



Abanico Veterinario. Enero-Diciembre 2023; 13:1-16. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2023.7>

Revisión de Literatura. Recibido:15/02/2022. Aceptado:13/04/2023. Publicado:20/05/2023. Clave: e2022-14.

<https://www.youtube.com/watch?v=kBa8dPISwZ0>

Suplementación de aminoácidos funcionales en dietas de cerdos y su impacto en el intestino

Supplementation of functional amino acids in pig diets and its impact on the intestine



Martínez-Aispuro José^{1ID}, Figueroa-Velasco José^{*1ID}, Sánchez-Torres María^{1ID}, Cordero-Mora José^{1ID}, Ayala-Monter Marco^{2ID}

¹Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Programa de Ganadería. Texcoco Estado de México, México. ²Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Guerrero. Cuajinicuilapa, Guerrero, México. CP 41940. *Autor de correspondencia: Figueroa-Velasco José. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Programa de Ganadería. Texcoco Estado de México, México. CP. 56230. E-mail: jfigueroa@colpos.mx, alfredo_aispuro@yahoo.com, teresa@colpos.mx, cordero@colpos.mx, maamonter@hotmail.com.

RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo revisar la importancia de la inclusión de aminoácidos (AA) funcionales en la alimentación de cerdos en iniciación-crecimiento sobre la salud, desarrollo y crecimiento intestinal. Los AA funcionales son aquellos que participan y regulan las vías metabólicas clave para mejorar la salud, la supervivencia, el crecimiento, el desarrollo, la lactancia y la reproducción de los cerdos en alguna etapa fisiológica específica. Durante los períodos de estrés y etapas fisiológicas críticas, los cerdos tienen un requerimiento nutricional superior de algunos AA [1-1.5% de arginina, 1% de glutamato, 0.8-2% de glutamina, 0.5-1% de prolina, 0.5-2% de glicina, AA de cadena ramificada (0.19-0.55% isoleucina, 0.07-0.82% leucina y 0.27-0.57% valina), 0.4-0.6% de treonina, 0.12% de metionina y 0.2-0.4% de triptófano] para optimizar el comportamiento productivo, ya que, el incremento de estos AA permite mantener la salud intestinal y facilita el funcionamiento normal del intestino. La aplicación del concepto de AA funcionales en la formulación de raciones permite entender y valorar que la inclusión extra representa una opción para fortalecer el sistema inmune y favorecer el desarrollo y crecimiento intestinal. En conclusión, la adición de AA funcionales a la dieta de cerdos jóvenes favorece la salud, desarrollo y crecimiento intestinal.

Palabras clave: aminoácidos sintéticos, proteína, suplementación.

ABSTRACT

The study aimed to review the importance of the supplementation of functional amino acids (AA) in the diets of starting-growing pigs on the intestinal health, development and growth. Functional AAs are those that participate in and regulate key metabolic pathways to improve the health, survival, growth, development, lactation, and reproduction of pigs at some specific physiological stages. During stress periods and critical physiological stages, pigs have a higher dietary requirement for some AAs (1-1.5% of arginine, 1% of glutamate, 0.8-2% of glutamine, 0.5-1% proline, 0.5-2% of glycine, branched-chain AA, 0.4-0.6% of threonine, 0.12-1% of methionine, and 0.2-0.4% of tryptophan) to achieve the optimum growth performance, since, the increase of these AA allows to maintain the intestinal health and facilitates the normal functioning of the intestine. The application of the functional AA concept in the diet formulation allows to understand and assess that the extra addition represents a viable option to fortify the immune system and to promote intestinal growth and development. In conclusion, the dietary inclusion of functional AA in young pigs improves intestinal health, development and growth.

Keywords: crystalline amino acids, protein, supplementation.



INTRODUCCIÓN

La inclusión extra de aminoácidos (AA) sintéticos no convencionales (arginina, glicina, glutamina, leucina y prolina) y convencionales (metionina, treonina, triptófano y valina) en la dieta, en etapas fisiológicas específicas, puede implicar beneficios en la modulación de la expresión génica, la inmunidad, mejora en el crecimiento intestinal y del músculo esquelético, así como modificación del contenido de grasa corporal (Wu *et al.*, 2014). Estos hallazgos condujeron al concepto de AA funcionales, que se definen como aquellos que participan y regulan las vías metabólicas clave para mejorar la salud, la supervivencia, el crecimiento, el desarrollo, la lactancia y la reproducción de los organismos en alguna etapa fisiológica específica (Wu, 2013). Por consiguiente bajo condiciones de estrés, la suplementación extra con AA sintéticos esenciales y no esenciales (respecto a los niveles recomendados) se pueden considerar AA funcionales, debido a que pueden modificar el estado inmunológico y mejorar la resistencia a enfermedades clínicas y subclínicas (van der Meer *et al.*, 2016). Además, el uso de AA funcionales puede mejorar la salud intestinal, la respuesta inmune, alterar el crecimiento y desarrollo intestinal, y modificar la composición de la microbiota intestinal (Liu *et al.*, 2017; Liao, 2021).

En la nutrición del cerdo se necesita comprender los roles y requerimientos dietéticos de los AA en cerdos jóvenes para mejorar la eficiencia en la utilización de proteínas dietéticas y minimizar la excreción de nitrógeno al ambiente (Rezaei *et al.*, 2013a); ya que los requerimientos dietéticos de los AA dependen de la etapa de desarrollo, estado fisiológico, salud, factores ambientales y estados patológicos (Dai *et al.*, 2012). Por lo anterior, el objetivo de la presente revisión fue conocer la importancia de la inclusión de aminoácidos funcionales en el alimento en la salud, desarrollo y crecimiento intestinal de los cerdos en iniciación-crecimiento.

Arginina (Arg)

La Arg interviene en la respuesta antioxidante, la neurotransmisión, la inmunidad, la síntesis de urea (Wu *et al.*, 2014), el crecimiento de la microbiota intestinal (Dai *et al.*, 2012), la producción de óxido nítrico (NO) y la regulación de la expresión génica (Zheng *et al.*, 2018). La síntesis endógena de Arg para un buen comportamiento productivo es suficiente en el cerdo adulto, por lo cual no se considera como un AA esencial (Ma *et al.*, 2015); sin embargo, cuando el animal se encuentra en estrés y/o en periodo de inmunodepresión, los requerimientos de Arg se incrementan, convirtiéndose en un AA funcional (Wijnands *et al.*, 2015).

Una dieta estándar con base en sorgo o maíz-pasta de soya, no provee la cantidad suficiente de arginina para la síntesis de proteína en cerdos al destete. Lo anterior es porque el cerdo en esta etapa se encuentra en estrés oxidativo, maduración intestinal y en el establecimiento de su sistema inmune; por lo que la adición extra de Arg es condicionalmente esencial, debido a que las necesidades son mayores que las tasas de síntesis (Zheng *et al.*, 2018). En particular, el aporte extra en la dieta (0.5-1.5%) al nivel recomendado de L-Arg puede funcionar como un nutriente para favorecer la respuesta al



estrés oxidativo mediante la mejora de la capacidad antioxidante e inhibir la expresión de citocinas inflamatorias (Zheng *et al.*, 2013; Zheng *et al.*, 2018).

La adición de Arg es eficaz para disminuir las lesiones intestinales, mejorar la función de la barrera intestinal y el desarrollo vascular (Chen *et al.*, 2012; Zhu *et al.*, 2013; Zheng *et al.*, 2018). La suplementación con Arg (0.5-1%) protege y mejora la función de la barrera inmune de la mucosa intestinal y mantiene la integridad intestinal en lechones destetados después de la exposición a *E. coli* (Dai *et al.*, 2012; Zhu *et al.*, 2013) y atenúa los efectos negativos causados por la inoculación con *Salmonella enterica* (Chen *et al.*, 2012). Además, la inclusión extra de 1% de Arg en la dieta de cerdos en crecimiento disminuye el estrés y mejora la respuesta inmune, ante el consumo de la micotoxina deoxinivalenol (Wu *et al.*, 2013).

En algunos estudios (Yao *et al.*, 2011; Wang *et al.*, 2012; Yang *et al.*, 2016) se observó que la suplementación con Arg (0.2-1.2%) mejora el crecimiento y el desarrollo intestinal en lechones destetados. Yang *et al.* (2016) observaron que la adición de 0.4 o 0.8% de Arg en el sustituto de leche mejoró el crecimiento en lechones (4 a 24 d de edad) y el desarrollo intestinal (altura y área de vellosidades y mucosa intestinal) en cerdos de 25 a 45 d de edad. El aporte de Arg (1%) mejora el crecimiento intestinal (peso), la altura de las vellosidades intestinales y la expresión de los niveles de proteína para el factor de crecimiento endotelial vascular en cerdos destetados a los 21 d (Yao *et al.*, 2011). La exposición de los cerdos al estrés calórico daña el epitelio intestinal, afectando la absorción de AA, pero al agregar 0.16% de L-Arg en la dieta ayuda a mejorar la función del epitelio del intestino delgado al aumentar la altura de las vellosidades, la abundancia de transportadores de AA y la disponibilidad de AA esenciales (Morales *et al.*, 2021).

Glutamato (Glu) y Glutamina (Gln)

Estudios en animales indican que el Glu y la Gln desempeñan funciones versátiles en el metabolismo y la función intestinal (Yi *et al.*, 2018). La suplementación dietética de Glu al 1% en dietas para lechones destetados es una estrategia alimenticia terapéutica para disminuir los trastornos intestinales durante estados de procesos inflamatorios (Wang *et al.*, 2015a). Lechones destetados a los 21 d suplementados con Glu monosódico (0.5, 1, 2 y 4%) por 21 d redujeron la incidencia de diarrea, proporcional a la dosis, en la primera semana después del destete, y mejoró la capacidad antioxidante en el intestino delgado (Rezaei *et al.*, 2013a; Rezaei *et al.*, 2013b).

La Gln es un aminoácido no esencial. Sin embargo, durante los períodos de estrés y en las etapas críticas del desarrollo, los cerdos tienen un requerimiento dietético de Gln superior para lograr el máximo comportamiento productivo y facilitar el funcionamiento normal del intestino, particularmente en estados hipercatabólicos (Wu *et al.*, 2014). En lechones destetados, la adición extra de Gln a la dieta puede mejorar el comportamiento productivo, la morfología intestinal, reducir el daño oxidativo, estimular la proliferación de enterocitos, modular la supervivencia y muerte celular; también mejora la permeabilidad paracelular intestinal (Ji *et al.*, 2019). En algunos estudios se ha demostrado que la Gln (0.8-1%) puede mejorar la estructura y función del epitelio intestinal (Rezaei *et al.*, 2013b;



[Wang et al., 2014a](#)). Mientras que la adición de 0.8-2% de Gln sintética a la dieta muestra efectos benéficos en la morfología y crecimiento intestinal, particularmente durante las primeras dos semanas después del destete ([Molino et al., 2012](#); [Teixeira et al., 2014](#)).

Prolina (Pro)

La Pro es un aminoácido indispensable en los cerdos jóvenes, debido a su capacidad limitada para sintetizar prolina a partir de glutamina, glutamato o arginina en el intestino ([Wu, 2013](#)). En los cerdos se ha demostrado que la Pro puede mejorar la integridad y la función intestinal en condiciones normales y patológicas, lo que potencialmente puede protegerlo de diferentes enfermedades ([Wang et al., 2015b](#); [Liu et al., 2017](#)). La suplementación de la dieta con Pro juega un papel importante en el intestino de los lechones destetados, regulando la diferenciación celular y la síntesis de *nov*o de arginina y poliaminas (involucradas en la maduración temprana de la integridad de la mucosa intestinal) en los enterocitos para favorecer el crecimiento y la migración de las células intestinales ([Wang et al., 2016](#)).

La adición de Pro (0.5 o 1%) a dietas para cerdos recién destetados puede mejorar la tasa de crecimiento, aumentar las actividades de la enzima superóxido dismutasa y mejorar la función digestiva del tracto gastrointestinal ([Kang et al., 2014](#)), ya que el metabolismo de la Pro implica el equilibrio redox y la desintoxicación del amoníaco en las células epiteliales intestinales ([Phang et al., 2015](#)). Además, en los lechones alimentados con Pro adicional (25 mg/kg PV) se observó que aumenta la altura de las vellosidades, mejora la proliferación de la mucosa y la morfología intestinal, así como la unión estrecha de proteínas y la expresión de proteínas del canal de potasio; con implicaciones para la restitución epitelial y la función de la barrera intestinal después de una lesión por estrés ([Wang et al., 2015b](#)).

Glicina (Gly)

Existe evidencia de que la síntesis endógena de Gly es insuficiente para apoyar la salud intestinal óptima o maximizar el crecimiento de todo el cuerpo (incluido el intestino delgado) en cerdos jóvenes ([Wang et al., 2014b](#)). Estudios *in vitro* mostraron que la Gly inhibe el estrés oxidativo en las células epiteliales intestinales porcinas ([Wang et al., 2014c](#)) y mejora la barrera de la mucosa intestinal ([Li et al., 2016a](#)).

En lechones de siete días de edad, criados con sus madres, que fueron suplementados por vía oral con 0, 50, 100 o 200% de ingesta extra de Gly, respecto del contenido de Gly en la leche de la cerda, durante 14 días y luego se destetaron a los 21 días de edad; se observó, que el consumo extra (100-200%) de Gly se asoció con una barrera de la mucosa intestinal mejorada, aumento de la altura de las vellosidades, una mejor relación entre la altura de las vellosidades y la profundidad de las criptas en el yeyuno, y con la reducción de la apoptosis de los enterocitos intestinales ([Fan et al., 2019](#)). Del mismo modo, en lechones destetados suplementados con 0 (testigo), 0.5, 1 o 2% de Gly durante siete días, se observó modificación en la composición microbiana intestinal y mejoras en la inmunidad de la mucosa intestinal. En el contenido en el colon de lechones alimentados



con 2% de Gly se redujo el conteo de bacterias patógenas (*Escherichia-Shigella*, *Clostridium* y *Burkholderiales*) y aumentó el de bacterias productoras de ácidos grasos de cadena corta (*Blautia*, *Lachnospiraceae*, *Anaerostipes* y *Prevotella*) en comparación con el tratamiento testigo (Ji *et al.*, 2021).

AAs de cadena ramificada

Los aminoácidos de cadena ramificada incluyen leucina, isoleucina y valina, que desempeñan un papel fundamental en la regulación de la salud intestinal, la inmunidad y las enfermedades de los animales (Nie *et al.*, 2018). La suplementación con isoleucina induce la expresión de AA antimicrobianos en células epiteliales intestinales porcinas, esenciales para la inmunidad innata (Mao *et al.*, 2013). Mientras que la adición de leucina (1.4 g/kg PV) a la dieta promueve el desarrollo intestinal en cerdos jóvenes (Sun *et al.*, 2015). Así mismo, la inclusión adicional de 1% de leucina en la dieta de cerdos atenuó el efecto negativo de la infección por rotavirus sobre la diarrea; además mejoró la producción de mucina, inmunoglobulinas, anticuerpos y citoquinas (Mao *et al.*, 2018).

La adición extra de AA ramificados puede eficientizar el comportamiento productivo de los cerdos alimentados con dietas bajas en proteína debido a que se mejora el perfil metabólico en el hígado y el músculo (Wang *et al.*, 2015c), la capacidad oxidativa del músculo (Duan *et al.*, 2017), la morfología intestinal, la proliferación celular de enterocitos (Duan *et al.*, 2018) y al altera positivamente la microflora intestinal (Spring *et al.*, 2020).

Al agregar AA sintéticos de cadena ramificada (0.55% isoleucina, 0.82% leucina y 0.57% valina) a dietas con baja proteína para cerdos destetados, ofrecidas durante 4 semanas, se incrementaron las poblaciones de *Paludibacteraceae* y *Synergistaceae* y se redujeron las poblaciones de *Streptococcaceae*, *Oxyphotobacteria_unclassified*, *Pseudomonadaceae* y *Shewanellaceae* en las heces, en comparación con una dieta estándar y una dieta baja en proteína sin la adición de AA de cadena ramificada (Spring *et al.*, 2020). Mientras que la adición de AA sintéticos de cadena ramificada (0.19% isoleucina, 0.1% leucina, y 0.34% valina) a la dieta, ofrecida a cerdos destetados durante 14 d, mejoró su comportamiento productivo, el desarrollo intestinal y la expresión de los transportadores de aminoácidos (Zhang *et al.*, 2013). En los cerdos destetados, el consumo de dietas suplementadas con niveles extra de leucina (0.07%), valina (0.27%) e isoleucina (0.19%) durante 14 d, mejoró la defensa inmunitaria intestinal, protegiendo la morfología de las vellosidades y aumentando los niveles de inmunoglobulinas intestinales (Ren *et al.*, 2015).

Treonina

La estimulación del sistema inmune aumenta los requerimientos dietéticos de treonina (mayor a 0.60%) para la retención de proteínas en los cerdos en crecimiento, debido a un aumento en los requerimientos para mantenimiento, ya que una concentración de treonina en la dieta menor de 0.40% suprime la respuesta inmune (McGilvray *et al.*, 2019). El consumo alto de treonina (0.90 vs 0.85%) en cerdos en iniciación aumenta la concentración sérica de IgG y promueve una microbiota saludable en el intestino (Trevisi



et al., 2015); sin embargo, debe considerarse que el efecto benéfico en la respuesta inmune requiere una concentración mayor que el nivel utilizado para obtener la ganancia de peso máxima (Xie *et al.*, 2013). En los cerdos destetados alimentados con una dieta estándar, con nivel de 0.76% treonina (NRC, 2012), se observó inflamación sistémica e intestinal, mientras que la inclusión de 15% de treonina extra mejoró la integridad intestinal, aunque no se normalizó la inflamación inducida por el cambio de dieta (Koo *et al.*, 2020).

La restricción de treonina en la dieta puede disminuir la producción de enzimas digestivas y aumentar la permeabilidad paracelular de la mucosa, permitiendo que agentes patógenos y las toxinas atraviesen la barrera epitelial de la mucosa. Además, se ha demostrado que el requerimiento de treonina aumenta en condiciones patológicas como ileítis y sepsis, para mantener la morfología y fisiología intestinal (Mao *et al.*, 2011). Al formular dietas para lechones destetados se debe considerar que los niveles de treonina dependen del estado fisiológico, ya que animales sanos o infectados; por ejemplo, con *E. coli*, requieren de concentraciones distintas (Ren *et al.*, 2014). Wang *et al.* (2006) observaron, en lechones destetados, que el consumo de dietas a las que se les incrementó el nivel de treonina aumentó las concentraciones de IgG e IgA en la mucosa intestinal y mejoró las características morfológicas intestinales en lechones expuestos a *E. coli*, concluyendo que, para optimizar la inmunidad de los cerdos, éstos deben consumir 0.66% de treonina digestible ileal verdadera. Trevisi *et al.* (2015) observaron que el consumo de una dieta suplementada con 0.90% de treonina redujo el recuento de *E. coli* en las heces de los cerdos destetados, en comparación con la dieta con 0.85% de treonina.

La alimentación de cerdos en iniciación con menor concentración de treonina reduce la producción de mucina (Wang *et al.*, 2010) y afecta la función intestinal (0.65% de treonina; Hamard *et al.*, 2010). Sin embargo, la deficiencia (0.37% de treonina) o el exceso (1.11 %) de treonina en la dieta de cerdos destetados afecta la barrera de la mucosa intestinal, mientras que un incremento moderado de 0.74-0.89% mejoró la función y el mantenimiento de la barrera intestinal y la síntesis de mucina de la mucosa (Wang *et al.*, 2010).

Metionina (Met)-Cisteína (Cis)

El incremento de AA azufrados en la dieta podría producir efectos benéficos adicionales como AAs funcionales (Wu, 2013). La recomendación de Met+Cis para cerdos en iniciación varía, dependiendo de la respuesta productiva esperada y de la fuente bibliográfica consultada, ubicándose en promedio en 0.71% (NRC, 2012). La suplementación extra (0.25-0.25%) con Met+Cis en la dieta de cerdos se asocia con efectos positivos en el sistema inmune, ya que el aumento en la ingesta de AA sulfurados incrementa la síntesis de proteínas clave en la respuesta inmunitaria (Li *et al.*, 2014; Pinheiro *et al.*, 2015). Un consumo mayor de Met por arriba del requerimiento necesario para lograr un óptimo comportamiento productivo durante el destete o períodos de estrés es importante para mantener la integridad de la mucosa (Chen *et al.*, 2014), el desarrollo y la capacidad antioxidante intestinal (Su *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2019).



El estrés oxidativo puede ocasionar rendimiento productivo deficiente, problemas de salud e incluso la muerte (Zheng *et al.*, 2018). Teóricamente, una deficiencia de Met (0.24%) con respecto al nivel (0.37%) establecido por el NRC (2012) podría afectar las cantidades de Cis y glutatión peroxidasa, con el consecuente aumento del estrés oxidativo. La adición de Met (0.12%) extra optimiza la síntesis de proteínas, aumenta las concentraciones de cisteína y disulfuro de glutatión en el plasma y los tejidos, lo que conduce a reducciones en el potencial redox, ayudando en el mantenimiento de la integridad de la mucosa del intestino delgado de lechones destetados (Chen *et al.*, 2014). La deficiencia de Met (menor a 0.25%) suprime el crecimiento de la mucosa intestinal, reduce la proliferación de células epiteliales intestinales y aumenta el estrés oxidativo intestinal en lechones (Bauchart-Thevret *et al.*, 2009; Chen *et al.*, 2014).

El periodo de destete en cerdos aumenta el estrés oxidativo. La suplementación dietética con N-acetilcisteína (0.05%) aumenta la capacidad antioxidante y disminuye la expresión yeyunal de citocinas inflamatorias (Guo *et al.*, 2016); además, la población bacteriana intestinal puede modificarse, aumentando el recuento de *Lactobacillus* y *Bifidobacterium* y reduciendo el de *E. coli* (Xu *et al.*, 2014). Aunado a lo anterior, una deficiencia de Met en cerdos incrementa la adhesión y aumenta tanto la citotoxicidad como las respuestas apoptóticas de las células infectadas con *E. coli* (Tang *et al.*, 2015). Cuando los cerdos muestran un sistema inmunológico activado por estrés, los requerimientos de Met+Cis pueden ser más altos (0.90%), ya que la síntesis de Cis a partir de Met tiende a aumentar (Li *et al.*, 2014; Pinheiro *et al.*, 2015). En contraste, hay evidencia de que dietas con concentración menor de metionina podrían mejorar el metabolismo de los lípidos del tejido adiposo, disminuir el daño oxidativo, alterar las vías antioxidantes y mejorar la respuesta inflamatoria en cerdos en crecimiento (Ying *et al.*, 2015; Zhou *et al.*, 2016).

Triptófano (Trp)

El Trp desempeña una función importante en la respuesta inmunitaria a través de los productos de su catabolismo, tales como serotonina, melatonina y N-acetilserotonina que pueden inhibir la producción de superóxido y factor de necrosis tumoral alfa, eliminar radicales libres y modular la síntesis inducible de óxido nítrico (Kim *et al.*, 2007). El Trp es importante para regular la función fisiológica en el intestino, como la permeabilidad, la motilidad y la secreción intestinales (Wang *et al.*, 2015d; Tossou *et al.*, 2016); también, juega un papel crucial en el equilibrio inmunológico y el mantenimiento de la microbiota intestinal (Gao *et al.*, 2018). Además, la suplementación con Trp puede mejorar la respuesta inmune en procesos infecciosos virales de cerdos jóvenes (Wang *et al.*, 2013). El Trp del alimento influye en el crecimiento y la salud de las células epiteliales intestinales, así como las proteínas de unión estrecha del epitelio intestinal en lechones destetados (Wang *et al.*, 2015d). La adición con 0.2-0.4% Trp (con respecto al nivel recomendado de 0.25%; NRC, 2012) en dietas para cerdos fdestetados mejoró la función de barrera de la mucosa intestinal en comparación con los alimentados con la dieta basal, sugiriendo que las bacterias metabolizadoras de Trp en el intestino delgado mediaron principalmente los efectos benéficos del Trp de la dieta en la integridad, salud y función de la mucosa (Liang *et al.*, 2019); además, este mismo nivel de suplementación puede aliviar o disminuir la alteración en la composición y/o funciones de los



microorganismos en el intestino, alterar la composición y diversidad microbiana intestinal, activar la señalización de receptores asociado a la regeneración celular, la reacción inmunitaria, la homeostasis intestinal y la proliferación celular, y reducir la expresión de citocinas inflamatorias en el intestino grueso de lechones destetados (Liang *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2020). También, el consumo de una dieta con niveles de 0.35% de Trp mejoró el comportamiento productivo, redujo la presencia de diarreas, mejoró la integridad de la barrera de la mucosa intestinal y la ecología microbiana intestinal (incremento de *Lactobacillus*) en lechones destetados; además de efectos asociados con los metabolitos de Trp como la activación de la señalización del complejo proteico promotor del gasto energético para la biosíntesis de macromoléculas y el enriquecimiento de probióticos en el intestino delgado (Rao *et al.* (2021). Así mismo, la suplementación con 0.15% de Trp aumentó la relación entre la altura de las vellosidades y la profundidad de las criptas sin afectar la permeabilidad intestinal (Tossou *et al.*, 2016). Por el contrario, la adición a la dieta de 0.75% de Trp extra influyó negativamente en la morfología del epitelio intestinal (Tossou *et al.*, 2016), aumentando significativamente la permeabilidad intestinal (Li *et al.*, 2016b; Tossou *et al.*, 2016); niveles de inclusión de 0.1% extra disminuyeron la expresión génica de las proteínas de unión estrecha del epitelio intestinal (Li *et al.*, 2016b).

Las diferencias en la respuesta a la suplementación con Trp pueden deberse a que los lechones bajo condiciones de estrés pueden necesitar más Trp para mantener la integridad intestinal y un crecimiento óptimo, ya que la adición extra con 0.15% de Trp mejoró la integridad intestinal, restauró el estado redox y mejoró la función mitocondrial de lechones desafiados con un agente químico para inducir estrés oxidativo (Liu *et al.*, 2019).

CONCLUSIÓN

En conclusión, la inclusión de AA funcionales en la dieta para cerdos en iniciación-crecimiento, en niveles mayores a los recomendados para maximizar la ganancia de peso, favorece la salud, desarrollo y crecimiento intestinal, especialmente cuando están sometidos a condiciones de estrés o retos inmunológicamente.

LITERATURA CITADA

BAUCHART-THEVRET C, Stoll B, Chacko S, Burrin DG. 2009. Sulfur amino acid deficiency upregulates intestinal methionine cycle activity and suppresses epithelial growth in neonatal pigs. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*. 296(6):1239-1250. ISSN: 0193-1849. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.91021.2008>

CHEN Y, Chen D, Tian G, He J, Mao X, Mao Q, Yu B. 2012. Dietary arginine supplementation alleviates immune challenge induced by *Salmonella enterica* serovar Choleraesuis bacterin potentially through the Toll-like receptor 4-myeloid differentiation factor 88 signalling pathway in weaned piglets. *British Journal of Nutrition*. 108(6):1069-1076. ISSN: 1475-2662. <https://doi.org/10.1017/S0007114511006350>



CHEN Y, Li D, Dai Z, Piao X, Wu Z, Wang B, Zhu Y, Zeng Z. 2014. L-methionine supplementation maintains the integrity and barrier function of the small-intestinal mucosa in post-weaning piglets. *Amino Acids*. 46(4):1131-1142. ISSN: 1438-2199. <https://doi.org/10.1007/s00726-014-1675-5>

DAI ZL, Li XL, Xi PB, Zhang J, Wu G, Zhu WY. 2012. Regulatory role for L-arginine in the utilization of amino acids by pig small-intestinal bacteria. *Amino Acids*. 43:233-244. ISSN: 1438-2199. <https://doi.org/10.1007/s00726-011-1067-z>

DUAN Y, Li F, Wang W, Guo Q, Wen C, Yin Y. 2017. Alteration of muscle fiber characteristics and the AMPK-SIRT1-PGC-1 α axis in skeletal muscle of growing pigs fed low-protein diets with varying branched-chain amino acid ratios. *Oncotarget*. 8(63):107011-107021. ISSN: 1949-2553. <https://doi.org/10.18632/oncotarget.22205>

DUAN Y, Tan B, Li J, Liao P, Huang B, Li F, Xia H, Liu Y, Yin Y. 2018. Optimal branched-chain amino acid ratio improves cell proliferation and protein metabolism of porcine enterocytes *in vivo* and *in vitro*. *Nutrition*. 54: 173-181. ISSN: 2353-026X. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2018.03.057>

FAN X, Li S, Wu Z, Dai Z, Li J, Wang X, Wu G. 2019. Glycine supplementation to breast-fed piglets attenuates post-weaning jejunal epithelial apoptosis: a functional role of CHOP. *Amino Acids*. 51:463-473. ISSN: 1438-2199. <https://doi.org/10.1007/s00726-018-2681-9>

GAO J, Xu K, Liu H, Liu G, Bai M, Peng C, Li T, Yin Y. 2018. Impact of the gut microbiota on intestinal immunity mediated by tryptophan metabolism. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*. 8:13. ISSN: 2235-2988. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2018.00013>

GUO Q, Cai X, Xu C, Luo Z, Sheng Y, Bao J, Chen X, Xu J. 2016. Effects of dietary supplementation with N-acetyl cysteine on antioxidant capacities and the expression of inflammatory cytokines in weaned piglets. *Italian Journal of Animal Science*. 15(4):634-641. ISSN: 1828-051X. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2016.1222244>

HAMARD A, Mazurais D, Boudry G, Le Huërou-Luron I, Sève B, Le Floc'h N. 2010. A moderate threonine deficiency affects gene expression profile, permeability and glucose absorption capacity in the ileum of piglets. *The Journal of Nutritional Biochemistry*. 21(10):914-921. ISSN: 0955-2863. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2009.07.004>

JI FJ, Wang LX, Yang HS, Hu A, Yin YL. 2019. The roles and functions of glutamine on intestinal health and performance of weaning pigs. *Animal*. 13(11):2727-2735. ISSN: 1751-732X. <https://doi.org/10.1017/S1751731119001800>

JI Y, Fan X, Zhang Y, Li J, Dai Z, Wu Z. 2021. Glycine regulates mucosal immunity and the intestinal microbial composition in weaned piglets. *Amino Acids*. 1-14. ISSN: 1438-2199. <https://doi.org/10.1007/s00726-021-02976-y>



KANG P, Zhang L, Hou Y, Ding B, Yi D, Wang L, Zhu Y, Liu Y, Yin Y, Wu, G. 2014. Effects of L-proline on the growth performance, and blood parameters in weaned lipopolysaccharide (LPS)-challenged pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 27(8):1150-1156. ISSN: 1011-2367. <https://doi.org/10.5713/ajas.2013.13828>

KIM SW, Mateo RD, Yin YL, Wu G. 2007. Functional amino acids and fatty acids for enhancing production performance of sows and piglets. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 20(2):295-306. ISSN: 1011-2367. <https://doi.org/10.5713/ajas.2007.295>

KOO B, Choi J, Yang C, Nyachoti CM. 2020. Diet complexity and l-threonine supplementation: effects on growth performance, immune response, intestinal barrier function, and microbial metabolites in nursery pigs. *Journal of Animal Science*. 98(5):125. ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.1093/jas/skaa125>

LI H, Wan H, Mercier Y, Zhang X, Wu C, Wu X, Tang L, Che L, Lin Y, Xu S, Tian G, Wu D, Fang Z. 2014. Changes in plasma amino acid profiles, growth performance and intestinal antioxidant capacity of piglets following increased consumption of methionine as its hydroxy analogue. *British Journal of Nutrition*. 112(6):855-867. ISSN: 1475-2662. <https://doi.org/10.1017/S000711451400172X>

LI W, Sun K, Ji Y, Wu Z, Wang W, Dai Z, Wu G. 2016a. Glycine regulates expression and distribution of claudin-7 and ZO-3 proteins in intestinal porcine epithelial cells. *Journal of Nutrition*. 146(5):964-969. ISSN: 1541-6100. <https://doi.org/10.3945/jn.115.228312>

LI XL, Jiang M, Ruan Z, Mi SM, Wu X, Yao K, Xiong X, Zhou Y, Yin YL. 2016b. Tryptophan increases intestinal permeability and decreases intestinal tight junction protein expression in weanling piglets. *Journal of Animal Science*. 94(suppl_3):87-90. ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9465>

LIANG H, Dai Z, Liu N, Ji Y, Chen J, Zhang Y, Yang Y, Li J, Wu Z, Wu G. 2018. Dietary L-tryptophan modulates the structural and functional composition of the intestinal microbiome in weaned piglets. *Frontiers in Microbiology*. 9:1736. ISSN: 1664-302X. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01736>

LIANG H, Dai Z, Kou J, Sun K, Chen J, Yang, Y, Wu G, Wu, Z. 2019. Dietary L-tryptophan supplementation enhances the intestinal mucosal barrier function in weaned piglets: Implication of Tryptophan-metabolizing microbiota. *International Journal of Molecular Sciences*. 20(1):20. ISSN: 1422-0067. <https://doi.org/10.3390/ijms20010020>

LIAO SF. 2021. Invited review: Maintain or improve piglet gut health around weaning: the fundamental effects of dietary amino acids. *Animals*. 11(4):1110. ISSN: 2076-2615. <https://doi.org/10.3390/ani11041110>



LIU Y, Wang X, Hou Y, Yin Y, Qiu Y, Wu G, Hu CAA. 2017. Roles of amino acids in preventing and treating intestinal diseases: recent studies with pig models. *Amino Acids*. 49(8):1277-1291. ISSN: 1438-2199. <https://doi.org/10.1007/s00726-017-2450-1>

LIU J, Zhang Y, Li Y, Yan H, Zhang H. 2019. L-tryptophan enhances intestinal integrity in diquat-challenged piglets associated with improvement of redox status and mitochondrial function. *Animals*. 9(5):266. ISSN: 2076-2615. <https://doi.org/10.3390/ani9050266>

MA X, Zheng C, Hu Y, Wang L, Yang X, Jiang Z. 2015. Dietary L-arginine supplementation affects the skeletal longissimus muscle proteome in finishing pigs. *Plos One*. 10:1-16. ISSN: 1932-6203. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0117294>

MAO X, Zeng X, Qiao S, Wu G, Li D. 2011. Specific roles of threonine in intestinal mucosal integrity and barrier function. *Frontiers in Bioscience*. 3:1192-1200. ISSN: 1945-0508. <https://www.imrpess.com/journal/FBE/3/4/10.2741/E322>

MAO X, Qi S, Yu B, He J, Yu J, Chen D. 2013. Zn²⁺ and l-isoleucine induce the expressions of porcine β -defensins in IPEC-J2 cells. *Molecular Biology Reports*. 40(2): 1547-1552. ISSN: 1573-4978. <https://doi.org/10.1007/s11033-012-2200-0>

MAO X, Gu C, Ren M, Chen D, Yu B, He J, Ju J, Zheng P, Luo J, Luo Y, Wang J, Tian G, Yang Q. 2018. L-isoleucine administration alleviates rotavirus infection and immune response in the weaned piglet model. *Frontiers in Immunology*. 9:1654. ISSN: 1664-3224. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2018.01654>

MCGILVRAY WD, Wooten H, Rakhshandeh AR, Petry A, Rakhshandeh A. 2019. Immune system stimulation increases dietary threonine requirements for protein deposition in growing pigs. *Journal of Animal Science*. 97(2):735-744. ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.1093/jas/sky468>

MOLINO JP, Donzele JL, de Oliveira RFM, Saraiva A, Haese D, Fortes EI, de Souza MF. 2012. L-glutamine and L-glutamate in diets with different lactose levels for piglets weaned at 21 days of age. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 41(1):98-105. ISSN: 1806-9290. <https://www.scielo.br/j/rbz/a/7RmDX6Mc54B3vChGWbJFkSS/?lang=en>

MORALES A, González F, Bernal H, Camacho RL, Arce N, Vásquez N, González GC, Htoo JK, Viana MT, Cervantes M. 2021. Effect of arginine supplementation on the morphology and function of intestinal epithelia, and serum concentrations of amino acids in pigs exposed to heat stress. *Journal of Animal Science*. 99(9): skab179. ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.1093/jas/skab179>

NIE C, He T, Zhang W, Zhang G, Ma X. 2018. Branched chain amino acids: beyond nutrition metabolism. *International Journal of Molecular Sciences*. 19(4):954. ISSN: 1422-0067. <https://doi.org/10.3390/ijms19040954>



NRC, National Research Council. 2012. Nutrient Requirements of Swine. 11th Ed. National Academy Press. Washington, DC, USA. Pp. 400. ISSN: 978-0-309-22423-9.

PHANG JM, Liu W, Hancock CN, Fischer JW. 2015. Proline metabolism and cancer: emerging links to glutamine and collagen. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*. 18(1):71-77. ISSN: 1473-6519.
<https://doi.org/10.1097/MCO.0000000000000121>

PINHEIRO RW, de Oliveira Silva FC, Fontes DO, Scotta BA, Almeida M, Souza LPO, Vidal TZB. 2015. Níveis de metionina+ cistina para leitões dos 6 aos 16 kg submetidos a diferentes graus de ativação do sistema imune. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*. 16(4):827-838. ISSN: 1519-9940.
<https://www.scielo.br/j/rbspa/a/NXv5YNCNPyRmwm8RNcKrPVQ/?lang=pt>

RAO Z, Li J, Shi B, Zeng Y, Liu Y, Sun Z, Wu L, Sun W, Tang Z. 2021. Dietary tryptophan levels impact growth performance and intestinal microbial ecology in weaned piglets via tryptophan metabolites and intestinal antimicrobial peptides. *Animals*. 11(3):817. ISSN: 2076-2615. <https://doi.org/10.3390/ani11030817>

REN M, Liu XT, Wang X, Zhang GJ, Qiao SY, Zeng XF. 2014. Increased levels of standardized ileal digestible threonine attenuate intestinal damage and immune responses in Escherichia coli K88+ challenged weaned piglets. *Animal Feed Science and Technology*. 195:67-75. ISSN: 1873-2216.
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.05.013>

REN M, Zhang SH, Zeng XF, Liu H, Qiao SY. 2015. Branched-chain amino acids are beneficial to maintain growth performance and intestinal immune-related function in weaned piglets fed protein restricted diet. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 28:1742-1750. ISSN: 1976-5517. <https://doi.org/10.5713/ajas.14.0131>

REZAEI R, Wang WW, Wu ZL, Dai Z, Wang J, Wu G. 2013a. Biochemical and physiological bases for utilization of dietary amino acids by young pigs. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 4:7. ISSN: 2049-1891 <https://doi.org/10.1186/2049-1891-4-7>

REZAEI R, Knabe DA, Tekwe CD, Dahanayaka S, Eide SJ, Lovering SL, Ficken MD, Fielder SE and Wu G. 2013b. Dietary supplementation with monosodium glutamate is safe and improves growth performance in postweaning pigs. *Amino Acids*. 44:911-923. ISSN: 1438-2199. <https://doi.org/10.1007/s00726-012-1420-x>

SPRING S, Premathilake H, Bradway C, Shili C, DeSilva U, Carter S, Pezeshki A. 2020. Effect of very low-protein diets supplemented with branched-chain amino acids on energy balance, plasma metabolomics and fecal microbiome of pigs. *Scientific Reports*. 10:1-16. ISSN: 2045-2322. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72816-8>



SU W, Zhang H, Ying Z, Li Y, Zhou L, Wang F, Zhang L, Wang T. 2018. Effects of dietary L-methionine supplementation on intestinal integrity and oxidative status in intrauterine growth-retarded weanling piglets. *European Journal of Nutrition*. 57(8):2735-2745. ISSN: 1436-6215. <https://doi.org/10.1007/s00394-017-1539-3>

SUN Y, Wu Z, Li W, Zhang C, Sun K, Ji Y, Wang B, Jiao N, He B, Wang W, Dai Z, Wu G. 2015. Dietary L-leucine supplementation enhances intestinal development in suckling piglets. *Amino Acids*. 47(8):1517-1525. ISSN: 1438-2199. <https://doi.org/10.1007/s00726-015-1985-2>

TANG Y, Tan B, Xiong X, Li F, Ren W, Kong X, Qiu W, Hardwidge RP, Yin Y. 2015. Methionine deficiency reduces autophagy and accelerates death in intestinal epithelial cells infected with enterotoxigenic *Escherichia coli*. *Amino Acids*. 47(10):2199-2204. ISSN: 1438-2199. <https://doi.org/10.1007/s00726-014-1781-4>

TEIXEIRA ADO, Nogueira ET, Kutschenko M, Rostagno HS, Lopes DC. 2014. Inclusion of glutamine associated with glutamic acid in the diet of piglets weaned at 21 days of age. *Revista Brasileira de Saude e Producao Animal*. 15:881-896. ISSN: 1519-9940. <https://www.scielo.br/j/rbspa/a/BLc4CNKC5QXRZ99HJzJygSB/?lang=en#>

TOSSOU MCB, Liu H, Bai M, Chen S, Cai Y, Duraipandiyan V, Liu H, Adebowale T, Al-Dhabi NA, Long N, Tarique H, Oso AO, Liu G, Yin Y. 2016. Effect of high dietary tryptophan on intestinal morphology and tight junction protein of weaned pig. *BioMed Research International*. ISSN: 2314-6141. <https://doi.org/10.1155/2016/2912418>

TREVISI P, Corrent E, Mazzoni M, Messori S, Priori D, Gherpelli Y, Simongiovanni A, Bosi P. 2015. Effect of added dietary threonine on growth performance, health, immunity and gastrointestinal function of weaning pigs with differing genetic susceptibility to *Escherichia coli* infection and challenged with *E. coli* K88ac. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 99(3):511-520. ISSN: 1439-0396. <https://doi.org/10.1111/jpn.12216>

VAN DER MEER Y, Lammers A, Jansman AJM, Rijnen MMJA, Hendriks WH, Gerrits WJJ. 2016. Performance of pigs kept under different sanitary conditions affected by protein intake and amino acid supplementation. *Journal of Animal Science*. 94(11):4704-4719. ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.2527/jas.2016-0787>

WANG X, Qiao SY, Liu M, Ma YX. 2006. Effects of graded levels of true ileal digestible threonine on performance, serum parameters and immune function of 10–25 kg pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 129(3-4):264-278. ISSN: 1873-2216. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.01.003>

WANG W, Zeng X, Mao X, Wu G, Qiao S. 2010. Optimal dietary true ileal digestible threonine for supporting the mucosal barrier in small intestine of weanling pigs. *Journal of Nutrition*. 140(5):981-986. ISSN: 1541-6100 <https://doi.org/10.3945/jn.109.118497>



WANG Y, Zhang L, Zhou G, Liao Z, Ahmad H, Liu W, Wang T. 2012. Dietary L-arginine supplementation improves the intestinal development through increasing mucosal Akt and mammalian target of rapamycin signals in intra-uterine growth retarded piglets. *British Journal of Nutrition*. 108:1371-81. ISSN: 1475-2662.

<https://doi.org/10.1017/S0007114511006763>

WANG J, Zhao Y, Fang Z, Lin Y, Che L, Yang M, Wu D. 2013. Effects of dietary threonine and tryptophan on immune response of growing pigs inoculated with porcine reproductive and respiratory syndrome modified live virus vaccine. *Chinese Journal of Animal Nutrition*. 25(6):1189-1198. ISSN: 1006-267X.

<https://doi.org/10.3969/j.issn.1006-267x.2013.06.010>

WANG H, Zhang C, Wu G, Sun Y, Wang B, He B, Dai Z, Wu Z. 2014a. Glutamine enhances tight junction protein expression and modulates corticotropin releasing factor signaling in the jejunum of weanling piglets. *Journal of Nutrition*. 145(1):25-31. ISSN: 1541-6100. <https://doi.org/10.3945/jn.114.202515>

WANG W, Dai Z, Wu Z, Lin G, Jia S, Hu S, Dahanayaka S, Wu G. 2014b. Glycine is a nutritionally essential amino acid for maximal growth of milk-fed young pigs. *Amino Acids*. 46:2037-2045. ISSN: 1438-2199. <https://doi.org/10.1007/s00726-014-1758-3>

WANG W, Wu Z, Lin G, Hu S, Wang B, Dai Z, Wu G. 2014c. Glycine stimulates protein synthesis and inhibits oxidative stress in pig small intestinal epithelial cells. *Journal of Nutrition*. 144:1540-1548. ISSN: 1541-6100. <https://doi.org/10.3945/jn.114.194001>

WANG H, Zhang C, Wu G, Sun Y, Wang B, He B, Dai Z, Wu Z. 2015a. Glutamine enhances tight-junction protein expression and modulates CRF signaling in the jejunum of weanling piglets. *Journal of Nutrition*. 145:25-31. ISSN: 1541-6100. <https://doi.org/10.3945/jn.114.202515>

WANG J, Li GR, Tan BE, Xiong X, Kong XF, Xiao DF, Xu MW, Wu MM, Huang B, Kim SW, Yin YL. 2015b. Oral administration of putrescine and proline during the suckling period improves epithelial restitution after early weaning in piglets. *Journal of Animal Science*. 93(4):1679-1688. ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8230>

WANG X, Wei H, Cao J, Li Z, He P. 2015c. Metabolomics analysis of muscle from piglets fed low protein diets supplemented with branched chain amino acids using HPLC-high-resolution. *Electrophoresis*. 36(18):2250-2258. ISSN: 1522-2683. <https://doi.org/10.1002/elps.201500007>

WANG H, Ji Y, Wu G, Sun K, Sun Y, Li W, Wang B, He B, Zhang Q, Dai Z, Wu Z. 2015d. L-Tryptophan activates mammalian target of rapamycin and enhances expression of tight junction proteins in intestinal porcine epithelial cells. *Journal of Nutrition*. 145(6):1156-1162. ISSN: 1541-6100. <https://doi.org/10.3945/jn.114.209817>



WANG J, Tan BE, Li GR, Xiao H, Huang B, Zhang MH, Yin YL. 2016. Polyamine metabolism in the intestine of piglets is altered by weaning and proline supplementation. *Journal of Animal Science*. 94(suppl_3):423-428. ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9464>

WANG H, Yan Y, Xia D, Yang Y, Li Y, Li F, Jiang X, Zu Y, Ye H, Yang L, Wang W. 2020. Dietary tryptophan modulates the composition of the ileum and cecum microbiota in weaned piglets after lipopolysaccharide challenge. *Research Square*. ISSN: 2693-5015. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-20520/v1>

WIJNANDS KAP, Castermans TMR, Hommen MPJ, Meesters DM, Poeze M. 2015. Arginine and citrulline and the immune response in sepsis. *Nutrients*. 7:1426-1463. ISSN: 2072-6643. <https://doi.org/10.3390/nu7031426>

WU G. 2013. Functional amino acids in nutrition and health. *Amino Acids*. 45:407-411. ISSN: 1438-2199. <https://doi.org/10.1007/s00726-013-1500-6>

WU L, Wang W, Yao K, Zhou T, Yin J, Li T, Yang L, He L, Yang X, Zhang H, Wang Q, Huang R, Yin Y. 2013. Effects of dietary arginine and glutamine on alleviating the impairment induced by deoxynivalenol stress and immune relevant cytokines in growing pigs. *PLoS One*. 8(7):e69502. ISSN: 1932-6203. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0069502>

WU G, Bazer FW, Dai Z, Li D, Wang J, Wu Z. 2014. Amino acid nutrition in animals: protein synthesis and beyond. *Annual Review of Animal Biosciences*. 2:387-417. ISSN: 2165-8110. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-022513-114113>

XIE C, Zhang S, Zhang G, Zhang F, Chu L, Qiao S. 2013. Estimation of the optimal ratio of standardized ileal digestible threonine to lysine for finishing barrows fed low crude protein diets. *Asian-Australasian Journal Animal Science*. 26:1172-1180. ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.5713/ajas.2013.13045>

XU CC, Yang SF, Zhu LH, Cai X, Sheng YS, Zhu SW, Xu JX. 2014. Regulation of N-acetyl cysteine on gut redox status and major microbiota in weaned piglets. *Journal of Animal Science*. 92(4):1504-1511. ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6755>

YANG XF, Jiang ZY, Gong YL, Zheng CT, Hu YJ, Wang L, Huang L, Ma XY. 2016. Supplementation of pre-weaning diet with L-arginine has carry-over effect to improve intestinal development in young piglets. *Canadian Journal of Animal Science*. 96:52-59. ISSN: 1918-1825. <https://cdnsiencepub.com/doi/10.1139/cjas-2015-0043>

YAO K, Guan S, Li T, Huang R, Wu G, Ruan Z, Yin Y. 2011. Dietary L-arginine supplementation enhances intestinal development and expression of vascular endothelial growth factor in weanling piglets. *British Journal of Nutrition*. 105(5):703-709. ISSN: 1475-2662. <https://doi.org/10.1017/S000711451000365X>



YI D, Li B, Hou Y, Wang L, Zhao D, Chen H, Wu T, Zhou Y, Ding B, Wu G. 2018. Dietary supplementation with an amino acid blend enhances intestinal function in piglets. *Amino Acids*. 50(8), 1089-1100. ISSN: 1438-2199. <https://doi.org/10.1007/s00726-018-2586-7>

YING Y, Yun J, Guoyao W, Kaiji S, Zhaolai D, Zhenlong W. 2015. Dietary L-methionine restriction decreases oxidative stress in porcine liver mitochondria. *Experimental Gerontology*. 65:35-41. ISSN: 0531-5565. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2015.03.004>

ZHANG S, Qiao S, Ren M, Zeng X, Ma X, Wu Z, Thacker P, Wu G. 2013. Supplementation with branched-chain amino acids to a low-protein diet regulates intestinal expression of amino acid and peptide transporters in weanling pigs. *Amino Acids*. 45:1191-1205. ISSN: 1438-2199. <https://doi.org/10.1007/s00726-013-1577-y>

ZHANG H, Li Y, Chen Y, Ying Z, Su W, Zhang T, Dong Y, Htoo JK, Zhang L, Wang T. 2019. Effects of dietary methionine supplementation on growth performance, intestinal morphology, antioxidant capacity and immune function in intra-uterine growth-retarded suckling piglets. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 103(3):868-881. ISSN: 1439-0396. <https://doi.org/10.1111/jpn.13084>

ZHENG P, Yu B, He J, Tian G, Luo Y, Mao X, Keying Zhang, Che L, Chen D. 2013. Protective effects of dietary arginine supplementation against oxidative stress in weaned piglets. *British Journal of Nutrition*. 109(12):2253-2260. ISSN: 1475-2662. <https://doi.org/10.1017/S0007114512004321>

ZHENG P, Song Y, Tian Y, Zhang H, Yu B, He J, Mao X, Yu J, Luo Y, Luo J, Huang Z, Tian G, Chen H, Chen D. 2018. Dietary arginine supplementation affects intestinal function by enhancing antioxidant capacity of a nitric oxide-independent pathway in low-birth-weight piglets. *Journal of Nutrition*. 148(11):1751-1759. ISSN: 1541-6100. <https://doi.org/10.1093/jn/nxy198>

ZHOU X, He L, Wan D, Yang H, Yao K, Wu G, Wu X, Yin Y. 2016. Methionine restriction on lipid metabolism and its possible mechanisms. *Amino Acids*. 48(7):1533-1540. ISSN: 1438-2199. <https://doi.org/10.1007/s00726-016-2247-7>

ZHU HL, Liu YL, Xie XL, Huang JJ, Hou YQ. 2013. Effect of L-arginine on intestinal mucosal immune barrier function in weaned pigs after *Escherichia coli* LPS challenge. *Innate Immunity*. 19(3):242-252. ISSN: 1753-4267. <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1753425912456223>

[Errata Erratum](#)

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/errata>