereal and meat animal demands are met while also maintaining natural and environmental resources. As the food demand for humans increases, livestock animals that consume grains including corn, wheat, and soybean are recognized as potential competitors to human food supply and security (Muscat *et al.*, 2020). In this context, feeding strategies that incorporate alternative feedstuffs in livestock diets, such as co-products from agro-industrial crops, will reduce competition for human food ingredients and contribute to sustainable meat animal production. In addition, incorporating alternative ingredients in livestock diets can reduce feed costs and increase profitability, particularly in the swine and poultry industries where the feed costs represent 60 to 70% of the total production cost (Woyengo *et al.*, 2014).

Agroindustrial by-products from cereal grain processing and other crop industries, as well as local feedstuffs, represent an opportunity to improve efficiency and meet current sustainability goals (Zijlstra and Beltranena, 2013). These ingredients typically contain important levels of protein, minerals, fiber, and other nutrients. However, their nutritional value is often not equivalent to that of other ingredients typically used in swine and poultry diets (i.e., corn, soybean meal), which can limit a direct replacement in diets (Navarro *et al.*, 2018). In addition, the high content of fiber in the form of structural carbohydrates (non-starch polysaccharides, NSP), and antinutritional factors (ANFs), affect nutrient digestibility and consequently compromise animal growth performance (Urriola *et al.*, 2013; Molist *et al.*, 2014). In this regard, there is a need to increase the nutritional value of agro-industrial co-prod-

ucts and alternative cereal grains through enhancing digestibility and palatability and mitigating ANFs, to utilize their full potential as livestock feed ingredients. In response to this need, exogenous enzymes can be included in swine and poultry diets to improve the nutritional value of these alternative feedstuffs.

Exogenous enzymes have been one of the most prominent biotechnological advancements in monogastric nutrition during the last few decades (Brameld and Parr, 2016). This nutritional strategy is now commonly used in monogastric diets and has been linked to improved nutrient utilization, lower feed cost, and decreased manure nitrogen and inorganic phosphorus (P) content (Kim *et al.*, 2020). The most commonly used enzymes are phytase, carbohydrases (β -glucanase, xylanase, cellulose, α -amilase, pectinase, α -galactosidase, β -mannanase), and protease; these enzymes are used individually or in the form of multi-enzyme complexes also called enzyme blends (Emiola *et al.*, 2009; Willamil *et al.*, 2012; Woyengo *et al.*, 2018). The inclusion of phytase in diets reduces the antinutritional effect of phytate and improves, primarily, P and calcium (Ca) digestibility and, secondarily, amino acids (AA) and energy digestibility (Jang *et al.*, 2017; She *et al.*, 2017). Thus, phytase supplementation allows adjustments around the inclusion of inorganic macro mineral sources in diet formulations. The effectiveness of exogenous phytase to improve the digestibility of P and Ca and reduce the concentration of P in feces has been clearly demonstrated in pig's diets when included between 500 and 2,500 FTU/kg diet (Adhikari *et al.*, 2016ab; Jang *et al.*, 2017; She *et al.*, 2017). High levels of added phytase (super-dosing) have been observed to enhance nutrient digestibility and pig growth performance and have been observed to be more effective during the nursery phase than the grow-finish phase (Holloway *et al.*, 2018). In poultry diets, supplementation of broiler diets with exogenous phytase at 1,039 FTU/kg of diet increased P retention by 8.60 percentage units (Bougouin *et al.*, 2014). However, according to the authors, Ca content of the diet, bird age, and phytase dose are factors that need to take into consideration when supplementing phytase in poultry diets.

Carbohydrases have been used to target cell wall NSP in monogastric diets since these components increase viscosity of digesta in the small intestine resulting in the reduction of digestibility and absorption of nutrients and overall alteration of intestinal physiological functions (Kiarie *et al.*, 2013; Molist *et al.*, 2014). According to Hung *et al.*, (2022), increased digesta viscosity regardless of fiber content decreased nutrient digestibility, induced structural and physiological changes in the gut (i.e., deeper crypts, greater goblet cell area and greater amylase activity), and compromised growth performance in pigs. Viscosity may also influence gut microflora, changes in microbial fermentation in the large intestine could compromise an important source of energy for colonic cells (Jha *et al.*, 2019). Within the most commonly used carbohydrases in monogastric diets, xylanase catalyzes endohydrolysis of 1,4-b-D-xylosidic linkages in xylans releasing oligosaccharides from dietary fiber (Katapodis and Christakopoulos, 2008). In this regard, dietary xylanase supplementation can improve nutrient digestibility in monogastric diets by degrading polysaccharides in the cell wall and reducing digesta viscosity (Passos *et al.*, 2015). In addition to improvements in growth performance, dietary supplementation of xylanase has been related to benefits on intestinal health of weaned pigs

and broiler chickens, including improved gut morphology, reduced inflammatory response, and modulating the mucosa-associated microbiota (Duarte *et al.*, 2019; Chen *et al.*, 2020; Moita *et al.*, 2022). Xylanase inclusion in swine diets (4,000 to 24,000 units/kg feed) improved nutritional value of high fiber feed ingredients, while β -mannanase (800 IU) had limited effects on nutrient digestibility variables (Lærke *et al.*, 2015; Casas and Stein, 2016; Moran *et al.*, 2016; Kim *et al.*, 2017; Yang *et al.*, 2017). When used in combination (Enzyme blends), the effectiveness of carbohydrase supplementation is associated with the type of cereal present in the diet but in most cases, nutrient digestibility is improved (Emiola *et al.*, 2009; Li *et al.*, 2018; Woyengo *et al.*, 2018; Zeng *et al.*, 2018).

Protease, another enzyme used in monogastric diets, can increase the rate of hydrolysis of intact proteins, increasing AA availability and reducing N excretion (Lee *et al.*, 2018; Park *et al.*, 2020). Collectively, data from several studies evaluating the effects of protease supplementation in pig diets report positive impacts on nutrient digestibility (Lee *et al.*, 2018) and in some cases growth performance (Zamora *et al.*, 2011; Zuo *et al.*, 2015; Tactacan *et al.*, 2016; Upadhaya *et al.*, 2016; Chen *et al.*, 2017; Lei *et al.*, 2017). Similarly, previous studies in poultry have reported that protease supplementation improved growth performance and nutrient digestibility (Ghazi *et al.*, 2002). In addition, dietary protease can alleviate the adverse effects of protein inhibitors and allergenic proteins from certain ingredients, leading to an improvement of protein digestibility and immune health in young monogastric animals (Wang *et al.*, 2020, Park *et al.*, 2020ab). However, the effectiveness of protease in monogastric diets can be variable and has been associated with the type of protease used, the dose, and potentially animal age/phase (Cowieson and Roos, 2016; Lee *et al.*, 2018).

Collectively, the use of agricultural co-products and other non-conventional ingredients in combination with enzyme supplementation to improve their nutritional characteristics and feeding value may be an appropriate strategy to improve efficiency and overall sustainability of swine and poultry production.

Alimentos alternativos em combinação com suplementação enzimática para melhorar a eficiência e a sustentabilidade da produção de suínos e aves

Jorge Y. Pérez-Palencia¹

Zootec, MSc, PhD; 

Andrés F. Bolívar-Sierra²

MVZ, PhD(c); 

¹ Pesquisador Associado: nutrição de monogástricos. Departamento de Zootecnia, South Dakota State University, Brookings, SD, 57007, USA. Email: jorge.perezpalencia@sdstate.edu

² Estudante de Doutorado em Ciências Agrárias, Universidad de los Llanos. Email: andres.bolivar@unillanos.edu.co

Até 2050, a população mundial atingirá 9100 milhões de pessoas, 15 por cento mais do que em 2021 (FAO, 2009). Para alimentar esta população, a produção anual de cereais e carne terá de aumentar 7 e 40%, respetivamente, acima dos níveis de produção atuais. Portanto, a produção de alimentos para humanos e animais deve otimizar as práticas sustentáveis para garantir que as exigências de cereais e carne sejam satisfeitas, preservando simultaneamente os recursos naturais e ambientais. À medida que aumenta a demanda alimentar para humanos, os animais de produção que consomem cereais, incluindo milho, trigo e soja, são reconhecidos como potenciais concorrentes para o abastecimento e segurança alimentar humana (Muscat *et al.*, 2020). Neste contexto, estratégias alimentares que incorporem alimentos alternativos nas dietas dos animais de produção, como coprodutos agroindustriais, reduzirão a concorrência pelos ingredientes alimentares humanos e contribuirão para a produção sustentável da carne animal. Além disso, a incorporação de ingredientes alternativos nas dietas de animais de produção pode reduzir os custos de alimentação e aumentar a rentabilidade, particularmente nas indústrias suína e avícola, onde os custos de alimentação representam entre 60 e 70% do custo total de produção (Woyengo *et al.*, 2014).

Os subprodutos agroindustriais do processamento de grãos e de outras indústrias agrícolas, bem como as matérias primas locais, representam uma oportunidade para melhorar a eficiência dos sistemas de produção animal e cumprir as atuais metas de sustentabilidade (Zijlstra e Beltranena, 2013). Esses ingredientes geralmente contêm níveis significativos de proteína, minerais, fibras e outros nutrientes. No entanto, o seu valor nutricional muitas vezes não é equivalente ao de outros ingredientes comumente utilizados nas dietas de suínos e aves (milho e farelo de soja), o que pode limitar uma substituição direta nas dietas (Navarro *et al.*, 2018). Além disso, o elevado teor de fibras na forma de carboidratos estruturais (polissacarídeos não amiláceos, PNA) e fatores antinutricionais (FAN) afetam a digestibilidade dos nutrientes e conseqüentemente comprometem o desempenho animal (Urriola *et al.*, 2013; Molist *et al.*, 2014). Neste sentido, é necessário aumentar o valor nutricional dos coprodutos agroindustriais e dos cereais alternativos, melhorando sua digestibilidade e palatabilidade e mitigando os FAN, para utilizar todo o seu potencial como ingredientes nas dietas para animais de produção. Em resposta a esta necessidade, enzimas exógenas podem ser incluídas nas dietas de suínos e aves para melhorar o valor nutricional destes alimentos alternativos.

As enzimas exógenas têm sido um dos avanços biotecnológicos mais destacados na nutrição de animais monogástricos nas últimas décadas (Brameld e Parr, 2016). Esta estratégia nutricional é comumente usada em dietas de monogástricos e tem sido associada a uma melhor utilização de nutrientes, menor custo de alimentação e diminuição do conteúdo inorgânico de nitrogênio e fósforo (P) no esterco (Kim *et al.*, 2020). As enzimas mais utilizadas são fitase, carboidrases (β -glucanase, xilanase, celulose, α -amilase, pectinase, α -galactosidase, β -mananase) e protease; essas enzimas são utilizadas individualmente ou na forma de complexos multienzimáticos, também chamados de misturas enzimáticas (Emiola *et al.*, 2009; Willamil *et al.*, 2012; Woyengo *et al.*, 2018). A inclusão da fitase nas dietas reduz o efeito an-

tinutricional do fitato e melhora, principalmente, a digestibilidade do P e cálcio (Ca) e, secundariamente, a digestibilidade dos aminoácidos (AA) e da energia (Jang *et al.*, 2017; She *et al.*, 2017). Portanto, a suplementação de fitase permite fazer ajustes em torno da inclusão de fontes inorgânicas de macrominerais na formulação de dietas. A eficácia da fitase exógena para melhorar a digestibilidade do P e Ca e reduzir a concentração fecal de P foi claramente demonstrada em dietas para suínos quando é incluída de 500 a 2500 FTU/kg de dieta (Adhikari *et al.*, 2016ab; Jang *et al.*, 2017; She *et al.*, 2017). Observou-se que níveis elevados de inclusão de fitase (superdoses) melhoram a digestibilidade dos nutrientes e o desempenho de suínos e foram mais eficazes durante a fase de desmame do que na fase de crescimento e terminação (Holloway *et al.*, 2018). Em aves, a suplementação de dietas para frangos de corte com fitase exógena (1039 FTU/kg da dieta) aumentou a retenção de P em 8,60 unidades percentuais (Bougouin *et al.*, 2014). Porém, segundo os autores, o teor de Ca da dieta, a idade das aves e a dose de fitase são fatores que devem ser levados em consideração na suplementação de fitase nas dietas de aves.

As carboidrases têm sido usadas para atingir os PNA da parede celular em dietas para monogástricos, pois esses componentes aumentam a viscosidade da digesta no intestino delgado, resultando em redução da digestibilidade e absorção de nutrientes e um distúrbio geral das funções fisiológicas do intestino (Kiarie *et al.*, 2013; Molist *et al.*, 2014). Segundo Hung *et al.*, (2022), o aumento da viscosidade da digesta, independente do teor de fibra, diminuiu a digestibilidade dos nutrientes, produziu alterações estruturais e fisiológicas no intestino (criptas mais profundas, maior área de células caliciformes e aumento da atividade da amilase) e comprometeu negativamente o desempenho de suínos. A viscosidade também pode influenciar a microflora intestinal; alterações na fermentação microbiana no intestino grosso podem comprometer uma importante fonte de energia para as células do cólon (Jha *et al.*, 2019). Entre as carboidrases mais utilizadas em dietas para animais monogástricos, a xilanase catalisa a endo hidrólise das ligações 1,4-b-D-xilosídicas nas xilanas, liberando oligossacarídeos da fibra alimentar (Katapodis e Christakopoulos, 2008). Nesse sentido, a suplementação de xilanase na dieta pode melhorar a digestibilidade dos nutrientes em dietas para monogástricos, por degradar os polissacarídeos da parede celular e reduzir a viscosidade da digesta (Passos *et al.*, 2015). Além de melhorias no desempenho, a suplementação dietética de xilanase tem sido associada a benefícios para a saúde intestinal em leitões desmamados e frangos de corte, incluindo melhoria da morfologia intestinal, redução da resposta inflamatória e modulação da microbiota associada à mucosa intestinal (Duarte *et al.*, 2019; Chen *et al.*, 2020; Moita *et al.*, 2022). A inclusão de xilanase nas dietas de suínos (4000 a 24000 unidades/kg de ração) melhorou o valor nutricional das dietas que continham ingredientes ricos em fibra, enquanto a β -mananase (800 UI) teve efeitos limitados nas variáveis de digestibilidade dos nutrientes (Lærke *et al.*, 2015; Casas e Stein, 2016; Moran *et al.*, 2016; Kim *et al.*, 2017; Yang *et al.*, 2017). Quando utilizadas em combinação (misturas enzimáticas), a eficácia da suplementação de carboidrases está associada ao tipo de cereal presente na dieta, mas na maioria dos casos, melhora a digestibilidade dos nutrientes (Emiola *et al.*, 2009; Li *et al.*, 2018; Woyengo *et al.*, 2018; Zeng *et al.*, 2018).

A protease, outra enzima utilizada em dietas monogástricas, pode aumentar a taxa de hidrólise de proteínas intactas, aumentando a disponibilidade de AA e reduzindo a excreção de N (Lee *et al.*, 2018; Park *et al.*, 2020). Diferentes estudos que avaliaram os efeitos da suplementação de protease nas dietas de suínos relatam impactos positivos na digestibilidade dos nutrientes (Lee *et al.*, 2018) e, em alguns casos, no desempenho produtivo (Zamora *et al.*, 2011; Zuo *et al.*, 2015; Tactacan *et al.*, 2016; Upadhaya *et al.*, 2016; Chen *et al.*, 2017; Lei *et al.*, 2017). Da mesma forma, estudos anteriores em aves relataram que a suplementação de protease melhorou o desempenho das aves e a digestibilidade dos nutrientes (Ghazi *et al.*, 2002). Além disso, a protease dietética pode aliviar os efeitos adversos dos inibidores de proteínas e proteínas alergênicas de certos ingredientes, levando a uma melhor digestibilidade das proteínas e à saúde imunológica em animais monogástricos jovens (Wang *et al.*, 2020, Park *et al.*, 2020ab). No entanto, a eficácia da protease em dietas monogástricas pode ser variável e tem sido associada ao tipo de protease utilizada, à dose e, potencialmente, à idade/fase do animal (Cowieson e Roos, 2016; Lee *et al.*, 2018).

Em conjunto, a utilização de subprodutos agrícolas e outros ingredientes não convencionais em combinação com suplementação enzimática para melhorar as suas características nutricionais e valor alimentar pode ser uma estratégia apropriada para melhorar a eficiência e a sustentabilidade da produção de suínos e aves.

REFERENCIAS / REFERENCES / REFERÊNCIAS

- Adhikari P, Heo J, Nyachoti C. Standardized total tract digestibility of phosphorus incamelina (*Camelina sativa*) meal fed to growing pigs without or phytase supplementation. *Animal Feed Science and Technology*. 2016a;214:104-109.
- Adhikari P, Heo J, Nyachoti C. High dose of phytase on apparent and standardized total tract digestibility of phosphorus and apparent total tract digestibility of calcium in canola meals from *Brassica napus* black and *Brassica juncea* yellow fed to growing pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 2016b;96:121-127.
- Bougouin A, Appuhamy J, Kebreab E, Dijkstra J, Kwakkel R, France J. Effects of phytase supplementation on phosphorus retention in broilers and layers: a meta-analysis. *Poult Sci*. Aug. 2014;93(8):1981-92. doi: 10.3382/ps.2013-03820.
- Brameld J, Parr T. Improving efficiency in meat production. *Proc. Nutr. Soc.* 2016;75:242-246. doi:10.1017/S0029665116000161.
- Casas G, Stein H. Effects of microbial xylanase on digestibility of dry matter, organic matter, neutral detergent fiber, and energy and the concentrations of digestible and metabolizable energy in rice coproducts fed to weanling pigs. *Journal of Animal Science*. 2016;94:1933-1939.
- Cowieson A, Roos L. Toward optimal value creation through the application of exogenous mono-component protease in the diets of non-ruminants. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2016;221:331-340. doi:10.1016/j. anifeedsci.2016.04.015.

- Chen H, Zhang I, Park S, Kim W. Impacts of energy feeds and supplemental protease on growth performance, nutrient digestibility, and gut health of pigs from 18 to 45 kg body weight. *Anim. Nutr.* 2017;3:359-365. doi: 10.1016/j.aninu.2017.09.005.
- Chen H, Zhang S, Kim S. Effects of supplemental xylanase on health of the small intestine in nursery pigs fed diets with corn distillers' dried grains with solubles. *J Anim Sci.* Jun. 2020;1:98(6):skaa185. doi: 10.1093/jas/skaa185.
- Duarte M, Zhou F, Dutra W and Kim S. Dietary supplementation of xylanase and protease on growth performance, digesta viscosity, nutrient digestibility, immune and oxidative stress status, and gut health of newly weaned pigs. *Anim Nutr.* Dec, 2019;5(4):351-358. doi: 10.1016/j.aninu.2019.04.005.
- Emiola I, Opapeju F, Slominski B, Nyachoti C. Growth performance and nutrient digestibility in pigs fed wheat distillers dried grains with solubles-based diets supplemented with a multicarbohydase enzyme. *Journal of Animal Science.* 2009;87:2315-2322.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2009. How to Feed the World in 2050. Available online: https://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf.
- Ghazi S, Rooke H, Galbraith and Bedford M. The potential for the improvement of the nutritive value of soya-bean meal by different proteases in broiler chicks and broiler cockerels. *British Poultry Science*, 2002;43:70-77.
- Holloway C, Boyd R, Koehler D, Gould S, Li Q, Patience J. The impact of "super-dosing" phytase in pig diets on growth performance during the nursery and grow-out periods. *Transl. Anim. Sci.* 2018;3:419-428. doi:10.1093/tas/txy148.
- Hung Y, Zhu J, Shurson G, Urriola P, Saqui-Salces M. Decreased nutrient digestibility due to viscosity is independent of the amount of dietary fibre fed to growing pigs. *Br J Nutr.* 2022;Jan 28;127(2):177-187. doi: 10.1017/S0007114521000866.
- Jang Y, Wilcock P, Boyd R, Lindemann M. Effect of combined xylanase and phytase on growth performance, apparent total tract digestibility, and carcass characteristics in growing pigs fed corn-based diets containing high-fiber coproducts. *Journal of Animal Science* 2017;95:4005-4017.
- Jha R, Fohse J, Tiwari U. Dietary fiber and intestinal health of monogastric animals. *Front Vet Sci.* 2019;6:1-12.
- Katapodis P, Christakopoulos P. Enzymic production of feruloyl xylooligosaccharides from corn cobs by a family 10 xylanase from *Thermoascus aurantiacus*. *Food Sci Technol*; 2008;41:1239e43.
- Kiarie E, Romero L, Nyachoti C. The role of added feed enzymes in promoting gut health in swine and poultry. *Nutr. Res. Rev.* 2013;26:71-88. doi:10.1017/S0954422413000048.

- Kim H, Nam S, Jeong J, Fang L, Yoo H, Yoo S, Hong J, Son S, Há S, Kim Y. Various levels of copra meal supplementation with α -Mannanase on growth performance, blood profile, nutrient digestibility, pork quality and economic analysis in growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science and Technology*. 2017;59:19.
- Kim Y, Kim T, Song M, An J, Yun J, Lee H, Oh J, Lee G, Kim H, Kim B. Effects of different levels of crude protein and protease on nitrogen utilization, nutrient digestibility, and growth performance in growing pigs. *J. Anim. Sci. Technol*. 2020;62:659-667. doi:10.5187/jast.2020.62.5.659.
- Lærke H, Arent S, Dalsgaard S, Bach K. Effect of xylanases on ileal viscosity, intestinal fiber modification, and apparent ileal fiber and nutrient digestibility of rye and wheat in growing pigs. *Journal of Animal Science*. 2015;93:4323-4335.
- Lee S, Walk C. Meta-analysis: explicit value of mono-component proteases in mono-gastric diets. *Poult. Sci*. 2018;97:2078-2085. doi:10.3382/ps/pey042.
- Lei X, Cheong J, Park J, Kim I. Supplementation of protease, alone and in combination with fructooligosaccharide to low protein diet for finishing pigs. *Anim. Sci. J*. 2017;88:1987-1993. doi:10.1111/asj.12849.
- Li Q, Gabler N, Loving C, Gould S, Patience J. A dietary carbohydrase blend improved intestinal barrier function and growth rate in weaned pigs fed higher fiber diets. *Journal of Animal Science*. 2018;96:5233-5243.
- Moita V, Duarte M, Kim S. Functional roles of xylanase enhancing intestinal health and growth performance of nursery pigs by reducing the digesta viscosity and modulating the mucosa-associated microbiota in the jejunum. *Journal of Animal Science*. May 2022;100(5):116, <https://doi.org/10.1093/jas/skac116>.
- Molist F, Van Oostruma M, Pérez J, Mateos G, Nyachoti C, Van Der Aar P. Relevance of functional properties of dietary fibre in diets for weanling pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 2014;189:1-10.
- Moran K, Lange C, Ferket P, Fellner V, Wilcock P, Heugten V. Enzyme supplementation to improve the nutritional value of fibrous feed ingredients in swine diets fed in dry or liquid form. *Journal of Animal Science*. 2016;94:1031-1040.
- Muscat A, De Olde E, De Boer I, Ripoll-Bosch R. The battle for biomass: A systematic review of food-feed-fuel competition. *Global Food Security*. 2020;25:100330.
- Navarro D, Bruininx E, De Jong L, Stein H. The contribution of digestible and metabolizable energy from high-fiber dietary ingredients is not affected by inclusion rate in mixed diets fed to growing pigs. *J Anim Sci*. 2018May;4,96(5):1860-1868. doi: 10.1093/jas/sky090.
- Park S, Lee J, Yang B, Cho J, Kim S, Kang J, Oh S, Park D, Perez-Maldonado R, Cho J, Park I. Dietary protease improves growth performance, nutrient

- digestibility, and intestinal morphology of weaned pigs. *Journal of Animal Science and Technology*. 2020a;62(1):21.
- Park S, Lee A, Cowieson J, Pappenberger G, Woyengo T. Soybean meal allergenic protein degradation and gut health of piglets fed protease-supplemented diets. *Journal of Animal Science*, 2020b;98:skaa308.
- Passos A, Park I, Ferket P, Von Heimendahl E, Kim S. Effect of dietary supplementation of xylanase on apparent ileal digestibility of nutrients, viscosity of digesta, and intestinal morphology of growing pigs fed corn and soybean meal based diet. *Anim Nutr*. 2015 Mar;1(1):19-23. doi: 10.1016/j.aninu.2015.02.006.
- She Y, Liu Y, Stein H. Effects of graded levels of microbial phytase on apparent total tract digestibility of calcium and phosphorus and standardized total tract digestibility of phosphorus in four sources of canola meal and in soybean meal fed to growing pigs. *Journal of Animal Science*. 2017;95:2061-2070.
- Tactacan G, Cho S, Cho J, Kim I. Performance responses, nutrient digestibility, blood characteristics, and measures of gastrointestinal health in weanling pigs fed protease enzyme. *Asian-Australas. J. Anim. Sci*. 2016;29:998-1003. doi:10.5713/ajas.15.0886.
- Upadhaya S, Yun H, Kim I. Influence of low or high density corn and soybean meal-based diets and protease supplementation on growth performance, apparent digestibility, blood characteristics and noxious gas emission of finishing pigs. *Anim. Feed Sci. Technol*. 2016;216:281-287. doi:10.1016/j.anifeedsci.2016.04.003.
- Urriola P, Cervantes-Pahm E, Stein H. 2013. Fiber in swine nutrition. In: L. I. Chiba, editor, *Sustainable swine nutrition*. John Wiley & Sons, Inc., Ames, IA. p. 255-276.
- Wang J, Street N, Park E, Liu J, Ingvarsson P. Evidence for widespread selection in shaping the genomic landscape during speciation of *Populus*. *Mol Ecol*. 2020 Mar;29(6):1120-1136. doi: 10.1111/mec.15388.
- Willamil J, Badiola I, Devillard E, Geraert P, Torrallardona D. Wheat-barley-rye- or corn-fed growing pigs respond differently to dietary supplementation with a carbohydrase complex. *Journal of Animal Science*. 2012;90:824-832.
- Woyengo T, Beltranena E, Zijlstra R. Nonruminant Nutrition Symposium: Controlling feed cost by including alternative ingredients into pig diets: a review. *J Anim Sci*. 2014 Apr;92(4):1293-305.
- Woyengo T, Patterson R, Levesque C. Nutritive value of multienzyme supplemented cold-pressed camelina cake for pigs. *Journal of Animal Science*. 2018;96:1119-1129.

- Yang Y, Fan Y, Cao Y, Guo P, Dong B, Ma Y. Effects of exogenous phytase and xylanase, individually or in combination, and pelleting on nutrient digestibility, available energy content of wheat and performance of growing pigs fed wheat-based diets. *Asian-Australas Journal of Animal Science*. 2017;30(1):57-63.
- Zamora V, Figueroa L, Reyna J, Cordero M, Sánchez-Torres and Martínez M. Growth performance, carcass characteristics and plasma urea nitrogen concentration of nursery pigs fed low-protein diets supplemented with glucomannans or protease. *J. Appl. Anim*. 2011;39:53-56.
- Zeng Z, Li Q, Tian Q, Xu Y, Piao X. The combination of carbohydrases and phytase to improve nutritional value and non-starch polysaccharides degradation for growing pigs fed diets with or without wheat bran. *Animal Feed Science and Technology*. 2018;235: 138-146.
- Zijlstra R, Beltranena E. 2013. Alternative feedstuffs in swine diets. In: L. I. Chiba, editor, *Sustainable swine nutrition*. John Wiley & Sons, Inc., Ames, IA. p. 229-253.
- Zuo J, Ling L, Long T, Li L, Lahaye C, Yang and Feng D. Effect of dietary supplementation with protease on growth performance, nutrient digestibility, intestinal morphology, digestive enzymes and gene expression of weaned piglets. *Anim. Nutr*. 2015;1:276-282. doi:10.1016/j.aninu.2015.10.003