

# Uso de aditivos nutraceuticos mejora el desarrollo intestinal y la salud productiva durante el post destete porcino

## The use of nutraceutical additives improves intestinal development and productive health during post-weaning in pigs

Jaime A. Ángel-Isaza<sup>1\*</sup> ; Tomas A. Madrid-Garcés<sup>2</sup> ; Víctor Herrera-Franco<sup>2</sup> ;  
Albeiro López-Herrera<sup>3</sup> ; Jaime E. Parra-Suescún<sup>3</sup> 

<sup>1</sup>Promitec Santander, Unidad de Investigación, innovación y Desarrollo Promitec Santander. Bucaramanga – Santander, Colombia; e-mail: jangeli@unal.edu.co

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Grupo de Investigación Biodiversidad y Genética Molecular, BIOGEM. Medellín – Antioquia, Colombia; e-mail: tamadridg@unal.edu.co; vhherrer@unal.edu.co

<sup>3</sup>Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo de Investigación Biodiversidad y Genética Molecular, BIOGEM. Medellín - Antioquia, Colombia; e-mail: alherrera@unal.edu.co; jeparrasu@unal.edu.co

\*autor para correspondencia: jangeli@unal.edu.co

**Cómo citar:** Ángel-Isaza, J.A.; Madrid-Garcés, T.A.; Herrera-Franco, V.; López-Herrera, A.; Parra-Suescún, J.E. 2025. Uso de aditivos nutraceuticos mejora el desarrollo intestinal y la salud productiva durante el post destete porcino. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 28(1):e2556. <http://doi.org/10.31910/rudca.v28.n1.2025.2556>

Artículo de acceso abierto publicado por Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, bajo una Licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

Publicación oficial de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Institución de Educación Superior Acreditada en Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional

**Recibido:** marzo 4 de 2024

**Aceptado:** mayo 20 de 2025

**Editado por:** Helber Adrián Arévalo Maldonado

### RESUMEN

El mantenimiento de la salud intestinal durante el período post destete representa un desafío en la porcicultura, debido a la concurrencia de diversos estresores que afectan el rendimiento productivo y predisponen a trastornos gastrointestinales. Ante la necesidad de reducir el uso de antibióticos promotores del crecimiento, los aditivos nutraceuticos se consideran como una alternativa viable, por lo tanto, se evaluó el efecto de diferentes aditivos nutraceuticos sobre las variables morfométricas intestinales y su relación con el desempeño productivo en lechones. Se utilizaron 240 lechones destetados a los 21 días de edad, asignados aleatoriamente a seis tratamientos: D1, dieta basal comercial; D2, D1 + bacitracina de zinc (150 ppm); D3, D1 + maltodextrina (550 ppm); D4, D1 + fructooligosacáridos (300 ppm); D5, D1 + aceite esencial de *Lippia origanoides* (69 ppm) y D6, D1 + humatos de sodio (750 ppm). Se evaluaron parámetros zootécnicos y se recolectaron muestras de duodeno y yeyuno en los días 0, 15 y 30, para análisis morfométrico y determinación de pH intestinal. Los lechones que recibieron D4 y D5 presentaron una mejora de 0,08 y 0,07 puntos en la conversión alimenticia, en comparación con D2. Además, se observó un incremento en el desarrollo morfométrico intestinal de hasta el 31 y 27 %, a los días 15 y 30, respectivamente. En conclusión, la suplementación con fructooligosacáridos o aceite esencial de *L. origanoides* mejora la integridad intestinal y el rendimiento productivo, constituyendo una alternativa eficaz al uso de antibióticos en la alimentación post destete.

**Palabras clave:** Aceite esencial; Bacitracina de zinc; Fructooligosacáridos; Humatos de sodio; Prebiótico.

### ABSTRACT

Maintaining intestinal health during the post-weaning period represents a challenge in pig production, due to the convergence of various stressors that affect productive performance and predispose animals to gastrointestinal disorders. Considering the need to reduce the use of antibiotic growth promoters, nutraceutical additives have emerged as a viable alternative. Therefore, the effect of different nutraceutical feed additives was evaluated on intestinal morphometric variables and their relationship with productive performance in piglets. A total of 240 piglets weaned at 21 days of age were randomly assigned to six treatments: D1, commercial basal diet; D2, D1 + zinc bacitracin (150 ppm); D3, D1 + maltodextrin (550 ppm); D4, D1 + fructooligosaccharides (300 ppm); D5, D1 + *Lippia origanoides* essential oil (69 ppm); and D6, D1 + sodium humates (750 ppm). Productive performance parameters were recorded, and samples of duodenum and jejunum were collected on days 0, 15, and 30 for morphometric analysis and intestinal pH measurement. Piglets fed D4 and D5 showed improvements of 0.08 and 0.07 points in feed conversion ratio, respectively, compared to D2. Additionally, an increase in intestinal morphometric development of up to 31% and 27%, respectively, was observed on days 15 and 30. In conclusion, supplementation with fructooligosaccharides or *L. origanoides* essential oil enhances intestinal integrity and productive performance, representing an effective alternative to the use of antibiotics in post-weaning diets.

**Keywords:** Essential oil; Fructooligosaccharides; Prebiotic; Sodium humates; Zinc bacitracin.

## INTRODUCCIÓN

En el ciclo de producción de carne porcina, el destete se considera uno de los períodos más críticos durante todo el período de crecimiento y manejo de los cerdos, debido a que se asocia con factores estresores de tipo ambiental, social y nutricional, dando como resultado un bajo consumo de alimento, reducida ganancia de peso corporal, una alta incidencia de diarreas y, finalmente, el aumento en la mortalidad de lechones (Kim & Duarte, 2021). Adicionalmente, a nivel intestinal, las consecuencias de estos estresores durante el post destete inducen cambios profundos en el tracto gastrointestinal (TGI) de los cerdos (Zheng *et al.* 2021).

Referente a lo histológico, durante las primeras semanas del período post destete, se producen daños morfológicos epiteliales caracterizados, principalmente, por atrofia en el crecimiento de vellosidades e hiperplasia de las criptas, generadas por una mayor tasa de pérdida de células epiteliales intestinales, con reducción en la tasa de renovación de estas. Esta pérdida de células en los segmentos apicales de las vellosidades se acompaña de una mayor producción de células, a nivel de las criptas, lo que da lugar a hallazgos histomorfométricos, caracterizados por vellosidades cortas y mayor profundidad de las criptas, que en términos de lo productivo, se asocia con una menor capacidad digestiva y, por tanto, una disminución del crecimiento esperado en los animales durante este periodo (Lata, 2022).

Asimismo, los problemas intestinales de los lechones asociados al período post destete convergen sintomatológicamente en la aparición y aumento de diarreas, las cuales, se observan, en particular, durante los primeros 14 días post destete, en los que se evidencian altas tasas de defecación, con mayor volumen y contenido de agua. La aparición de estas diarreas se asocia con problemas de disbiosis intestinal y, particularmente, con el aumento en la abundancia de algunos microorganismos patobiontes, como cepas de *Escherichia coli* enterotoxigénica, afectando, a su vez, la estructura e integridad de la mucosa intestinal (Eriksen *et al.* 2021).

Para tratar de controlar esta problemática, la industria recurre al uso de antimicrobianos en el alimento para evitar la proliferación de diferentes microorganismos patobiontes y así reducir la sintomatología asociada a los daños intestinales, durante el periodo post destete. Por lo anterior, es recurrente la adición en el alimento balanceado de grandes cantidades de antibióticos de forma profiláctica o como promotores de crecimiento (APC); sin embargo, con la creciente preocupación de la salud pública por la generación de patógenos resistentes a diferentes antibióticos y la consecuente prohibición en algunos países del uso de estas sustancias en producción animal, es necesario buscar alternativas naturales, que permitan mantener la salud intestinal de los lechones y los parámetros productivos, reduciendo de manera parcial o total la inclusión de los APC (Zheng *et al.* 2021).

Como alternativas al uso de los APC en la reducción de los problemas de salud intestinal de los lechones durante el periodo post destete, se plantea el uso de diversos tipos de aditivos alimenticios moduladores de la integridad intestinal: prebióticos, probióticos, fitobióticos o acidificantes, los cuales, a través de diferentes mecanismos de acción, han demostrado capacidad para promover el desarrollo de las estructuras que componen la mucosa intestinal, disminuir las tasas de aparición de eventos diarreicos

y mejorar las variables zootécnicas de la producción (Herrera Franco *et al.* 2022). Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar la suplementación con diferentes aditivos nutracéuticos, como el aceite esencial de *Lippia origanoides*, el fructooligosacárido de cadena corta, los humatos de sodio y la maltodextrina sobre el desarrollo de la morfometría (integridad) intestinal y su relación con la salud y la producción de cerdos, durante el período post destete.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Consideraciones éticas.** La investigación contó con aval del Comité para el Cuidado y Uso de los Animales (CICUA) de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Todos los procedimientos experimentales realizados con los animales se desarrollaron siguiendo los lineamientos de la Guía de Cuidado y Uso de Animales de Granja para la Investigación (ICLAS, 2012).

**Sitio de realización del estudio.** El trabajo de campo fue realizado en una granja porcícola comercial, localizada en la vereda “El Zancudo”, municipio de Entreríos, Antioquia. El predio se encuentra a una altitud aproximada de 2.300 m s.n.m., en una zona de vida bosque muy húmedo Montano bajo (bmh-MB), con una temperatura entre 18 a 24 °C, con una precipitación media mensual de 208 mm y una humedad relativa de 70 %.

**Animales.** Se utilizaron 240 lechones (machos de cruce terminal comercial) destetados a los 21 días de edad, con un peso promedio de  $6,61 \pm 0,08$  kg. Los lechones fueron seleccionados de manera aleatoria el día del destete y se alojaron en grupos de ocho animales en corrales de 5 m<sup>2</sup>, con una densidad final de cría comercial de 0,35 m<sup>2</sup> por animal (Padilla Pérez, 2007). El agua y el alimento fue ofrecido a voluntad durante todo el periodo experimental y se llevó a cabo el registro del consumo de alimento de los diferentes grupos, con prácticas de manejo, realizadas según procedimientos comerciales. Durante la lactancia no se les suministró alimento sólido y ningún tipo de compuesto antibiótico a los lechones.

**Manejo sanitario.** Para el recibimiento de los lechones se realizó lavado, limpieza y desinfección de los corrales de precebo, cortinas, comederos y bebederos; además, se hizo el control de roedores e insectos con productos obtenidos en casas comerciales. Los lechones llegaron de lactancia con el plan de vacunación del sistema de producción establecido (Patiño F. *et al.* 2019).

**Dietas experimentales.** Durante el periodo experimental los animales fueron alimentados con un alimento balanceado/formulado, de acuerdo con las recomendaciones de Rostagno (2017), obteniendo una dieta basal (DB) sin antibiótico promotor de crecimiento (APC) ni aditivos alimenticios. Para la conformación de cada uno de los tratamientos, a la DB se le adicionó APC o uno de los cuatro aditivos nutracéuticos, conformando cada una de las dietas experimentales, así: Dieta 1 (D1) o dieta basal (DB): alimento balanceado sin aditivos; Dieta 2 (D2): DB con la adición de bacitracina de zinc a 150 ppm (APC); Dieta 3 (D3): DB con la adición de 550 ppm de maltodextrina (MD); Dieta 4 (D4): DB con la adición de 300 ppm fructooligosacáridos de cadena corta (FOS); Dieta 5 (D5): DB con la adición de 69 ppm de aceite esencial de

*Lippia origanoides* (AEO) y Dieta 6 (D6): DB con la adición de 750 ppm humatos de sodio (HS).

Todos los aditivos nutraceuticos empleados en el estudio fueron suministrados por la empresa Promitec Santander (Colombia) y se siguieron las recomendaciones de uso y dosificación sugeridas por el fabricante.

**Parámetros clínicos.** Respecto a las variables clínicas, se evaluó la temperatura corporal de los lechones y el índice de severidad de diarreas (ISD); para esto, diariamente, durante los primeros 15 días post destete, se evaluó la temperatura rectal de los lechones, utilizando un termómetro digital LD-00045 (LORD®). Esta medición fue realizada una vez al día introduciendo el termómetro vía rectal en cada lechón durante 30 segundos, momento en el que el dato marcado en el termómetro fue registrado.

La determinación de ISD fue realizada según lo descrito por Patiño F. *et al.* (2019), para lo cual, se realizó evaluación de la consistencia fecal por parte de dos evaluadores, empleando una escala con calificación de 0 a 3, donde el valor 0 indica heces normales, sin presencia de diarrea; el valor 1 describe una diarrea ligera, pastosa; el valor 2, una diarrea moderada, semilíquida y el valor 3 una diarrea severa, muy líquida. La calificación fue registrada diariamente durante todo el periodo experimental para posteriormente realizar el cálculo de del índice de severidad de diarrea ISD, a partir de la siguiente ecuación (Reis-De Souza *et al.* 2010):

$$ISD = (\sum CFd) / Pe$$

Dónde:

CFd = calificación de la consistencia fecal diaria

Pe = periodo experimental

**Parámetros productivos.** Cada semana, durante el periodo experimental y utilizando una balanza digital, se realizó pesaje de todas las unidades experimentales (animales); además, se pesó el alimento ofrecido y sobrante. Con esta información se analizaron las variables de peso vivo (PV) y consumo de alimento; adicionalmente, se calculó la variable de conversión alimenticia acumulada (CAA) usando las siguiente fórmula (Herrera Franco *et al.* 2022):

$$CAA = \frac{\text{Alimento consumido (Kg)}}{\text{Ganancia de peso (Kg)}}$$

**Buenas prácticas de eutanasia y toma de muestras.** Para la obtención de muestras se realizó el sacrificio de un animal al azar por unidad experimental, los días 0, 15 y 30 del periodo post destete. El proceso de eutanasia se efectuó siguiendo las recomendaciones de la Guía de cuidado y uso de animales de granja para la investigación (Canadian Council on Animal Care, 2009). Después del sacrificio, se diseccionó la región abdominal y se extrajo completamente el intestino delgado, para posteriormente obtener muestras de 5 cm de duodeno y yeyuno, las cuales, se almacenaron en formalina buferada al 10 %, hasta el momento del procesamiento histotécnico (Ciro Galeano *et al.* 2016).

**Morfometría intestinal.** Las muestras de duodeno y yeyuno se deshidrataron en alcohol etílico a 70, 80, 90, 100 % y diafanizadas en xilol, para su posterior inclusión en parafina. Con el uso de un micrótomato rotatorio se obtuvieron cortes de 4 µm de espesor de cada muestra, para posteriormente ser teñidos con hematoxilina-eosina y puestos en láminas portaobjetos, para el análisis morfológico. Las láminas con los cortes histológicos se analizaron cuantitativamente, mediante procesamiento de imágenes digitales computarizadas, para lo cual, se empleó una cámara digital instantánea Motican 2.300 (Motic, Hong Kong, China), con una resolución de tres megapíxeles acoplada a un microscopio óptico Leica DLMB (Meyer, Houston, TX, USA), para la obtención de imágenes de los cortes histológicos a un aumento de 200x. Con las imágenes obtenidas de cada muestra, utilizando el programa de procesamiento de imagen Motic® Images plus 2.0 (Motic, Hong Kong, China), se realizó las mediciones de la longitud de las vellosidades (LV), ancho de vellosidades (AV) y la profundidad de las criptas, según lo descrito por Barrera-Barrera *et al.* (2014). Adicionalmente, se calculó la variable de relación de longitud de vellosidad/profundidad de cripta (V:C), según lo descrito por Santos *et al.* (2022).

**Análisis del pH intestinal.** Para la determinación del pH intestinal se tomó un gramo de muestra de contenido de duodeno y yeyuno de cada unidad experimental. Inmediatamente, cada muestra de contenido fue suspendida en 12,5 ml de agua destilada-desionizada, la cual, fue agitada manualmente con agitador de vidrio. Finalmente, en la mezcla se insertó el electrodo de pH y se realizaron las lecturas con un potenciómetro de precisión de dos decimales (Madrid-Garcés *et al.* 2018).

**Diseño experimental y análisis estadístico.** El día del destete los animales fueron pesados y distribuidos de forma aleatoria en 30 corrales de ocho animales cada uno, siguiendo un diseño experimental en bloques completos al azar, compuesto por cinco repeticiones, para cada una de las seis dietas, siendo cada corral una unidad experimental y determinándose la ubicación de los corrales (salón), como el factor de bloqueo.

El análisis estadístico de las variables productivas y los parámetros clínicos fue realizado por medio del procedimiento de medidas repetidas del paquete “nlme” del programa RStudio (RStudio Team, 2020); para las variables morfométricas y pH de los diferentes segmentos intestinales se realizó comparaciones entre dietas, en cada una de las edades de medición, por medio de la prueba de ANOVA, con un alfa de 0,05. Para la comparación de las medias entre cada tratamiento se utilizó una prueba de Tukey, empleando el paquete “agricolae” del programa RStudio. Finalmente, mediante el método de Pearson se analizó la correlación entre cada una de las variables evaluadas durante el experimento.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evaluación de las variables clínicas en los lechones evidenció que la temperatura rectal de los lechones no difirió significativamente ( $p > 0,05$ ) entre las dietas, en ninguno de los días de medición. Por su parte, el estado de las defecaciones evaluadas, mediante el ISD, durante el periodo post destete, evidenció que hubo una reducción significativa ( $p < 0,001$ ) de las diarreas en los animales de los grupos D3, D4, D5 y D6, respecto

a los grupos D1 y D2, siendo el grupo D4 el que presentó el menor ISD, en los dos periodos evaluados (Figura 1).

En cuanto al análisis de los diferentes parámetros productivos se encontró interacción entre dietas y edades de los animales para la variable de PV, por lo que se analizaron los efectos de manera independiente. La variable de CAA no presentó interacción entre los tratamientos y la edad, por lo que se analizó el efecto principal de cada factor. Respecto a la variable PV de los lechones durante el periodo experimental, se observó que los lechones partieron al día 0 (día de

destete), con un PV de  $6,61 \pm 0,08$  Kg, sin diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre las dietas. Tanto para el día 15 como el 30 post destete, se observaron diferencias significativas ( $p < 0,001$ ) entre dietas, donde los lechones que recibieron la dieta D4, seguido de D5, presentaron el mayor PV. En el análisis de los efectos principales de la conversión alimenticia se observó que, independientemente de la edad de evaluación, los animales que fueron suplementados con las dietas D4 y D5, presentaron una CAA significativamente ( $p < 0,001$ ), menor que el resto de las dietas empleadas en el estudio (Tabla 1).

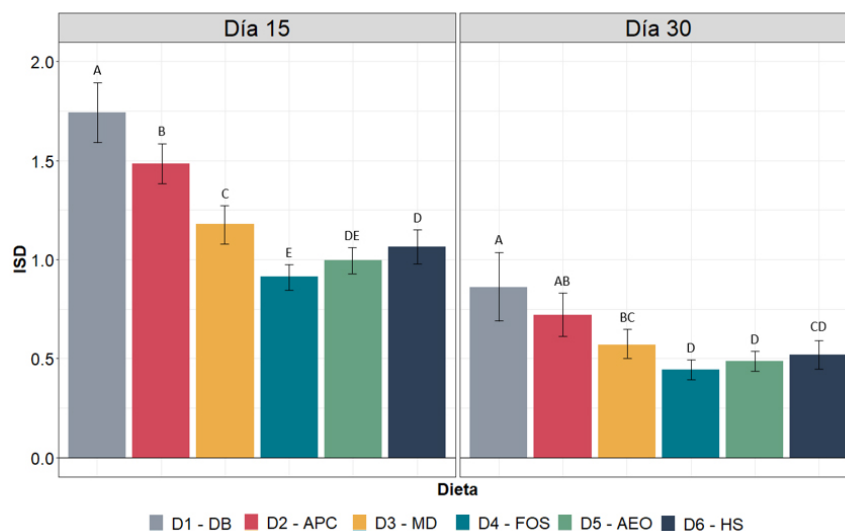


Figura 1. Efecto de la suplementación de aditivos alimenticios sobre el índice de severidad de diarreas (ISD) de lechones, en los días 15 y 30, del periodo post destete.

D1: Alimento balanceado sin aditivos-DB; D2: DB + 150 ppm de Bacitracina de Zinc- APC; D3: DB + 550 ppm de maltodextrina- MD; D4: DB + 300 ppm de fructooligosacarido- FOS; D5: DB + 69 ppm de aceite esencial de Lippia organoide s- AEO; D6: DB + 750 ppm humatos de sodio- HS.

Letras comunes A, B, C, D y E dentro de la misma edad de evaluación indican medias de dietas, que no difieren significativamente en la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Tabla 1. Efecto de la suplementación con diferentes aditivos nutraceúticos sobre el rendimiento productivo de lechones durante los primeros 30 días post destete.

Variable	Día	Media general	D1 - DB	D2 - APC	D3 - MD	D4 - FOS	D5 - AEO	D6 - HS	EEM	P Dieta	P Día	Dieta x Día
Peso vivo (Kg)	0	6,61	6,64 <sup>A</sup>	6,60 <sup>A</sup>	6,64 <sup>A</sup>	6,61 <sup>A</sup>	6,56 <sup>A</sup>	6,57 <sup>A</sup>	0,015	<0,001	<0,001	<0,001
	15	12,76	12,04 <sup>E</sup>	12,33 <sup>D</sup>	12,69 <sup>C</sup>	13,54 <sup>A</sup>	13,23 <sup>B</sup>	12,74 <sup>C</sup>	0,097			
	30	20,99	19,60 <sup>E</sup>	20,33 <sup>D</sup>	20,85 <sup>C</sup>	22,54 <sup>A</sup>	21,76 <sup>B</sup>	20,84 <sup>C</sup>	0,179			
Consumo acumulado (Kg)	15	8,04	7,42 <sup>D</sup>	7,69 <sup>CD</sup>	8,01 <sup>BC</sup>	8,73 <sup>A</sup>	8,35 <sup>AB</sup>	8,06 <sup>BC</sup>	0,086	<0,001	<0,001	<0,001
	30	19,74	18,73 <sup>D</sup>	19,29 <sup>CD</sup>	19,57 <sup>C</sup>	21,17 <sup>A</sup>	20,31 <sup>B</sup>	19,39 <sup>C</sup>	0,155			
CAA (g:g)	15	1,310	1,37 <sup>D</sup>	1,34 <sup>C</sup>	1,32 <sup>BC</sup>	1,26 <sup>A</sup>	1,25 <sup>A</sup>	1,31 <sup>B</sup>	0,009	<0,001	<0,001	0,069
	30	1,375	1,45 <sup>D</sup>	1,41 <sup>C</sup>	1,38 <sup>BC</sup>	1,33 <sup>A</sup>	1,34 <sup>A</sup>	1,36 <sup>B</sup>	0,008			

EEM: Error estándar de la media; CAA: Conversión alimenticia acumulada; D1: Alimento balanceado sin aditivos-DB; D2: DB + 150 ppm de Bacitracina de Zinc-APC; D3: DB + 550 ppm de maltodextrina- MD; D4: DB + 300 ppm de fructooligosacarido-FOS; D5: DB + 69 ppm de aceite esencial de Lippia organoides-AEO; D6: DB + 750 ppm humatos de sodio-HS.

Letras diferentes en superíndice A, B, C, D, E dentro de la misma fila indican diferencias en los contrastes (TUKEY) entre las dietas, dentro de cada edad de evaluación ( $\alpha < 0,05$ ).

En concordancia con los hallazgos de este estudio para la dieta D5 (AEO), Dieguez *et al.* (2022) reportaron que lechones suplementados con una dosis de 75 ppm de AEO, presentaron mayores ganancias de peso al día 72, en comparación con animales control, lo cual, se acompañó de la mejoría en diversas variables de salud intestinal, donde resaltan el aumento de la citrulina plasmática y el incremento de la producción de ácidos grasos de cadena corta (AGCC) en heces; metabolitos indicativos de desarrollo y actividad (integridad) intestinal durante el periodo de desafío que representa el post destete (Dieguez *et al.* 2022; Kiernan *et al.* 2023).

Asimismo, estos resultados son similares con los estudios de Patiño F. *et al.* (2019) y Maya-Ortega *et al.* (2021), donde al suplementar lechones con AEO en el mismo periodo, presentaron ganancias diarias de peso entre 60 y 61 g, comparadas con los animales que recibieron APC, lo que equivale a un incremento de entre el 13 y el 14 %. El aumento en la ganancia de peso y eficiencia alimenticia de los animales suplementados con aceites esenciales se asocia, principalmente, a dos mecanismos: a) la estimulación de secreción de enzimas digestivas, que permite aumentar la digestión/absorción de nutrientes y b) la estabilización del ecosistema microbiano intestinal, lo que conduce a una menor presentación de

trastornos digestivos, como las diarreas (Zhai *et al.* 2018). Estos hallazgos concuerdan con lo observado en la presente investigación.

Por su parte, el aumento de la productividad en cerdos durante el post destete por el uso de FOS (D4) se asocia a su capacidad de aumentar la producción de AGCC, como resultado de su fermentación por parte de bacterias beneficiosas presentes en el tracto gastrointestinal. Aunque una limitación de este estudio fue la ausencia de mediciones directas de AGCC en los diferentes segmentos del intestino delgado de los lechones post destete, se observó que el grupo que recibió suplementación con FOS (D4) presentó el pH más bajo en ambos segmentos evaluados, siendo significativamente ( $p < 0,05$ ) inferior al resto de grupos. a nivel de yeyuno (Figura 2), indicando posiblemente una mayor producción de ácidos en dicho segmento por la fermentación del FOS, como compuesto prebiótico (Csernus & Czeglédi, 2020). Por este motivo, para próximas investigaciones, se debe profundizar en la producción de metabolitos microbianos con cada uno de los compuestos utilizadas, con el fin de dilucidar posibles mecanismos de acción de los aditivos nutraceuticos.

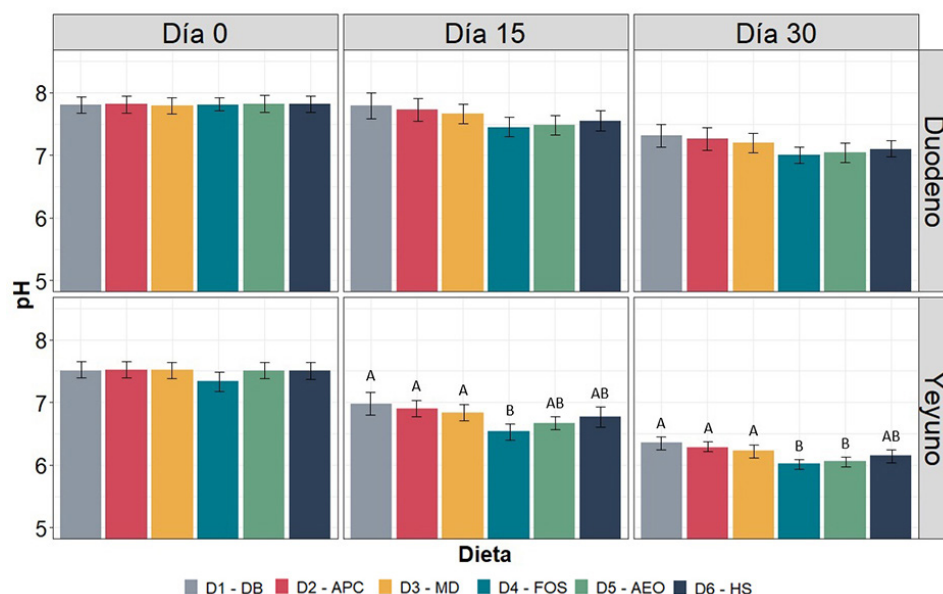


Figura 2. Efecto del uso de aditivos alimenticios sobre el pH de duodeno y yeyuno en lechones, en los días 0, 15 y 30, durante el periodo post destete.

D1: Alimento balanceado sin aditivos-DB; D2: DB + 150 ppm de Bacitracina de Zinc-APC; D3: DB + 550 ppm de maltodextrina-MD; D4: DB + 300 ppm de fructooligosacarido- FOS; D5: DB + 69 ppm de aceite esencial de Lippia organoides-AEO; D6: DB + 750 ppm humatos de sodio-HS.

Letras comunes A y B dentro de la misma edad de evaluación indican medias de dietas que no difieren significativamente en la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Los AGCC juegan diversos roles, a nivel intestinal, dentro de los cuales, se destaca su capacidad para modular el ambiente intestinal y mantener el control sobre el crecimiento de bacterias potencialmente patógenas, mediante la acidificación del pH (Azad *et al.* 2020). En correspondencia con lo encontrado, diferentes estudios reportan la acidificación del pH en yeyuno con la adición de diferentes concentraciones de FOS, lo que, a su vez, se asocia con un mayor recuento de bacterias ácido-lácticas en este segmento, como *Lactobacillus* spp. y *Bifidobacterium* spp. (Zhao & Xia, 2019).

En este sentido, estudios previos mostraron que la suplementación de 300 ppm de FOS en la dieta de los lechones durante los primeros 30 días del periodo post destete promueve la abundancia, a nivel ileal, de bacterias asociadas con la producción de metabolitos beneficiosos, como *Oscillibacter* y *Butyricoccus*, lo cual, además, se relaciona con la mejora en marcadores moleculares de salud, productividad y el desarrollo de estructuras intestinales (Ángel-Isaza *et al.* 2024).



Respecto al efecto de los aditivos nutraceutico sobre el desarrollo morfológico del intestino delgado de los lechones durante el post destete, al evaluar la longitud y el ancho de las vellosidades, a nivel de duodeno y yeyuno (Figura 3), se observaron resultados similares respecto al efecto de la dieta sobre estas dos variables, en donde, tanto al día 15 como al día 30 de evaluación, los animales

que recibieron las dietas D4 y D5 presentaron significativamente ( $p < 0,05$ ) mayor ancho y longitud de vellosidades en los dos segmentos intestinales, en comparación con el resto de dietas, siendo, a su vez, la dieta D1, en la que los animales tuvieron un menor desarrollo de estas dos variables morfológicas.

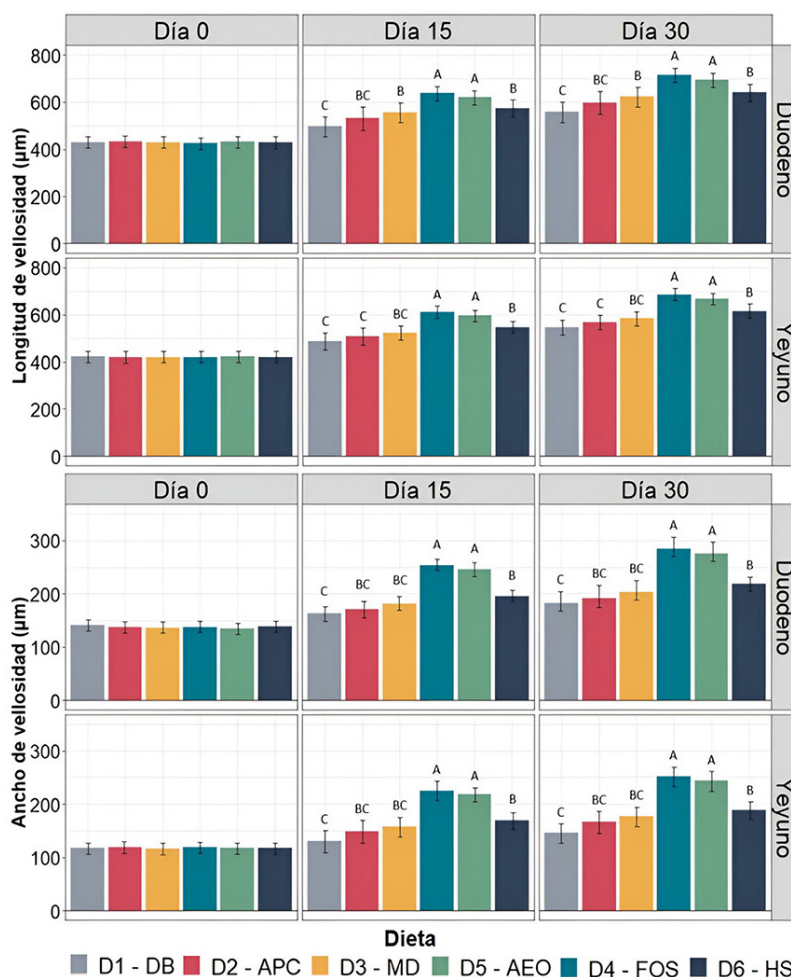


Figura 3. Efecto del uso de aditivos alimenticios sobre la longitud y el ancho de las vellosidades en duodeno y yeyuno de lechones, a los días 0, 15 y 30 del periodo post destete.

D1: Alimento balanceado sin aditivos-DB; D2: DB + 150 ppm de Bacitracina de Zinc-APC; D3: DB + 550 ppm de maltodextrina-MD; D4: DB + 300 ppm de fructooligosacarido-FOS; D5: DB + 69 ppm de aceite esencial de *Lippia organoides*-AEO; D6: DB + 750 ppm humatos de sodio-HS.

Letras comunes A, B y C dentro de la misma edad de evaluación indican medias de dietas, que no difieren significativamente en la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Por su parte, sobre el efecto de las dietas sobre las variables de relación V:C en duodeno y yeyuno de los lechones durante el post destete, se pudo observar que los animales que recibieron las dietas D4 y D5 presentaron el mayor desarrollo de dicha variable ( $p < 0,05$ ), en las dos edades de evaluación, en comparación con todas las otras dietas, encontrándose que D4 y D5 presentaron, a nivel de duodeno, relaciones V:C con valores de 5,5 y 5,3 al día 15 y de 7,3 y 7,0 al día 30 post destete, lo que representa un incremento de entre el 13 al 35 % en el desarrollo de esta variable, frente a las otras dietas utilizadas en el estudio; por su parte, el incremento observado de V:C, a nivel de yeyuno, en las dietas D4 y D5, alcanzó un 31 y 27 %, con relación a la dieta D2-APC (Figura 4).

En este sentido, Reis-De Souza *et al.* (2005) reportaron que las primeras 24 horas posteriores al destete son críticas, ya que se produce una reducción en la longitud de las vellosidades, recuperándose durante la primera semana y alcanzando valores similares a los previos al proceso de destete, entre los días 9 y 14. Es importante tener en cuenta que este proceso de recuperación puede ser más prolongado, dependiendo de las condiciones y del estado de salud de los animales (Reis-De Souza *et al.* 2005; Parra Alarcón *et al.* 2022).

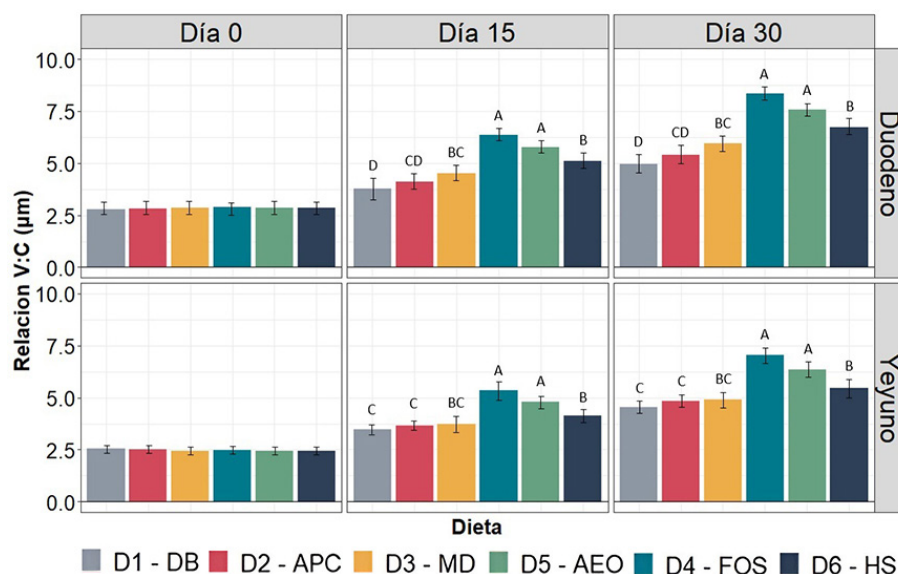


Figura 4. Efecto del uso de aditivos alimenticios sobre la relación V:C en duodeno y yeyuno de lechones, durante el periodo post destete.

D1: Alimento balanceado sin aditivos-DB; D2: DB + 150 ppm de Bacitracina de Zinc-APC; D3: DB + 550 ppm de maltodextrina- MD; D4: DB + 300 ppm de fructooligosacarido-FOS; D5: DB + 69 ppm de aceite esencial de *Lippia organoides*-AEO; D6: DB + 750 ppm humatos de sodio-HS. Letras comunes A, B C y D dentro de la misma edad de evaluación (Día) indican medias de dietas, que no difieren significativamente en la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ). V:C: relación longitud de vellosidad/profundidad cripta.

Con relación al efecto de los aditivos alimenticios utilizados en el estudio, se observó que las dietas D4 y D5, que contenían FOS y AEO, estimularon, de manera más efectiva, el desarrollo de las variables morfométricas de duodeno y yeyuno. Estos hallazgos están respaldados por el estudio de Liu *et al.* (2020), donde lechones desafiados con cepas de *E. coli* enterotoxigénicas durante el destete y que recibieron suplementos de FOS mostraron una mayor relación V:C en duodeno e íleon, en comparación con los animales desafiados que no recibieron el aditivo prebiótico (Liu *et al.* 2020).

Cabe destacar que la evaluación de la relación V:C es particularmente relevante, ya que se ha demostrado que una menor longitud de las vellosidades intestinales, con relación a la profundidad de las criptas, está asociada con un menor número de células absorbentes, como, adicionalmente, se pudo observar en el presente estudio, a través de la alta correlación de dicha variable con la productividad y la disminución de la aparición de diarreas en los lechones (Nguyen *et al.* 2021). Otros estudios han reportado previamente, que la suplementación de lechones con dosis de FOS entre 1 y 2 Kg por tonelada de alimento (dosis superior a la utilizada en el presente estudio), resultó en una mejor longitud de las vellosidades y un valor de relación V:C más alto, en comparación con animales que recibieron APC (Zhao & Xia, 2019).

Respecto a los resultados obtenidos con el uso de AEO, diversas investigaciones informan sobre el efecto benéfico de los aceites esenciales y sus componentes activos, como el carvacrol y el timol sobre la integridad (morfología) y salud intestinal en cerdos, durante el periodo post destete. Consistentemente, se reporta que la suplementación con estos compuestos genera un aumento significativo en la altura de las vellosidades en diferentes segmentos del intestino delgado (Giannenas *et al.* 2016; Zou *et al.* 2016;

Cheng *et al.* 2018; Madrid-Garcés *et al.* 2018; Mohiti-Asli & Ghanaatparast-Rashti, 2018; Yang *et al.* 2018), acompañado de una reducción en la profundidad de las criptas y un incremento notable en el área superficial del epitelio intestinal (Mohiti-Asli & Ghanaatparast-Rashti, 2018). Es relevante destacar que la disminución en la profundidad de las criptas se relaciona con una menor tasa de descamación de las vellosidades, lo que conlleva una disminución en la demanda energética para la continua reparación del tejido dañado y el recambio celular subsiguiente, lo que, a su vez, mejora y optimiza los parámetros productivos (Kogut *et al.* 2017; Peng *et al.* 2016).

En contraste con resultados encontrados, en un estudio previo de Dieguez *et al.* (2022), utilizando AEO en concentraciones similares a las de esta investigación, no reportaron diferencias significativas en el pH de los diferentes segmentos del intestino delgado en lechones durante el periodo post destete; sin embargo, observó que la suplementación con el aceite esencial mejoró significativamente la altura de las vellosidades y el área de absorción intestinal. Estos hallazgos indican que el aceite esencial de *Lippia organoides* ayudó a mitigar el daño sufrido por los enterocitos durante el desafío del periodo post destete, mejorando la salud intestinal de los lechones (Dieguez *et al.* 2022).

Estudios, como los de Mo *et al.* (2022), relacionados con el uso de aceites esenciales de *L. organoides*, destacan la importancia de la capacidad bactericida directa que presenta este tipo de compuestos en su función sobre la mejora de salud intestinal de los lechones. En este sentido, esta capacidad de reducción de organismos potencialmente patógenos fue observado por Ángel-Isaza *et al.* (2024), donde el uso de 69 ppm de aceite esencial de *L. organoides* redujo la abundancia relativa del filo de las Proteobacterias,

particularmente del género *Escherichia* y *Shigella*, lo cual, podría contribuir a reducir el daño que se genera en los enterocitos, durante el periodo post destete.

En la figura 5, se evidencia que al día 30 del post destete, tanto en duodeno como en yeyuno, se observaron correlaciones estrechas entre variables morfométricas, clínicas y productivas. Al analizar la asociación entre las variables productivas, PV y CAA con las

mediciones morfométricas LV, AV, PC y V:C, se pueden apreciar una estrecha correlación con coeficientes de correlación superiores a 0,82 entre todas las variables evaluadas, donde, a nivel de duodeno, la V:C presentó el mayor nivel de correlación (-0,87) con la CAA, mientras que en el yeyuno, la AV fue la más asociada a CAA (-0,84). Respecto a la relación del ISD con las otras variables evaluadas se pudo evidenciar una estrecha relación entre la calificación fecal con las variables productivas y morfométricas.

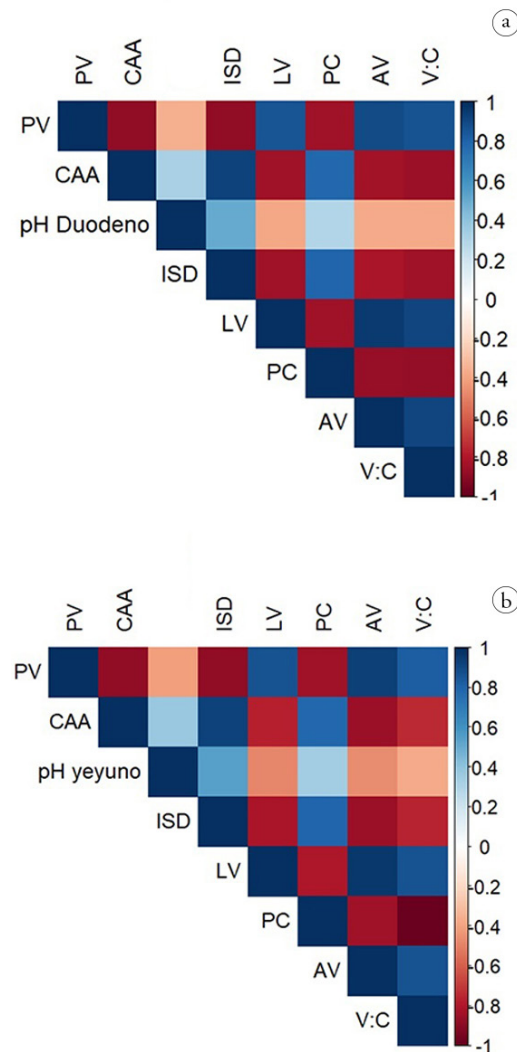


Figura 5. Correlación entre el rendimiento productivo y variables morfométricas al día 30 post destete. a) duodeno y b) yeyuno.

PV: peso vivo; CAA: Conversión alimenticia acumulada; ISD: índice de severidad de diarrea; LV: longitud de vellosidad; PC: profundidad de cripta; AV: ancho de vellosidad; V:C: relación longitud de vellosidad con profundidad de cripta.

Cuadro con color más intenso indican una mayor correlación (azul: positivo, rojo: negativo), entre variables evaluadas por correlación lineal de Pearson.

La relación observada entre las variables morfológicas del intestino delgado con la productividad de los lechones durante el post destete fue descrita por Wang *et al.* (2020), donde los animales con menor altura de vellosidades (enterocitos menos maduros), a nivel de yeyuno, presentan menor actividad de enzimas de borde de cepillo (punta de las vellosidades) y, por tanto, estos animales tienen una menor capacidad de expresar su potencial genético para el crecimiento y la producción, evidenciándose la importancia de

estimular el desarrollo de las estructuras morfológicas del intestino delgado de los lechones, durante el periodo post destete.

En conclusión, los diferentes compuestos nutracéuticos evaluados tuvieron la capacidad de promover resultados productivos similares e, incluso, superiores, en comparación con los APC, durante los 30 días del periodo post destete. Acorde con los resultados encontrados, la adición de FOS o AEO en el alimento de lechones



post destete genera mejores resultados productivos y de desarrollo intestinal en duodeno y yeyuno. Por lo anterior, los FOS y los AEO se presentan como una alternativa viable para el reemplazo de los APC durante el periodo post destete en los lechones; no obstante, se debe continuar profundizando en los mecanismos subyacente, relacionados en cómo estos compuestos contribuyen a la promoción del crecimiento de los lechones, con énfasis en los efectos asociados directamente con la mucosa intestinal, como con las comunidades microbianas intestinales.

**Agradecimientos.** A la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, por sus instalaciones para desarrollar este proyecto y Promitec Santander, por proveer los aditivos nutraceuticos. **Conflicto de intereses:** El investigador Jaime A. Ángel-Isaza se encuentra vinculado al área de innovación de la empresa Promitec Santander. Los autores restantes declaran que la investigación se realizó en ausencia de cualquier relación comercial o financiera que pueda interpretarse como un potencial conflicto de intereses. **Financiación:** Este estudio fue financiado por la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín y Promitec Santander. **Contribución de los autores:** conceptualización: Parra-Suescún, J., Ángel-Isaza J.; metodología: Parra-Suescún, J., Ángel-Isaza J., López-Herrera, A; análisis formal: Parra-Suescún, J., Ángel-Isaza, J.; metodología: Parra-Suescún, J., Ángel-Isaza J., López-Herrera, A., Madrid-Garcés, T., Herrera-Franco, V.; redacción y preparación del borrador original: Parra-Suescún, J., Ángel-Isaza; revisión y edición: López-Herrera, A., Madrid-Garcés T., Herrera-Franco, V.

## REFERENCIAS

- ÁNGEL-ISAZA, J.A.; HERRERA FRANCO, V.; LÓPEZ-HERRERA, A.; PARRA-SUESCÚN, J.E. 2024. Nutraceutical additives modulate microbiota and gut health in post-weaned piglets. *Veterinary Sciences*. 11(8):332. <https://doi.org/10.3390/vetsci11080332>
- AZAD, M.A.K.; GAO, J.; MA, J.; LI, T.; TAN, B.; HUANG, X.; YIN, J. 2020. Opportunities of prebiotics for the intestinal health of monogastric animals. *Animal Nutrition*. 6(4):379-388. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2020.08.001>
- BARRERA-BARRERA, H.M.; RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, S.P.; TORRES-VIDALES, G. 2014. Efectos de la adición de ácido cítrico y un probiótico comercial en el agua de bebida, sobre la morfometría del duodeno y parámetros zootécnicos en pollo de engorde. *Orinoquia*. 18(2):52. <https://doi.org/10.22579/20112629.306>
- CANADIAN COUNCIL ON ANIMAL CARE. 2009. Guidelines on: the care and use of farm animals in research, teaching and testing Canadian Council on Animal Care in science. Volumen 1. CCAC. Canada. 162p. Disponible desde Internet en: [https://ccac.ca/Documents/Standards/Guidelines/Farm\\_Animals.pdf](https://ccac.ca/Documents/Standards/Guidelines/Farm_Animals.pdf)
- CHENG, C.; XIA, M.; ZHANG, X.; WANG, C.; JIANG, S.; PENG, J. 2018. Supplementing oregano essential oil in a reduced-protein diet improves growth performance and nutrient digestibility by modulating intestinal bacteria, intestinal morphology, and antioxidative capacity of growing-finishing pigs. *Animals*. 8(9):159. <https://doi.org/10.3390/ani8090159>
- CIRO GALEANO, J.A.; LÓPEZ HERRERA, A.; PARRA SUESCÚN, J. 2016. The probiotic *Enterococcus faecium* modifies the intestinal morphometric parameters in weaning piglets. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. 69(1):7803-7811. <https://doi.org/10.15446/RFNA.V69N1.54748>
- CSERNUS, B.; CZEGLÉDI, L. 2020. Physiological, antimicrobial, intestine morphological, and immunological effects of fructooligosaccharides in pigs. *Archives Animal Breeding*. 63(2):325-335. <https://doi.org/10.5194/AAB-63-325-2020>
- DIEGUEZ, S.N.; DECUNDO, J.M.; MARTÍNEZ, G.; AMANTO, F.A.; BIANCHI, C.P.; PÉREZ GAUDIO, D.S.; SORACI, A.L. 2022. Effect of dietary oregano (*Lippia origanoides*) and clover (*Eugenia caryophyllata*) essential oils' formulations on intestinal health and performance of pigs. *Planta Medica*. 88(3-4):324-335. <https://doi.org/10.1055/a-1698-8469>
- ERIKSEN, E.Ø.; KUDIRKIENE, E.; CHRISTENSEN, A.E.; AGERLIN, M.V.; WEBER, N.R.; NØDTVEDT, A.; NIELSEN, J.P.; HARTMANN, K.T.; SKADE, L.; LARSEN, L.E.; PANKOKE, K.; OLSEN, J.E.; JENSEN, H.E.; PEDERSEN, K.S. 2021. Post-weaning diarrhea in pigs weaned without medicinal zinc: risk factors, pathogen dynamics, and association to growth rate. *Porcine Health Management*. 7(1):54. <https://doi.org/10.1186/s40813-021-00232-z>
- GIANNENAS, I.; TZORA, A.; SARAKATSIANOS, I.; KARAMOUTSIOS, A.; SKOUFOS, S.; PAPAIOANNOU, N.; ANASTASIOU, I.; SKOUFOS, I. 2016. The Effectiveness of the use of oregano and laurel essential oils in chicken feeding. *Annals of Animal Science*. 16(3). <https://doi.org/10.1515/aoas-2015-0099>
- HERRERA FRANCO, V.; PARDO CARRASCO, S.; PARRA SUESCÚN, J. 2022. Antimicrobials added to the feed of weaned piglets at two ages improves the molecular expression of intestinal barrier proteins. *Animal Production Science*. 62(6):511-520. <https://doi.org/10.1071/AN21027>

- INTERNATIONAL COUNCIL FOR LABORATORY ANIMAL SCIENCE, ICLAS. 2012. International guiding principles for biomedical research involving animals. Consejo de Organizaciones Internacionales de las Ciencias Médicas- Consejo Internacional para la Ciencia de Animales de Laboratorio. 4p. Disponible desde Internet en: [https://grants.nih.gov/grants/olaw/guiding\\_principles\\_2012.pdf](https://grants.nih.gov/grants/olaw/guiding_principles_2012.pdf)
- KIERNAN, D.P.; O'DOHERTY, J.V.; SWEENEY, T. 2023. The effect of prebiotic supplements on the gastrointestinal microbiota and associated health parameters in pigs. *Animals*. 13(19):3012. <https://doi.org/10.3390/ani13193012>
- KIM, S.W.; DUARTE, M.E. 2021. Understanding intestinal health in nursery pigs and the relevant nutritional strategies. *Animal Bioscience*. 34(3):338. <https://doi.org/10.5713/AB.21.0010>
- KOGUT, M.H.; YIN, X.; YUAN, J.; BROOM, L. 2017. Gut health in poultry. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*. Reino Unido. <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR201712031>
- LATA, M. 2022. Weaned pig: Influencing dietary factors for functionality of small intestine. *Vigyan Varta*. 3(1):7-11.
- LIU, L.; CHEN, D.; YU, B.; YIN, H.; HUANG, Z.; LUO, Y.; ZHENG, P.; MAO, X.; YU, J.; LUO, J.; YAN, H.; HE, J. 2020. Fructooligosaccharides improve growth performance and intestinal epithelium function in weaned pigs exposed to enterotoxigenic *Escherichia coli*. *Food & Function*. 11(11):9599-9612. <https://doi.org/10.1039/D0FO01998D>
- MADRID-GARCÉS, T.A.; LÓPEZ-HERRERA, A.; PARRA-SUESCÚN, J. 2018. La ingesta de aceite esencial de orégano (*Lippia origanoides*) mejora la morfología intestinal en Broilers. *Archivos de Zootecnia*. 66(254):287-299. <http://dx.doi.org/10.21071/az.v0i0.3876>
- MAYA-ORTEGA F.C.; ÁNGEL-ISAZA, J.A.; MARTÍNEZ-MORALES, B.C.; PARRA-SUESCÚN, J.E. 2021. Aceite esencial de orégano (*Lippia origanoides*) mejora parámetros productivos y metabolitos sanguíneos en lechones. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 19(2):82-93. <https://doi.org/10.18684/bsaa.v19.n2.2021.1547>
- MO, K.; LI, J.; LIU, F.; XU, Y.; HUANG, X.; NI, H. 2022. Superiority of microencapsulated essential oils compared with common essential oils and antibiotics: effects on the intestinal health and gut microbiota of weaning piglet. *Frontiers in Nutrition*. 8:808106. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.808106>
- MOHITI-ASLI, M.; GHANAATPARAST-RASHTI, M. 2018. Comparing the effects of a combined phytogetic feed additive with an individual essential oil of oregano on intestinal morphology and microflora in broilers. *Journal of Applied Animal Research*. 46(1):184-189. <https://doi.org/10.1080/09712119.2017.1284074>
- NGUYEN, D.T.N.; LE, N.H.; PHAM, V.V.; EVA, P.; ALBERTO, F.; LE, H.T. 2021. Relationship between the ratio of villous height: crypt depth and gut bacteria counts as well production parameters in broiler chickens. *The Journal of Agriculture and Development*. 20(03):1-10. <https://doi.org/10.52997/jad.1.03.2021>
- PADILLA PÉREZ, M. 2007. Manual de porcicultura. Ministerio de Agricultura y Ganadería, San José, Costa Rica. 96p. Disponible desde Internet en: <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/l01-9306.pdf>
- PATÍÑO F, F.; HERRERA F, V.; LÓPEZ D., D.; PARRA S., J. 2019. Metabolitos sanguíneos y parámetros zootécnicos en lechones destetados a dos edades y con adición de antimicrobianos en el alimento. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Peru*. 30(2):612-623. <https://doi.org/10.15381/rivep.v30i2.14887>
- PARRA ALARCÓN, E.A.; HIJUITL VALERIANO, T.D.J.; MARISCAL LANDÍN, G.; REIS-DE SOUZA, T.C. 2022. Concentrado de proteína de papa: una posible alternativa al uso de antibióticos en las dietas para lechones destetados. *Revisión. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 13(2):510-524. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i2.5980>
- PENG, Q.Y.; LI, J.D.; LI, Z.; DUAN, Z.Y.; WU, Y.P. 2016. Effects of dietary supplementation with oregano essential oil on growth performance, carcass traits and jejunal morphology in broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*. 214:148-153. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.02.010>
- REIS-DE SOUZA, C.T.; LANDÍN, M.G.; GARCÍA, K.E. 2010. Algunos factores fisiológicos y nutricionales que afectan la incidencia de diarreas posdestete en lechones. *Veterinaria México*. 41(4):275-288.
- REIS-DE SOUZA, T.; CARRILLO G.D.J.M.; BARREYRO, A.A.; LANDÍN, G.M. 2005. Effect of different cereals on intestinal villous morphology in weaned piglets. *Técnica Pecuaria en México*. 43(3):309-321.
- ROSTAGNO, H.S. 2017. Tablas brasileñas para aves y cerdos. Cuarta edición. Departamento de Zootecnia, UFV. Brasil. 488p.
- RSTUDIO TEAM. 2020. RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC. Disponible desde internet en: <https://posit.co/blog/rstudio-pbc/>

- SANTOS, T.G.; FERNANDES, S.D.; DE OLIVEIRA ARAÚJO, S.B.; FELICIONI, F.; DE MÉRICI DOMINGUES E PAULA, T.; CALDEIRA-BRANT, A.L.; FERREIRA, S.V.; DE PAULA NAVES, L.; DE SOUZA, S.P.; CAMPOS, P.H.R.F.; CHIARINI-GARCIA, H.; DIAS, A.L.N.A.; DE ALMEIDA, F.R.C.L. 2022. Intrauterine growth restriction and its impact on intestinal morphophysiology throughout postnatal development in pigs. *Scientific Reports*. 12(1):11810. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-14683-z>
- WANG, M.; YANG, C.; WANG, Q.; LI, J.; HUANG, P.; LI, Y.; DING, X.; YANG, H.; YIN, Y. 2020. The relationship between villous height and growth performance, small intestinal mucosal enzymes activities and nutrient transporters expression in weaned piglets. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 104(2):606-615. <https://doi.org/10.1111/JPN.13299>
- YANG, X.; XIN, H.; YANG, C.; YANG, X. 2018. Impact of essential oils and organic acids on the growth performance, digestive functions and immunity of broiler chickens. *Animal Nutrition*. 4(4):388-393. <https://doi.org/10.1016/J.ANINU.2018.04.005>
- ZHAI, H.; LIU, H.; WANG, S.; WU, J.; KLUENTER, A.M. 2018. Potential of essential oils for poultry and pigs. *Animal Nutrition*. 4(2):179-186. <https://doi.org/10.1016/J.ANINU.2018.01.005>
- ZHAO, F.; XIA, Z. 2019. Application of FOS and CPP in intestinal health of Weaned Piglets. *E3S Web of Conferences*. 131. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913101077>
- ZHENG, L.; DUARTE, M.E.; SEVAROLLI LOFTUS, A.; KIM, S.W. 2021. Intestinal health of pigs upon weaning: Challenges and nutritional intervention. *Frontiers in Veterinary Science*. 8:91. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.628258>
- ZOU, Y.; XIANG, Q.; WANG, J.; PENG, J.; WEI, H. 2016. Oregano essential oil improves intestinal morphology and expression of tight junction proteins associated with modulation of selected intestinal bacteria and immune status in a pig model. *BioMed Research International*. 2016(1):5436738. <https://doi.org/10.1155/2016/5436738>