



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO



FACULTAD DE QUÍMICO FARMACOBIOLOGÍA

**EFFECTO DE LA ADICIÓN DE NOPAL (*Opuntia ficus-indica*) COCIDO A VAPOR A
LA DIETA DE LECHONES POSTDESTETE SOBRE CITOCINAS
PROINFLAMATORIAS, INTEGRIDAD INTESTINAL Y DESEMPEÑO
PRODUCTIVO**

TESIS

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE MAESTRO EN CIENCIAS
BIOLOGICAS**

PRESENTA

MVZ AARON PONCE DE LEON ZAVALA

ASESORA

DRA. ROSA ELENA PÉREZ SÁNCHEZ

CO-ASESOR

DR. RUY ORTIZ RODRÍGUEZ

**MORELIA, MICH.
FEBRERO DE 2025**

AGRADECIMIENTOS

A mi madre Tzentiotl Zavala Uribe por ser mi ejemplo de perseverancia y fuerza en los momentos más difíciles por los cuales hemos pasado juntos a lo largo de este proceso. Sus consejos, su apoyo y su motivación me han enseñado lo importante que es crecer académica y profesionalmente en esta vida.

A mi padre por ser mi modelo en todo sentido en esta vida, desde pequeño siempre has estado ahí, demostrándome lo bonito que es dedicarle la vida a esta hermosa profesión, gracias por tu enorme esfuerzo y por no dejarme de enseñar en cada momento que lo he necesitado.

Al Dr. Ruy Ortiz Rodríguez por darme la oportunidad de seguir trabajando en conjunto, por su paciencia, enseñanzas, dedicación y por su tiempo compartido en mi formación profesional.

A la Dra. Rosa Elena Pérez Sánchez por su conocimiento, paciencia y aportaciones que enriquecieron la elaboración de este trabajo.

Al MC. Manuel López Rodríguez por su confianza, dedicación, aportaciones y por haberme compartido su conocimiento en el desarrollo de esta tesis.

Al Dr. Gerardo Ordaz Ochoa por su orientación, comentarios y aportaciones que enriquecieron mi conocimiento en este trabajo.

A la Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo por el apoyo brindado al facilitar sus instalaciones para el desarrollo experimental de esta investigación.

A mis amigos y compañeros, que me brindaron su tiempo y colaboración para la realización de esta investigación, con cada uno de ellos me encuentro en deuda, gracias.

INDICE

RESUMEN GENERAL	4
GENERAL ABSTRACT.....	5
INTRODUCCION GENERAL	1
OBJETIVO GENERAL.....	7
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	7
HIPOTESIS.....	7
METODOLOGIA GENERAL.....	8
Capítulo I.....	11
1.1. RESUMEN	11
1.2. INTRODUCCIÓN.....	12
1.3. ENFOQUE METODOLÓGICO	14
1.4. RELACIÓN ESTRÉS POSTDESTETE-SALUD INTESTINAL Y CRECIMIENTO DE LOS LECHONES EN LA FASE DESTETE-DESTETE- INICIACIÓN.....	14
1.5. INFLUENCIA DE LA DIETA EN LA SALUD INTESTINAL DEL LECHÓN EN FASE DE DESTETE-DESTETE-INICIACIÓN	17
1.6. PROBIÓTICOS	19
<i>Lactobacillus</i>	19
<i>Bacillus</i>	20
<i>Bifidobacterium</i>	20
<i>Enterococcus</i>	21
1.7. PROBIÓTICOS MULTIESPECIES	21
1.8. ADITIVOS FITOBÍOTICOS	22
1.9. CONCLUSIONES.....	24
1.10. BIBLIOGRAFIA	24
Capítulo II	36
1.11. RESUMEN	36
1.12. INTRODUCCIÓN.....	37
1.13. MATERIALES Y MÉTODOS.....	38
1.14. RESULTADOS	43
1.15. DISCUSIÓN	46
1.16. CONCLUSION	48
1.17. BIBLIOGRAFÍA	49

Capítulo III.....	53
1.18. RESUMEN	53
1.19. INTRODUCCION.....	54
1.20. MATERIAL Y METODOS	55
1.21. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	58
1.22. CONCLUSION	64
1.23. BIBLIOGRAFIAS.....	64
Capítulo IV.....	67
1.24. RESUMEN	67
1.25. INTRODUCCION.....	68
1.26. MATERIAL Y METODOS	69
1.27. RESULTADOS	73
1.28. DISCUSION.....	76
1.29. CONCLUSION	78
1.30. BIBLIOGRAFIA	78
DISCUSION GENERAL	82
BIBLIOGRAFIA GENERAL	87

INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

	Pág.
Capítulo I.	
Tabla 1. Efectos benéficos de los prebióticos sobre los parámetros del síndrome metabólico en humanos y animales.	18
Tabla 2. Principales plantas que han probado su efecto en la salud del tracto gastrointestinal en animales y en el humano	23
Capítulo II.	
Tabla 1. Análisis químico proximal de las dietas y del nopal (<i>O. ficus-indica</i>)	39
Tabla 2. Medias de mínimos cuadrados para indicadores del consumo de alimento en lechones durante la etapa de iniciación de acuerdo con el grupo	43
Tabla 3. Medias de mínimos cuadrados para parámetros de crecimiento del lechón durante la etapa de iniciación de acuerdo con el grupo	44
Tabla 4. Medias de mínimos cuadrados para indicadores de glucosa sanguínea, largo de vellosidades intestinales y UFC grampositivas en intestino del lechón durante la etapa de iniciación de acuerdo con el grupo	45
Figura 1. Medias de mínimos cuadrados para consumo (kg/día) de alimento comercial y nopal en BS de lechones en fase de iniciación de acuerdo con el grupo y semana	44
Figura 2. Medias de mínimos cuadrados para peso (kg) semanal y ganancia diaria de peso (g) de lechones en fase de iniciación de acuerdo con la edad del lechón	45
Figura 3. Medias de mínimos cuadrados para la glucemia de los lechones de acuerdo con el grupo y semana	46
Capítulo III.	
Tabla 1. Análisis fisicoquímico de las dietas y del nopal (<i>O. ficus-indica</i>)	55
Tabla 2. Medias de mínimos cuadrados para parámetros consumo de alimento del lechón durante la etapa de iniciación de acuerdo con el grupo	58
Figura 1. Medias de mínimos cuadrados para el Largo (A) y ancho (B) de las vellosidades intestinales de acuerdo con el grupo	60
Figura 2. Medias de mínimos cuadrados para profundidad de las criptas de lieberkühn de acuerdo con el grupo y porción intestinal	62
Figura 3. Medias de mínimos cuadrados para relación cripta-vellosidades de acuerdo con el grupo y porción intestinal	63
Capítulo IV	
Tabla 1. Análisis fisicoquímico de las dietas y del nopal (<i>O. ficus-indica</i>)	70
Tabla 2. Medias de mínimos cuadrados para parámetros de crecimiento del lechón durante la etapa de iniciación de acuerdo con el grupo	73
Tabla 3. Medias de mínimos cuadrados para peso (kg) semanal y ganancia diaria de peso (kg) de lechones en fase de iniciación de acuerdo con la semana	75
Tabla 4. Medias de mínimos cuadrados para parámetros de crecimiento del lechón durante la etapa de iniciación de acuerdo con el grupo	75
Figura 1. Medias de mínimos cuadrados para la dinámica de la concentración de IL-1 β , IL-12 y TNF- α de los lechones de acuerdo con el grupo y día postdestete durante la etapa de iniciación	74

RESUMEN GENERAL

El objetivo general fue evaluar el efecto de la adición de *O. ficus-indica* en base fresca (BF) y cocida al vapor (CocV) a la dieta de lechones en la fase destete-destete-iniciación (6-25 kg) sobre citocinas proinflamatorias, integridad intestinal (vellosidades y bacterias intestinales) y desempeño productivo y los objetivos particulares fueron: 1) determinar la expresión de interleucina-1 beta (IL-1 β), interleucina-12 (IL-12) y factor de necrosis tumoral-alfa (TNF- α); 2) evaluar el largo (LVI) y ancho (AVI) de las vellosidades intestinales, así como la profundidad de las criptas de Lieberkühn (PCL) y relación cripta/vellosidad (RCV) del intestino delgado; 3) evaluar el crecimiento de bacterias grampositivas en el intestino; 4) determinar los niveles séricos de glucosa (GLU); 5) establecer el consumo voluntario (CVol) de alimento comercial (AC); 6) comparar la conversión alimenticia (ICA) entre los lechones adicionados con nopal en BF y CocV. Para la evaluación del efecto de la adición de *O. Ficus-indica* a la dieta de lechones postdestete, se utilizaron 60 lechones destetados (6.9 $\pm$ 1.1 kg) para formar tres grupos (n=20 lechones/grupo) con dos repeticiones/grupo (n=10 lechones/repetición): Grupo testigo (G1), Grupo con nopal en BF (G2) y Grupo con nopal CocV (G3). Los tres grupos recibieron AC *ad libitum* conforme su fase productiva. La adición de nopal en G2 y G3 a la dieta fue con base al 1% del peso promedio/semana del lechón. Se evaluó: CVol de AC y de nopal (BF y CocV), peso del lechón (PL), ganancia de peso (GP), ICA, GLU, LVI y AVI, PCL, RCV, unidades formadoras de colonias (UFC) grampositivas en contenido intestinal y expresión de IL-1 β , IL-12 y TNF- α . La información recabada se analizó estadísticamente a través de mediciones repetidas y las diferencias entre grupo mediante medias de mínimos cuadrado a un $\alpha = 0.05$). Se encontró que el mayor (p <0.05) CVol de AC fue en G2 y G3 (528 y 523 g/día/lechón) vs G1. El CVol de nopal fue mayor (p <0.05) en G2 (100 g/día/lechón) vs G3. El PL y la GP fueron menores (p <0.05) en G1 vs G2 y G3. La GLU fue menor (p <0.05) en G2 (112.1 mg/dL) vs G1 y G3. Las UFC de bacterias grampositivas fueron mayores (p <0.05) en G2 (7.9 Log₁₀) vs G1 y G2. El LVI fue mayor (p <0.05) en duodeno y yeyuno del G2 y G3: duodeno, 321.48 y 346.86 μ m, respectivamente; yeyuno, 434.23 y 412.69 μ m, respectivamente. El AVI fue mayor (p <0.05) en duodeno y yeyuno en G2 y G3 (147.02 y 146.7 μ m, respectivamente) vs G1. La PCL fue mayor (p <0.05) en duodeno e íleon de G3 (563.53 y 490.24 μ m, respectivamente) vs G1 y G2. La RCV fue menor (p <0.05) en duodeno del G2 y G3 (1.23:1 y 1.66:1, respectivamente) vs G1 (2.11:1); en yeyuno no se encontraron diferencias (p >0.05) entre grupos; en íleon, fue mayor (p <0.05) en G3 (1.63:1) vs G1 y G2. La expresión de IL-1 β fue mayor (p <0.05) en G1 (109.71 pg/dL) vs G2 (95.31 pg/dL) y G3 (103.75 pg/dL); para IL-12 y TNF- α se presentó el mismo fenómeno que con IL-1 β : IL-12 mayor en G1 (108.98 pg/dL) vs G2 y G3 y TNF- α , mayor en G1 (103.14 pg/dL) vs G2 y G3. Finalmente, el ICA fue menor (p <0.05) en G1 (1.7:1) vs G2 y G3 (1.4:1, ambos grupos). La adición al 1% de *O. ficus-indica* en BF o CocV a la dieta de lechones postdestete, modula la absorción de glucosa, lo cual mejora el consumo voluntario de alimento y contribuye en el mantenimiento de la integridad intestinal. Además, reduce la expresión de citocinas proinflamatorias con lo cual disminuye la inflamación intestinal y, en consecuencia, se produce la regeneración de vellosidades intestinales y el crecimiento de bacterias grampositivas del intestino, resultando en una mayor eficiencia productiva de los lechones durante la fase de destete-destete-iniciación.

Palabras clave: estrés, alimentación, salud intestinal, metabolismo.

GENERAL ABSTRACT

The general objective was to evaluate the effect of the addition of *O. ficus-indica* (*Ofi*) on a fresh (BF) and steamed (St) basis to the diet of piglets in the weaning-initiation phase (6-25 kg) on proinflammatory cytokines, intestinal integrity (villi and intestinal bacteria) and productive performance and the particular objectives were: 1) to determine the expression of interleukin-1 beta (IL-1 β), interleukin-12 (IL-12) and tumor necrosis factor-alpha (TNF- α); 2) evaluate the length (LVI) and width (WVI) of the intestinal villi, as well as the depth of the crypts of Lieberkühn (DCL) and crypt-to-villus ratio (C:V-R) of the small intestine; 3) evaluate the growth of gram-positive bacteria in the intestine; 4) determine serum glucose levels (GLU); 5) establish the voluntary consumption (VC) of commercial food (CF); 6) to compare the feed conversion (FC) between piglets added with nopal in BF and St. For the evaluation of the effect of the addition of *Ofi* to the diet of post-weaning piglets, 60 weaned piglets (6.9 $\pm$ 1.1 kg) were used to form three groups (n=20 piglets/group) with two replications/group (n=10 piglets/repeat): Control group (G1), Group with *Ofi* in BF (G2) and Group with St *Ofi* (G3). The three groups received CF *ad libitum* according to their productive phase. The addition of *Ofi* in G2 and G3 to the diet was based on 1% of the piglet's average weight/week. The following were evaluated: VC of CF and *Ofi* (BF and St), piglet weight (PW), weight gain (WG), FC, GLU, LVI and WVI, DCL, C:V-R, gram-positive colony-forming units (CFU) in intestinal content and expression of IL-1 β , IL-12 and TNF- α . The information collected was statistically analyzed through repeated measurements and the differences between groups by means of least squared means to a $\alpha = 0.05$). It was found that the highest (p <0.05) VC of CF was in G2 and G3 (528 and 523 g/day/piglet) vs G1. The VC of *Ofi* was higher (p <0.05) in G2 (100 g/day/piglet) vs G3. PW and WG were lower (p <0.05) in G1 vs G2 and G3. The GLU was lower (p <0.05) in G2 (112.1 mg/dL) vs G1 and G3. The CFUs of gram-positive bacteria were higher (p <0.05) in G2 (7.9 Log₁₀) vs G1 and G2. LVI was higher (p <0.05) in duodenum and jejunum of G2 and G3: duodenum, 321.48 and 346.86 μ m, respectively; jejunum, 434.23 and 412.69 μ m, respectively. The WVI was higher (p <0.05) in duodenum and jejunum in G2 and G3 (147.02 and 146.7 μ m, respectively) vs G1. The DCL was higher (p <0.05) in the duodenum and ileum of G3 (563.53 and 490.24 μ m, respectively) vs G1 and G2. C:V-R was lower (p <0.05) in duodenum of G2 and G3 (1.23:1 and 1.66:1, respectively) vs G1 (2.11:1); in jejunum no differences were found (p >0.05) between groups; in ileum, it was higher (p <0.05) in G3 (1.63:1) vs G1 and G2. IL-1 β expression was higher (p <0.05) in G1 (109.71 pg/dL) vs G2 (95.31 pg/dL) and G3 (103.75 pg/dL); for IL-12 and TNF- α the same phenomenon was present as with IL-1 β : IL-12 higher in G1 (108.98 pg/dL) vs G2 and G3 and TNF- α , higher in G1 (103.14 pg/dL) vs G2 and G3. Finally, the FC was lower (p <0.05) in G1 (1.7:1) vs G2 and G3 (1.4:1, both groups). The addition of 1% of *O. ficus-indica* in BF or St to the diet of post-weaning piglets modulates glucose absorption, which improves voluntary feed intake and contributes to the maintenance of intestinal integrity. In addition, it reduces the expression of pro-inflammatory cytokines which decreases intestinal inflammation and, consequently, the regeneration of intestinal villi and the growth of gram-positive bacteria in the intestine occurs, resulting in a greater productive efficiency of the piglets during the weaning-initiation phase.

Keywords: stress, diet, gut health, metabolism.

INTRODUCCION GENERAL

Actualmente la reducción de la pobreza, la malnutrición y garantizar la seguridad alimentaria es el desafío mayor para los gobiernos; puesto que, alrededor de 3,100 millones de personas se encuentran en situación de pobreza y desnutrición (FAO, 2022). Aunado a ello, los diversos conflictos bélico-económicos entre países (World Bank Group, 2022), enfermedades y perturbaciones ambientales (World Trade Organization, 2022) alteran las cadenas de producción y suministro de alimentos y, en consecuencia, se incrementan los precios de los alimentos (Moore *et al.*, 2021; FAO *et al.*, 2022) tanto para consumo humano como para los animales (Alonso-Spilsbury *et al.*, 2012).

Aun y cuando el precio de los productos del sector pecuario a nivel global se ha incrementado en la última década, su demanda se ha mantenido al alza (FIRA, 2022). En este sentido, el consumo *per cápita* de los productos de origen animal ha posicionado a la carne de cerdo (12.3 kg) en segundo lugar (Rivera-Benítez *et al.*, 2021; OCDE, 2021). Demanda asociada a patrones socioculturales, incremento de la población mundial, condiciones salariales (Huerta-Sanabria *et al.*, 2018) y costo/kg con respecto a otras proteínas de origen animal (FIRA, 2022).

De acuerdo con el ranking de la producción de carne de cerdo en el mundo, China, la Unión europea y EUA, son quienes encabezan la lista de los países con mayor producción (en conjunto poseen una participación del 75% de la población porcina). Siendo China, el país número uno en producción de carne de cerdo (41.7% de la producción total) (Alonso, 2022). Mientras que la industria porcícola mexicana solo aporta el 1.1% del total de la producción de carne de cerdo a nivel mundial. Aspecto que provoca que el país requiera importar este producto para satisfacer la demanda interna (consumo *per cápita* 23.03 kg) (Castro, 2023) a tal grado que, México se posiciona como el segundo país, a nivel mundial, con el mayor importador de carne de cerdo (OCDE, 2019).

La deficiente producción de carne de cerdo en México se debe, de manera general, a la falta de subsidios gubernamentales, insumos caros para la alimentación del cerdo, ineficiente uso de técnicas y tecnologías, bajo estatus sanitario y esquema gerencial tradicional. Aspectos que por separado o en conjunto generan la deficiencia productiva del sector porcino mexicano (Gómez-Tenorio *et al.*, 2012; Ortiz, 2019).

Ante la competencia internacional de la industria de carne de cerdo, México intenta implementar estrategias productivas que han probado ser exitosas en otros países (Ortiz, 2019); dentro de estas estrategias se encuentra la reducción del costo del lechón destetado, la cual puede lograrse con la introducción de cerdas hiperprolíficas a los sistemas de producción porcina (Agrinews, 2021). Sin embargo, la introducción de dichos animales en los sistemas de producción porcina del país no ha sido exitoso, debido a que estas hembras han sido sometidas a los mismos esquemas de manejo (reproducción y nutrición) que las cerdas prolíficas y por ello, no expresan su potencial genético: hiperprolificidad (Ortiz, 2019).

Otra alternativa, para maximizar los recursos escasos de la industria porcina, es la reducción del costo por kilogramo de cerdo producido en la línea de producción (destete-finalización) (Mota *et al.*, 2014); Blanch, 2015); objetivo que puede lograrse eficientizando los procesos productivos en la etapa de destete-destete-iniciación: etapa que inicia con lechones recién destetados (6 kg de peso) y culmina con estos animales alcanzan los 30 kg. Para medir la eficiencia de dicha etapa se puede recurrir al tiempo de duración (49-56 días) y/o al índice de conversión alimenticia (1.4:1-1.6:1). Si se mejoran estos indicadores, se podría reducir el tiempo en el cual el cerdo alcanza el peso al mercado (≥ 100 kg/peso vivo) (Duarte *et al.*, 2022).

La importancia de la etapa de destete-destete-iniciación dentro de la producción porcícola radica en el mayor estrés que experimentan los animales en esta etapa en comparación con el resto de las etapas o procesos parciales de producción porcina por las que atraviesan los cerdos para abasto (Cortez *et al.*, 2022); debido a que el inicio de dicha etapa (destete-iniciación) comienza con lechones recién destetados (separación del lechón de su madre) y este, es uno de los procesos transitorios del lechón más estresantes (Reis de Souza *et al.*, 2012). Así, el destete impacta negativamente en la velocidad de crecimiento del cerdo y, en consecuencia, la rentabilidad del sistema de producción (Paillacho *et al.*, 2022). Puesto que, los altos niveles de estrés postdestete generan disminución considerable del consumo voluntario de alimento (Del Carpio, 2018).

El estrés del destete en los cerdos más el estrés generado en la etapa temprana de la fase de destete-destete-iniciación está asociado, en primer lugar, por la acción de la separación del lechón de su madre (destete) y, en segundo, por el cambio abrupto de condiciones ambientales del área de maternidad al área de destete-iniciación y, entre las que destacan:

cambios de temperatura, establecimiento de jerarquías entre lechones de diversas camadas, alimentación completamente sólida, entre otras más. Estos factores, son generadores de estrés en el lechón durante las primeras semanas de la fase de destete-iniciación y, al convertirse en mecanismos estresantes crónicos, desencadenan alteraciones del tracto gastrointestinal (TGI) y del sistema inmune del lechón (Kim *et al.*, 2012; Mota *et al.*, 2014).

La secuencia cronológica de las consecuencias del estrés postdestete es la siguiente: inicia con la ansiedad o malestar del animal; continua con la disminución del apetito; se instauran procesos de adaptación que ocasionan trastornos del TGI, específicamente en relación con las secreciones gástricas (Bautista *et al.*, 2023); se incrementan las concentraciones de citocinas proinflamatorias, mismas que propician inflamación a nivel del epitelio intestinal (Lozano y Manrique, 2014); se altera la integridad intestinal y con ello, se alteran las funciones digestivas y la respuesta inmune del lechón (Fraile, 2021); la culminación de esta secuencia puede conducir a dos vías: a) presentación de diarreas mecánicas -mismas que pueden convertirse en diarreas infecciosas- y decremento de la eficiencia alimenticia del lechón y b), emaciación, infecciones bacterianas y muerte de animal (Sieminska y Pejzak, 2022).

Las repercusiones anatómicas y alteraciones fisiológicas a nivel del TGI que generan el estrés postdestete pueden ser resumidas de la siguiente manera: el incremento crónico de cortisol y la pérdida de la homeostasis orgánica del lechón, provoca la síntesis de citocinas proinflamatorias [interleucina-1 beta (IL-1 β), interleucina-6 (IL-6), interleucina-12 (IL-12) y el factor de necrosis tumoral alfa (TNF- α)] y, con ello, se inicia el proceso inflamatorio del epitelio intestinal (Martínez-Aguilar y Salazar-Villanea, 2020) y sus consecuentes lesiones celulares, tisulares y orgánicas (Cortez *et al.*, 2022); mismas que originan el incremento descontrolado de la apoptosis celular, atrofia de las vellosidades intestinales, incremento de la profundidad de las criptas de Lieberkühn, irregularidad en la concentración de enzimas digestivas (pancreáticas e intestinales), disminución de la producción de moco intestinal y daño a las uniones estrechas de las células intestinales (Martínez-Aguilar y Salazar-Villanea, 2020). En síntesis, dichas alteraciones provocan: incremento de la permeabilidad intestinal, menor área de absorción intestinal, cambios de la microbiota intestinal (Sieminska y Pejzak, 2022), diarreas mecánicas, crecimiento de bacterias patógenas e infecciones digestivas (Rentería *et al.*, 2021). Todo ello ocurre

durante las primeras cuatro semanas postdestete (Arce *et al.*, 2020; González-Aragón, 2020).

Por lo anteriormente referido, una de las actuales estrategias de manejo en el lechón previo al destete y el comienzo de la fase de destete-destete-iniciación es: la preparación anatomo-fisiológica del TGI del lechón a través del suministro de alimento sólido (preiniciador) durante la lactancia (Salazar-Jiménez, 2021; Sánchez-Crespo, 2021), para acelerar la adaptación del TGI del lechón a una alimentación sólida antes de que el animal sea destetado (Balfagón y Jiménez-Moreno, 2014). Puesto que, la inclusión de alimento sólido predestete provoca: mayor síntesis y secreción de enzimas digestivas -capaces de degradar proteínas y carbohidratos de mayor complejidad-, genera cambios cito-estructurales del intestino y modula la microbiota intestinal (MI) (Pluske, 2017) al contrarrestar la proliferación de microorganismos con potencial patógeno (Guevarra *et al.*, 2019; Delves, 2021).

Actualmente, el interés de la industria porcina y los investigadores en esta área se centran en el estudio de la integridad intestinal y la MI del cerdo (Guevarra *et al.*, 2019; Knecht *et al.*, 2020). Puesto que esta última es determinante en la salud intestinal (Bautista *et al.*, 2023), debido a que entre sus funciones principales se encuentran: la producción de ácidos volátiles de cadena corta (acético, propiónico y butírico), la creación de una barrera protectora adherida al epitelio intestinal que evita la proliferación de bacterias patógenas, produciendo bacteriocinas y, además, promueve la acidificación del TGI (Kim y Isaacson, 2015; De Lucas *et al.*, 2019). Del mismo modo, la MI promueve la renovación de las células epiteliales del intestino (enterocitos y colonocitos), estimula la secreción de moco intestinal, mejora la respuesta del sistema inmunológico ante estímulos negativos como lo es la respuesta inflamatoria (Yang *et al.*, 2017; Stokes, 2017).

La inflamación intestinal del lechón, como ya se mencionó, es producto del estrés postdestete; pero, se incrementa o se mantiene por más tiempo cuando proliferan las endotoxinas -producto del cambio de la MI, específicamente de los microorganismos patógenos (Jacobi *et al.*, 2013)- y ante la presencia de estas se incrementa la secreción de citocinas proinflamatorias con sus consecuentes repercusiones a nivel del TGI del lechón (Tran *et al.*, 2016). Ante este círculo vicioso (estrés-daño del TGI-cambio de microbiota-daño del TGI), una alternativa que puede modular positivamente dicho ciclo (Pérez-Chabela *et al.*, 2020) es la inclusión de aditivos y/o complementos alimenticios que

promuevan la actividad de la salud intestinal del lechón durante la etapa temprana de la fase de destete-iniciación y, con ello, mejorar los indicadores productivos de dicha fase.

En la actualidad, existe un gran interés en la investigación sobre el efecto de insumos no convencionales adicionados a la dieta de los cerdos que mantengan o mejoren la salud intestinal de estos animales (Pérez-Chabela *et al.*, 2020; Matheus, 2021; Bautista *et al.*, 2023). Dentro de este tipo de investigaciones, recientemente estudia el efecto de la adición de nopal (*Opuntia ficus-indica*) a la dieta del cerdo (Ortiz *et al.*, 2019; Ordaz *et al.*, 2021); puesto que, esta cactácea ha demostrado poseer elementos en su composición que pueden cubrir el objetivo de mantener y/o mejorar la salud intestinal (Martins *et al.*, 2023) y, con ello, disminuir los efectos negativos del estrés tanto del postdestete como de la etapa temprana de la fase de destete-iniciación (Matheus, 2021).

Dentro de los principales constituyentes del nopal, se encuentra la fibra dietética, carbohidratos poliméricos vegetales, oligosacáridos y polisacáridos, como lo son: la celulosa, hemicelulosa, mucilagos, sustancias pecticas o almidones asociados a la lignina (Martins *et al.*, 2023). De acuerdo con Torres-Ponce *et al.* (2015) y Arnaldo-Portillo (2021), la ingesta de nopal genera beneficios a nivel gastro-intestinal; en donde, se incluyen: la fermentación del bolo alimenticio, aumento de la viscosidad y regulación del tránsito intestinal, efectos saciantes, control de pH intestinal, regulación de la absorción de lípidos y glucosa, entre otros efectos no menos importantes. Asimismo, *O. Ficus-indica* tiene un alto contenido de mucilago; el cual, es capaz de proteger y restablecer la mucosa gástrica en procesos irritables e inflamatorios crónicos del intestino (El Mostafa *et al.*, 2014; Madrigal-Santilli *et al.*, 2022).

Los cladodios de nopal forrajero (*O. ficus-indica*) poseen, además, compuestos bioactivos funcionales, como lo son: polifenoles (flavonoides y ácidos fenólicos), ciertas vitaminas [ácido ascórbico (Vitamina C) y tocoferol (Vitamina E)] consideradas como antioxidantes. Así, los polifenoles y las citadas vitaminas actúan directamente a nivel intestinal y, por ello, son capaces de disminuir el proceso inflamatorio del TGI (Tesoriere *et al.*, 2014). Además, los polifenoles son considerados como bacteriostáticos (provocan disrupción de su membrana bacteriana, aumentando su permeabilidad y, en consecuencia, provocando su muerte) (Sánchez *et al.*, 2010; Castillo *et al.*, 2011).

Las principales características del nopal que le permiten incluirse en la formulación de dietas de los animales (Bacarrillo-López *et al.*, 2021) son: la fibra dietética, fuente agua

para el animal (Martins *et al.*, 2023), potencial para producir biomasa (10.1 a 11.8 ton/ha en base fresca o 0.998 a 1.156 ton/ha en materia seca) (Bacarrillo-López *et al.*, 2021), diversidad de variedades, se cultiva en la mayor parte del territorio nacional (CONABIO, 2020) y adaptación a condiciones de sequía (Torres-Ponce *et al.*, 2015).

Las desventajas del uso del nopal como parte de la dieta de los animales son: bajo nivel de proteína (< 8.0%), niveles de materia seca (14%) (SAGARPA, 2015; Gaitán *et al.*, 2017), la implementación de este a la dieta de animales es en base fresca, vida de anaquel muy corta debido al contenido de humedad ($\geq 90\%$), el picado y suministro implica mayor mano de obra (Flores *et al.*, 1995) y costo de la dieta. Ante estas desventajas, es necesario evaluar procesos que permitan incrementar la vida de anaquel sin que se pierdan las características nutricionales y bioactivas que se observan en base fresca. En este sentido, una alternativa para la conservación del nopal es la cocción a vapor; debido a que este proceso es eficaz para retener sus cualidades organolépticas y nutricionales (Achón *et al.*, 2018); además, la cocción al vapor permite mantener: forma, consistencia, sabor e incrementar la digestibilidad de la fibra alimentaria (Ortiz *et al.*, 2022). Por lo cual, evaluar el efecto de esta cactácea en BF o cocida al vapor en lechones destetados requiere de investigación, específicamente sobre su capacidad para reducir los efectos detrimentales originados por el estrés postdestete a nivel intestinal y su relación con la productividad de estos animales en la etapa de destete-iniciación.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la adición de *O. ficus-indica* en base fresca (BF) y cocida al vapor (CocV) a la dieta de lechones en la fase destete-iniciación (6-25 kg), citocinas proinflamatorias, integridad intestinal (vellosidades y bacterias intestinales) y desempeño productivo.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Determinar el efecto de la adición de *O. Ficus-indica* a la dieta de cerdos de 6-25 kg sobre la expresión de citocinas proinflamatorias (IL-1, IL-12 y TNF- α).
2. Evaluar el efecto de la adición de *O. Ficus-indica* a la dieta de cerdos de 6-25 kg sobre el largo y ancho de las vellosidades intestinales, así como de la profundidad de las criptas de Lieberkühn.
3. Evaluar el efecto de la adición de *O. Ficus-indica* a la dieta de cerdos de 6-25 kg sobre las poblaciones de bacterias grampositivas en el intestino.
4. Determinar el efecto de la adición de *O. Ficus-indica* a la dieta de cerdos de 6-25 kg sobre los niveles séricos de glucosa (GLU).
5. Establecer el consumo de *O. Ficus-indica* y de alimento convencional en cerdos de 6-25 kg.
6. Comparar la conversión alimenticia de lechones en fase de destete-iniciación bajo dietas adicionadas con nopal en BF y CocV.

HIPOTESIS

La adición del 1.0% de nopal (*O. ficus-indica*) cocido a vapor a la dieta de lechones postdestete, al mantener íntegros sus componentes bioactivos, modula los efectos del estrés postdestete a nivel intestinal (reduce la producción de citocinas proinflamatorias y favorece a la microbiota intestinal), aspecto que preserva la integridad del tracto gastro intestinal y con ello, mejora el desempeño productivo de lechones en etapa de destete-iniciación.

METODOLOGIA GENERAL

La presente investigación se llevará a cabo en una granja porcina ciclo completo ubicada en la comunidad de Isaac Arriaga, perteneciente al municipio de Puruándiro, Michoacán, México. Localizada entre las coordenadas 20.253301 N, 101.497144 W (INEGI, 2010).

La presente investigación fue dividida en cuatro capítulos con los cuales se cubrieron los objetivos anteriormente planteados, como se presentan a continuación. **Primer capítulo:** la investigación documental para establecer los efectos de la inclusión de aditivos alimenticios en la dieta de lechones postdestete y el efecto que estos provocan sobre la integridad intestinal, se realizó mediante la recopilación de información científica generada durante el periodo del 2000 al 2024, en donde se seleccionaron artículos y revisiones de revistas científicas electrónicas que estuviesen centradas en el tema de interés y, en donde, la búsqueda bibliográfica se centró en la disponibilidad de buscadores como PudMed y Google Scholar.

Segundo capítulo: para establecer el consumo de AC y de *O. Ficus-indica*, así como el evaluar su efecto sobre glucemia, largo de vellosidades (Tercer capítulo), total de UFC's de bacterias grampositivas sobre su rendimiento productivo. Para ello, se utilizaron 60 lechones híbridos destetados con 21 ± 2 días de edad, de ambos sexos, seleccionados al azar y con un peso de 6.9 ± 1.1 kg con los cuales se conformaron tres grupos (G1: alimentados convencionalmente; G2: adicionados con el 1% de nopal en BF; y, G3: adicionados con el 1% de nopal CocV). En donde, se determinó el consumo voluntario de AC y de nopal -tanto en BF y CocV- pesando el rechazo del suministro/día. Se tomaron muestras sanguíneas (5 ml/cerdo) al día 1, 3, 5, 7, 14, 21, 28, 35 y 42 días postdestete, ello, a través de una venopunción yugular, con previo ayuno de 8 h, y las cuales se depositaron en tubos vacutainer® con gel separador. Posterior a ello, se almacenaron a 4°C durante su transporte al laboratorio en donde se analizaron bajo el método enzimático/colorimétrico automatizado en suero (Pinzón *et al.*, 2017). Referente al PL, se determinó semanalmente con una báscula digital (CraneScale®; capacidad de 300 kg) y la GP/semanal/lechón/grupo se obtuvo restando el peso final semanal menos el peso inicial de la semana y el resultado se dividió entre los días de la semana. El ICA/grupo se calculó tras la división del consumo de AC/grupo/semana entre la GP/semanal.

Para la evaluación de UFC grampositivas intestinales, al finalizar la fase experimental, se seleccionaron dos cerdos/grupo al azar, los cuales fueron eutanasiados y, posterior a ello, se utilizó un pool obtenido del contenido intestinal (ileal, cecal y de colon), mismo que se inoculo inmediatamente tras la eutanasia/cerdo/grupo a través de medios de cultivo agar cuenta estándar durante 48 h a 35 ± 2 °C. Posterior a ello, se realizaron frotis bacterianos para su identificación y conteo bajo la tinción gram, en donde, el recuento se realizó tal como lo establece el método de Breed (1911), bajo la siguiente fórmula para su cálculo (bacterias/ml) mediante la siguiente formula:

$$Bacterias|/mL = \bar{X} * \left(\frac{Am}{Ac} \right) / VI$$

Donde: $\bar{X}$ = Promedio total de bacterias; Am = Área de extensión medida; Ac = Área de campo; VI = Volumen de inoculación.

Con la información recabada se realizó un análisis estadístico a través de la metodología de mediciones repetidas (SAS® 2000) para el caso de las variables medidas a través del tiempo. Por último, para las variables fijas al finalizar la fase experimental, fueron analizadas estadísticamente bajo la metodología de los modelos de efectos fijos (Litell *et al.*, 1998).

Tercer capítulo: Se monitorearon 60 cerdos (20 cerdos/grupo) a partir del destete (21 ± 2 días), seleccionados al azar y, divididos en tres grupos (G1, 2 y 3) durante siete semanas. En los tres grupos se monitoreo el CA diario y total semanal en cada uno de los grupos. El CA se determinó conforme lo establecido en el Primer capítulo. Para la evaluación de la morfometría intestinal, la cual se determinó al término de la fase experimental, en donde, posterior a la eutanasia de los cerdos (dos cerdos/grupo) se procedió a diseccionar las porciones de duodeno, yeyuno e íleon (3 muestra/segmento ≈ 5 cm), mismas que fueron inmediatamente fijadas en formalina al 10% durante 48 h. y, continuo a, se procesaron para su estudio histológico mediante la técnica de inclusión en parafina, realizando cortes histológicos de 7 μm de espesor, los cuales se fijaron en laminillas portaobjetos para proceder a teñirse mediante hematoxilina-eosina y, finalmente fueron fijados con resina liquida hasta su evaluación. Las variables/grupo a evaluar fueron: el largo (LVI) y ancho (AVI) de vellosidades intestinales (VI), la profundidad de las criptas de Lieberkühn PCL y la relación cripta/vellosidad (RCV) del intestino delgado. Para ello, se utilizó un microscopio analizador de imágenes Leica® LAS V3.5 y bajo un aumento

de 4x. La información recabada se analizó mediante Modelos Lineales Generalizados (Littell, et al., 1998) y las diferencias entre grupos a través de medias de mínimos cuadrados (LsMeans) a un $\alpha = 0.05$.

Cuarto capítulo: Finalmente, para la evaluación de la expresión de citocinas proinflamatorias y su relación con el crecimiento del lechón postdestete, la cual se determinó durante la fase experimental, para ello, se seleccionaron al azar dos lechones/grupo a los cuales se les obtuvo una muestra sanguínea mediante una venopunción por la vía yugular y esta fue depositada en tubos vacutainer® con gel separador de plasma, mismos que fueron venopuncionados los días 0, 3, 9, 21 y 42 días postdestete, muestras con las cuales se determinó, el nivel sérico de: interleucina-1 beta (IL-1 β), inteleucina-12 (IL-12) y el factor de necrosis tumoral alfa (TNF- α). En donde, posterior a la obtención de las muestras sanguíneas, se almacenaron a 4°C hasta ser centrifugadas (100 xg/10 minutos), posterior a ello, el plasma fue almacenado y congelado a -20°C hasta ser analizado. En cuanto a su análisis (IL-1 β , IL-12 Y TNF- α), este se realizó a través de kits ELISA® (SIGMA-ALDRICH, USA), bajo las especificaciones del fabricante.

Con respecto al crecimiento del lechón, se evaluó la GDP mediante el pesaje semanal de los lechones de cada grupo/tratamiento de modo individual/lechón a través de una báscula digital portátil (CraneScale®, con una capacidad de 300 kg.) y, posterior a ello se realizó la siguiente formula:

$$GDP = \frac{P_f - P_i}{S_d}$$

Donde: GDP = ganancia diaria de peso; P_f = Peso final; P_i = Peso inicial; S_d = Tiempo evaluado.

En referencia con la evaluación del ICA, se calculó dividiendo el total del alimento consumido de AC/grupo entre el resultado de la resta del peso final/grupo de la fase experimental, menos el peso/grupo al inicio de la fase experimental. Finalmente, con la información recabada se realizó un análisis estadístico a través del modelo de efectos fijos (MIXED) tanto para la GP semanal y total, así como para el ICA. Y en cuanto a la expresión de citocinas proinflamatorias, las diferencias entre grupos, día, semana, día(grupo) y semana(grupo) se obtendrán mediante el procedimiento de medias de mínimos cuadrados (LsMeans, por sus siglas en inglés) a un $\alpha = 0.05$ (Litell et al., 1998).

Capítulo I

ADITIVOS ALIMENTICIOS EN LA DIETA DE LECHONES POSTDESTETE Y SU EFECTO SOBRE LA INTEGRIDAD INTESTINAL: UNA REVISIÓN

RESUMEN

El objetivo fue realizar una revisión documental de los aditivos alimenticios utilizados en la dieta de lechones postdestete y su efecto sobre la integridad intestinal. Para efecto de la revisión, se utilizó información generada durante el periodo del 2000 al 2024, en donde, se seleccionaron artículos y revisiones de las principales investigaciones en relación con dicho tópico. En la actualidad, en la producción porcina se buscan alternativas nutricionales que disminuyan la incidencia de enfermedades e incrementen el crecimiento de los cerdos. Dentro de las diferentes fases de producción porcina el uso de tecnologías nutricionales son clave para eficientizar la producción y en mayor medida en la fase destete-destete-iniciación (6 a 30 kg); puesto que en esta fase se debe garantizar el futuro rendimiento de los cerdos para abasto. Sin embargo, la limitante en dicha fase es el estrés que experimenta el lechón al momento de separarlo de la madre (destete) y al enfrentarse a un nuevo ambiente. Dicho estrés origina serios problemas a nivel fisiológico, anatómico y conductual y en donde los primeros signos serán: ansiedad y disminución del consumo voluntario de alimento, seguido de daño de la mucosa a nivel gastrointestinal, diarreas mecánicas y disminución de la ganancia diaria de peso. Ante dichos efectos se han implementado estrategias nutricionales para los lechones en fase de destete-iniciación capaces de modular y disminuir los efectos del estrés postdestete. Entre estas estrategias se pueden encontrar a los probióticos y los prebióticos; los cuales, han demostrado su potencial para disminuir o modular la inflamación e infección intestinal al evitar la disbiosis y fomentar la salud del epitelio intestinal mejorando la eficiencia alimenticia del lechón y la productividad de la fase destete-destete-iniciación. En este sentido las estrategias nutricionales son las que mayormente se privilegian; puesto que, el uso indiscriminado de antibióticos -como promotores de crecimiento- originó el aumento de microorganismos resistentes y alteraciones en la calidad de la canal. Mientras que, la adición de insumos con propiedades nutraceuticas a la dieta de los cerdos ha demostrado efectos positivos, principalmente sobre la salud del tracto gastrointestinal y el rendimiento productivo. Sin embargo, aun cuando se ha llevado a cabo una gran cantidad de investigaciones sobre el efecto de la adición de probióticos a la dieta de los cerdos -en la fase transitoria del destete- sobre la salud y crecimiento, los efectos observados son marginales

Palabras clave: cerdos, destete-iniciación, salud intestinal, nutrición, estrategias.

INTRODUCCIÓN

La carne de cerdo actualmente constituye un producto de origen animal de mayor demandada a nivel mundial (OCDE-FAO, 2023). Sin embargo, la alimentación de los cerdos representa entre el 60 y 70% de los costos totales de producción (Caicedo y Caicedo, 2021) y, en la actualidad, esto sigue siendo un problema para la industria porcina (Reyes y Cruz, 2024). Por lo cual, se buscan y evalúan alternativas que disminuyan el costo de la alimentación o incrementen y/o aceleren la velocidad de crecimiento; aspectos clave para efficientizar la productividad en los sistemas de producción porcina (Racewicz *et al.*, 2021).

La producción porcina depende en gran medida del uso de tecnologías nutricionales para efficientizar la producción (Reyes y Cruz, 2024). Pero, en la línea de producción (destete-iniciación a finalización), la fase de destete-iniciación es donde se puede asegurar el rendimiento productivo de los cerdos para abasto; siempre y cuando se controlen o mitiguen los efectos del estrés postdestete a nivel gastrointestinal (Mota *et al.*, 2014; Sieminska y Pejsak, 2022). Al inicio de la década de los 2000, el interés por el uso correcto de la alimentación del lechón destetado se incentivó, debido a las nuevas técnicas productivas -en ese tiempo- para el control y erradicación de las enfermedades (ISOWEAN, siglas en ingles) y en las cuales la reducción de la lactación (entre 12 y 17 días) era clave para dicho propósito (Moreno y Buxadé, 1999). En esa época, los investigadores tenían que afrontar dos retos: el primero, encontrar la dieta que fuera apta para lechones con edad ≤ 17 días y permitiera que estos se desarrollaran “normalmente” y, el segundo, evitar los efectos del estrés del propio destete y sus efectos en el tracto gastrointestinal del lechón (Sieminska y Pejsak, 2022). En la actualidad, el destete regresó a 21 días de edad, pero, continua el reto por contrarrestar el efecto del estrés postdestete.

El estrés postdestete, ocurre debido a la separación abrupta de los lechones de su madre cuando estos están relativamente “aptos” par ingerir alimentos diferentes a la leche materna y que puede suceder cuando estos tienen una edad > 12 días de edad (Pluske *et al.*, 2007). Aunado a la separación de la madre, este se enfrenta a otros factores estresantes (nuevas instalaciones, convivencia con lechones de otras camadas, alimento exclusivamente sólido y peleas por jerarquía) que, en su conjunto incrementan el estrés, el cual provoca alteraciones fisiológicas y metabólicas que comprometen el desarrollo de

los lechones en la etapa de destete-destete-iniciación (Niekamp *et al.*, 2007; Mota *et al.*, 2014).

Por lo general, el primer signo que se observa en lechones recién destetados es la disminución del consumo voluntario de alimento y sus repercusiones son observables a nivel gastrointestinal. Aspectos que se reflejan en el retraso del crecimiento del lechón (Tang *et al.*, 2022). Para Campbell *et al.* (2013) y Pluske (2016), estos factores estresantes generan en los animales, además de lo ya mencionados, la activación del sistema inmunológico provocando la modificación negativa de la integridad del intestino (inflamación intestinal) y la microbiota intestinal; cuya consecuencia es, la proliferación de patógenos y toxinas que dañan la mucosa intestinal (Hu *et al.*, 2013). Efectos estos que son más marcados cuando los lechones se destetan a una edad temprana (>21 días) (Mota *et al.*, 2014).

El proceso inflamatorio, provocado por el estrés postdestete puede culminar con un ineficiente desempeño productivo de los lechones en fase de destete-iniciación (Canibe *et al.*, 2022), debido a la alteración de secreciones intestinales (moco, sales, enzimas, agua) (Ilchmann-Diounou y Menard, 2020), a la menor área de absorción intestinal (Gierynska *et al.*, 2022), al cambio de la microbiota intestinal (mayor población de enterobacterias patógenas) y la presentación de diarreas en los lechones en la etapa temprana de dicha fase de producción (Tang *et al.*, 2022).

El daño de la mucosa intestinal inicia con el debilitamiento de las uniones entre enterocitos y con la entrada de estos al sistema circulatorio (Modina, *et al.* 2019); aspecto que provoca la estimulación de macrófagos, células dendríticas, linfocitos y mastocitos del sistema digestivo (Pohl, *et al.* 2017) e induce la expresión de citocinas proinflamatorias (interleucina-1 beta, factor de necrosis tumoral alfa, interleucina-12) (Lalles y Montoya, 2021) y la generación de estrés oxidativo e inflamación del intestino delgado (Tang, *et al.* 2022). Sin embargo, el estado crónico del estrés oxidativo como la inflamación intestinal es lo que genera el detrimento de la salud de los lechones y, en consecuencia, de la productividad de estos (Lu, *et al.* 2014).

Debido al estrés postdestete en lechones, se investigan estrategias para modular su efectos, siendo las estrategias nutricionales las que mayormente se privilegian (Soraci *et al.*, 2010); puesto que, el uso indiscriminado de antibióticos -como promotores de crecimiento- (Cromwell, 2002; Diarra y Malouin, 2014) originó el aumento de

microorganismos resistentes y alteraciones en la calidad de la canal (Yirga, 2015). Por lo que, actualmente se prefiere adicionar a la dieta de los cerdos insumos con propiedades nutraceuticas; debido a que, este tipo de insumos han demostrado efectos positivos, principalmente sobre la salud del tracto gastrointestinal y el rendimiento productivo (Modina *et al.*, 2019; Gheisar y Kim, 2017; Lalles y Montoya, 2021). Por ello, el objetivo de la presente revisión documental fue proporcionar los elementos mínimos necesarios para establecer los efectos de los aditivos alimenticios en la dieta de lechones postdestete y su efecto sobre la integridad intestinal

ENFOQUE METODOLÓGICO

Para efectos de la revisión sobre los efectos de los aditivos alimenticios en la dieta de lechones postdestete y su efecto sobre la integridad intestinal y el rendimiento productivo de estos animales, se revisó y utilizó la información generada sobre este tópico durante el periodo del 2000 al 2024 y para ello, se seleccionaron artículos y revisiones tanto en español como en inglés. La información se obtuvo utilizando los buscadores de PubMed y Google scholar.

RELACIÓN ESTRÉS POSTDESTETE-SALUD INTESTINAL Y CRECIMIENTO DE LOS LECHONES EN LA FASE DESTETE-DESTETE-INICIACIÓN

El intestino delgado está recubierto por una diversidad de células específicas, en donde los enterocitos conforman gran parte de esta, misma que componen a las vellosidades intestinales las cuales proyectan en dirección del lumen intestinal y debajo de esta se encuentra una monocapa celular plegada estructurada uniformemente denominadas criptas de Lieberkühn en los cerdos (Ross y Pawlina, 2015). Las vellosidades además de revestirse por enterocitos la estructuran células caliciformes y células entero-neuroendocrinas. Mientras que las criptas son el sitio principal que contiene las denominadas células madre -proliferativas e indiferenciadas- y un subconjunto de células secretoras diferenciadas (caliciformes, de paneth y enteroendocrinas) (Peterson y Artis, 2014; Ross y Pawlina, 2015).

La anatomía, fisiología y salud del tracto gastrointestinal pueden ser afectados cuando los cerdos se enfrentan a situaciones estresantes, tales como: el destete, incremento de temperatura ambiental, hacinamiento, peleas por la jerarquía, manipulación abrupta por parte de los técnicos, entre otros factores más. Bajo estas situaciones se activa el eje

hipotálamo-hipófisis-adrenal (HHA) y se libera una serie de hormonas como el cortisol y las catecolaminas (adrenalina) que tienen efectos supresores sobre el apetito (Campbell *et al.*, 2013). A nivel gastrointestinal, el estrés reduce la motilidad gástrica y altera la secreción de enzimas digestivas; acción que compromete la salud intestinal y disminuye la capacidad de digestión y absorción de nutrientes (Cao *et al.*, 2022).

Los efectos del estrés pueden alterar el metabolismo energético al reducir la disponibilidad de energía para funciones como la ingesta y ello provoca la movilización de reservas energéticas para evitar el estado catabólico del organismo (Wang *et al.*, 2022). Además, el estrés al modificar negativamente el apetito también provoca efectos negativos sobre la respuesta inmunitaria y, en consecuencia, aumenta la susceptibilidad a enfermedades. Así, la alteración del metabolismo energético y sus efectos afectan la eficiencia alimenticia y la ganancia diaria de peso (Zhao *et al.*, 2024).

Los efectos del estrés postdestete sobre el tracto gastrointestinal pueden variar de acuerdo con el sitio de estudio (Ortega y Szabó, 2021): por ejemplo, a nivel arquitectura (focal, parcial o total) se puede observar la atrofia de las vellosidades e hiperplasia de las criptas de Lieberkühn. Alteraciones que provocan menor superficie de absorción de nutrientes, desequilibrio de la permeabilidad intestinal (Spreeuwenberg *et al.*, 2001) y, con ello, la presentación de disbiosis, diarreas mecánicas e infecciones patógenas (Adhikari *et al.*, 2019).

El estrés originado por el destete y por las primeras 24 h dentro del área de la fase de destete-iniciación provoca que la altura y el ancho de las vellosidades disminuyan en 75%, debido a una mayor pérdida de células (descamación) con respecto a la producción de células para recuperar dicha pérdida. Además, la disminución de la actividad secretora de enzimas digestivas (lactasa y las peptidasas), entre otros transportadores de nutrientes también son factor de daño de las vellosidades (Tsukahara *et al.*, 2013; Lozano y Manrique, 2014).

Las proteínas (occludina y claudinas, zónula ocludens) que conforman uniones estrechas entre las células epiteliales del intestino (Herrera-Franco *et al.*, 2024) no solo son las encargadas de la estructura, también tienen como función ser la barrera intestinal que limitan y controlan el paso paracelular (Ulluwishewa *et al.*, 2011). Sin embargo, cuando este tipo de proteínas son dañadas, no solo incrementa la permeabilidad del intestino sino también permite la entrada de toxinas, compuestos alergénicos y bacterias, mismos que

provocan un respuesta inflamatoria intestinal (Kunzelmann y Mall, 2002). Ello, ocasionado por el deterioro de la mucosa intestinal y la disminución de la digestión, absorción y la respuesta inmune (Lallés *et al.*, 2004).

Para Ramiro-Puig *et al.* (2008), el sistema inmune es mayor (hasta un 70% del total de las células inmunes del organismo) en la mucosa y la submucosa del intestino (Salvo-Romero *et al.*, 2015) y, por lo tanto, responde rápidamente ante la elevada exposición a antígenos, cambios abruptos de la dieta o del ambiente durante el proceso de adaptación a la fase de destete-destete-iniciación (Groot *et al.*, 2021). No obstante, en esta respuesta inmunitaria se sintetizan y liberan las citocinas proinflamatorias [factor de necrosis tumoral-alfa (TNF- α), interleucina-1 beta (IL-1 β), interleucina-6 (IL-6), interleucina-8 (IL-8) e interleucina-12 (IL-12)], mismas que inducen alteraciones en la barrera intestinal, aumentando la permeabilidad intestinal (Lallés y Montoya, 2021), las cuales se asocian directamente con el estrés oxidativo intestinal (Ramis *et al.*, 2021). Por lo tanto, el control del estado redox, tras el destete, es fundamental para la futura eficiencia productiva del cerdo.

De acuerdo con lo establecido en el párrafo anterior, la modulación de la inflamación intestinal de los lechones en la fase de destete-destete-iniciación puede disminuir los trastornos intestinales provocados por el estrés del destete. Sin embargo, existen otros factores que pueden exacerbar los efectos del estrés postdestete, como lo es el cambio de la microbiota intestinal (MI). Cambios que pueden afectar el crecimiento y desarrollo del lechón en dicha fase (Li *et al.*, 2017; Adhikari *et al.*, 2019). En este sentido, se ha establecido que, al destete, los cambios abruptos de la dieta y el ambiente inducen a cambios de poblaciones de la MI (Fábrega *et al.*, 2023) y dichos cambios son más evidentes en los animales enfermos. Puesto que, de acuerdo con Gresse *et al.* (2017), en los animales sanos la diversidad poblacional de la MI es menor que en los animales enfermos (diarreas).

Los cambios de la MI de lechones después del destete responden a las causas primarias: estrés y cambio de alimento, mismas que provocan la inflamación crónica del intestino y pérdida del equilibrio de la permeabilidad de este órgano; aspectos que propician un ambiente adecuado para el crecimiento de microorganismos oportunistas con potencial patógeno (Escobar-García *et al.*, 2025), los cuales pueden estar presentes en la dieta o en el nuevo ambiente donde se alojan los lechones inmediatamente después ser destetados

(Fraile, 2021). Así, la pérdida de la salud intestinal (inflamación del intestino y la presencia de microorganismos patógenos en el intestino) potencializan el riesgo a infecciones gastrointestinales y, con ello, el detrimento del potencial de crecimiento de los lechones en fase de destete-destete-iniciación (Uddin *et al.*, 2023).

INFLUENCIA DE LA DIETA EN LA SALUD INTESTINAL DEL LECHÓN EN FASE DE DESTETE-DESTETE-INICIACIÓN

La disminución de la disfunción intestinal postdestete y el lento crecimiento de los lechones durante la etapa de destete-destete-iniciación, pueden ser mediadas a través de estrategias dietéticas efectivas, como lo puede ser a través de la inclusión de aditivos alimentarios, en donde se incluyen principalmente probióticos y prebióticos que promueven la salud intestinal y el crecimiento del animal (Canibe *et al.*, 2022). Sin embargo, existen otros aditivos que pueden ser una alternativa viable para modular los efectos del estrés postdestete a nivel intestinal, mismos que se discutirán más adelante.

Diversos aditivos alimentarios han sido estudiados ampliamente en la industria de alimentos para cerdos, los cuales a través de propiedades antibacterianas e inmunomoduladores logran controlar la constante entrada de patógenos, en beneficio de la salud intestinal (Upadhaya y Kim, 2021). Además, de incrementar la digestibilidad y promover el metabolismo energético y lipídico (Ming *et al.*, 2020). Sin embargo, aunque los mecanismos de la inclusión de aditivos en la dieta parecieran prometedores, los efectos sobre el rendimiento de crecimiento de los cerdos pueden presentar una gran variabilidad en cada uno de los procesos parciales de producción porcina reportados a través de la literatura. Dicha variabilidad en la respuesta productiva puede estar mediada por su estadio fisiológico (lactancia, destete-iniciación, crecimiento, desarrollo y finalización) del cerdo, la composición de la dieta y la interacción de este con el medio ambiente (Rao *et al.*, 2023).

En la última década surgió la búsqueda de alternativas para la implementación de aditivos en la dieta de cerdos para usarlos como promotores de la salud y del crecimiento en animales productivos. Entre estos aditivos, como ya fue mencionado, se encuentran los prebióticos (Barba-Vidal *et al.*, 2019) y probióticos (Flores *et al.*, 2019). Pero, también se puede recurrir a: ácidos orgánicos (Tugnoli *et al.*, 2020), enzimas (Kiarie *et al.*, 2013) aceites esenciales (Caicedo *et al.*, 2022), acidificantes (Jacela *et al.*, 2009) vitaminas

(Burtseva *et al.*, 2019), minerales (Poberezhets *et al.*, 2024) y recientemente, a los aditivos fitobióticos (Madesh *et al.*, 2025).

La adición de los aditivos mencionados en el párrafo anterior, han demostrado efectos positivos sobre el rendimiento productivo de los cerdos; efectos que pueden atribuirse a propiedades sensoriales y de mejora en el sabor, así como a acciones antiinflamatorias, antioxidantes, antibacterianos, moduladoras de la microbiota intestinal (Tabla 1) y del sistema inmune y, además, de mejora de la digestibilidad (Madesh *et al.*, 2025). No obstante, aunque son bastantes las investigaciones sobre ello, el efecto exacto de dichos aditivos en el organismo no es concluyente (Thacker, 2013); además, no existe un consenso sobre su dosificación e ingrediente activo responsable de dicho cambio benéfico en el organismo (Samanta *et al.*, 2021). Pero, no por ello, se debe ignorar su acción como promotores del crecimiento. Por ello, es necesario revisar los principios activos y efectos en el organismo de cada uno de los posibles aditivos que son susceptibles de ser suministrados en la dieta de los cerdos (Zheng *et al.*, 2021; Caicedo *et al.*, 2022). Aspecto que se desarrolla a continuación:

Tabla 1. Efectos benéficos de los prebióticos sobre la modificación de la microbiota de humanos y animales.

Prebiótico	Modificación en la microbiota	Referencias
FOS	↑Bifidobacterias	Caní <i>et al.</i> , (2007)
	↑ <i>Lactobacillus</i> spp., <i>Bifidobacterium</i> spp. y <i>C. coccoides-E</i>	Caní <i>et al.</i> , (2009)
	↑Abundancia de Bacteroidetes y del grupo <i>E. rectale</i> / <i>C. coccoides</i>	Everard <i>et al.</i> , (2011)
	↓Abundancia de Firmicutes y <i>Roseburia</i> spp.	
FOS de cadena corta	↑Bifidobacterias y <i>C. coccoides</i> ↓ <i>C. leptum</i>	Respondeck <i>et al.</i> , (2013)
	↑Bifidobacterias	Márquez <i>et al.</i> , (2013)
Fructanos tipo inulina (ITF)	↑ <i>Bifidobacterium</i>	Reimer <i>et al.</i> , (2017)
	↑ <i>Bifidobacterium</i> y <i>Faecalibacterium prausnitzii</i> ↓ <i>Bacteroides intestinalis</i> , <i>Bacteroides vulgatus</i> y <i>Propionibacterium</i>	Dewulf <i>et al.</i> , (2013)
	↑Bifidobacterias 100 veces con respecto a ratones en dieta alta en grasa	Dewulf <i>et al.</i> , (2011)
GOS	↑Bifidobacterias ↓ <i>Bacteroides</i> spp., <i>C. histolyticum</i> , <i>Desulfovibrio</i> spp, <i>b-Proteobacterias</i>	Vulevic <i>et al.</i> , (2013)
	<i>Bacteroides</i> , <i>Bifidobacterium</i> , <i>Clostridium</i> , <i>Enterococcus</i> y <i>Enterobacteria</i> similar a ratas con dieta de control	Djouzi y Andrieux, (1997)

Prebiótico	Modificación en la microbiota	Referencias
Inulina	↑ <i>Bifidobacterium</i>	Han <i>et al.</i> , (2013)
FOS + inulina	↑ <i>Bifidobacterium</i> spp. ↑ <i>Actinobacteria</i>	Nicolucci <i>et al.</i> , (2017)
	Correlación negativa de <i>Bacteroides</i> y bacterias totales con el % de grasa y el peso corporal. Correlación positiva de <i>Lactobacillus</i> spp. con el peso corporal, la grasa, y la ingesta. ↑ <i>Bacteroides</i>	Parnell y Reimer, (2012)
XOS+inulina	↑ <i>Bifidobacterium</i>	Lecerf <i>et al.</i> , (2012)
XOS	↓Firmicutes ↑ <i>Verrucomicrobia</i>	Yang <i>et al.</i> , (2015)
	↑Firmicutes en el colon ↑ <i>Lactobacillus</i> y <i>Bifidobacterium</i> spp. en el ciego ↑ <i>Bifidobacterias</i> en el íleon.	Hansen <i>et al.</i> , (2013)
Arabinosilano	↑ <i>Bacteroides-Prevotella</i> spp. y <i>Roseburia</i> spp. ↑ <i>Bifidobacterium animalis lactis</i>	Neyrinck <i>et al.</i> , (2011)
a-ciclodextrinas	↑número total de bacterias, <i>Bacteroides</i> , <i>Bifidobacterium</i> y <i>Lactobacillus</i>	Nihei <i>et al.</i> , (2018)

FOS: fructooligosacáridos; GOS: glucooligosacáridos; XOS: xilooligosacáridos;

Fuente: Modificado de Peña-Montes *et al.* (2023)

PROBIÓTICOS

Los probióticos son microorganismos (bacterias) vivos que se administran en diversas concentraciones [millones de unidades formadoras de colonias (UFC)] con potencial para mantener o mejorar la salud del organismo vivo (Hill *et al.*, 2014). Por ello, las bacterias utilizadas como aditivos no deben ser potencialmente patógenas, tóxicas o contener genes que induzcan resistencia a los antibióticos (Barba-Vidal y Castillejos, 2019). Además, deben sobrevivir y reproducirse bajo las condiciones ambientales (ácido gástrico, sales biliares y enzimas) del TGI y, previo a ello, tolerar los procesos de fabricación, transporte, almacenamiento y suministro (Dianawati *et al.*, 2016). En la actualidad, los probióticos para su adición en la dieta de cerdos más utilizados pertenecen a los géneros *Lactobacillus*, *Bacillus*, *Bifidobacterium*, *Clostridium*, *Enterococcus* y *Pediococcus* (López-Gálvez *et al.*, 2021).

Lactobacillus

El género *Lactobacillus* está compuesto por bacterias grampositivas, anaerobias facultativas, no esporuladas y específicamente ácido-lácticas. Ampliamente estudiadas en la dieta de los cerdos; principalmente por sus efectos positivos sobre la salud intestinal y

el rendimiento productivo de estos animales (Usca-Méndez *et al.*, 2020). Sus principales efectos probióticos son: promover el equilibrio de la microbiota intestinal (reducir la colonización de *Escherichia Coli* y *Salmonella*, principalmente); favorecer el mantenimiento de la integridad de la mucosa intestinal (síntesis de ácido láctico, ácido acético y otros ácidos grasos de cadena corta) al proveer energía a las células epiteliales; reducir el pH intestinal (disminuye el crecimiento de bacterias patógenas); modular la producción de inmunoglobulinas (IgA e IgG) y citocinas antiinflamatorias y generar bacteriocinas (efecto bacteriostático) (Keirns y Hawkins, 2019); promover la digestión y absorción de nutrientes (incrementa tanto la producción de enzimas digestivas como la fermentación de carbohidratos no digeribles) (Rondón *et al.*, 2019).

Los efectos probióticos reportados por Suo *et al.* (2012), Zhao *et al.* (2015), Wang *et al.* (2019) están estrechamente relacionados con la inhibición del crecimiento de bacterias patógenas oportunistas y la regeneración de la altura de las vellosidades intestinales a lo largo del TGI. Además, su efecto es equiparado con el efecto de los antibióticos promotores del crecimiento: modular la expresión de citocinas proinflamatorias y disminuir la incidencia de diarreas durante las primeras semanas postdestete en lechones (Guerra-Ordaz *et al.*, 2014).

Bacillus

Los *bacillus* son bacterias probióticas grampositivas generadores de esporas, lo que los hace termoestables para el procesamiento (molido, granulado, paletizado y extruido) y almacenamiento del alimento adicionado con este tipo de bacterias: 10^9 UFC/kg de alimento (Cutting, 2011). En diversos estudios, se ha reportado que la inclusión de *bacillus* a la dieta de lechones postdestete mejora el rendimiento productivo al reducir la incidencia de diarreas (mecánicas o infecciosas) y promover la regeneración del epitelio intestinal (Lee *et al.*, 2014; Lin *et al.*, 2020). Dichos efectos se le atribuyen a la generación de bacteriocinas por los *bacillus*, mismas que inhibe la actividad de las bacterias con potencial patógeno (Larsen *et al.*, 2014; He *et al.*, 2020).

Bifidobacterium

Las bifidobacterias son bacterias grampositivas, no esporuladas, inmóviles y productoras de ácido láctico; estas habitan naturalmente a lo largo de todo el TGI del cerdo (Pang *et al.*, 2022). Sin embargo, su investigación como probiótico adicionado en la dieta de lechones postdestete como alternativa para disminuir los efectos del estrés es limitado

(Barba-Vidal *et al.*, 2017). Pero, ha demostrado actividad contra *Escherichia Coli* (Pang *et al.*, 2022). Acción atribuida a su efecto fermentativo en el TGI, así como, por su capacidad para incrementar la producción de ácidos grasos de cadena corta (AGCC), lo cual promueve: la regeneración y proliferación celular en el intestino y el consumo de alimento en lechones en etapa de destete-iniciación (Barba-Vidal *et al.*, 2017).

Enterococcus

Los *enterococcus* son un género bacteriano grampositivo, anaerobio facultativo, no esporuladores, abundantes naturalmente en la microbiota intestinal del cerdo. Este tipo de bacterias son características por su resistencia a un pH ácido y tolerantes ante altas concentraciones de sales biliares. Algunas de las especies, como *Enterococcus faecium* y *Enterococcus faecalis*, han sido estudiadas por sus potenciales efectos probióticos. Respecto a su mecanismo de acción, estas son secretoras de bacteriocinas, estimulan la secreción de citocinas antiinflamatorias, son bacterias fermentativas productoras de AGCC que contribuyen energéticamente al TGI y, con ello, son inmunomoduladoras del hospedador (cerdo) (Giannenas *et al.*, 2016). Sin embargo, su aplicación en la dieta de los cerdos se ha limitado, debido a que algunas cepas del género *enterococcus* pueden tener efecto negativo sobre el organismo actuando como patógenos oportunistas y presentar resistencia a los antibióticos (Zhang *et al.*, 2021).

PROBIÓTICOS MULTIESPECIES

La inclusión de probióticos derivados de diversos géneros bacterianos (pool) con el objetivo de promover la salud intestinal, de acuerdo con algunos reportes pueden tener una mayor eficacia que la inclusión de géneros individuales, puesto que a través de un pool microbiológico se pueden lograr efectos complementarios o inclusive sinérgicos (Timmerman *et al.*, 2004; Chapman *et al.*, 2011). Sin embargo, otras investigaciones, advierten que la variedad de géneros probióticos en la dieta podría reducir la efectividad a través de la inhibición mutua entre las mismas, sus compuestos antimicrobianos (bacteriocinas), exclusión competitiva entre estas o competencia por sitios de adhesión (Chapman *et al.*, 2011).

En cerdos, existen evidencias de la mejora en la salud intestinal y la eficiencia productiva del lechón postdestete, al disminuir las incidencias a enfermedades ocasionadas por patógenos (Casey *et al.*, 2007; Liu *et al.*, 2017; Lu *et al.*, 2018;). De acuerdo con Giang *et al.* (2010) se ha demostrado la capacidad de la inclusión de diversos géneros

bacterianos en la dieta de cerdos, obteniendo un mayor rendimiento productivo, una menor incidencia de diarreas, puesto que, estos lograron modular la microbiota intestinal positivamente, aumentar la respuesta inmune y la proliferación celular para promover el crecimiento de las vellosidades intestinales (Pan *et al.*, 2017; Bosák *et al.*, 2021). No obstante, dichos efectos no son consistentes y podrían verse influenciados por la composición de la cepa utilizada, su dosis, formula, el ambiente en el que se suministra, así como en la edad y el estado fisiológico del cerdo (Flores *et al.*, 2019).

ADITIVOS FITOBÍOTICOS

Los aditivos fitobióticos se definen como productos no nutritivos derivados de plantas, hierbas, especias, verduras y sus extractos. Dichos productos contienen por lo menos uno o varios ingredientes bioactivos como lo son la fibra dietética, tanto soluble e insoluble, saponinas, taninos, flavonoides, compuestos fenólicos, pectinas, mucilagos, entre otros y que pueden sustituir parcial o totalmente a otros tipos de aditivos o fármacos en la dieta de los porcinos (Suryanarayana y Durga, 2018).

Comparado con otro tipo de aditivos, los prebióticos fitobióticos son importantes por su efecto profiláctico y terapéutico sobre la salud intestinal y productividad de los animales de granja (Reverter *et al.*, 2021). Aunado a ello, su impacto ambiental y su peligro asociados a su suministro son prácticamente nulos posterior a su administración (Wang *et al.*, 2024). Algunos estudios (Tabla 2) han demostrado que los compuestos fitobióticos mejoran la respuesta inmunitaria y los procesos inflamatorios (Liu *et al.*, 2010). Del mismo modo, se ha demostrado que este tipo de prebióticos adicionados a la dieta de los cerdos disminuyen la incidencia a enfermedades e incrementan la eficiencia alimenticia (Telesca *et al.*, 2023).

Los principales mecanismos de acción de los prebióticos fitobióticos, en gran parte se deben a su alto contenido de metabolitos secundarios (Martins *et al.*, 2023); en particular, los polifenoles y flavonoides, cuya acción puede ser antimicrobiana, inmunomodulador, antioxidante, antiinflamatoria y sedante. Por lo cual se les considera como promotores de crecimiento, (Caicedo *et al.*, 2022). Sin embargo, son pocas las plantas o vegetales en las que se ha demostrado que sus metabolitos secundarios poseen el efecto benéfico en la salud intestinal y productividad de los animales (Tabla 2). Dentro de estas plantas se encuentran: la salvia, la hierbabuena, el olivo, el orégano, el tomillo, la albahaca, la menta, el romero, el ajo entre otros (Xiong *et al.*, 2019).

En la actualidad, la combinación de plantas con efectos fitobióticos como parte de la dieta de animales han sido una estrategia prometedora como alimentos biofuncionales, debido a sus efectos sinérgicos que puedan transmitirse entre la dieta y el huésped. Sin embargo, el suministro de estos mismos aun es un campo amplio de estudio, puesto que, las concentraciones de suministro en la dieta y el proceso previo de estos mismos aun no logran una estandarización y, por ello, sus efectos no siempre son homogéneos en las distintos procesos parciales de producción porcina (Mohammadi y Ho, 2018).

Dentro de la amplia gama de fitobióticos disponibles y que se han probado en la dieta de los cerdos se encuentra el nopal (*O. Ficus-indica*), cactácea que puede coadyuvar en el mantenimiento de la salud e integridad intestinal de los lechones en fase destete-destete-iniciación por sus altos contenidos de fibra dietética (González *et al.*, 2022), misma que ha demostrado promover la salud del TGI y aumentar el rendimiento productivo (Gaitán *et al.*, 2017; Ordaz *et al.*, 2021).

Tabla 2. Principales plantas que han probado su efecto en la salud del tracto gastrointestinal en animales y en el humano

Fitobiótico	Efecto sobre el TGI y su rendimiento productivo	Referencias
Jengibre	↑ Promueve la regeneración del epitelio intestinal (vellosidades intestinales) ↑ Mejora la ganancia media de peso ↓ Reduce la población de microorganismos patógenos	Reyes (2015)
Cúrcuma	↑ Actividad antioxidante ↑ Efecto antiinflamatorio ↑ Inmunomodulador ↓ Disminuye el estrés	Mueller <i>et al.</i> (2012)
Ava	↑ Antibacterial, antioxidante y antiinflamatorio ↓ Menor incidencia a diarreas ↑ Promotor de crecimiento ↑ Eficiente consumo de alimento	Más Toro <i>et al.</i> (2016) Caicedo <i>et al.</i> (2021)
Ajo	↑ Efecto antioxidante ↑ Incrementa la ganancia de peso ↑ Incrementa el consumo de alimento en lechones postdestete	Dávila-Ramírez <i>et al.</i> (2020)
Orégano	↑ Regeneración del epitelio intestinal (vellosidades intestinales) ↓ Incidencia a diarreas ↑ Conversión alimenticia ↑ Actividad antioxidante ↑ Modulación de la microbiota benéfica-patogena	Baca y Ampuero, (2019) Jiménez, (2015)
Tomillo	↑ Aumenta la actividad antioxidante ↓ Disminuye poblaciones bacterianas patógenas ↑ Efecto antibacteriano	Yan <i>et al.</i> (2010)

Fitobiótico	Efecto sobre el TGI y su rendimiento productivo	Referencias
Orujo de uva	↑ Peso al destete por camada y lechón ↑ Mejora el consumo voluntario de alimento sin efectos negativos en el TGI ↓ Marcadores inflamatorios postdestete (IL-12, IL1-β y TNF-α) ↑ Producción de AGCC en el intestino ↓ Inhibe el crecimiento de bacterias con potencial patógeno ↑ Aumenta la eficiencia alimenticia (conversión alimenticia)	Hashem <i>et al.</i>, (2020) Wang <i>et al.</i>, (2019) Ospina-Romero <i>et al.</i>, (2024)
Nopal (<i>O. ficus-indica</i>)	↑ Promueve la digestibilidad y absorción en el intestino ↑ Antioxidante, antiinflamatorio ↓ Modula los índices de glucemia ↓ Antibacterial	Patel (2014) Hernández-Becerra <i>et al.</i> (2022) Guevara-Arauz (2021) Ortiz-Rodríguez <i>et al.</i> (2013)

CONCLUSIONES

Aun cuando se ha llevado a cabo una gran cantidad de investigaciones sobre el efecto de la adición de probióticos a la dieta de los cerdos -en la fase transitoria del destete- sobre la salud y crecimiento, los efectos observados son marginales y, por ello, la falta de conclusiones sólidas; debido a que, la dosis, configuración experimental, condiciones ambientales, duración de la investigación, tipo de animales utilizados (saludables o enfermos) y tipo de dieta, pueden variar. Por ello, es necesario seguir investigando este tipo de aditivos a la dieta de estos animales.

BIBLIOGRAFIA

- Adhikari, B., Kim, S., y Kwon, Y. (2019). Characterization of Microbiota Associated with Digesta and Mucosa in Different Regions of Gastrointestinal Tract of Nursery Pigs. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(7), pp. 1-16. doi:10.3390/ijms20071630.
- Baca, N. y Ampuero, A. (2019). “Efecto de la inclusión de aceite esencial de orégano en la dieta de lechones destetados sobre parámetros productivos”. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*. 30(4), pp. 1537-1542. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v30i4.17145>.
- Barba-Vidal, E., Castillejos, L., Roll, V. F., Cifuentes-Orjuela, G., Moreno Muñoz, J. A. y Martín-Orúe, S. M. (2017). The probiotic combination of *Bifidobacterium longum* subsp. *infantis* CECT 7210 and *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* BPL6 reduces pathogen loads and improves gut health of weaned piglets orally challenged with *Salmonella Typhimurium*. *Frontiers in Microbiology*. 8(1570), pp. 1-13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01570>.

- Barba-Vidal, E., Martín-Orúe, S. M., y Castillejos, L. (2019). Practical aspects of the use of probiotics in pig production: A review. *Livestock Science*, 223, pp. 84-96. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.02.017>.
- Barba-Vidal, E., Martín-Orúe, S. M., y Castillejos, L. (2019). Practical aspects of the use of probiotics in pig production: A review. *Livestock Science*. 223, pp. 84-96. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.02.017>.
- Bosák, J., Hrala, M., Micenková, L. y Šmajš, D. (2021). Non-antibiotic antibacterial peptides and proteins of *Escherichia coli*: efficacy and potency of bacteriocins. *Expert Review of Anti-infective Therapy*. 19(3), pp. 309-322. <https://doi.org/10.1080/14787210.2020.1816824>.
- Burtseva, S. V., Pushkarev, I. A., Trebukhov, A. V., Vladimirov, N. I., Tkachenko, L. V. y Klimenok, I. I. (2019, October). Productive qualities and quality of large white pigs' meat using vitamin feed additive. In *IOP conference series: Earth and environmental science*. 341 (1), pp. 1-7. doi:10.1088/1755-1315/341/1/012054.
- Caicedo, W. y Caicedo, L. (2021). Comportamiento productivo de cerdos comerciales en crecimiento alimentados con ensilado de papa (*Solanum tuberosum* L.) de rechazo. *Livestock Research for Rural Development*. 33 (51), pp. 1-6.
- Caicedo, W., Chinque, D. M. y Grefa, V. J. (2022). Phytobiotic additives and their effect on the productive performance of pigs. *Cuban Journal of Agricultural Science*. 56(2), pp. 1-15.
- Caicedo, W., Ferreira, F.N.A., Arteaga, Y., Flores, A., Buenaño, C., Pérez, M., Silva Neta, C.S. y Ferreira, W.M. (2021). "Guava (*Psidium guajava* L.) leaf meal and cooked extract in post-weaning piglets' diets improve production rates and control the incidence of diarrhea". *Livestock Research for Rural Development*, 33(1). [En línea:] <http://www.lrrd.org/lrrd33/1/orlan3311.html>
- Campbell, J. M., Crenshaw, J. D. y Polo, J. (2013). The biological stress of early weaned piglets. *Journal of animal science and biotechnology*. 4(1) pp. 1-19. <https://doi.org/10.1186/2049-1891-4-19>.
- Cani, P. D, Possemiers, S., Van de Wiele, T., Guiot, Y., Everard, A., Rottier, O., Geurts, L., Naslain, D., Neyrinck, A., Lambert, D. M., Muccioli, G. G. y Delzenne, N. M. (2009). Changes in gut microbiota control inflammation in obese mice through a mechanism involving GLP-2-driven improvement of gut permeability. *Gut*. 58, pp. 1091-1103. DOI: 10.1136/gut.2008.165886.
- Cani, P. D., Neyrinck, A. M., Fava, F., Knauf, C., Burcelin, R. G., Tuohy, K. M., Gibson, G. R. y Delzenne, N. M. (2007). Selective increases of bifidobacteria in gut microflora improve high-fat-diet-induced diabetes in mice through a mechanism associated with endotoxaemia. *Diabetologia*. 50, pp. 2374-2383. DOI: 10.1007/s00125-007-0791-0.
- Canibe, N., Hojberg, O., Kongsted, H., Vodolazska, D., Lauridsen, C., Skau, N. T., Schonhertz, A. A. (2022). "Review on Preventive Measures to Reduce Post-Weaning Diarrhea in Piglets". *Animals*. 12(19). DOI: [10.3390/ani12192585](https://doi.org/10.3390/ani12192585).
- Cao, S., Hou, L., Sun, L., Gao, J., Gao, K., Yang, X., Jiang, Z. y Wang, L. (2022). Intestinal morphology and immune profiles are altered in piglets by early-weaning. *International Immunopharmacology*. 105, pp. 2133-2140. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2022.108520>.

- Casey, P. G., Gardiner, G. E., Casey, G., Bradshaw, B., Lawlor, P. G., Lynch, P. B., Leonard, F. C., Stanton, C., Ross, P. y Hill, C. (2007). A five-strain probiotic combination reduces pathogen shedding and alleviates disease signs in pigs challenged with *Salmonella enterica* serovar Typhimurium. *Applied and environmental microbiology*. 73(6), pp. 1858-1863. <https://doi.org/10.1128/AEM.01840-06>.
- Chapman, C. M. C., Gibson, G. R. y Rowland, I. (2011). Health benefits of probiotics: are mixtures more effective than single strains?. *European journal of nutrition*. 50(1), pp. 1-17. <https://doi.org/10.1007/s00394-010-0166-z>.
- Cromwell, G. L. (2002). Why and how antibiotics are used in swine production. *Animal Biotechnology*. 13(1), pp. 7-27. doi: 10.1081/ABIO-120005767.
- Cutting, S. M. (2011). Bacillus probiotics. *Food microbiology*. 28(2), pp. 214-220.
- Dávila-Ramírez, J., Munguía-Acosta, L., Morales-Coronado, J., García-Salinas, A., González-Ríos, H., Celaya-Michel, H., Sosa-Castañeda, J., Sánchez-Villalba, E., Anaya-Islas, J. y Barrera-Silva, A. (2020). "Addition of a Mixture of Plant Extracts to Diets for Growing-Finishing Pigs on Growth Performance, Blood Metabolites, Carcass Traits, Organ Weight as a Percentage of Live Weight, Quality and Sensorial Analysis of Meat". *Animals*. 10(7), pp. 1229. <http://dx.doi.org/10.3390/ani10071229>.
- Dewulf, E. M., Cani, P. D., Claus, S. P., Fuentes, S., Puylaert, P. G., Neyrinck, A. M., Bindels, L. B., de Vos, W. M., Gibson, G. R., Thissen, J. P. y Delzenne, N. M. (2013) Insight into the prebiotic concept: lessons from an exploratory, double blind intervention study with inulin-type fructans in obese women. *Gut, BMJ Evidence-Based Medicine*. 62, pp. 1-12. DOI: 10.1136/gutjnl-2012-303304.
- Dewulf, E. M., Cani, P. D., Neyrinck, A. M., Possemiers, S., Van Holle, A., Muccioli, G. G., Deldicque, L., Bindels, L. B., Pachikian, B. D., Sohet, F. M., Mignolet, E., Francaux, M., Larondelle, Y. y Delzenne, N. (2011). Inulin-type fructans with prebiotic properties counteract GPR43 overexpression and PPARgamma-related adipogenesis in the white adipose tissue of high-fat diet-fed mice. *Journal of Nutrition al Biochemistry*, 22(8), pp. 12-22. DOI: 10.1016/j.jnutbio.2010.05.009.
- Dianawati, D., Mishra, V. y Shah, N. P. (2016). Survival of microencapsulated probiotic bacteria after processing and during storage: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 56(10), pp. 1685-1716. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.798779>.
- Diarra, M. S. y Malouin, F. (2014). Antibiotics in Canadian poultry productions and anticipated alternatives. *Frontiers in Microbiology*. 38(4), pp. 547-580. DOI: [10.3389/fmicb.2014.00282](https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00282).
- Djouzi, Z. y Andrieux, C. (1997). Compared effects of three oligosaccharides on metabolism of intestinal microflora in rats inoculated with a human faecal flora. *British Journal of Nutrition*. 78, pp. 313-324. DOI: 10.1079/bjn19970149.
- Escobar-Garcia, K., Reis de Souza, T. C., Díaz-Muñoz, M. y Bautista-Marín, S. E. (2025). Nivel dietético de concentrado de proteína de papa y su efecto sobre la concentración intestinal de citocinas y ácidos grasos volátiles en lechones destetados. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 16(1), pp. 1-15. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v16i1.6733>.
- Everard, A., Lazarevic, V., Derrien, M., Girard, M., Muccioli, G. G., Neyrinck, A. M., Possemiers, S., Van Holle, A., Francois, P., de Vos, W. M., Delzenne, N. M., Schrenzel, J. y Cani, P. D. (2011). Responses of gut microbiota and glucose and lipid metabolism

- to prebiotics in genetic obese and diet-induced leptin-resistant mice. *Diabetes*. 60, pp. 2775-2786. DOI: 10.2337/db11-0227.
- Fábrega, E., Bagaria, M., Vila, L. y Delás, P. (2023). Prevención de la diarrea postdestete en lechones ecológicos mediante estrategias alimentarias. *Tierras Porcino*. 2, pp. 14-17.
- Flores, L., Usca, S., Peñafiel, S. y Tello, L. (2019). Probióticos como aditivos dietéticos para cerdos. Una Revisión. *KnE Engineering*. pp. 477-499.
- Flores, L., Usca, J., Peñafiel, S. y Tello, L. (2019). Probióticos como aditivos dietéticos para cerdos. Una revisión. *KnE Engineering*. Pp. 477-499. DOI 10.18502/keg.v5i2.6267.
- Fraile, L. (2021). Estrategias de medicina preventiva para el control de la diarrea posdestete en porcino tras la supreción del óxido de zinc (I)*. *SUIS*. 176, pp. 10-14.
- Gheisar, M. M. y Kim, I. H. (2017). Phytobiotics in poultry and swine nutrition – a review. *Italian Journal of Animal Science*, 17(1), pp. 92–99. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2017.1350120>.
- Giang, H. H., Viet, T. Q., Ogle, B. y Linderberg, J. E. (2010) Growth performance, digestibility, gut environment and health status in weaned piglets fed a diet supplemented with potentially probiotic complexes of lactic acid bacteria. *Livestock Science*. 129(1-3), pp. 95-103. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.01.010>.
- Giannenas, I., Doukas, D., Karamoutsios, A., Tzora, A., Bonos, E., Skoufos, I., Tsinas, A., Tontis, D y Florou-Paneri, P. (2016). Effects of *Enterococcus faecium*, mannan oligosaccharide, benzoic acid and their mixture on growth performance, intestinal microbiota, intestinal morphology and blood lymphocyte subpopulations of fattening pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 220, pp. 159-167. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.08.003>.
- Gierynska M., Szulc-Dabrowska L., Struzik J., Mielcarska M.B., Gregorczyk-Zboroch K.P. 2022. “Integrity of the Intestinal Barrier: The Involvement of Epithelial Cells and Microbiota-A Mutual Relationship.” *Animals*. 12(2), pp. 1-32. DOI:10.3390/ani12020145.
- Gresse, R., Chaucheyras-Durand, F., Fleury, M. A., Van de Wiele, T., Forano, E. y Blanquet-Diot, S. (2017). Gut microbiota dysbiosis in postweaning piglets: understanding the keys to health. *Trends in microbiology*, 25(10), pp. 851-873. DOI: [10.1016/j.tim.2017.05.004](https://doi.org/10.1016/j.tim.2017.05.004).
- Groot, N., Fariñas, F., Cabrera-Gómez, C. G., Pallares, F. J. y Ramis, G. (2021). Weaning causes a prolonged but transient change in immune gene expression in the intestine of piglets. *Journal of Animal Science*. 99(4), pp. 1-12. <https://doi.org/10.1093/jas/skab065>
- Guerra-Ordaz, A. A., González-Ortiz, G., La Ragione, R., Woodward, M. J., Collins, J. W., Pérez, J. F. y Martín-Orúe, S. M. (2014). Lactulose and *Lactobacillus plantarum*, a potential complementary synbiotic to control postweaning colibacillosis in piglets. *Applied and environmental microbiology*. 80(16), pp. 4879-4886. <https://doi.org/10.1128/AEM.00770-14>.
- Guevara-Arauz, J. C. (2021). Industrial Uses of *Opuntia* spp. By-products. In: Ramadan, M.F., Ayoub, T.E.M., Rohn, S. (eds) *Opuntia spp.: Chemistry, Bioactivity, and Industrial Applications*. Springer. pp. 707-752. https://doi.org/10.1007/978-3-030-78444-7_37.

- Han, K. H., Tsuchihira, H., Nakamura, Y., Shimada, K. I., Ohba, K., Aritsuka, T., Uchino, H., Kikuchi, H. y Fukushima, M. (2013). Inulin-type fructans with different degrees of polymerization improve lipid metabolism but not glucose metabolism in rats fed a high-fat diet under energy restriction. *Digestive Diseases and Science*. 58, pp. 2177-2186. DOI: 10.1007/s10620-013-2631-z.
- Hansen, C. H. F., Frøkiær, H., Christensen, A. G., Bergstrom, A., Licht, T. R, Hansen, A. K. y Metzdorff, S. B. (2013). Dietary xylooligosaccharide downregulates IFN- γ and the low-grade inflammatory cytokine IL-1 β systemically in mice. *Journal of Nutrition*. 143, pp. 533-540. DOI: 10.3945/jn.112.172361.
- Hashem, N. M., Gonzalez-Bulnes, A. y Simal-Gandara, J. (2020) Polyphenols in farm animals: Source of reproductive gain or waste?. *Antioxidants*. 9(10), pp. 1–30.
- He, Y., Kim, K., Kovanda, L., Jinno, C., Song, M., Chase, J., Li, X., Tan, B. y Liu, Y. (2020). *Bacillus subtilis*: a potential growth promoter in weaned pigs in comparison to carbadox. *Journal of Animal Science*. 98(9). <https://doi.org/10.1093/jas/skaa290>.
- Hernández-Becerra, E., Aguilera-Barreiro, M. de los A., Contreras-Padilla, M., Pérez-Torrero, E. y Rodríguez-García, M. E. (2022). Nopal cladodes (*Opuntia Ficus Indica*): Nutritional properties and functional potential. *Journal of Functional Foods*. 95, pp. 105-183. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.105183>.
- Herrera-Franco, V. H., Gutiérrez-Vergara, C. C. y Parra-Suescun, J. E. (2024). Adicionar fuentes antimicrobianas mejora la barrera intestinal de lechones destetados a dos edades. *Ciencia en la frontera: Revista de ciencia y tecnología de la UACJ*. pp. 24-31.
- Hill, C., Guarner, F., Reid, G., Gibson, G. R., Merenstein, D. J., Pot, B. y Sanders, M. E. (2014). The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. *Nature reviews Gastroenterology & hepatology*, 11(8), pp. 506-514.
- Hu, C. H., Xiao, K., Luan, Z. S. y Song, J. (2013). Early weaning increases intestinal permeability, alters expression of cytokine and tight junction proteins, and activates mitogen-activated protein kinases in pigs. *Journal of Animal Science*. 91, pp. 1094-1101. doi:10.2527/jas2012-5796.
- Ilchmann-Diounou H. y Menard S. “Psychological stress, intestinal barrier dysfunctions and autoimmune disorders: an overview”. *Frontiers in Immunology*. 25(11), pp. 1-26.
- Jacela, J. Y., DeRouchey, J. M., Tokach, M. D., Goodband, Ph. D., Nelseen, J. L., David, G., Renter, D. V. M., Steve, S. y Dritz, D. V. M. (2009). *Journal Swine Health Production*. 17(5), pp. 270-275.
- Jiménez, O. (2015). *Evaluación de los parámetros productivos en cerdos de raza Landrace a base de aceite de orégano como promotor de crecimiento, en el barrio el Rosal del cantón Mejía*. Tesis de Licenciatura. Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador, pp. 1-106.
- Keirns, N. G., Hawkins, M. A. W. (2019) The relationship between intuitive eating and body image is moderated by measured body mass index. 33, pp. 91-96. DOI: [10.1016/j.eatbeh.2019.04.004](https://doi.org/10.1016/j.eatbeh.2019.04.004).
- Kunzelmann, K. y Mall, M. (2002). Electrolyte transport in the mammalian colon: mechanisms and implications for disease. *Physiological reviews*. 82(1), pp. 245-289. <https://doi.org/10.1152/physrev.00026.2001>.

- Lallés, J. P. y Montoya, C. A. (2021). Dietary alternatives to in-feed antibiotics, gut barrier function and inflammation in piglets post-weaning: Where are we now?. *Animal Feed Science and Technology*. 274, pp. 1-21. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114836>.
- Lallès, J. P., Sève, B., Pié, S., Blazy, F., Laffitte, J. y Oswald, I. P. (2004). Weaning is associated with an upregulation of expression of inflammatory cytokines in the intestine of piglets. *The Journal of nutrition*, 134(3), pp. 641-647.
- Lecerf, J. M., Depeint, F., Clerc, E., Dugenet, Y., Niamba, C. N., Rhazi, L., Cayzeele, A., Abdelnour, G., Jaruga, A., Younes, H., Jacobs, H., Lambrey, G., Abdelnour, A. M. y Pouillart, P. R. (2012). Xylo-oligosaccharide (XOS) in combination with inulin modulates both the intestinal environment and immune status in healthy subjects, while XOS alone only shows prebiotic properties. *British Journal of Nutrition*. 108, pp. 1847-1858. DOI: 10.1017/S0007114511007252.
- Lee, S. H., Ingale, S. L., Kim, J. S., Kim, K. H., Lokhande, A., Kim, E. K., Kwon, I.K., Kim, Y.H. y Chae, B. J. (2014). Effects of dietary supplementation with *Bacillus subtilis* LS 1-2 fermentation biomass on growth performance, nutrient digestibility, cecal microbiota and intestinal morphology of weanling pig. *Animal Feed Science and Technology*, 188, pp. 102-110. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.12.001>.
- Li, P., Niu, Q., Wei, Q., Zhang, Y., Ma, X., Kim, S. W., Lin, M. y Huang, R. (2017). Microbial shifts in the porcine distal gut in response to diets supplemented with *Enterococcus faecalis* as alternatives to antibiotics. *Scientific reports*, 7(1), pp. 1-10. DOI: 10.1038/srep41395.
- Li, X. Q., Zhu, Y. H., Zhang, H. F., Yue, Y., Cai, Z. X., Lu, Q. P., Zhang, L., Weng, X. G., Zhang, F. J., Zhou, D., Yang, J. C. y Wang, J. F. (2012). Risks associated with high-dose *Lactobacillus rhamnosus* in an *Escherichia coli* model of piglet diarrhoea: intestinal microbiota and immune imbalances. *PLOS one*. 7(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0040666>.
- Lin, K. H. y Yu, Y. H. (2020). Evaluation of *Bacillus licheniformis*-fermented feed additive as an antibiotic substitute: Effect on the growth performance, diarrhea incidence, and cecal microbiota in weaning piglets. *Animals*. 10(9), pp. 1-16. doi:10.3390/ani10091649.
- Liu, C., Zhu, Q., Chang, J., Yin, Q., Song, A., Li, Z., Wang, E. y Lu, F. (2017). Effects of *Lactobacillus casei* and *Enterococcus faecalis* on growth performance, immune function and gut microbiota of suckling piglets. *Archives of animal nutrition*. 71(2), pp. 120-133. <https://doi.org/10.1080/1745039X.2017.1283824>.
- Liu, P. P. X. S., Piao, X. S., Thacker, P. A., Zeng, Z. K., Li, P. F., Wang, D. y Kim, S. W. (2010). Chito-oligosaccharide reduces diarrhea incidence and attenuates the immune response of weaned pigs challenged with *Escherichia coli* K88. *Journal of animal science*. 88(12), pp. 3871-3879.
- López-Gálvez, G., López-Alonso, M., Pechova, A., Mayo, B., Dierick, N. y Gropp, J. (2021). Alternatives to antibiotics and trace elements (copper and zinc) to improve gut health and zootechnical parameters in piglets: A review. *Animal feed science and technology*, 271, pp. 1-88. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114727>.
- Lozano, G.J.L. y Manrique, R.P.T. (2014) Evaluación de dos sistemas de alimentación en lechones en etapa de precebo. Tesis de licenciatura. Universidad De La Salle-Facultad de Ciencias Agropecuarias, Bogotá. Pp. 1-57.

- Lu, T., Harper, A. F., Zhao, J., Estienne, M. J. y Dalloul, R. A. (2014). Supplementing antioxidants to pigs fed diets high in oxidants: I. Effects on growth performance, liver function, and oxidative status. *Journal of Animal Science*. 92(12), pp. 5455-5463. doi: 10.2527/jas.2013-7109.
- Madesh, M., Yan, J., Jinan, G., Hu, P., Kim, I. H., Liu, H. Y., Ennab, W., Jha, R. Cai, R. (2025). Phytogenics in swine nutrition and their effects on growth performance, nutrient utilization, gut health, and meat quality: a review. *Stress Biology*. 5(11), pp. 1-20. <https://doi.org/10.1007/s44154-024-00209-2>.
- Márquez, A., Camacho, R., Arriaga, A., Padilla, C., Reinhart, K., Blasco, L. y González, A. (2013). Effects of *Agave tequilana* fructans with different degree of polymerization profiles on the body weight, blood lipids and count of fecal Lactobacilli/ Bifidobacteria in obese mice. *Food and Function*. 4, pp. 1237-1244. DOI: 10.1039/c3fo60083a.
- Martins, M., Ribeiro, M. H., Almeida, C. M. M. (2023). Physicochemical, Nutritional, and Medicinal Properties of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. and Its Main Agro Industrial Use: A Review. *Plants*. 12(7). doi: 10.3390/plants12071512.
- Más Toro, D., Martínez, Y., Rodríguez, R., Salazar, I., Aroche, R., López, B. & Marcella, D. 2016. “Efecto de la suplementación dietética con polvos de hojas de guayaba (*Psidium guajava*) y marañón (*Anacardium occidentale*) en el comportamiento productivo y la incidencia de diarrea en cerdos antes y después del destete”. *Revista Computarizada de Producción Porcina*. 23(2), pp. 106-113.
- Ming, Q., Wang, J., Tan, B., Li, J., Liao, S., Liu, Y. y Yin, Y. (2020). Dietary glutamine, glutamate, and aspartate supplementation improves hepatic lipid metabolism in post-weaning piglets. *Animal Nutrition*. 6(2), pp. 124-129. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2019.12.002>.
- Modina, S. C., Polito, H., Rossi, R., Corino, C. y Giancamillo, A. D. (2019). Nutritional Regulation of Gut Barrier Integrity in Weaning Piglets. *Animals*. 9(12), pp. 1045. <https://doi.org/10.3390/ani9121045>.
- Mohammadi, G. M. y Ho, K. I. (2018). Phytobiotics in poultry and swine nutrition – a review. *Italian Journal of Animal Science*. 17(1), pp. 92-99. DOI: 10.1080/1828051X.2017.1350120.
- Moreno, R. y Buxadé, C. (1999). Instalaciones para lechones y cerdos de cebo. *Mundo Ganadero*. pp. 37-44.
- Mota, R. D., Roldan, S. P., Pérez, P. E., Martínez, R. R., Hernández-Trujillo, E. y Trujillo, O. M. E. (2014). Factores estresantes en lechones destetados comercialmente. *Veterinaria Mexico*. 45, pp. 1-15.
- Mueller, K., Blum, N., Kluge, H., Bauerfeind, R., Froehlich, J., Mader, A., Wendler, K. y Mueller, A. (2012). “Effects of broccoli extract and various essential oils on the intestinal and fecal microflora and on xenobiotic enzymes and the system piglet antioxidant”. *Open Journal of Animal Sciences*, 2(2), pp. 78-98. <https://doi.org/10.4236/ojas.2012.22012>
- Neyrinck, A. M., Possemiers, S., Druart, C., Van de Wiele, T., De Backer, F., Cani, P. D., Larondelle, Y. y Delzenne, N. M. (2011). Prebiotic effects of wheat arabinoxylan related to the increase in bifidobacteria, *Roseburia* and *Bacteroides/Prevotella* in diet-induced obese mice. *PLoS One*. 6. DOI: 10.1371/journal.pone.0020944.

- Nicolucci, A. C., Hume, M. P., Martinez, I., Mayengbam, S., Walter, J. y Reimer, R. A. (2017). Prebiotics reduce body fat and alter intestinal microbiota in children who are overweight or with obesity. *Gastroenterology*. 153, pp. 711-722. DOI: 10.1053/j.gastro.2017.05.055.
- Niekamp, S. R., Sutherland, M. A., Dahl, G. E. y Salak-Johnson, J. L. (2007). Immune responses of piglets to weaning stress: Impacts of photoperiod. *Journal of Animal Science*. 85, pp. 93–100. doi: 10.2527/jas.2006-153.
- Nihei, N., Okamoto, H., Furune, T., Ikuta, N., Sasaki, K., Rimbach, G., Yoshikawa, Y. y Terao, K. (2018). Dietary α -cyclodextrin modifies gut microbiota and reduces fat accumulation in high-fat-diet-fed obese mice. *Biofactors*. 44, pp. 336-347. DOI: 10.1002/biof.1429.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2023). Perspectivas agrícolas 2023-2032 © OCDE/FAO. [En línea:] <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/efe669f1-a8b6-4553-a574-d6b781b4cccb/content>.
- Ortega, D. S. V. y Szabó, C. (2021). Adverse Effects of Heat Stress on the Intestinal Integrity and Function of Pigs and the Mitigation Capacity of Dietary Antioxidants: A Review. *Animals*. 11(4), pp. 1-16. <https://doi.org/10.3390/ani11041135>.
- Adhikari, B., Kim, S. W.
- Ortiz-Rodríguez, R., Valdez-Alarcón, J. J., Garcidueñas-Piña, R., Chávez-Moctezuma, M. P., Val-Arreola, D., Hernandez Valdes, E. F. y Pérez-Sánchez, R. E. (2013). Effect of added nopal cactus (*Opuntia ficus-indica*) on microbial content in raw milk. *African Journal of Microbiology Research*. 7(28), pp. 3675-3680. DOI:10.5897/AJMR2013.5389.
- Ospina-Romero, M. A., González-Ríos, H., Barrera-Silva, M. A., Valenzuela-Melendres, M., Martínez-Téllez, M. A. y Pinelli-Saavedra, A. (2024). Subproductos de la vinificación y extractos de polifenoles de la uva como aditivos fitogenicos para raciones en la producción porcina. Revision. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 15(3), pp. 669-699. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v15i3.6479>.
- Pan, L., Zhao, P. F., Ma, X. K., Shang, Q. H., Xu, Y. T., Long, S. F., Wu, Y., Yuan, F. M. y Piao, X. S. (2017). Probiotic supplementation protects weaned pigs against enterotoxigenic *Escherichia coli* K88 challenge and improves performance similar to antibiotics. *Journal of animal science*. 95(6), pp. 2627-2639. <https://doi.org/10.2527/jas.2016.1243>.
- Pang, J., Liu, Y., Kang, L., Ye, H., Zang, J., Wang, J. y Han, D. (2022). *Bifidobacterium animalis* promotes the growth of weaning piglets by improving intestinal development, enhancing antioxidant capacity, and modulating gut microbiota. *Applied and Environmental Microbiology*, 88(22), pp. 1-23. <https://doi.org/10.1128/aem.01296-22>.
- Parnell, J. A. y Reimer, R. A. (2012). Prebiotic fibres dose-dependently increase satiety hormones and alter Bacteroidetes and Firmicutes in lean and obese JCR: LA-cp rats. *British Journal of Nutrition*. 107, pp. 601-613. DOI: 10.1017/S0007114511003163.
- Patel, S. (2014). *Opuntia cladodes* (nopal): Emerging functional food and dietary supplement. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*. 7, pp. 11-19. DOI:10.3233/MNM-140003.

- Peña-Montes, C., Ramírez-Higuera, Abril, Morales-Cano, Karla Lizzeth, Lagunes-Vela, Kalid Gabriela, Mendoza-García, Patricia G., & Oliart-Ros, Rosa María. (2022). Prebióticos y microbiota: Factores clave en el síndrome metabólico. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 25, e448. Epub 20 de junio de 2023. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.448>
- Peterson, L. W. y Artis, D. (2014). Intestinal epithelial cells: regulators of barrier function and immune homeostasis. *Nature reviews Immunology*. 14(3), pp. 141-153. doi: 10.1038/nri3608.
- Pluske, J. R. (2016). Invited review: Aspects of gastrointestinal tract growth and maturation in the pre- and postweaning period of pigs. *Journal of Animal Science*. 94, pp. 399-411.
- Pluske, J. R., Durmic, Z., Payne, H. G., Mansfield, J., Mullan, B. P., Hampson D. J. y Vercoe, P. E. (2007). Microbial diversity in the large intestine of pigs born and reared in different environments. *Livestock Science*. 108(1), pp. 113-116. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2007.01.010>.
- Poberezhets, J. M., Chudak, R. A., Ohorodnichuk, G. M. y Hasidzhak, I. V. (2024). Effectiveness of using a mineral feed additive in pig feeding. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural sciences*, 26(101), pp. 63-66. DOI: <https://doi.org/10.32718/nvlvet-a10110>.
- Pohl, C. S., Medland, J. E., Mackey, E., Edwards, L. L., Bagley, K. D., DeWilde, M. P., Williams, K. J. y Moesner, A. J. (2017). Early weaning stress induces chronic functional diarrhea, intestinal barrier defects, and increased mast cell activity in a porcine model of early life adversity. *Neurogastroenterology y Motility*. 29(11). <https://doi.org/10.1111/nmo.13118>.
- Raciewicz, P., Ludwiczak, A., Skrzypczak, E., Składanowska-Baryza, J., Biesiada, H., Nowak, T., ... Ślósarz, P. (2021). Welfare Health and Productivity in Commercial Pig Herds. *Animals*, 11(4), pp. 1-15. doi:10.3390/ani11041176.
- Ramiro-Puig, E., Pérez-Cano, F. J., Castellote, C., Franch, A. y Castell, M. (2008). El intestino: pieza clave del sistema inmunitario. *Revista Española de Enfermedades Digestivas*. 100(1), pp. 29-34.
- Ramis, G., González-Guijarro, A. B., Pascual, C. y Sánchez-Urbe, P. (2021). Estudio de la integridad intestinal mediante biomarcadores (I). *SUIS*. 180, pp. 16-20.
- Reimer, R. A., Willis, H. J., Tunnicliffe, J. M., Park, H., Madsen, K. L. y Soto-Vaca, A. (2017). Inulin-type fructans and whey protein both modulate appetite but only fructans alter gut microbiota in adults with overweight/obesity: A randomized controlled trial. *Molecular Nutrition Food Research*. 61. DOI: 10.1002/mnfr.201700484.
- Respondeck, F., Gerard, P., Bossis, M., Boschat, L., Bruneau, A., Rabot, S., Wagner, A. y Martin, J. C. (2013). Short-chain Fructo-oligosaccharides modulate intestinal microbiota and metabolic parameters of humanized gnotobiotic diet induced obesity mice. *PLoS One*. 8. DOI: 10.1371/journal.pone.0071026.
- Reverter, M., Tapissier-Bontemps, N., Sarter, S., Sasal, P. y Caruso, D. (2021). Moving towards more sustainable aquaculture practices: a meta-analysis in the potential of plant-enriched diets to improve fish growth, immunity and disease resistance. *Reviews in Aquaculture*. 13, pp. 537-555.

- Reyes, L. A. y Cruz, U. M. (2024). Oportunidades de agronegocios en el subsector pecuario en México. *Comunicación Científica*. pp. 105-127. [En línea:] <https://comunicacion-cientifica.com/wp-content/uploads/2024/10/204.-PDF-Enfoque-sistemico-de-agronegocios-3.pdf#page=105>. DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.204.03>
- Reyes, M. (2015). *Evaluación del Desempeño Sanitario al Aplicar Zingiber officinale (Jengibre), en la Alimentación de Cerdos York*Landrace, en la etapa Post - Destete – Acabado*. [Tesis Licenciatura]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. pp. 148
- Rondón, C. A. J., Martínez, M. M. M. y Beruvides, R. A. (2019). Probióticos en cerdos: una alternativa al uso de antibióticos en la salud animal. *Universidad de matanzas*. Pp. 1-11.
- Ross, M. H. y Pawlina, W. (2015). *Ross Histología Texto y Atlas – Correlación con Biología Molecular y Celular*. 7^{ma} edición. Wolters Kluwer.
- Salvo-Romero, E., Alonso-Cotoner, C., Pardo-Camacho, C., Casado-Bedmar, M. y Vicario, M. (2015). The intestinal barrier function and its involvement in digestive disease. *Revista Española de Enfermedades Digestivas*. 107(11), pp. 686-696.
- Samanta, A. K., Gali, J. M., Dutta, T. K., Rajkhowa, T. K., Mandal, G. P. y Patra, A. K. (2021). Effect of dietary phytobiotic mixture on growth performance, nutrient utilization, and immunity in weaned piglets. *Tropical Animal Health and Production*. 53(459). <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02910-0>.
- Sieminska, I. y Pejsak, Z. (2022). Impact of stress on the functioning of the immune system, swine health and productivity. *Med. Weter.*. 78(11), pp. 541-547. DOI: [dx.doi.org/10.21521/mw.6673](https://doi.org/10.21521/mw.6673).
- Spreeuwenberg, M. A. M., Verdonk, J. M. A. J., Gaskins, H. R. y Verstegen, M. W. A. (2001). Small intestine epithelial barrier function is compromised in pigs with low feed intake at weaning. *The Journal of nutrition*, 131(5), pp. 1520-1527.
- Suo, C., Yin, Y., Wang, X., Lou, X., Song, D., Wang, X. y Gu, Q. (2012). Effects of *Lactobacillus plantarum* ZJ316 on pig growth and pork quality. *BMC veterinary research*, 8, pp. 1-12. <https://doi.org/10.1186/1746-6148-8-89>.
- Suryanarayana, M. y Durga, S. (2018). Role of Phytogenic Feed Additives in Swine Production- A Review. *Agricultural and Food Sciences*. 3(3), pp. 1071-1078. <http://dx.doi.org/10.22161/ijeab/3.3.46>.
- Tang, X., Xiong, K., Fang, R., Li, M. (2022). “Weaning stress and intestinal health of piglets: A review”. *Frontiers in Immunology*. 13(1), pp. 1-14.
- Telesca, C. N. O., Lima, C. B. S., Kipper, S. M., Haubert, F. C. y Andretta, I. (2023). A systematic review and meta-analysis of the effect of phytogenic feed additives on pig performance. 270, pp. 105-190. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2023.105190>.
- Thacker, P.A. (2013). Alternatives to antibiotics as growth promoters for use in swine production: a review. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 4(35), pp. 1-10. <https://doi.org/10.1186/2049-1891-4-35>.
- Timmerman, H. M., Koning, C. J., Mulder, L., Rombouts, F. M. y Beynen, A. C. (2004). Monostrain, multistain and multispecies probiotics—A comparison of functionality and efficacy. *International journal of food microbiology*. 96(3), pp. 219-233. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.05.012>.

- Tsukahara, T., Kishino, E., Inoue, R., Nakanishi, N., Nakayama, K., Ito, T. y Ushida, K. (2013). Correlation between villous height and the disaccharidase activity in the small intestine of piglets from nursing to growing. *Animal Science Journal*. 84(1), pp. 54-59. doi: 10.1111/j.1740-0929.2012.01039.x.
- Tugnoli, B., Giovagnoni, G., Piva, A. y Grilli, E. (2020). From Acidifiers to Intestinal Health Enhancers: How Organic Acids Can Improve Growth Efficiency of Pigs. *Animals*. 10(1), pp. 1-134. <https://doi.org/10.3390/ani10010134>.
- Uddin, K., Mahmud, R., Hasan, S., Peltoniemi, O. y Oliviero, C. (2023). Dietary micro-fibrillated cellulose improves growth, reduces diarrhea, modulates gut microbiota, and increases butyrate production in post-weaning piglets. *Scientific Reports*. 13(6194), pp. 1-15. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-33291-z>.
- Ulluwishewa, D., Anderson, R. C., McNabb, W. C., Moughan, P. J., Wells, J. M. y Roy, N.C. (2011). Regulation of tight junction permeability by intestinal bacteria and dietary components. *The Journal of Nutrition*. 141(5), pp. 769-776. doi: 10.3945/jn.110.135657.
- Upadhaya, S. D. y Kim, I. H. (2021). The Impact of Weaning Stress on Gut Health and the Mechanistic Aspects of Several Feed Additives Contributing to Improved Gut Health Function in Weanling Piglets—A Review. *Animals*, 11(8), 2418. <https://doi.org/10.3390/ani11082418>.
- Usca-Méndez, J. E., Peñafiel-Acosta, S. E., Brito-Zuñiga, G. G. y Arévalo-Azanza, G. F. (2020). Características probióticas de los lactobacillus: Una revision. *Polo del Conocimiento*. 48(5), pp. 413-425. DOI: 10.23857/pc.v5i8.1596.
- Vulevic, J., Juric, A., Tzortzis, G. y Gibson, G. R. (2013). A mixture of trans-galactooligosaccharides reduces markers of metabolic syndrome and modulates the fecal microbiota and immune function of overweight adults. *The Journal of Nutrition*, 143(3), pp. 324-31. DOI: 10.3945/jn.112.166132.
- Wang, J., Deng, L., Chen, M., Yuyan, C., Li, L., Zhu, L., Chen, G. y Feng, T. (2024). Phytogenic feed additives as natural antibiotic alternatives in animal health and production: A review of the literature of the last decade. *Animal Nutrition*. 17, pp. 244-264. doi: 10.1016/j.aninu.2024.01.012.
- Wang, J., Wang, N., Qi, M., Li, J. y Tan, B. (2022). Glutamine, glutamate, and aspartate differently modulate energy homeostasis of small intestine under normal or low energy status in piglets. *Animal Nutrition*. 8, pp. 216-226. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2021.07.009>.
- Wang, T., Teng, K., Liu, Y., Shi, W., Zhang, J., Dong, E., Zhang, X., Tao, Y. y Zhong, J. (2019). Lactobacillus plantarum PFM 105 promotes intestinal development through modulation of gut microbiota in weaning piglets. *Frontiers in microbiology*, 10(90), pp. 1-16. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00090>.
- Wang, X., Jiang, G. y Kebreab, E. (2019). Effects of dietary grape seed polyphenols supplementation during late gestation and lactation on antioxidant status in serum and immunoglobulin content in colostrum of multiparous sows. *Journal of Animal Science*. 97(6), pp. 2515–2523.
- Xiong, X., Tan, B., Song, M., Ji, P., Kim, K., Yin, Y. y Liu, Y. (2019). Nutritional Intervention for the Intestinal Development and Health of Weaned Pigs. *Frontiers in Veterinary Science*. 6(46), pp. 1-14.

- Yan, L., Wang, J., Kim, J., Meng, Q., Hong, S. y Kim, H. (2010). "Influence of essential oil supplementation and diets with different nutrient densities on growth performance, nutrient digestibility, blood characteristics, meat quality and fecal noxious gas content in grower–finisher pigs". *Livestock Science*, 128(1-3), pp. 115-122. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.05.001>.
- Yang, H., Xiong, X., Wang, X., Tan, B., Li, T. y Yin, Y. (2016). Effects of Weaning on Intestinal Upper Villus Epithelial Cells of Piglets. *PLoS ONE*. 11(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150216>
- Yang, J., Summanen, P. H., Henning, S. M., Hsu, M., Lam, H., Huang, J., Tseng, CH., Dowd, S. E., Finegold, S. M., Heber, D. y Li, Z. (2015). Xylooligosaccharide supplementation alters gut bacteria in both healthy and prediabetic adults: a pilot study. *Frontier in Physiology*. 6, pp. 216. DOI: 10.3389/fphys.2015.00216.
- Yirga, H. (2015). The Use of Probiotics in Animal Nutrition. *Journal of Probiotics y Health*. 3(2), pp. 1-10. DOI: 10.4172/2329-8901.1000132.
- Zhang, Y., Wu, T., Chen, Z., Meng, Y., Zhu, Z., Wang, Q., Tian, J., Yi, D., Wang, L., Zhao, D. y Hou, Y. (2021). Dietary supplementation with *Enterococcus faecium* R1 attenuates intestinal and liver injury in piglets challenged by lipopolysaccharide. *Animals*. 11(5), pp. 14-24. <https://doi.org/10.3390/ani11051424>.
- Zhao, B. C., Wang, T. H., Chen, J., Qiu, B. H., Xu, Y. R. y Li, J. L. (2024). Essential oils improve nursery pigs' performance and appetite via modulation of intestinal health and microbiota. *Animal Nutrition*. 16, pp. 174-188. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2023.10.007>.
- Zhao, P. Y. y Kim, I. H. (2015). Effect of direct-fed microbial growth performance, nutrient digestibility, fecal noxious gas emission, fecal microbial flora and diarrhea score in weanling pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 200, pp. 86-92. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.12.010>.

Capítulo II

EFFECTO DE LA ADICIÓN DE NOPAL FORRAJERO FRESCO O COCIDO A LA DIETA DE LECHONES POSTDESTETE SOBRE GLUCEMIA, SALUD INTESTINAL Y RENDIMIENTO PRODUCTIVO

RESUMEN

El objetivo fue evaluar el efecto de adición de nopal (*O. ficus indica*) en base fresca (BF) y cocido a vapor (CocV) a la dieta de lechones postdestete sobre la glucemia (GLU), salud intestinal y rendimiento productivo. Se utilizaron 60 lechones destetados (6.9 ± 1.1 kg) para formar tres grupos ($n=20$ lechones/grupo) con dos repeticiones/grupo ($n=10$ lechones/repetición): Grupo testigo (G1), Grupo con nopal en BF (G2) y Grupo con nopal CocV (G3). Los tres grupos recibieron alimento comercial (AC) *ad libitum* conforme su etapa productiva. La adición de nopal en el G2 y G3 fue con base al 1% del peso promedio/semana del lechón. Se evaluó: consumo de AC y de nopal (BF y CocV), peso del lechón (PL), ganancia de peso (GP), índice de conversión alimenticia (ICA), GLU, largo de vellosidades intestinales (LVI) y unidades formadoras de colonias (UFC) gram positivas en contenido intestinal. La información se analizó a través de mediciones repetidas y las diferencias entre grupo mediante medias de mínimos cuadrados ($\alpha=0.05$). El mayor ($p<0.05$) consumo de AC fue en el G2 y G3 (528 y 523 g/día/lechón) vs G1. El consumo de nopal fue mayor ($p < 0.05$) en G2 (100 g/día/lechón) vs G3. El PL y la GP fueron menores ($p<0.05$) en G1 vs G2 y G3. EL ICA fue menor ($p<0.05$) en el G1 (1.7:1) vs G2 y G3 (1.4:1, ambos grupos). La GLU fue menor ($p<0.05$) en G2 (112.1 mg/dL) vs G1 y G3. El LVI en duodeno fue mayor en G3 (403.2 μm) vs G1 y G2; en yeyuno, el G2 mostró mayor ($p<0.05$) LVI (403.2 μm) y en íleon, el LVI de G1 fue similar ($p>0.05$) a G2 y G3. Las UFC de bacterias intestinales gram positivas fueron mayores ($p < 0.05$) en G2 ($7.9_{\text{Log}10}$) vs G1 y G2. La adición de nopal (BF o CocV) en la dieta de lechones postdestete modula las concentraciones séricas de glucosa y promueve la regeneración de vellosidades intestinales y el crecimiento de bacterias gram positivas del intestino, lo cual, incrementa el consumo voluntario de alimento, la ganancia de peso y mejora la conversión alimenticia.

Palabras clave: Destete, alimentación, fibra dietética, salud intestinal.

INTRODUCCIÓN

La porcicultura, como industria global, se enfrenta a la continua competencia entre empresas trasnacionales y locales de cada país, para acceder a los mercados nacionales e internacionales (Gómez-Tenorio *et al.*, 2012; Ortiz *et al.*, 2019); competencia que obligan a las empresas porcinas a reducir el costo de producción del cerdo finalizado (FAO, 2016). Aspecto que puede lograrse a través de dos estrategias: a) disminuir el costo del lechón destetado o b) reducir el tiempo de engorda (destete-finalización) de los animales a través de la formulación de dietas específicas para cada etapa productiva (Mota *et al.*, 2014; Blanch, 2015). Estrategias que se pueden conciliar mediante el incremento de la prolificidad de las cerdas y garantizando la eficiencia alimenticia de los cerdos en sus diferentes etapas de desarrollo (Ortiz-Rodríguez, 2019).

Sin embargo, el éxito de ambas estrategias (disminuir el costo del lechón destetado y el tiempo de engorda de los animales) está limitado -en gran parte- por la fase de destete-destete-iniciación, debido a que esta fase es el periodo más crítico para el desarrollo del cerdo y, en consecuencia, sobre la rentabilidad del sistema de producción (López-Rivera *et al.*, 2021; Parra-Alarcón *et al.*, 2022). Por lo tanto, el reto para la empresa porcina es controlar o mitigar los factores estresantes relacionados con el proceso del destete del lechón, tales como: separación del lechón de su madre, cambio de ambiente -instalaciones y alimentación- y la interacción social entre lechones de diferentes camadas (Sieminska y Pejzak, 2022).

El estrés postdestete, además de incidir negativamente en el consumo voluntario de alimento de los lechones, también afecta la salud del tracto gastrointestinal (TGI) (Mota *et al.*, 2014) y predispone a infecciones entéricas (Blanch, 2015). Aspecto que obliga a establecer estrategias nutricionales que coadyuven promoviendo el desarrollo y fortalecimiento del TGI de los lechones en las primeras semanas postdestete (Soraci *et al.*, 2010), tales como: uso de insumos no convencionales adicionados en la formulación de sus dietas (Hernández *et al.*, 2016).

Dentro de los insumos no convencionales utilizados en las dietas de cerdos y que pueden coadyuvar en el mantenimiento de la salud e integridad intestinal de los lechones en fase destete-destete-iniciación se encuentran los insumos altos en fibra dietética (González *et al.*, 2022), mismos que han demostrado promover la salud del TGI y aumentar el rendimiento productivo. Gaitán *et al.* (2017) y Ordaz *et al.* (2021) establecieron que la

adición del nopal (*Opuntia ficus-indica*) adicionada a la dieta de cerdos ha demostrado incrementar la eficiencia productiva en diversas etapas de la producción porcina, efecto atribuido al su alto contenido de fibra tanto soluble como insoluble presente en el nopal.

Aun y cuando se ha demostrado el efecto benéfico de la inclusión de *O. ficus-indica* en la dieta de los cerdos, la adición de nopal en base fresca (BF) podría limitarse debido a su corta vida de anaquel (Contreras-Padilla *et al.*, 2012). Sin embargo, existen procesos que pueden ser utilizados para incrementar los periodos de almacenamiento del nopal postcosecha, tal como sería el caso de la cocción a vapor; proceso que mejora y mantiene sus propiedades nutritivas y biofuncionales cuando esta es sometida a cocción durante cuatro minutos (Ortiz *et al.*, 2022); y con ello, incrementar la biodisponibilidad de los componentes de dicha cactácea en la nutrición de los cerdos. Por ello, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la adición de nopal (*O. ficus indica*) en base fresca y cocido a vapor a la dieta de lechones postdestete sobre la glucemia, salud intestinal y rendimiento productivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en un sistema tecnificado de producción porcina ciclo completo; ubicado en la comunidad de Isaac Arriaga, perteneciente al municipio de Puruándiro, Michoacán, México., dentro de las coordenadas 20.253301 N, 101.497144 W (INEGI, 2010).

Se utilizaron 60 lechones híbridos (50% Yorkshire-Landrace, 50% Duroc-Pietrain) destetados (ambos sexos), seleccionados al azar, con 21 ± 2 días de edad y con un peso de 6.9 ± 1.1 kg. Cada lechón fue identificado con un arete enumerado. Con el total de los lechones se formaron tres grupos ($n=20$ lechones/grupo) con dos repeticiones/grupo ($n=10$ lechones/repetición). Los grupos (G) fueron: G1 o Testigo, lechones que recibieron alimento comercial (AC) correspondiente para la etapa de destete-iniciación; G2, grupo de lechones que recibieron AC correspondiente para la etapa de destete-iniciación más la adición del 1% de nopal en base fresca (BF) y, G3, lechones sometidos a la dieta (AC) correspondiente para la etapa de destete-iniciación, adicionada con 1% de nopal cocido a vapor (CocV) por 4 minutos tal como se describe (Tabla 1).

Los lechones fueron confinados en jaulas ($160 \times 310 \text{ cm}^2$) elevadas (10 lechones/jaula), equipadas con un comedero® (acero inoxidable) con seis bocas de alimentación y capacidad para 60 kg de alimento y dos bebederos automáticos tipo chupón; a los tres

grupos de lechones se les proporcionó AC específico para cuatro fases de alimentación correspondientes a la etapa de destete-iniciación, desde el destete hasta los ≈ 20 kg (Tabla 1) y agua *ad libitum*. La ventilación y la temperatura interna del área de destete se controlaron manualmente a través de cortinas.

Las fases de alimentación durante la etapa de destete-iniciación fueron: Fase 1, 0-7 días postdestete; Fase 2, 8-14 días postdestete; Fase 3, 15-28 días postdestete, en dichas fases se proporcionó el AC (Preiniciador®) en forma de pellet; en la Fase 4 (29-49 días postdestete), el AC proporcionado fue en harina. El suministro diario de AC/grupos se realizó a las 7:00 h, hora en la que se realizó la adición del 1.0% de nopal (BF o CocV). La cantidad de nopal requerido y su posterior adición del 1.0% (BF o CocV) se estimó con base al peso promedio semanal del lechón, durante el transcurso de la etapa experimental.

Tabla 1. Análisis químico proximal de las dietas y del nopal (*O. ficus-indica*)

Alimento comercial	Fase I	Fase II	Fase III	Fase IV
Proteína cruda %	25.18	24.46	23.23	20.31
Grasa cruda %	4.96	4.27	4.34	2.13
Fibra cruda %	6.59	6.57	7.94	9.19
Fibra detergente neutra %	21.80	30.55	25.65	15.97
Fibra detergente ácida %	9.08	9.04	10.79	12.38
Cenizas %	7.41	6.48	5.91	4.37
Humedad %	5.26	7.41	6.03	9.68
Materia seca %	94.74	92.59	93.97	90.32
E.L.N %	50.59	50.81	52.55	54.33
Nopal (<i>Opuntia ficus-indica</i>)	Base Fresca		Cocido a vapor	
Humedad (%)	94.2 ^a ± 0.1		94 ^a ± 0.1	
Materia seca (g ^{-100g MS})	5.7 ^a ± 0.1		6.0 ^a ± 0.1	
Proteína (g ^{-100g MS})	14.2 ^a ± 0.1		17.6 ^b ± 0.1	
Lípidos (EE) (g ^{-100g MS})	2.3 ^a ± 0.1		1.6 ^b ± 0.1	
Extracto libre de Nitrógeno (g ^{-100g MS})	10.8 ^a ± 0.8		20.2 ^b ± 0.8	
Fibra Dietética (g ^{-100g MS})	40 ^a ± 0.8		33.6 ^b ± 0.8	
Fibra Soluble (g ^{-100g MS})	7.5 ^a ± 0.4		14.5 ^b ± 0.4	
Fibra Insoluble (g ^{-100g MS})	31.5 ^a ± 0.7		19.0 ^b ± 0.7	
Cenizas (g ^{-100g MS})	27.8 ^a ± 0.02		20.1 ^b ± 0.02	

$\pm$ Error estándar; Literales ^{a, b} indican diferencias ($P < 0.05$) dentro de fila.

Los cladodios de *O. ficus-indica* cosechados fueron de una edad aproximada de 90 días. Estos se recolectaron de la parcela de la Posta Zootécnica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia-UMSNH, ubicada en el municipio de Tarímbaro Michoacán, México., en el km 9.5 de la carretera Morelia-Zinapécuaro. Una vez cosechado el nopal fue transportado y almacenado en la bodega de alimentos de la citada granja; después, se pesó diariamente la cantidad de cladodios en BF requeridos/grupo/día e inmediatamente

se picaron en trozos de aproximadamente 1.0 cm³ y se mezclaron con la cantidad AC correspondiente/grupo (G2).

Para el caso del nopal CocV (G3), se realizó el mismo proceso para el G2 (hasta el picado); una vez picados los cladodios, los trozos se depositaron en una olla vaporera de uso doméstico (Vasconia®, capacidad de 5.0 L) y se sometieron a cocción a vapor a 100°C durante 4 minutos (Ortiz *et al.*, 2022). Trascurridos los 4 minutos de cocción, los trozos de nopal CocV se dejaron enfriar a temperatura ambiente para posteriormente mezclarse con la cantidad de AC a suministrar/día/grupo.

Se evaluó diariamente y en cada grupo el consumo voluntario de AC y consumo de nopal (BF y CocV); semanalmente se evaluó/grupo: peso (kg) del lechón (PL), ganancia (g) de peso (GP) y glucemia (GLU), al término de la fase experimental, se determinó/grupo índice de conversión (IC), largo de vellosidades intestinales (LVI) y Unidades Formadoras de Colonia (UFC) Gram positivas de contenido intestinal.

El consumo voluntario de AC/día y de nopal (BF o CocV)/día se determinó pesando (báscula digital SF-400®, capacidad de 5 kg) el rechazo de AC y de nopal (BF y CocV) y se le restó a la cantidad suministrada/día. Para este procedimiento, antes de suministrar el alimento (AC, nopal en BF y CocV) correspondiente/grupo/día, se separó el nopal (BF o CocV) del AC mediante una malla metálica y se pesó por separado (báscula digital SF-400®, capacidad de 5 kg).

El PL de cada grupo se determinó semanalmente con una báscula digital portátil (CraneScale®; capacidad de 300 kg) y la GP/semanal/lechón/grupo se obtuvo restando el peso final semanal menos el peso inicial de la semana y el resultado se dividió entre los días de la semana.

La determinación de GLU/lechón/semana se obtuvo a través de muestras sanguíneas (5 mL/cerdo) de dos cerdos seleccionados al azar/grupo e identificados para este propósito. Las muestras se recolectaron en los días 1, 3, 5, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 días postdestete. Las muestras se obtuvieron por venopunción yugular, previo ayuno de 8 h; para ello, se utilizaron tubos vacutainer® con gel separador. Cada muestra se almacenó a 4°C hasta su transporte al laboratorio® en donde se sometieron al método enzimático/colorimétrico automatizado en suero (Pinzón *et al.*, 2017).

EL ICA/grupo se calculó dividiendo la cantidad total del consumo de AC/grupo durante la fase experimental entre el resultado de la resta del peso final/grupo de la fase experimental menos el peso/grupo al inicio de la fase experimental.

Para la evaluación del LVI y UFC Gram positivas del intestino delgado, al término de la fase experimental, se eutanasiaron al azar dos cerdos/grupo; primeramente, se tranquilizaron con Azaperona® (Sural, Chinoín, México) administrada a 20 mg/kg y se anestesiaron con Isoflourane® (Isoflurano USP (ISOSOL), Baxter Healthcare, Puerto Rico). Una vez anestesiado el lechón, se abrió cavidad abdominal para la colecta de tejido de duodeno, yeyuno e íleon (3 porciones/segmento de ≈ 5 cm). La muestra de cada sección intestinal fue lavada con solución salina y se fijaron por inmersión en solución de formalina al 10%. Mientras que, las muestras de contenido ileal, cecal y de colon, la cuales fueron congeladas en Nitrógeno líquido. Al finalizar la obtención de las muestras, los lechones fueron eutanasiados con una sobredosis de Pentobarbital sódico® (Pisabental, PiSA Agropecuaria, México).

Las muestras de los segmentos de intestino fueron procesadas para estudios histológicos mediante la técnica de inclusión en parafina, los tejidos fueron procesados en un Histokinette Microm® ST 120, se realizaron cortes de 7 μm de espesor en un Microtomo Microm® HM 325, los cuales fueron teñidos con hematoxilina - eosina y, se realizaron 20 mediciones/segmento en todas las muestras obtenidas. Para la medición se utilizó un analizador de imágenes Leica® LAS V3.5 (Alemania) con un aumento de 40x para observar los parámetros morfométricos de la arquitectura intestinal, la longitud (μm) de la vellosidad se calculó a través de la distancia vertical de la abertura de la cripta hasta el ápice de la vellosidad.

Para la determinación de UFC Gram positivas, se utilizó un pool del contenido intestinal (ileal, cecal y de colon) de donde se obtuvieron las muestras para los cultivos bacterianos en agar cuenta estándar, los cuales fueron incubados a 35 ± 2 °C durante 48 h. Post-incubación, se realizó un frotis bacteriano a través de una asa de platino (0.01 mL) para su conteo e identificación mediante la tinción de Gram. El recuento se llevó a cabo mediante un microscopio (Leica® DM750P), tal como lo establece el método de Breed (1911); posteriormente se calculó en número de bacterias/mL mediante la siguiente fórmula:

$$Bacterias|/mL = \bar{X} * \left(\frac{Am}{Ac} \right) / VI$$

Donde:

$\bar{X}$ = Promedio total de bacterias

Am = Área de extensión medida

Ac = Área de campo

VI = Volumen de inoculación

La información recabada para el caso del consumo voluntario de AC y de nopal, PL, GP y GLU fueron analizadas estadísticamente [previa transformación del consumo de nopal en BF o CocV en materia seca (MS)] a través de la metodología de mediciones repetidas; utilizando para ello, el siguiente modelo de efectos fijos (Litell *et al.*, 1998):

$$Y_{ijk} = G_i + S_j + G(S)_{ij} + E_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Variable respuesta: consumo de AC, consumo de nopal BF y CocV, PL GP y GLU;

G_i = Efecto fijo del grupo, con el *i*ésimo grupo= G1, G2 y G3;

S_j = Efecto fijo de la semana, con la *j*ésima semana= 1, 2, 3, ... 7;

$G(S)_{ij}$ = Efecto fijo de la anidación grupo dentro de semana;

E_{ijk} = Error con NID~0, $\sigma^2 e$

La información recabada para el caso de la CA, LVI y UFC [previa transformación del número de UFC a logaritmo natural] al final de la fase experimental, fue analizada estadísticamente mediante la metodología de los modelos de efectos fijos (Litell *et al.*, 1998), bajo el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = G_i + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ijk} = Variable respuesta: IC, LVI y UFC;

G_i = Efecto fijo del grupo, con *i*ésimo grupo= G1, G2 y G3;

E_{ijk} = Error con NID~0, $\sigma^2 e$

Las diferencias entre grupos fueron determinadas mediante medias de mínimos cuadrados (LsMeans, siglas en inglés) a un $\alpha=0.05$ (Litell *et al.*, 1998).

RESULTADOS

Se encontró efecto de grupo ($p < 0.001$) y de la anidación grupo(semana) ($p < 0.0001$) sobre: consumo diario de AC y de nopal (BF y CocV), PL, GP, GLU y IC. El consumo voluntario de AC en MS fue mayor ($p < 0.05$) en los grupos que consumieron nopal como parte de su dieta: 528 y 523 g/día/lechón, para el G2 y G3, respectivamente (Tabla 2). Mientras que, el consumo de nopal (BF o CocV) fue mayor ($p < 0.05$) en el G2: 13 g de MS de nopal/día/lechón (Tabla 2).

Tabla 2. Medias de mínimos cuadrados para indicadores del consumo de alimento en lechones durante la etapa de destete-iniciación de acuerdo con el grupo

Variable	Grupo			E.E.
	G1	G2	G3	
Consumo de alimento®/día (g)	446 ^a	563 ^b	558 ^b	0.004
Consumo de alimento® MS/día (g)	418 ^a	528 ^b	523 ^b	0.004
Consumo de nopal BF/día (g)	--	100 ^a	91.0 ^b	0.0003
Consumo de nopal BS/día (g)	--	13.0 ^a	12.0 ^b	0.0004
Consumo de alimento Total* (kg)	24.9 ^a	31.5 ^b	31.3 ^b	0.23
Consumo de alimento Total MS (kg)	23.2 ^a	29.3 ^b	29.1 ^b	0.21

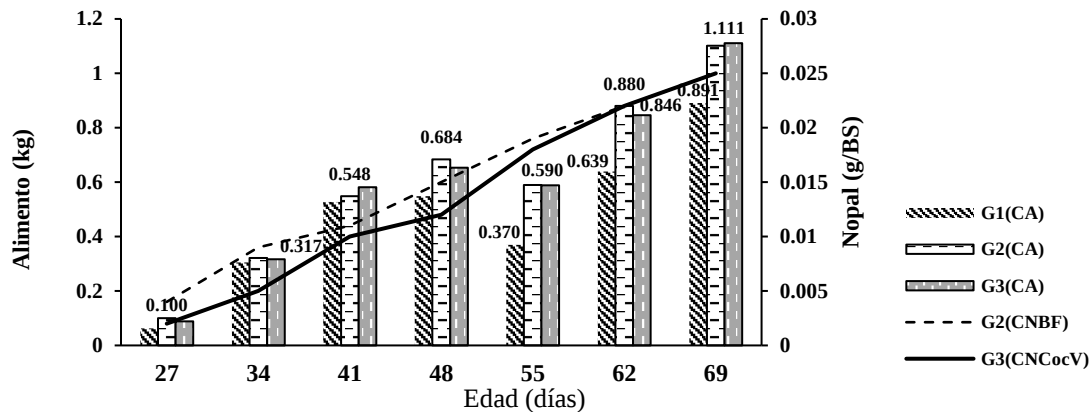
G1= Testigo; G2= Nopal en BF; G3= Nopal CocV; *= considerando el nopal en BF; E.E.=Error Estándar; ®=Comercial; MS=Materia seca.

Literales ^{a, b, c} indican diferencias ($p < 0.05$) entre promedios dentro de fila

En cuanto al consumo de alimento total entre los grupos evaluados, este fue mayor ($p < 0.05$) en los grupos que consumieron nopal: 29.3 y 29.1 kg de MS/lechón para el G2 y G3, respectivamente (Tabla 2). Respecto a la dinámica del consumo de AC/lechón, esta mostró incrementó ($p < 0.05$) en los tres grupos en las primeras cuatro semanas de la fase experimental (Figura 1); reduciéndose 32.5, 13.7 y 9.8% para el G1, G2 y G3, respectivamente en la quinta semana e incrementándose ($p < 0.05$) a partir de la sexta semana de la fase experimental; culminado dicha fase con un consumo de AC de 1.111 kg/día/lechón en el G2 y G3 (Figura 1).

En la dinámica del consumo de nopal en BS/día/lechón, se observó que, el G3 mostró los menores consumos ($p < 0.05$) durante las primeras cinco semanas de la fase experimental y, a partir de la sexta semana, dicho consumo fue similar ($p > 0.05$) en ambos grupos (G2 y G3); culminando con un consumo de nopal (BF o CocV) de 25 g en BS/día/lechón (Figura 1).

LA ADICIÓN DE NOPAL (*O. FICUS-INDICA*) EN BASE FRESCA Y COCIDO A LA DIETA DE LECHONES POSTDESTETE SOBRE LA EXPRESIÓN DE CITOCINAS PROINFLAMATORIAS, BACTERIAS Y VELLOSIDADES INTESTINALES Y EL EFECTO SOBRE SU DESEMPEÑO PRODUCTIVO



G1= Testigo; G2= Nopal en BF; G3= Nopal CocV; CA= Consumo de alimento comercial; CN= Consumo de nopal (*O. ficus-indica*); BS= Base seca; BF= Base fresca; CocV= Coccido al vapor

Figura 1. Medias de mínimos cuadrados para consumo (kg/día) de alimento comercial y nopal en BS de lechones en fase de destete-iniciación de acuerdo con el grupo y semana

En relación con la GP promedio de los lechones analizados, esta fue mayor ($p < 0.05$) en los lechones que consumieron nopal (338 y 346 g/día/lechón para el G2 y G3, respectivamente) vs. G1 (Tabla 3).

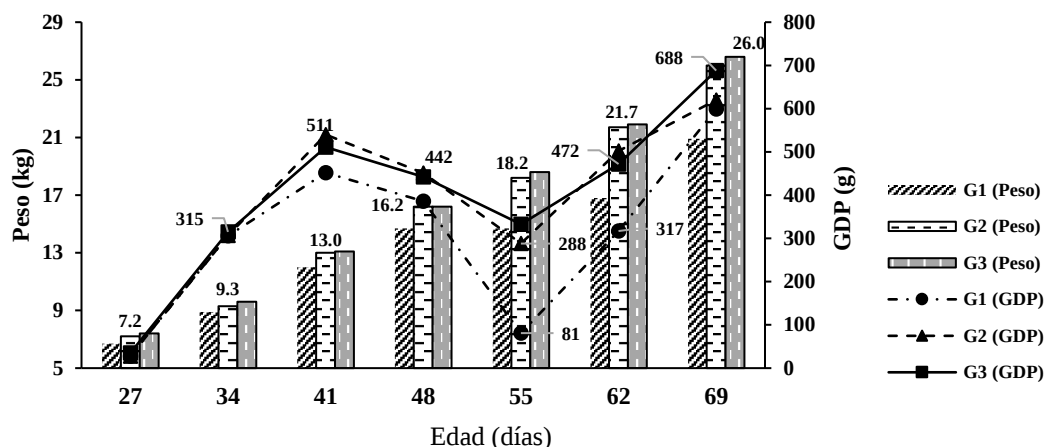
Tabla 3. Medias de mínimos cuadrados para parámetros de crecimiento del lechón durante la etapa de destete-iniciación de acuerdo con el grupo

Variable	Grupo			E.E.
	G1	G2	G3	
Peso inicial (kg)	6.7 ^a	7.1 ^a	7.2 ^a	0.64
Peso final (kg)	20.9 ^a	26.0 ^b	26.6 ^b	0.65
Ganancia de peso/día (g)	290 ^a	385 ^b	395 ^b	0.02
Índice de Conversión Alimenticia (kg)	1.7 ^a	1.4 ^b	1.4 ^b	0.08

G1= Testigo; G2= Nopal en BF; G3= Nopal CocV; E.E.=Error Estándar.

Literales ^{a, b, c} indican diferencias ($p < 0.05$) entre promedios dentro de fila

Al analizar la dinámica de la GP/semana durante la fase experimental, se observó que esta fue de forma ascendente en el G2 y G3; pero, en el G1, fue diferente ($p < 0.05$): las primeras tres semanas la GP ascendió, posteriormente se detuvo (cuarta y quinta semana) y a partir de la sexta la GP se volvió a incrementar (Figura 2); dinámica que impactó el peso final de los lechones y el IC (Tabla 4): peso mayor y mejor CA ($p < 0.05$) en lechones del G2 y G3 vs. G1 (Tabla 3; Figura 1).



G1= Testigo; G2= Nopal en BF; G3= Nopal CocV; GDP= Ganancia diaria de peso

Figura 2. Medias de mínimos cuadrados para peso (kg) semanal y ganancia diaria de peso (g) de lechones en fase de destete-iniciación de acuerdo con edad del lechón

Para el caso de los resultados del largo las vellosidades intestinales (LVI), estas fueron mayores en la porción del Duodeno ($p < 0.05$) de los lechones del G3 (403.2 μm); en el Yeyuno fueron mayores ($p < 0.05$) en los lechones del G2 (403.2 μm) y, en la porción del Íleon, el G1 (289.3 μm) presentó un largo de vellosidad similar ($p > 0.05$) con relación a G2 y G3; en donde, G3 (291.9 μm) presentó un LVI mayor ($p < 0.05$) vs G2 (279.4 μm), respectivamente (Tabla 4).

Tabla 4. Medias de mínimos cuadrados para indicadores de glucosa sanguínea, largo de vellosidades intestinales y UFC Gram positivas en intestino del lechón durante la etapa de destete-iniciación de acuerdo con el grupo

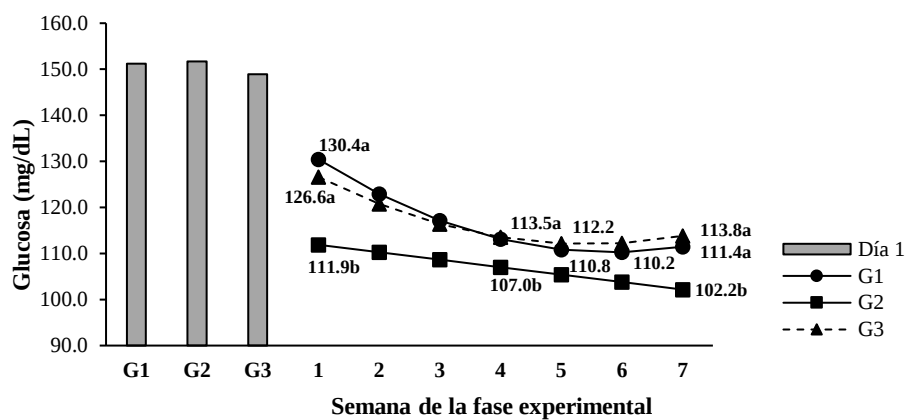
Variable	Grupo			
	G1	G2	G3	E.E.
Glucemia, mg/dL				
Día 1 de la FE	151.2 ^a	151.7 ^a	148.9 ^a	2.6
Por semana en FE	119.7 ^a	112.1 ^b	119.6 ^a	1.2
Largo de Vellosidades, µm				
Duodeno	287.6 ^a	300.2 ^a	403.2 ^b	14.6
Yeyuno	360.5 ^a	403.2 ^b	388.3 ^a	14.6
Íleon	289.3 ^{ab}	279.4 ^a	291.9 ^b	14.6
Bacterias en intestino				
UFC/mL Log ₁₀ Gram positivas	7.0 ^a	8.0 ^b	7.5 ^c	0.05

G1= Testigo; G2= Nopal en BF; G3= Nopal CocV; E.E.=Error Estándar.

Literales ^{a, b, c} indican diferencias ($p < 0.05$) entre promedios dentro de fila

En relación con las concentraciones de GLU, se observó lo siguiente: en el día uno de la fase experimental, los promedios fueron similares ($p > 0.05$) en los tres grupos (148.9 a 151.7 mg/dL de glucosa/lechón) (Tabla 6 y Figura 1); en el día 7, la GLU disminuyó en los tres grupos; siendo menor ($p < 0.05$) en los lechones del G2 (112.1 mg/dL) (Figura 3);

al final de la fase experimental, el descenso de GLU fue más pronunciado en el G2 (102.2 mg/dL/lechón).



G1= Grupo Testigo; G2= Grupo Nopal en base fresca; G3= Nopal cocido al vapor
 Literales a, b indican diferencias ($p < 0.05$) entre promedios dentro de semana

Figura 3. Medias de mínimos cuadrados para la glucemia de los lechones de acuerdo con el grupo y semana

Finalmente, se pudo establecer que las UFC de bacterias grampositivas en el contenido intestinal fue diferente ($p < 0.05$) en los tres grupos analizados; siendo el G1, quien presentó el valor menor (7.0 UFC_{Log10}/mL) (Tabla 4).

DISCUSIÓN

El estrés generado en el lechón al comienzo de la fase de destete-iniciación es uno de los procesos más críticos que el cerdo enfrenta en un sistema de producción porcina. Puesto que, el destete implica que el lechón se adapte bruscamente a diversos factores conductuales, ambientales y nutricionales, principalmente (Mota *et al.*, 2014). Ello implica que el estrés postdestete predisponga a la pérdida de la salud del sistema digestivo de estos animales, ocasionando daños que impactan negativamente el desarrollo de los animales, los costos de producción y la futura rentabilidad del sistema (Sieminska y Pejsak, 2022).

El estrés postdestete deprime el consumo voluntario de los lechones; pero, el consumo de nopal (BF o CocV) estimula el apetito en estos animales, ello de acuerdo con lo observado en esta investigación (Tabla 2); ello, podría atribuirse a la disminución de GLU (Figura 3, Tabla 4) por efecto de la fibra dietética contenida en esta cactácea (Liu *et al.*, 2016). Asimismo, el calcio contenido en el nopal ($2,836.00 \pm 157.71 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$, MS) promueve la modulación de la secreción de insulina y, en consecuencia, influye sobre la hormona de crecimiento y metabolismo energético del lechón al regular la glucemia, lo cual, podría

promover la síntesis de glucógeno, misma que funge como fuente de energía para la producción y mantenimiento celular del musculo (Villela *et al.*, 2014).

Los consumos mayores ($p < 0.05$) de alimento voluntario en lechones que consumieron nopal como parte de su dieta (Tablas 2; Figura 1) vs el grupo testigo, concuerda con Paillacho *et al.* (2022) y Caicedo *et al.* (2019) quienes, al adicionar insumos no convencionales, ricos en fibra, en la dieta de lechones reportaron consumos mayores a los del grupo testigo. Sin embargo, estos investigadores reportan consumos de 400.8 y 340.0 g/día, respectivamente; consumos estos menores a los observados en los lechones del G2 y G3 (Tabla 2). En este sentido, este mayor consumo de AC en G2 y G3 se reflejó en el incremento de la GDP/lechón; ganancia promedio incluso superior a lo reportado por Arnaldo-Portillo *et al.* (2021) (258 g/día); pero, similares (410 g/día) a lo observado por Martínez *et al.* (2022).

El mejor comportamiento en consumo de AC y GDP en lechones que consumieron la dieta adicionada con nopal (BF o CocV) podrían ser atribuidos a la fibra dietética contenida en el nopal, puesto que se ha demostrado que esta incrementa la secreción de enzimas digestivas y, con ello, se favorece el contacto entre sustrato-enzima (Mateos *et al.*, 2007; Bosse y Pietsch, 2016). Además, se ha establecido que las pectinas (fibra soluble) contenidas en el nopal, conforman una biopelícula y, con ello, encapsulan los lípidos del bolo alimenticio y disminuyen la motilidad del TGI y por consiguiente la velocidad de tránsito del bolo alimenticio por el TGI es menor (Liu *et al.*, 2016), fenómeno que provoca mayor eficiencia del proceso de digestión y de absorción (Corte *et al.*, 2011).

Aunado a lo anteriormente descrito, la fibra podría favorecer la liberación de insulina (Corte *et al.*, 2011), provocando la disminución de la GLU (Figura 1) (Ordaz-Ochoa *et al.*, 2017), y con ello, intervenir en el estímulo de la producción de hormona del crecimiento (Etherton, 2009) e incrementar la absorción de aminoácidos y el anabolismo de proteínas en músculos (Barretero-Hernández *et al.*, 2010). Asimismo, la fibra no digerible puede ser fermentable y producir -a nivel íleocecal- ácidos grasos de cadena corta (AGCC); los cuales, proveen de energía a las células del intestino delgado y provocar un efecto benéfico a la microbiota intestinal por la disminución del pH (Cordero y González-Ortiz, 2022); inhibiendo con ello, el crecimiento de bacterias patógenas y favoreciendo a la bacterias benéficas (Tabla 4) (Cajarville *et al.*, 2017; Merino *et al.*, 2021), aspectos que

podrían estimular la regeneración del epitelio intestinal (Tabla 4) (Agyekum y Nyachoti, 2017; Sánchez-Torres *et al.*, 2022).

La importancia del mantenimiento de la integridad del epitelio intestinal (vellosidades intestinales) radica en el aseguramiento de la absorción de nutrientes y el rendimiento productivo de los lechones en la fase destete-destete-iniciación (de Haro, 2015). Aspecto que se observó en la presente investigación (Tabla 2, 3 y 4; Figura 1, 2 y 3). En este sentido, el nopal posee metabolitos secundarios de naturaleza antioxidante, mismos a los que se les atribuyen propiedades antiinflamatorias (Caicedo *et al.*, 2019) y, debido a ello, se pudo observar mejoras en el LVI y en el desempeño del crecimiento de los lechones de los grupos a los que se les adicionó nopal (BF o CocV) (Tablas 3 y 4; Figura 2). Aspecto que concuerda con lo señalado por Tokach *et al.* (2014): la integridad del TGI mejora el desempeño productivo de los cerdos en fase de destete-destete-iniciación.

La eficiencia de la fase de destete-iniciación se refleja principalmente en la GDP y en ICA de los lechones. Aspecto que Benítez-Meza *et al.* (2015) confirmaron al observar una ganancia de peso/día entre 625 y 659 g al finalizar dicha etapa; rango alcanzado en el G2 y G3 (Tabla 3; Figura 2). En lo que respecta al ICA, Calderón-Quispe *et al.* (2017) refieren que, en la fase de destete-iniciación, este indicador se encuentra entre 1.9:1 y 2.1:1. Índices menores a los observados en el G2 y G3 (Tabla 3); ello, posiblemente debido a los beneficios obtenidos al consumir la dieta adicionada con nopal en BF o CocV.

CONCLUSION

La adición del 1% de *O. ficus-indica* tanto en base fresca o cocido a vapor en la dieta de lechones durante su etapa de destete-iniciación (6-25 kg) regulan los niveles de glucemia sanguínea y promueven la integridad de las vellosidades intestinales y el crecimiento de bacterias intestinales Gram positivas, lo cual genera incremento del consumo voluntario de alimento, mayor ganancia de peso y mejora la eficiencia alimenticia. Sin embargo, la inclusión de nopal en BF a la dieta de lechones en etapa de destete-iniciación requiere de menor gasto de energía; ello, si se compara con el gasto de energía (gas LP) al someter el nopal a la cocción por vapor.

BIBLIOGRAFÍA

- Achon, T. M. M., González, G. P. y Varela-Moreiras, G. (2018). Criterios de armonía funcional entre gastronomía y salud: una visión desde la comunidad científica. *Nutrición Hospitalaria*, 35(4), pp. 75-84.
- Agyekum, A.K. & Nyachoti, C.M. (2017). Nutritional and Metabolic Consequences of Feeding High-Fiber Diets to Swine: A Review. *Animal Nutrition and Feed Science*, 3(5), pp. 716-725.
- Barretero-Hernández, R., Galyean, M. L. & Vizcarra, J. A. (2010). The effect of feed restriction on plasma ghrelin, growth hormone, insulin, and glucose tolerance in pigs. *The Professional Animal Scientist*, 26(1), pp. 26-34. DOI: 10.15232/S1080-7446(15)30555-6
- Benítez-Meza, A., Gómez-Gurrola, A., Hernández-Ballesteros, J., Navarrete-Méndez, R. y Moreno-Flores, L. (2015). Evaluación de parámetros productivos y económicos en la alimentación de porcinos en engorda. *Abanico Veterinario*, 5(3), pp. 36-41. ISSN 2448-6132.
- Blanch, A. (2015). Aplicación de probióticos, prebióticos y simbióticos en porcino. *nutriNews*, pp. 2-8.
- Bosse, A. y Pietsch, M. (2016). La fibra en la nutrición animal. *European Union AgriMedia*, pp. 1-76. ISBN 978-3-86263-130-8.
- Breed, R. S. (1911). The determination of the number of bacteria in milk by direct microscopical examination. *Zentr. Bakt. Parasitenk.*, 2(30). pp. 337-40.
- Caicedo, W., Chinque, D. M. & Grefa, V. J. (2022). Phytobiotic additives and their effect on the productive performance of pigs. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 56(2), pp. 1-15. ISSN 0864-0408.
- Caicedo, W., Pérez, M., Sánchez, J., Flores, A. y Duchitanga, E. (2019). Contenido de fenoles totales y actividad antioxidante del follaje de anís silvestre (*Piper auritum* Kunth) y su efecto nutracéutico para cerdos en postdestete. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 30(4), pp. 1470-1480. <https://dx.doi.org/10.15381/rivep.v30i4.17264>.
- Cajarville, C., Brambillasca, S. y Zunino, P. (2017). Utilización de prebióticos en monogástricos: aspectos fisiológicos y productivos relacionados al uso de subproductos de agroindustrias y de pasturas en lechones. *Revista de Porcicultura Iberoamericana*, 1(2), pp. 1-11.
- Calderón-Quipe, V., Churacutipa-Mamani, M., Salas, A., Barriga-Sánchez, M. y Aranibar, M. J. (2017). Inclusión de Ensilado de Residuos de Trucha en el Alimento de Cerdos y su Efecto en el Rendimiento Productivo y Sabor de la Carne. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 28(2), pp. 265-274. ISSN 1682-3419.
- Contreras-Padilla, M., Gutiérrez-Cortez, E., Valderramas-Bravo, M. C., Rojas-Molina, I., Espinosa-Arbeláez, D. G., Suárez-Vargas, R. & Rodríguez-García, M. E. (2012). Effects of Drying Process on the Physicochemical Properties of Nopal Cladodes at Different Maturity Stages. *Plant Foods for Human Nutrition*, 67, pp. 44-49.

- Corte, O. L. Y., Martínez, F. H. E. y Ortiz, A. R. (2011). Efecto del consumo de la fibra dietética en la expresión cuantitativa del receptor de butirato GPR43 en colon de ratas. *Nutrición Hospitalaria*, 26(5), pp. 1052-1058.
- de Haro, G. M. P. (2015). *Efecto de los Aceites Esenciales de Plantas Aromático-Medicinales en la Fase de Transición de Animales Monogástricos*. [Tesis Doctoral] Universidad de Murcia-Facultad de Veterinaria, pp. 1-337.
- Etherton, T. D. (2009). ASAS Centennial Paper: Animal growth and development research: Historical perspectives. *Journal of animal science*, 87(9), pp. 3060-3064. DOI:10.2527/jas.2009-1805
- Gaitán-Lemus, S. B., Ordaz-Ochoa, G., Val-Arreola, D., Martínez-Flores, H. E., Pérez-Sánchez, R.E. & Ortiz-Rodríguez, R. (2017). Diet supplemented with nopal (*Opuntia ficus-indica* L.) modifies productive behavior and blood profile in pigs. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 17(1), pp. 39-50. DOI: 10.5154/r.rchsza.2017.11.011.
- Gómez-Eguílaz, M., Ramon-Trapero, J. L., Pérez-Martínez, L., Blanco, J. R. (2019). El eje microbiota-intestino-cerebro y sus grandes proyecciones, *Revista de Neurología*, 68(03), pp. 111-117. DOI: 10.33588/rn.6803.2018223
- Gómez-Tenorio, G., Rebollar- Rebollar, S., Hernández-Martínez, E. y Guzmán-Sori, E. (2011). Efecto de los aranceles en la competitividad de la porcicultura mexicana. *Tropical and Subtropic Agroecosystems*, 14(1), pp. 537-542. ISSN 1870-0462.
- González, A., Figueroa, V., Bentancur, O. y Astigarraga, L. (2022). Efecto de la fuente de fibra en la digestibilidad y la retención de nitrógeno en cerdos, *Archivos de Zootecnia*, 71 (275), pp. 164-171.
- Heimendahl, E. V., Breves, G., & Abel, H. J. (2009). Fiber-related digestive processes in three different breeds of pigs, *Journal of animal science*, 88(3), pp. 972-981. DOI: 10.2527/jas.2009-2370
- Hernández-López, S. H., Rodríguez-Carpena, J. G., Lemus-Flores, C., Grageola-Nuñez, F. & Estévez, M. (2016). Avocado waste for finishing pigs: Impact on muscle composition and oxidative stability during chilled storage, *Meat Science*, 116, pp. 186-192. DOI: 10.1016/j.meatsci.2016.02.018.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). Anuario Estadístico del Estado de Michoacán, pp. 45-50.
- Li, Y., Liu, H., Zhang, L., Yang, Y., Lin, Y., Zhou, Y., Fang, Z., Che, L., Feng, B., Xu, S., Li, J. & Wu, D. (2020). Maternal Dietary Fiber Composition during Gestation Induces Changes in Offspring Antioxidative Capacity, Inflammatory Response, and Gut Microbiota in a Sow Model, *International Journal of Molecular Sciences*, 21(1), pp. 1-18. doi: 10.3390/ijms21010031.
- Littell, R. C., Henry, P. R. & Ammerman, C. B. (1998). Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures, *Journal of Animal Science*, 76, pp. 1216-1231. DOI: 10.2527/1998.7641216x.
- Liu, Q., Zhang, Q. M., Zhang, Z. J., Zhang, Y. J., Zhang, Y. W., Chen, L., ... & Zhuang, S. (2016). Effect of fiber source and enzyme addition on the apparent digestibility of nutrients and

- physicochemical properties of digest in cannulated growing pigs, *Animal Feed Science and Technology*, 216, pp. 262-272. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2016.04.002.
- López-Rivera, R. R., Gamboa-Castañeda, R. y Lorez-Díaz F. D. (2021). Inclusión de microorganismos eficientes en la dieta de crías porcinas hasta el destete, *Agrisost*, 24(2), pp. 1-9. ISSN-e: 1025-0247. DOI: 10.5281/zenodo.7391322.
- Mateos, G. G., Lázaro, R., Gonzalo-Alvarado, J. M., Jiménez, E. y Vicente, B. (2007). Efectos de la fibra dietética en piensos de destete-iniciación para pollitos y lechones, *XXII CURSO DE ESPECIALIZACION FEDNA*, pp. 39-66. ISBN 84-611-2965-2
- Merino, R. J. A., Taracena, P. S., Díaz, G. E. J. y Rodríguez, WFL. (2021). Microbiota intestinal: “El órgano olvidado”, *Acta Medica Grupo Ángeles*, 19(1), pp. 92-100. DOI: <https://dx.doi.org/10.35366/98577>.
- Mota, R. D., Roldán, S. P., Pérez, P. E., Martínez, R. R., Hernández-Trujillo, E. y Trujillo, O. M. E. (2014). Factores estresantes en lechones destetados comercialmente, *Veterinaria México*, pp. 37-51. ISSN: 0301-5092.
- Mota, R. D., Roldán, S. P., Pérez, P. E., Martínez, R. R., Hernández-Trujillo, E. y Trujillo, O. M. E. (2014). Factores estresantes en lechones destetados comercialmente, *Veterinaria México*, pp. 37-51. ISSN: 0301-5092.
- Ordaz, G., Juárez, A., López, M., Martínez, H. E., Pérez, R. E. & Ortiz, R. (2021). Opuntia ficus-indica as a supplement for gilts in late gestation and lactation: effects on biochemical parameters and voluntary feed intake, *Journal of Applied Animal Research*, 49(1), pp. 404-412. DOI: <https://doi.org/10.1080/09712119.2021.1995391>.
- Ordaz-Ochoa, G., Juárez-Caratachea, A., Pérez-Sánchez, R. E., Román-Bravo, R. M. & Ortiz-Rodríguez, R. (2017). Effect of spineless cactus intake (*Opuntia ficus-indica*) on blood glucose levels in lactating sows and its impact on feed intake, body weight loss, and weaning-estrus interval, *Tropical Animal Health and Production*, 49, pp. 1025-1033. DOI: 10.1007/s11250-017-1295-7
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), (2016), Boletín de agricultura familiar para América Latina y el Caribe. ISSN: 2312-1610.
- Ortiz, R., Orozco, A., Ordaz, G., López, M. & Pérez, R. E. (2019). Effect of the addition of cactus (*O. ficus-indica*) to the lactating sows' diet on piglet development at lactation and post-weaning, *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research*, 6(3), pp. 290-299. DOI: 10.5455/javar. 2019.f347.
- Ortiz-Rodríguez, R., Ahumada-Garcini, J. T., Pérez-Sánchez, R. E., García-Saucedo, P. A., Martínez-Flores, H. E. & Val-Arreola, D. (2022). Evaluation of physicochemical changes of Nopal (*Opuntia ficus-indica*) at different steam cooking times, *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 24, pp. 242-253. DOI: <https://doi.org/10.56890/jpacd.v24i.436>.
- Pari, L. & Latha, M. (2005). Antidiabetic effect of scopolia dulcis: Effect on lipid peroxidation in streptozocin diabetes, *General Physiology and Biophysics*, 24, pp. 13-26.
- Parra-Alarcón, E. A., Hijuitl-Valeriano, T. J., Mariscal-Landín, G. & Reis de Souza, T. C. (2022). Potato protein concentrate: a possible alternative to the use of antibiotics in diets for

- weaned piglets. Review, *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 13(2), pp. 510-524. DOI: <https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i2.5980>.
- Pinzón, G. A. D., Sandoval, H. A. G., Rivera, D. P. A., Gómez, C. D. E. y Gómez, A. C. J. (2017). Determinación colorimétrica de glucosa y consumo de glucosa en cultivos de células adiposas 3T3-L1. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 51(2), pp. 195-202. ISSN 1851-6114.
- Sánchez-Torres, L., Macias-Flores, M., Gutiérrez-Arenas, D., Arredondo-Castro, M., Valencia-Posadas, M., Ávila-Ramos, F. (2022). Fibra como prebiótico para aves de producción: una revisión, *Abanico Veterinario*, 12, pp. 1-12. DOI: <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2022.24>. ISSN 2448-6132.
- Sieminska, I. & Pejsak, Z. (2022). Impact of stress on the functioning of the immune system, swine health and productivity, *Medycyna Weterynaryjna*, 78(11), pp. 541-547. DOI: [dx.doi.org/10.21521/mw.6673](https://doi.org/10.21521/mw.6673).
- Sieminska, I. & Pejsak, Z. (2022). Impact of stress on the functioning of the immune system, swine health and productivity, *Medycyna Weterynaryjna*, 78(11), pp. 541-547. DOI: [dx.doi.org/10.21521/mw.6673](https://doi.org/10.21521/mw.6673).
- Soraci, A. L., Amanto, F., Harkes, R., Pérez, D. S., Martínez, G., Diéguez, S. N. y Tapia, M. O. (2010). Uso estratégico de aditivos: impacto sobre el equilibrio y salud gastrointestinal del lechón, *Analecta Veterinaria*, 30(1), pp. 42- 53.
- Tokach, M. D., Dritz S. S., Goodband, R. D., DeRouchey J. M. y Woodworth, J. C. (2014). Nuestro enfoque de la nutrición de los lechones, *XXX CURSO DE ESPECIALIZACION FEDNA*, pp. 145-155.
- Villela, D. G., Giovana, B. A., Damiao, B. C. y Andrade, V. N. (2014). Composicao bromatológica, mineral e fatores antinutricionais da palma forrageira, *Tecnología y Ciencia Agropecuaria*, 8(3), pp. 51-55.

Capítulo III

EFFECTO DE LA ADICION DE NOPAL (*O. FICUS INDICA*) A LA DIETA DE LECHONES POSTDESTETE SOBRE EL CONSUMO VOLUNTARIO DE ALIMENTO Y SU RELACION CON LA MORFOMETRIA INTESTINAL

RESUMEN

El objetivo fue evaluar el efecto de la adición de nopal (*O. Ficus Indica*) en base fresca (BF) y cocido a vapor (CocV) a la dieta de lechones postdestete sobre el consumo voluntario (CVol) de alimento y su relación con la morfometría intestinal. Se utilizaron 60 lechones destetados (21 ± 2 días de edad y 6.9 ± 1.1 kg de peso) y se formaron tres grupos (n=20 lechones/grupo): Grupo Testigo (G1), lechones que recibieron alimento comercial (AC) específico para la fase de destete-iniciación (FI); G2, grupo que recibió AC para la FI más la adición del 1% de nopal en BF y G3, lechones sometidos a la dieta (AC para la FI) adicionada con 1% de nopal CocV por 4 minutos. Se evaluó: CVol de AC y de nopal, largo (LVI) y ancho (AVI) de vellosidades intestinales (VI), profundidad de las criptas de Lieberkühn (PCL) y relación cripta/vellosidad (RCV) del intestino delgado. La información recabada se analizó estadísticamente a través de mediciones repetidas y mediante un modelo de efectos fijos. Las diferencias entre grupos se obtuvieron a través de medias de mínimos cuadrados a un $\alpha=0.05$. El CVol de AC fue mayor ($p<0.05$) en G2 y G3: 528 y 523 g/día/lechón, respectivamente. El CVol de nopal fue mayor ($p<0.05$) en el G2 (13 g de MS de nopal/día/lechón). El LVI fue mayor ($p<0.05$) en duodeno y yeyuno del G2 y G3: duodeno, 321.48 y 346.86 μm , respectivamente; yeyuno, 434.23 y 412.69 μm , respectivamente. El AVI fue mayor ($p<0.05$) en duodeno y yeyuno en G2 y G3 (147.02 y 146.7 μm , respectivamente) vs G1. La PCL fue mayor ($p<0.05$) en duodeno e íleon de G3 (563.53 y 490.24 μm , respectivamente) vs G1 y G2. La RCV fue menor ($p<0.05$) en duodeno del G2 y G3 (1.23:1 y 1.66:1, respectivamente) vs G1 (2.11:1); en yeyuno no se encontraron diferencias ($p>0.05$) entre grupos; en íleon, fue mayor ($p<0.05$) en G3 (1.63:1) vs G1 y G2. La adición al 1% de *O. ficus-indica* en BF o CocV a la dieta de lechones postdestete mejora el consumo voluntario de alimento y contribuye en el mantenimiento de la integridad intestinal.

Palabras clave: Vellosidades intestinales, alimentación, destete, salud intestinal.

INTRODUCCION

El bajo consumo de alimento durante los primeros días postdestete es un factor que predispone al lechón a presentar diarreas y un retraso en el crecimiento de este durante la etapa de destete-iniciación (6-30 kg) (Sieminska y Pejsak, 2022). Inmediatamente después del destete, los lechones se enfrentan a un cambio drástico en su dieta, pasando de la leche materna y alimento sólido (pre-iniciadores) a una totalmente sólida, lo que puede provocar un deterioro en la estructura y función del tracto gastrointestinal (TGI) (Mota *et al.*, 2014). Dichos fenómenos originan atrofia de las vellosidades intestinales y aumento de las criptas de Lieberkühn; lo cual, provoca ineficiente actividad enzimática en el borde del cepillo y capacidad de absorción disminuida (Lindberg, 2014).

La importancia de las vellosidades intestinales radica en que estas aumentan la superficie de absorción de nutrientes; por lo cual, son esenciales para maximizar la eficiencia digestiva y garantizar el desarrollo inmune óptimo del lechón. Por ello, es fundamental el mantenimiento de la integridad intestinal para reducir el riesgo de problemas sanitarios en lechones postdestete (Apolo y Rodríguez, 2021). No obstante, además de la integridad del TGI, se debe promover el crecimiento y actividad de la microbiota intestinal. Ello se debe a que las diversas actividades que desempeña la microbiota ayuda a proteger y regenerar las vellosidades intestinales mejorando la capacidad del intestino para absorber nutrientes y promover el crecimiento en los lechones principalmente durante la etapa de destete-destete-iniciación (6-30 kg). En este sentido, diversas investigaciones han demostrado que la implementación de estrategias nutricionales como lo es la inclusión de la fibra dietética promueve el crecimiento de poblaciones bacterianas intestinales; pues la fibra funge como sustrato (prebióticos) para la microbiota intestinal (Wang *et al.*, 2020; González *et al.*, 2022).

Recientemente, la inclusión de nopal (*O. Ficus-Indica*) en la alimentación porcina ha demostrado incrementar la eficiencia productiva de los cerdos (Gaitán *et al.*, 2017), puesto que, es una planta rica en fibra dietética, compuestos bioactivos y antioxidantes (Ortiz *et al.*, 2022) y estos compuestos, pueden impactar de forma positiva la salud intestinal de los lechones postdestete; particularmente, en el mantenimiento y regeneración de la integridad de la morfometría intestinal. Por ello, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la adición de nopal (*O. Ficus Indica*) en

base fresca y cocido a vapor a la dieta de lechones postdestete sobre el consumo voluntario de alimento y su relación con la morfometría intestinal.

MATERIAL Y METODOS

La investigación se realizó en un sistema tecnificado de producción porcina ciclo completo; ubicado en la comunidad de Isaac Arriaga, perteneciente al municipio de Puruándiro, Michoacán, México., dentro de las coordenadas 20.253301 N, 101.497144 W (INEGI, 2010).

Se utilizaron 60 lechones híbridos (50% Yorkshire-Landrace, 50% Duroc-Pietrain) destetados (ambos sexos), seleccionados al azar, con 21 ± 2 días de edad y con un peso de 6.9 ± 1.1 kg. Cada lechón fue identificado con un arete enumerado. Con el total de los lechones se formaron tres grupos ($n=20$ lechones/grupo), con dos repeticiones/grupo ($n=10$ lechones/repetición). Los grupos (G) fueron: G1 o Testigo, lechones que recibieron alimento comercial (AC) correspondiente a cada etapa productiva; G2, grupo de lechones que recibieron AC más la adición del 1% de nopal en base fresca (BF) y, G3, lechones sometidos a la dieta (AC) adicionada con 1% de nopal cocido a vapor (CocV) por 4 minutos (Tabla 1).

Tabla 1. Análisis fisicoquímico de las dietas y del nopal (*O. ficus-indica*)

Alimento comercial	Fase I	Fase II	Fase III	Fase IV
Proteína cruda %	25.18	24.46	23.23	20.31
Grasa cruda %	4.96	4.27	4.34	2.13
Fibra dietética %	6.59	6.57	7.94	9.19
Fibra insoluble %	21.80	30.55	25.65	15.97
Fibra soluble %	9.08	9.04	10.79	12.38
Cenizas %	7.41	6.48	5.91	4.37
Humedad %	5.26	7.41	6.03	9.68
Materia seca %	94.74	92.59	93.97	90.32
E.L.N %	50.59	50.81	52.55	54.33
Nopal (<i>Opuntia ficus-indica</i>)	Base Fresca	Cocido a vapor		
Humedad (%)	94.2 ^a ± 0.1	94 ^a ± 0.1		
Materia seca (g^{-100g} MS)	5.7 ^a ± 0.1	6.0 ^a ± 0.1		
Proteína (g^{-100g} MS)	14.2 ^a ± 0.1	17.6 ^b ± 0.1		
Lípidos (EE) (g^{-100g} MS)	2.3 ^a ± 0.1	1.6 ^b ± 0.1		
Extracto libre de Nitrógeno (g^{-100g} MS)	10.8 ^a ± 0.8	20.2 ^b ± 0.8		
Fibra Dietética (g^{-100g} MS)	40 ^a ± 0.8	33.6 ^b ± 0.8		
Fibra Soluble (g^{-100g} MS)	7.5 ^a ± 0.4	14.5 ^b ± 0.4		
Fibra Insoluble (g^{-100g} MS)	31.5 ^a ± 0.7	19.0 ^b ± 0.7		
Cenizas (g^{-100g} MS)	27.8 ^a ± 0.02	20.1 ^b ± 0.02		

$\pm$ = Error estándar; Literales ^{a, b} indican diferencias ($P < 0.05$) dentro de fila.

Los lechones fueron confinados en jaulas elevadas (10 lechones/jaula), equipadas con un comedero® (acero inoxidable) con seis bocas de alimentación y capacidad para 60 kg de

alimento y dos bebederos automáticos tipo chupón; a los tres grupos de lechones se les proporcionó AC específico para cuatro fases de alimentación, desde el destete hasta los ≈ 20 kg (Tabla 1) y agua *ad libitum*. La ventilación y la temperatura (26°C) interna del área de destete se controlaron manualmente a través de cortinas.

Las fases de alimentación durante la etapa de destete-iniciación fueron: Fase 1, 0-7 días postdestete; Fase 2, 8-14 días postdestete; Fase 3, 15-28 días postdestete, en dichas fases se proporcionó el alimento (Preiniciador®) en forma de pellet; en la Fase 4 (29-49 días postdestete), el alimento proporcionado fue en harina. El suministro diario de AC/grupos se realizó a las 7:00 h, hora en la que se realizó la adición del 1.0% de nopal (BF o CocV). La adición del 1.0% de nopal (BF o CocV) fue con base al peso promedio semanal del lechón para ajustar la cantidad de nopal requerido por grupo.

La cantidad de nopal requerido se estimó semanalmente. Los cladodios de *O. ficus-indica* cosechados fueron de una edad aproximada de 90 días. Estos se recolectaron de la parcela de la Posta Zootécnica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia-UMSNH, ubicada en el municipio de Tarímbaro Michoacán, México., en el km 9.5 de la carretera Morelia-Zinapécuaro. Una vez cosechado el nopal, este se transportó y almacenó en la bodega de alimentos de la citada granja; después, se pesó diariamente la cantidad de cladodios en BF requeridos/grupo/día e inmediatamente se picaron en trozos de aproximadamente 1.0 cm³ y se mezclaron con la cantidad AC correspondiente/grupo (G2).

Para el caso del nopal CocV (G3), se realizó el mismo proceso para el G2 (hasta el picado); una vez picados los cladodios, los trozos se depositaron en una olla vaporera de uso doméstico (Vasconia®, capacidad de 5.0 L) y se sometieron a cocción a vapor a 100°C durante 4 minutos (Ortiz *et al.*, 2022). Transcurridos los 4 minutos de cocción, los trozos de nopal CocV se dejaron enfriar a temperatura ambiente para posteriormente mezclarse con la cantidad de AC a suministrar/día/grupo.

Se evaluó diariamente y en cada grupo el consumo voluntario (Cvol) de AC y de nopal y al término de la fase experimental, se determinó/grupo el largo (LVI) y ancho (AVI) de vellosidades intestinales (VI), la profundidad de las criptas de Lieberkühn PCL y la relación cripta/vellosidad (RCV) del intestino delgado.

El Cvol de AC/día y de nopal (BF o CocV)/día se determinó pesando (báscula digital SF-400®, capacidad de 5 kg) el rechazo de AC y de nopal (BF y CocV) y se le restó a la

cantidad suministrada/día. Para este procedimiento, antes de suministrar el alimento (AC, nopal en BF y CocV) correspondiente/grupo/día, se separó el nopal (BF o CocV) del AC mediante una malla metálica y se pesó por separado (báscula digital SF-400®, capacidad de 5 kg).

Para la evaluación de las vellosidades intestinales, así como de las criptas de Lieberkühn y su relación entre ambas (RCV), al término de la fase experimental, se eutanasiaron al azar dos cerdos/grupo; los cuales se tranquilizaron con Azaperona® (Sural, Chinoin, México) administrada a 20 mg/kg y se anestesiaron con Isoflourane® (Isoflorano USP (ISOSOL), Baxter Healthcare, Puerto Rico). Una vez anestesiado el lechón, se abrió cavidad abdominal para la colecta de tejido de duodeno, yeyuno e íleon (3 porciones/segmento de ≈5 cm). La muestra de cada sección intestinal fue lavada con solución salina y se fijaron por inmersión en solución de formalina al 10%. Al finalizar la obtención de las muestras, los lechones fueron eutanasiados con una sobredosis de Pentobarbital sódico® (Pisabental, PiSA Agropecuaria, México).

Las muestras de los segmentos de intestino fueron procesadas para estudios histológicos mediante la técnica de inclusión en parafina, los tejidos fueron procesados en un Histokinette Microm® ST 120, se realizaron cortes de 7 µm de espesor en un Microtomo Microm® HM 325, los cuales fueron teñidos con hematoxilina - eosina y, se realizaron 20 mediciones/segmento en todas las muestras obtenidas. Para la medición se utilizó un analizador de imágenes Leica® LAS V3.5 (Alemania) con un aumento de 4x para observar los parámetros morfométricos de la arquitectura intestinal.

La información recabada se analizó estadísticamente (previa transformación del consumo de nopal en BF o CocV en materia seca (MS)) a través de mediciones repetidas, mediante el siguiente modelo de efectos fijos (MIXED) (Littell *et al.*, 1998):

$$Y_{ijk} = G_i + S_j + G(S)_{ij} + E_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Variable respuesta: consumo de AC, consumo de nopal BF y CocV.

G_i = Efecto fijo del grupo, con el *i*ésimo grupo = G1, G2 y G3;

S_j = Efecto fijo de la semana, con la *j*ésima semana = 1, 2, 3, ... 7;

$G(S)_{ij}$ = Efecto fijo de la anidación grupo dentro de semana;

E_{ijk} = Error con NID~0, σ^2 e

La información recabada para el caso del LVI, ANV, PCL y RCV al final de la fase experimental, fue analizada estadísticamente a través del siguiente modelo de efectos fijos (MIXED) (Litell *et al.*, 1998):

$$Y_{ij} = \mu + P(S)_{ij} + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ijk} = Variable respuesta: IC, LVI y UFC;

P_i = Efecto fijo del grupo, con *i*ésima porción = duodeno, yeyuno e ileon.

G_j = Efecto fijo del grupo, con el *j*ésimo grupo = G1, G2 y G3;

$P(G)_{ij}$ = Efecto fijo de la anidación porción dentro de grupo;

E_{ijk} = Error con NID~0, σ^2 e

Las diferencias entre grupos fueron determinadas mediante medias de mínimos cuadrados (LsMeans, siglas en inglés) a un $\alpha=0.05$ (Litell *et al.*, 1998).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontró efecto de grupo ($p < 0.001$) y de la anidación grupo(semana) ($p < 0.0001$) sobre: consumo/día de AC y de nopal (BF y CocV). En cuanto al Cvol de AC en MS fue mayor ($p < 0.05$) en los grupos que consumieron nopal como parte de su dieta: 528 y 523 g/día/lechón, para el G2 y G3, respectivamente (Tabla 2). Mientras que, el consumo de nopal (BF o CocV) fue mayor ($p < 0.05$) en el G2: 13 g de MS de nopal/día/lechón (Tabla 2).

Tabla 2. Medias de mínimos cuadrados para parámetros consumo de alimento del lechón durante la etapa de destete-iniciación de acuerdo con el grupo.

Variable	Grupo			E.E.
	G1	G2	G3	
Consumo de alimento®/día (g)	446 ^a	563 ^b	558 ^b	0.004
Consumo de alimento® MS/día (g)	418 ^a	528 ^b	523 ^b	0.004
Consumo de nopal BF/día (g)	--	100 ^a	91.0 ^b	0.0003
Consumo de nopal MS/día (g)	--	13.0 ^a	12.0 ^b	0.0004
Consumo de alimento Total* (kg)	24.9 ^a	31.5 ^b	31.3 ^b	0.23
Consumo de alimento Total MS (kg)	23.2 ^a	29.3 ^b	29.1 ^b	0.21

G1= Testigo; G2= Nopal en BF; G3= Nopal CocV; *= considerando el nopal en BF; E.E.=Error Estándar; ®=Comercial; MS=Materia seca.

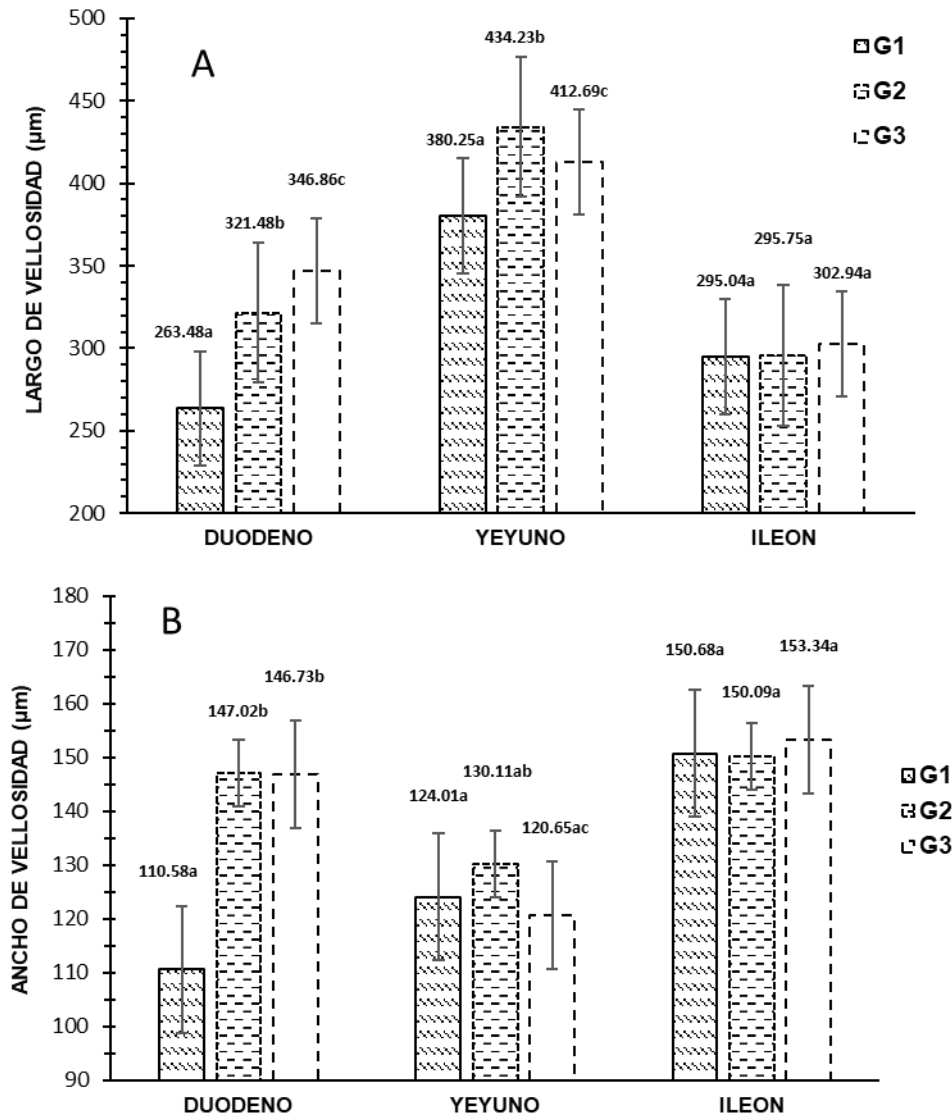
Literales ^{a, b, c} indican diferencias ($p < 0.05$) entre promedios dentro de fila

En cuanto al consumo de alimento total [AC (G1) o AC más nopal en BF o CocV (G2 y G3)], este fue mayor ($p < 0.05$) en los grupos que consumieron nopal: 29.3 y 29.1 kg de MS/lechón para el G2 y G3, respectivamente (Tabla 2). El mejor ($p < 0.05$)

comportamiento, en cuanto al consumo de AC, en los lechones que fueron adicionados al 1.0% con nopal como parte de su dieta, pudo estar influenciado por la fibra contenida en el nopal.

La fracción fermentable de la fibra del nopal provoca incremento en los procesos digestivos -digestión y absorción- (Ordaz *et al.*, 2017); aunado a ello, su contenido de calcio ($2,836.00 \pm 157.71 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$, MS) (Villela *et al.*, 2014) y su efecto en el incremento de la liberación de insulina, disminuye la glucemia y puede estimular la secreción de la hormona del crecimiento; aspecto crucial para evitar hipoglucemias y/o altas fluctuaciones de glucosa circulante que ocurren posterior al destete, afectando negativamente el apetito y la ingesta de alimento (Etherton, 2009; Ordaz *et al.*, 2019) de los lechones destetados. Así, la ingesta del nopal puede incidir en el control de la glucemia, en una adecuada liberación de insulina, en el equilibrio estable de energía del musculo y, provocar una sensación de apetito con mayor regularidad e intensidad den los animales que consumen esta cactácea (Loh *et al.*, 2017).

Respecto a la integridad de las vellosidades intestinales, en la presente investigación se observó efecto de grupo ($p < 0.05$) sobre el largo (LVI) y ancho (AVI) de las vellosidades, así como, sobre la profundidad de las criptas de Lieberkühn (PCL) y la relación cripta/vellosidad (RCV). En este sentido, el LVI fue mayor ($p < 0.05$) en las porciones correspondientes al duodeno en los lechones a los cuales se les adicionó nopal (BF o CocV) como parte de su dieta (G2: 321.48 y G3:346.86 μm); lo mismo sucedió en el yeyuno (G2:434.23 y G3:412.69 μm), ello comparado con los resultados observados en los lechones del grupo testigo (G1) (263.48 y 380.25 μm); con relación a íleon, el LVI fue similar en los tres grupos analizados ($p > 0.05$).



Literales a, b y c indican diferencias ($p < 0.05$) entre medias dentro de porción intestinal.
 G1= Grupo Testigo; G2= Grupo de lechones adicionados con nopal en BF; G3= Grupo de lechones adicionados con nopal CocV.

Figura 1. Medias de mínimos cuadrados para el Largo (A) y ancho (B) de las vellosidades intestinales de acuerdo con el grupo.

En cuanto al AVI, las diferencias entre grupos ($p < 0.05$) solo se encontraron en las porciones de duodeno y yeyuno, en donde los grupos adicionados con nopal (BF o CocV) presentaron un ancho superior (147.02 y 146.7 μm) vs el grupo testigo (110.58 μm). Referente a la porción del íleon, el AVI fue similar ($p > 0.05$) en todos los grupos analizados (295 a 302.94 μm).

Cesaria *et al.* (2005) y Agazzi *et al.* (2020) reportaron un largo y ancho de las vellosidades intestinales, de acuerdo con cada porción intestinal, como sigue: duodeno, 290-350 μm y 120-130 μm ; yeyuno, 290-400 μm y 100-130 μm e íleon, 250-310 μm y 100-140 μm ,

respectivamente. Medidas (μm) que fueron similares a las observadas en la presente investigación (Tabla 1). Dowley *et al.* (2023) han demostrado la importancia de la adición de alimentos ricos en compuestos bioactivos en la dieta y su efecto sobre la integridad intestinal. Aspectos que concuerdan con los hallazgos observados en el grupo de lechones que fueron adicionados con nopal (*O. ficus-indica*) como parte de su dieta (Figura 1).

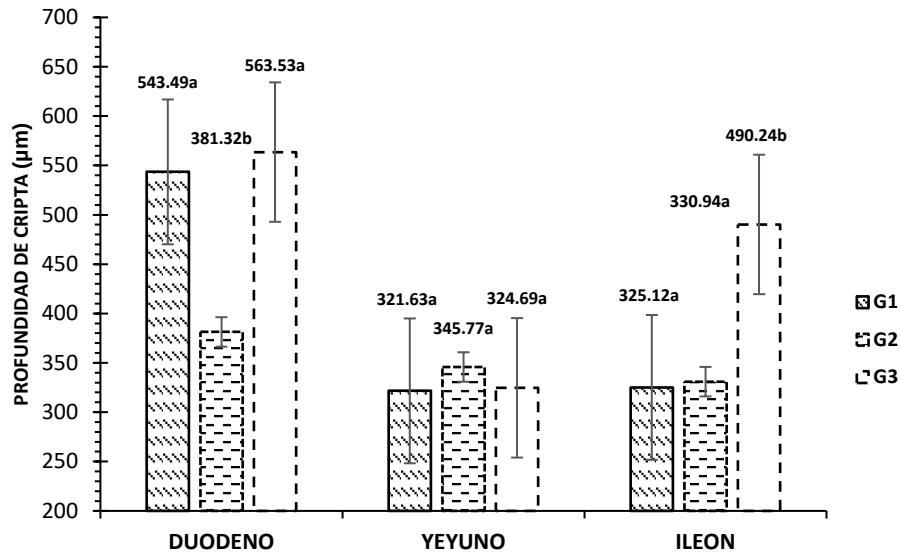
Apolo y Rodríguez (2021), establecieron que la altura y el ancho de las vellosidades intestinales, en cada una de sus porciones del intestino delgado, son de gran importancia para el mantenimiento de la salud intestinal, crucial en procesos de absorción y digestión de nutrientes. Sin embargo, derivado del estrés postdestete, es posible que exista una gran variabilidad con respecto a la altura y el ancho de las vellosidades a lo largo del intestino delgado. No obstante, la fracción de fibra soluble contenida en el nopal pudo haber favorecido el incremento de la secreción de moco intestinal, su hidratación y su viscosidad; lo cual, pudo favorecer el tiempo de contacto entre sustrato-enzimas y el tránsito intestinal (Lindberg, 2014) e influir en el crecimiento observado del largo y ancho de las vellosidades del intestino (Figura 1).

El adecuado mantenimiento de las vellosidades intestinales y su eficiente función digestiva está determinado por la barrera intestinal (criptas intestinales), en donde se encuentran las células madre responsables de la renovación celular y la regeneración de los tejidos intestinales. En este sentido, se encontró mayor ($p < 0.05$) profundidad de criptas de Lieberkühn (PCL) en duodeno de lechones del G1 vs G2 (Figura 2). Para el caso de G3, este presentó un aumento de PCL en las porciones de duodeno e íleon (563.53 y $490.24\mu\text{m}$) vs G1 y G2 (Figura 2).

El aumento de la profundidad de las criptas se debe a procesos inflamatorios crónicos del intestino y su origen, por lo general, es el estrés postdestete. De acuerdo con Santi-Devi y In-Ho (2021), los procesos inflamatorios pueden inducir cambios en la mucosa intestinal e interferir en la salud intestinal; puesto que, la inflamación crónica del intestino provoca la producción descontrolada y desordenada de células del intestino en un intento por renovar el epitelio y ello, a su vez, causa la disminución de la absorción intestinal (Jayaraman y Nyachoti, 2017).

Aun y cuando el aumento de la PCL se asocia a procesos patológicos, en ciertos casos el aumento de esta podría deberse a procesos de adaptación o protección del intestino ante estímulos estresantes (Quevedo *et al.*, 2020), tales como la regeneración acelerada de

célula epiteliales y el refuerzo de la mucosa con la finalidad de disminuir la inflamación y evitar que agentes infecciosos ingresen al sistema circulatorio (Chand *et al.*, 2019). Fenómeno que pudo presentarse en los cerdos que fueron alimentados con nopal CocV (G3), puesto que su comportamiento productivo e integridad intestinal fue optima e incluso superior a G1 (Tabla 1, Figura 1 y 2).

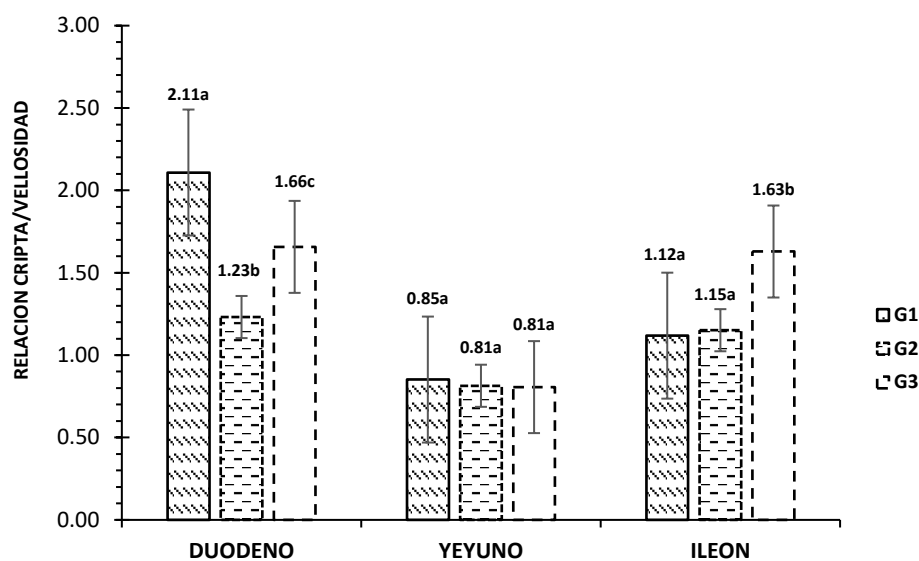


G1= Grupo Testigo; G2= Grupo de lechones adicionados con nopal en BF; G3= Grupo de lechones adicionados con nopal CocV

Literales a, b y c indican diferencias ($p < 0.05$) entre medias dentro de porción intestinal

Figura 2. Medias de mínimos cuadrados para profundidad de las criptas de Criptas de Lieberkühn de acuerdo con el grupo y porción intestinal.

Por último, se encontró que la relación criptas de Lieberkühn/vellosidades intestinales (RCV) en la porción del duodeno fue menor ($p < 0.05$) en G2 y G3 (1.23:1 y 1.66:1 criptas/vellosidades, respectivamente) en comparación con G1 (2.11:1 criptas/vellosidades); en yeyuno, la RCV fue similar ($p > 0.05$) en los tres grupos analizados (0.85:1 criptas/vellosidades en G1 y 0.81:1 criptas/vellosidades en G2 y G3); en íleon, fue mayor ($p < 0.05$) en G3 (1.63:1 criptas/vellosidades) en comparación con G1 y G2 (1.12:1 y 1.15:1 criptas/vellosidades), en estos últimos la RCV fue similar ($p > 0.05$) entre sí (Figura 3).



G1= Grupo Testigo; G2= Grupo de lechones adicionados con nopal en BF; G3= Grupo de lechones adicionados con nopal CocV.

Literales a, b y c indican diferencias ($p < 0.05$) entre medias dentro de porción intestinal.

Figura 3. Medias de mínimos cuadrados para relación cripta-vellosidades de acuerdo con el grupo y porción intestinal

AlMasri (2015) sugiere que, las consecuencias originadas por el estrés en lechones destetados (específicamente los cambios estructurales y funcionales del intestino delgado) son originados principalmente por el bajo consumo voluntario de alimento. Al respecto, Tang *et al* (2022) establecen que el equilibrio de la RCV es un indicativo de una adecuada regeneración del epitelio intestinal y una óptima capacidad de digestión y absorción a nivel del intestino delgado. En este sentido, Vallejos *et al* (2015) al adicionar ácido butírico en la dieta animal encontraron un mejor comportamiento de la RCV al incrementar el largo y ancho de las vellosidades intestinales y disminuir la profundidad de las criptas de Lieberkühn.

Ante los hallazgos de esta investigación, la adición del nopal a la dieta de lechones (G2 y G3) en la fase de destete-destete-iniciación promueve la salud intestinal (Figura 1, 2 y 3) de estos animales, ocasionando no solo incremento del consumo voluntario de alimento (Tabla 1) sino que también. Esta mejoría en la salud intestinal pudo deberse a la fermentación de la fibra -contenida en dicha cactácea-, lo cual incrementó la producción de ácidos grasos de cadena corta, como es el caso del butirato; el cual, funge como la vía principal de energía para las células intestinales (Cordero y González, 2022) y regeneración intestinal (Figura 1) y en consecuencia, mejorar la digestión y absorción de

nutrientes. Aspecto que se reflejó en el crecimiento de los lechones bajo la dieta adicionada con nopal (Tabla 1).

CONCLUSION

La adición al 1% de nopal (*O. ficus-indica*), independientemente de su presentación en base fresca o cocido a vapor, a la dieta de lechones postdestete no solo mejora el consumo voluntario de alimento, también contribuye en el mantenimiento de la integridad intestinal al promover el largo de las vellosidades intestinales, reducir la profundidad de las criptas de Lieberkühn y mantener en equilibrio la relación cripta/vellosidad, lo que provoca el constante recambio epitelial del intestino delgado. Aspectos que se ven reflejados en la mejora de las variables productivas (ganancia de peso e índice de conversión alimenticia) de la fase destete-destete-iniciación.

BIBLIOGRAFIAS

- Agazzi, A., Perricone, V., Omodei, Z. F., Sandrini, S., Mariani, E., Ren, J. X., Ferrari, A., Crestani, M., Xuan, N. T., Bontempo, V., Domeneghini, C. y Savoini, G. (2020). Los oligosacáridos mananos dietéticos modulan la respuesta inflamatoria intestinal y mejoran la altura de las vellosidades duodenales en lechones post destete Mejorando la eficiencia alimentaria. *Animals*. 10 (8), pp. 1-14. doi:10.3390/ani10081283.
- Apolo, A.G. y Rodríguez, S.D. (2021). Efecto de dos niveles de harina de laricato (*Vernonanthura patens*) sobre la respuesta productiva y morfometría intestinal en pollos de engorde. *Revista de Investigación Veterinaria del Perú*. 32(2), pp. 1-9. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v32i2.18385>.
- Chand, N., Khan, R. U., Mobashar, M., Naz, S., Rowghani, E., & Khan, M. A. (2019). Mannanligosaccharide (MOS) in Broiler Ration during the Starter Phase: 1. Growth Performance and Intestinal Histomorphology. *Pakistan Journal of Zoology*, 51(1).
- Cordero, G. y Gonzales, O. G. (2022). Nuevas estrategias en la utilización de la fibra y efectos en la función intestinal. *SUIS*. 188, pp. 10-13.
- Etherton, T. D. (2009). ASAS Centennial Paper: Animal growth and development research: Historical perspectives. *Journal of animal science*, 87(9), pp. 3060-3064. DOI:10.2527/jas.2009-1805.
- Gaitán-Lemus, S. B., Ordaz-Ochoa, G., Val-Arreola, D., Martínez-Flores, H. E., Pérez-Sánchez, R.E. & Ortiz-Rodríguez, R. (2017). Diet supplemented with nopal (*Opuntia ficus-indica* L.) modifies productive behavior and blood profile in pigs. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 17(1), pp. 39-50. DOI: 10.5154/r.rchsza.2017.11.011.
- González, A., Figueroa, V., Bentancur, O. y Astigarraga, L. (2022). Efecto de la fuente de fibra en la digestibilidad y la retención de nitrógeno en cerdos, *Archivos de Zootecnia*, 71 (275), pp. 164-171.

- Jayaraman, B. y Nyachoti C. M. (2017). Husbandry practices and gut health outcomes in weaned piglets: A review. *Animal Nutrition*. 3(3), pp. 205-211. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aninu.2017.06.002>.
- Lindberg, J. E. (2014). Fiber effects in nutrition and gut health in pigs. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 5(15), pp. 1-7. <https://doi.org/10.1186/2049-1891-5-15>.
- Littell, R. C., Henry, P. R. & Ammerman, C. B. (1998). Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures, *Journal of Animal Science*, 76, pp. 1216-1231. DOI: 10.2527/1998.7641216x.
- Loh, K., Zhang, L., Brandon, A., Wang, Q., Begg, D., Qi, Y., ... & Herzog, H. (2017). Insulin controls food intake and energy balance via NPY neurons. *Molecular metabolism*, 6(6), 574-584.
- Mota, R. D., Roldán, S. P., Pérez, P. E., Martínez, R. R., Hernández-Trujillo, E. y Trujillo, O. M. E. (2014). Factores estresantes en lechones destetados comercialmente, *Veterinaria México*, pp. 37-51. ISSN: 0301-5092.
- Ordaz, G., Juárez, A., Vargas, K., Pérez, R. E. y Ortiz, R. (2019) Effects of dietary inclusion of *Opuntia ficus-indica* on the glycemia and productive performance in lactating sows. *South African Journal of Animal Science*. 49(5), pp. 824-834. DOI:10.4314/sajas.v49i5.5.
- Ordaz-Ochoa, G., Juárez-Caratachea, A., Pérez-Sánchez, R. E., Román-Bravo, R. M. & Ortiz-Rodríguez, R. (2017). Effect of spineless cactus intake (*Opuntia ficus-indica*) on blood glucose levels in lactating sows and its impact on feed intake, body weight loss, and weaning-estrus interval, *Tropical Animal Health and Production*, 49, pp. 1025-1033. DOI: 10.1007/s11250-017-1295-7.
- Ortiz-Rodríguez, R., Ahumada-Garcini, J. T., Pérez-Sánchez, R. E., García-Saucedo, P. A., Martínez-Flores, H. E. & Val-Arreola, D. (2022). Evaluation of physicochemical changes of Nopal (*Opuntia ficus-indica*) at different steam cooking times, *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 24, pp. 242-253. DOI: <https://doi.org/10.56890/jpacd.v24i.436>.
- Quevedo, D. M., Ochoa, J. E., Corredor, J. R., & Pulecio, S. L. (2020). Efectos de la adición de probiótico *Saccharomyces cerevisiae* sobre histomorfología intestinal en pollos de engorde. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 67(3), 239-252.
- Santi-Devi, U. y In-Ho, K. (2021). The impact of Weaning Stress on Gut Health and the Mechanistic Aspects of Several Feed Additives Contributing to Improved Gut Health Function in Weanling Piglets-A Review. *Animals*. 11(8), pp. 1-22. <https://doi.org/10.3390/ani11082418>.
- Sieminska, I. & Pejsak, Z. (2022). Impact of stress on the functioning of the immune system, swine health and productivity, *Medycyna Weterynaryjna*, 78(11), pp. 541-547. DOI: [dx.doi.org/10.21521/mw.6673](https://doi.org/10.21521/mw.6673).
- Vallejos, P. D., Carcelen, C. F., Jiménez, A. R., Perales, C. R., Santillan, A. G., Ara, G. M., Quevedo, W. y Carzola F. (2015). Efecto de la Suplementación de Butirato de Sodio en la Dieta de Cuyes (*Cavia porcellus*) de Engorde sobre el Desarrollo de las Velloidades

Intestinales y Criptas de Lieberkühn. Rev inv Vet Peru. 26(3), pp. 395-403.
<http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v26i3.11186>.

Villela, D. G., Giovana, B. A., Damiao, B. C. y Andrade, V. N. (2014). Composicao bromatológica, mineral e fatores antinutricionais da palma forrageira, *Tecnología y Ciencia Agropecuaria*, 8(3), pp. 51-55.

Wang, W., Chen, D., Yu, B., Huang, Z., Mao, X., Zheng,, P., Luo, Y., Yu, J., Luo, J., Yan, H. y He, J. (2020) Effects of dietary inulin supplementation on growth performance, intestinal barrier integrity and microbial populations in weaned pigs. *British Journal of Nutrition*. 124, pp. 296-305. doi:10.1017/S0007114520001130.

Capítulo IV

EFFECTO DE LA ADICION DE NOPAL (*Opuntia ficus- indica*) EN BASE FRESCA Y COCIDO A VAPOR A LA DIETA DE LECHONES POSTDESTETE SOBRE LOA NIVELES SERICOS DE CITOCINAS PROINFLAMATORIAS Y SU RELACION CON LA GANANCIA DE PESO

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la adición de nopal (*O. Ficus-indica*) en base fresca (BF) y cocido a vapor (CocV) a la dieta de lechones postdestete sobre la concentración de citocinas proinflamatorias y su relación con ganancia de peso (GP) semanal. Se utilizaron 60 lechones destetados (21 ± 2 días de edad y 6.9 ± 1.1 kg de peso) y se formaron tres grupos ($n=20$ lechones/grupo): Grupo Testigo (G1), lechones que recibieron alimento comercial (AC) específico para la fase de destete-iniciación (FI); G2, grupo que recibió AC para la FI más la adición del 1% de nopal en BF y G3, lechones sometidos a la dieta (AC para la FI) adicionada con 1% de nopal CocV por 4 minutos. Se evaluó en cada grupo (G): ganancia (g) de peso (GP) semanal y total, peso del lechón (PL) semanal y al finalizar la FI, concentración sérica de citocinas proinflamatorias: factor de necrosis tumoral alfa (TNF- α), interleucina-1 beta (IL-1 β) e interleucina-12 (IL-12). La información recabada se analizó estadísticamente a través de mediciones repetidas y mediante un modelo de efectos fijos. Las diferencias entre grupos se obtuvieron a través de medias de mínimos cuadrados a un $\alpha=0.05$. Se encontró una mayor ($p < 0.05$) concentración de IL-1 β en G1 109.71 pg/dL vs G2 95.31 y G3 103.75 pg/dL, el mismo fenómeno se observó con IL-12 (G1, 108.98 pg/dL vs G2, 81.55 y G3 97.44 pg/dL) y con TNF- α (G1, 103.14 pg/dL vs G2, 84.37 pg/dL y G3 96.92 pg/dL). El PL fue menor ($p < 0.05$) en G1 (20.9 kg) vs G2 y G3 (26.0 y 26.6 kg/lechón, respectivamente). La GDP fue mayor ($p < 0.05$) en G2 (385 g/lechón/día) y G3 (395 g/lechón/día) con respecto a G1 (290 g/lechón/día). El ICA fue más eficiente en G2 y G3 (1.4:1, para ambos grupos) vs G1 (1.7:1). La adición de nopal (*O. ficus-indica*) al 1%, independientemente de su presentación (BF o CocV), en lechones postdestete modula los niveles séricos de citocinas proinflamatorias y, con ello, se reduce la inflamación del TGI; aspecto que permite efficientar la ganancia de peso de los lechones durante la fase de destete-iniciación.

Palabras clave: Estrés oxidativo, interleucinas, antioxidantes, antiinflamatorios, ganancia de peso.

INTRODUCCION

El estrés originado por el destete en lechones es un proceso fisiológico crítico, principalmente durante las primeras dos semanas postdestete, debido a que estos son separados de la madre, expuestos a una nueva reagrupación social, sometidos a un ambiente nuevo y a la transición abrupta de la alimentación materna a una dieta sólida (Mota *et al.*, 2014). Estos factores estresantes, generan en los animales una serie de respuestas biológicas y conductuales que activan mecanismos del sistema inmunológico que modifica negativamente la integridad del intestino y la microbiota intestinal (Campbell *et al.*, 2013; Pluske, 2016), permitiendo la proliferación de patógenos y toxinas que dañan la mucosa intestinal (estrés oxidativo) (Hu *et al.*, 2013).

El daño de la mucosa intestinal se asocia al debilitamiento de las uniones estrechas entre enterocitos, permitiendo la entrada de estos al sistema circulatorio (Modina, *et al.* 2019). Aspecto que ocasiona un estímulo sobre macrófagos, células dendríticas, linfocitos y mastocitos del sistema digestivo (Pohl, *et al.* 2017), los cuales inducen la expresión de citocinas proinflamatorias, como lo son la interleucina-1 beta (IL-1 β), Factor de Necrosis Tumoral Alfa (TNF- α), Interleucina-12 (IL-12), entre otras (Lalles y Montoya, 2021), generando un estado de estrés oxidativo e inflamación; principalmente en el intestino delgado (Tang, *et al.* 2022). El estrés oxidativo y la inflamación intestinal al volverse crónicos repercuten negativamente en la salud general de los lechones y, en consecuencia, sobre la productividad de estos (Lu, *et al.* 2014).

El estrés crónico postdestete está estrechamente asociado con la disminución de la ganancia diaria de peso (GDP); puesto que, afecta de manera indirecta la digestión, la absorción de nutrientes y la eficiencia metabólica (Portillo, 2021). Al afectarse la GDP, el tiempo para alcanzar el peso al mercado (100 kg) se incrementa en estos animales (Campbell *et al.*, 2013). Por lo cual, se requiere de estrategias nutricionales que mitiguen los efectos detrimentales del estrés postdestete anteriormente descritos.

En la actualidad, el uso de insumos no convencionales con propiedades nutraceuticas adicionados a la dieta de los cerdos ha demostrado efectos positivos; principalmente, sobre la salud del tracto gastrointestinal (TGI) y rendimiento productivo (GDP) (Modina *et al.*, 2019; Gheisar y Kim, 2017; Lalles y Montoya, 2021). Por lo que este tipo de insumos, como el nopal (*Opuntia* spp.), pueden ser una estrategia nutricional viable para

modular los efectos del estrés postdestete y con ello, mejorar la productividad de los lechones destetados en sus distintas fases de crecimiento.

El nopal (*Opuntia ficus-indica*) posee propiedades nutricionales y componentes bioactivos que podrían beneficiar la salud del TGI en lechones postdestete (El-Mostafa *et al.*, 2014). Su alto contenido de fibra dietética (soluble e insoluble), vitaminas, minerales y compuestos como los flavonoides y polifenoles pueden reducir la respuesta inflamatoria (producción de interleucinas) y el estrés oxidativo a nivel intestinal (Besné-Eseverri, *et al.* 2023). Puesto que, los componentes bioactivos de *O. ficus-indica* poseen efectos antioxidantes, adaptogénicos y antiinflamatorios (Martins *et al.*, 2023), mismos que pueden modular el sistema inmunológico y reducir la respuesta inflamatoria intestinal, provocada por los estímulos estresantes (Orengo *et al.*, 2021). Así, al mejora la salud intestinal del lechón, durante la fase de destete-iniciación, se estaría en condiciones de regular la microbiota intestinal (Wei *et al.*, 2021) y fortalecer las uniones estrechas entre enterocitos (Hu *et al.*, 2013), lo que resultaría en una mayor eficiencia en la digestión y absorción de nutrientes, y una menor predisposición a enfermedades (Lalles y Montoya, 2021). Por ello, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la adición de nopal (*O. Ficus-indica*) en base fresca (BF) y cocido a vapor (CocV) a la dieta de lechones postdestete sobre la concentración de citocinas proinflamatorias (IL-1, IL-12 y TNF- α) y su relación con ganancia de peso.

MATERIAL Y METODOS

La investigación se realizó en un sistema tecnificado de producción porcina ciclo completo; ubicado en la comunidad de Isaac Arriaga, perteneciente al municipio de Puruándiro, Michoacán, México., dentro de las coordenadas 20.253301 N, 101.497144 W (INEGI, 2010).

Se utilizaron 60 lechones híbridos (50% Yorkshire-Landrace, 50% Duroc-Pietrain) destetados (ambos sexos), seleccionados al azar, con 21 ± 2 días de edad y con un peso de 6.9 ± 1.1 kg. Cada lechón fue identificado con un arete enumerado. Con el total de los lechones se formaron tres grupos (n=20 lechones/grupo), con dos repeticiones/grupo (n=10 lechones/repetición). Los grupos (G) fueron: G1 o Testigo, lechones que recibieron alimento comercial (AC) correspondiente a cada etapa productiva; G2, grupo de lechones que recibieron AC más la adición del 1% de nopal en base fresca (BF) y, G3, lechones

sometidos a la dieta (AC) adicionada con 1% de nopal cocido a vapor (CocV) por 4 minutos (Tabla 1).

Tabla 1. Análisis fisicoquímico de las dietas y del nopal (*O. ficus-indica*)

Alimento comercial	Fase I	Fase II	Fase III	Fase IV
Proteína cruda %	25.18	24.46	23.23	20.31
Grasa cruda %	4.96	4.27	4.34	2.13
Fibra dietética %	6.59	6.57	7.94	9.19
Fibra insoluble %	21.80	30.55	25.65	15.97
Fibra soluble %	9.08	9.04	10.79	12.38
Cenizas %	7.41	6.48	5.91	4.37
Humedad %	5.26	7.41	6.03	9.68
Materia seca %	94.74	92.59	93.97	90.32
E.L.N %	50.59	50.81	52.55	54.33
Nopal (<i>Opuntia ficus-indica</i>)		Base Fresca	Cocido a vapor	
Humedad (%)		94.2 ^a ±0.1	94 ^a ±0.1	
Materia seca (g ^{-100g MS})		5.7 ^a ±0.1	6.0 ^a ±0.1	
Proteína (g ^{-100g MS})		14.2 ^a ±0.1	17.6 ^b ±0.1	
Lípidos (EE) (g ^{-100g MS})		2.3 ^a ±0.1	1.6 ^b ±0.1	
Extracto libre de Nitrógeno (g ^{-100g MS})		10.8 ^a ±0.8	20.2 ^b ±0.8	
Fibra Dietética (g ^{-100g MS})		40 ^a ±0.8	33.6 ^b ±0.8	
Fibra Soluble (g ^{-100g MS})		7.5 ^a ±0.4	14.5 ^b ±0.4	
Fibra Insoluble (g ^{-100g MS})		31.5 ^a ±0.7	19.0 ^b ±0.7	
Cenizas (g ^{-100g MS})		27.8 ^a ±0.02	20.1 ^b ±0.02	

±= Error estándar

Literales ^{a, b}, indican diferencias (P < 0.05) dentro de fila.

Los lechones fueron confinados en jaulas elevadas (10 lechones/jaula), equipadas con un comedero® (acero inoxidable) con seis bocas de alimentación y capacidad para 60 kg de alimento y dos bebederos automáticos tipo chupón; a los tres grupos de lechones se les proporcionó AC específico para cuatro fases de alimentación, desde el destete hasta los ≈20 kg (Tabla 1) y agua *ad libitum*. La ventilación y la temperatura (26°C) interna del área de destete se controlaron manualmente a través de cortinas.

Las fases de alimentación durante la etapa de destete-iniciación fueron: Fase 1, 0-7 días postdestete; Fase 2, 8-14 días postdestete; Fase 3, 15-28 días postdestete, en dichas fases se proporcionó el alimento (Preiniciador®) en forma de pellet; en la Fase 4 (29-49 días postdestete), el alimento proporcionado fue en harina. El suministro diario de AC/grupos se realizó a las 7:00 h, hora en la que se realizó la adición del 1.0% de nopal (BF o CocV). La adición del 1.0% de nopal (BF o CocV) fue con base al peso promedio semanal del lechón para ajustar la cantidad de nopal requerido por grupo.

La cantidad de nopal requerido se estimó semanalmente. Los cladodios de *O. ficus-indica* cosechados fueron de una edad aproximada de 90 días. Estos se recolectaron de la parcela

de la Posta Zootécnica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia-UMSNH, ubicada en el municipio de Tarímbaro Michoacán, México., en el km 9.5 de la carretera Morelia-Zinapécuaro. Una vez cosechado el nopal, este se transportó y almacenó en la bodega de alimentos de la citada granja; después, se pesó diariamente la cantidad de cladodios en BF requeridos/grupo/día e inmediatamente se picaron en trozos de aproximadamente 1.0 cm³ y se mezclaron con la cantidad AC correspondiente/grupo (G2).

Para el caso del nopal CocV (G3), se realizó el mismo proceso para el G2 (hasta el picado); una vez picados los cladodios, los trozos se depositaron en una olla vaporera de uso doméstico (Vasconia®, capacidad de 5.0 L) y se sometieron a cocción a vapor a 100°C durante 4 minutos (Ortiz *et al.*, 2022). Trascurridos los 4 minutos de cocción, los trozos de nopal CocV se dejaron enfriar a temperatura ambiente para posteriormente mezclarse con la cantidad de AC a suministrar/día/grupo.

Se evaluó semanalmente/lechón/grupo: ganancia (g) de peso diaria (GDP) e índice de conversión alimenticia (ICA), así como la expresión de las siguientes citocinas proinflamatorias: TNF- α , IL-1 β y IL-12.

La GDP, se determinó mediante el pesaje semanal de los lechones de cada grupo/tratamiento en modo individual/lechón a través de una báscula digital portátil (CraneScale®, con una capacidad de 300 kg.) Mientras que la GDP/lechón se obtendrá a través de la siguiente fórmula:

$$GP = \frac{P_f - P_i}{T}$$

Donde:

GDP = ganancia de peso

P_f = Peso final

P_i = Peso inicial

S_d = Tiempo evaluado

En lo referente a la determinación del ICA, este se calculó dividiendo la cantidad total del consumo de AC/grupo durante la fase experimental entre el resultado de la resta del peso final/grupo de la fase experimental menos el peso/grupo al inicio de la fase experimental.

Para el caso de la expresión de citocinas proinflamatorias, esta se realizó a través de la obtención de muestras sanguíneas mediante una venopunción vía yugular tomada de dos

lechones/grupo por medio de tubos vacutainer® con gel separador de plasma, mismas que fueron recolectadas los días 0, 3, 9, 21 y 42 días postdestete con un previo ayuno de 8 h. Posterior a su recolección, las muestras/sanguíneas fueron centrifugadas (100 xg/10 min) y almacenadas a -20 °C hasta su procesamiento. La expresión de citocinas proinflamatorias se determinó a través de kits ELISA® (SIGMA-ALDRICH, USA), bajo las especificaciones del fabricante.

La información recabada se analizó estadísticamente a través del modelo de efectos fijos (MIXED) tanto para el caso de GP semanal y total, así como para el ICA:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + S_j + S(G)_{ij} + e_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Variable respuesta: GDP e ICA;

G_i = Efecto fijo del grupo con el *i*ésimo (G) grupo= G1, G2 y G3;

S_j = Efecto fijo de la semana con la *j*ésima (S) semana= S1, S2, S3, ... S7;

$S(G)_{ij}$ = Efecto fijo de la anidación de la semana dentro del grupo;

e_{ijk} = Error con NID=0, σ^2 e

Para el caso de las citocinas proinflamatorias, se analizarán bajo el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + D_j + D(G)_{ij} + e_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Variable respuesta: TNF- α , IL-1 β y IL-12.

G_i = Efecto fijo del grupo con *i*ésimo (G) grupo= G1, G2 y G3

D_j = Efecto fijo del día con *j*ésimo (D) día= 0, 3, 9, 21 y 42;

$D(G)_{ij}$ = Efecto fijo de la anidación del día dentro del grupo;

e_{ijk} = Error con NID=0, σ^2 e

Las diferencias entre grupos, día, semana, día(grupo) y semana(grupo) se obtendrán mediante el procedimiento de medias de mínimos cuadrados (LsMeans, por sus siglas en inglés) a un $\alpha = 0.05$ (Litell *et al.*, 1998).

RESULTADOS

En relación con los resultados de la concentración de citocinas proinflamatorias (Tabla 1), la IL-1 β , IL-12 y TNF- α , estas fueron mayores ($p < 0.05$) en los lechones del G1 (109.71; 108.98 y 103.14 pg/dL, respectivamente) vs G2 y G3. Pero, al comparar los valores de dichas citosinas entre el G2 y G3, se observó que estos fueron menores ($p < 0.05$) en el G2 (95.31; 81.55 y 84.37 pg/dL) en comparación con el G3 (Tabla 3).

Tabla 1. Medias de mínimos cuadrados para parámetros de crecimiento del lechón durante la etapa de destete-iniciación de acuerdo con el grupo

Interleucina	Grupo			
	G1	G2	G3	E.E.
IL-1 β	109.71 ^a	95.31 ^b	103.75 ^c	1.53
IL-12	108.98 ^a	81.55 ^b	97.44 ^c	1.75
TNF- α	103.14 ^a	84.37 ^b	96.92 ^c	2.02

G1= Testigo; G2= Nopal en BF; G3= Nopal CocV; E.E.=Error Estándar.

Literales ^{a, b, c} indican diferencias ($p < 0.05$) entre promedios dentro de fila

La dinámica del comportamiento de la concentración de citocinas proinflamatorias analizadas en esta investigación determinó lo siguiente: en el día uno (día del destete), los promedios de las concentraciones fueron similares ($p > 0.05$) en los tres grupos evaluados; a partir del día tres postdestete, se encontró el pico más alto en cada una de las citocinas proinflamatorias monitoreadas; pero, los promedio, de los tres grupos fueron diferentes entre sí ($p < 0.05$). Los lechones del G1 presentaron las máximas concentraciones de las citocinas IL-1 β , TNF- α y IL-12 (145.24, 219.35 y 231.91 pg/dL, respectivamente), seguido de G3. En cuanto al G2, este mostró las menores concentraciones de IL-1 β , TNF- α y IL-12 (115.11, 175.29 y 188.11 pg/dL, respectivamente).

Al noveno día postdestete, se observó una disminución pronunciada de los valores de dichas citocinas proinflamatorias y de este día al final de la fase experimental se encontró una tendencia hacia la disminución de las concentraciones de cada una de las citocinas proinflamatorias evaluadas. Sin embargo, el G2 -lechones adicionados con nopal en BF- fue quien mostró un descenso más pronunciado en los días 9, 21 y 42 postdestete en cuanto a la expresión de IL-1 β (96.23, 86.99 y 91.44 pg/dL, respectivamente), TNF- α (80.13, 50.94 y 41.87 pg/dL, respectivamente) e IL-12 (51.50, 57.01 y 46.50 pg/dL, respectivamente), ello en comparación de los grupos G1 y G3, respectivamente (Figura 1).

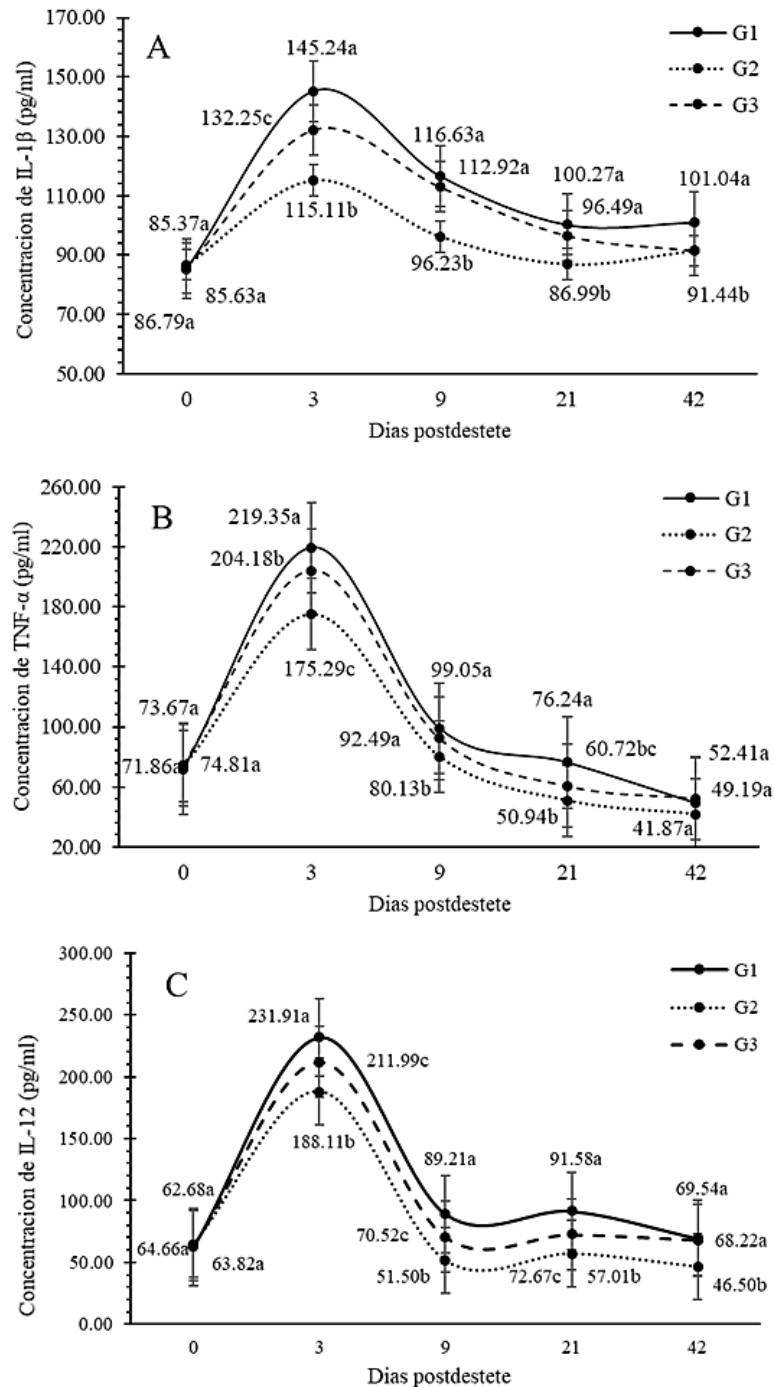


Figura 1. Medias de mínimos cuadrados para la dinámica de la concentración de IL-1 β , IL-12 y TNF- α de los lechones de acuerdo con el grupo y día postdestete durante la etapa de destete-iniciación.

Respecto a las variables productivas analizadas en la fase destete-destete-iniciación, se encontró efecto de grupo ($p < 0.001$) y de la anidación grupo(sem) ($p < 0.0001$) sobre GDP e ICA. En donde se encontró que la GP promedio de los lechones durante la fase de destete-iniciación (Tabla 2) fue mayor ($p < 0.05$) en los lechones que consumieron nopal (385 y 395 g/lechón/día para el G2 y G3, respectivamente) vs G1 (290 g/lechón). En

cuanto al ICA, este fue mayor ($p < 0.05$), en los grupos G2 y G3 vs G1 (1.4:1 vs 1.7:1 kg), respectivamente. Con respecto al PL al finalizar la fase experimental, se observó un comportamiento similar a la GP, en donde los grupos G2 y G3 presentaron un promedio de peso mayor ($p > 0.05$) en relación con G1 (26.0 y 26.6 vs 20.9 kg/lechón, respectivamente).

Tabla 2. Medias de mínimos cuadrados para parámetros de crecimiento del lechón durante la etapa de destete-iniciación de acuerdo con el grupo

Variable	Grupo			E.E.
	G1	G2	G3	
Peso inicial (kg)	6.7 ^a	7.1 ^a	7.2 ^a	0.64
Peso final (kg)	20.9 ^a	26.0 ^b	26.6 ^b	0.65
Ganancia de peso/día (g)	290 ^a	385 ^b	395 ^b	0.02
Conversión Alimenticia (kg)	1.7 ^a	1.4 ^b	1.4 ^b	0.08

G1= Testigo; G2= Nopal en BF; G3= Nopal CocV

E.E.=Error Estándar; FE=Fase experimental ®=Comercial; MS=Materia seca

Literales ^{a, b, c} indican diferencias ($p < 0.05$) entre promedios dentro de fila

En cuanto al comportamiento de la GDP durante la etapa de destete-iniciación, se observó que en G1 fue ascendente solo durante las tres primeras semanas (21 a 35 días de edad) de la fase experimental, puesto que durante la 4^{ta}, 5^{ta} y 6^{ta} semana (42-56 días de edad) la GDP mostró un decremento hasta en un 82%. Para el caso de la GDP del G2 y G3, su comportamiento fue similar ($p > 0.05$): en las primeras tres semanas la GDP ascendió y en la 4^{ta} y 5^{ta} semana se detuvo; a partir de la 6^{ta} semana (56 días de edad) la GDP volvió a incrementarse (Tabla 3). Dinámica que culminó (7^{ma} semana o 63 días de edad) con pesos superiores ($p < 0.05$) en lechones del G2 y G3 (26.0 y 26.6 kg, respectivamente) vs G1 (20.9 kg). Por lo que, los resultados del ICA fueron mejores para el G2 y G3 vs grupo testigo (G1) (Tabla 1 y 2).

Tabla 3. Medias de mínimos cuadrados para peso (kg) semanal y ganancia diaria de peso (kg) de lechones en fase de destete-iniciación de acuerdo con la semana

Edad (días)	Peso semanal				Ganancia* de peso			
	Grupo				Grupo			
	Testigo	Nopal BF	Nopal CocV	E.E.	Testigo	Nopal BF	Nopal CocV	E.E.
21	6.7	7.2	7.4	0.64	0.028	0.028	0.035	0.03
28	8.9	9.3	9.6	0.64	0.306 ^a	0.307 ^a	0.315 ^b	0.03
35	12.0	13.0	13.1	0.64	0.452	0.540	0.511	0.03
42	14.7	16.2	16.2	0.64	0.386	0.451	0.442	0.03
49	14.7 ^a	18.2 ^b	18.6 ^b	0.64	0.081 ^a	0.288 ^b	0.333 ^b	0.03
56	16.8 ^a	21.7 ^b	21.9 ^b	0.64	0.317 ^a	0.502 ^b	0.472 ^b	0.03
63	20.9 ^a	26.0 ^b	26.6 ^b	0.64	0.599	0.620	0.668	0.03

G1= Testigo; G2= Nopal en BF; G3= Nopal CocV; Sem=Semana; *=Diaria; E.E.=Error Estándar.

Literales ^{a, b} indican diferencias ($p < 0.05$) entre promedios por variable y dentro de fila.

DISCUSION

El estrés oxidativo esta influenciado por factores dietéticos, sociales y ambientales, los cuales, disminuyen la ingesta de alimento y su rendimiento productivo (GDP e ICA), afectando el estado redox y con ello aumentando la incidencia de diarreas y enfermedades en los lechones postdestete (Hu *et al.*, 2013). Lo anterior, es resultado de un desequilibrio entre la generación de radicales libres y la deficiente capacidad antioxidante del lechón, mismos que dañan las membranas celulares del intestino, ocasionando deficiencia en la fisiología digestiva y en la adecuada absorción de nutrientes (Orengo *et al.*, 2021). No obstante, la adición de alimentos ricos en antioxidantes en etapas criticas dentro de los procesos parciales de producción porcina, tienen la finalidad de mejorar el sistema inmune y reducir el estrés oxidativo en el animal (Lu *et al.*, 2014)

La adición de nopal (*O. ficus-indica*) en la dieta de cerdos podría ser una alternativa viable por su alto contenido de fibra dietética, la cual, contiene flavonoides, polifenoles y vitamina C y E (Martins *et al.*, 2023), componentes que podrían ser capaces de neutralizar los radicales libres y con ello, disminuir el estrés oxidativo en los tejidos epiteliales del TGI. Actualmente se ha demostrado que el enriquecimiento de la dieta animal con antioxidantes mejora la estabilidad de las membranas celulares y, en consecuencia, reduce el daño oxidativo en tejidos clave como lo son el TGI, músculos y el hígado (Peng *et al.*, (2022) y Mejía-Reyes *et al.*, 2021). Zou *et al* (2016) establece que la adición de quercetina -flavonoide contenido en *O. ficus-indica* (Sinicropi *et al.*, 2022)- disminuye los niveles de citocinas proinflamatorias y, en consecuencia, mejora la integridad intestinal de lechones destetados, fenómeno que podría haberse presentado en los grupos de lechones sometidos a la ingesta de nopal (Tabla 1, 2 y 3).

El impacto negativo que genera el incremento de citocinas proinflamatorias en lechones principalmente durante el proceso del destete puede tener un impacto negativo sobre la ganancia de peso y consecuentemente sobre su eficiencia alimenticia (conversión alimenticia), puesto que estas son clave en la modulación del metabolismo y el sistema inmunológico (Modina *et al.*, 2019). Las citocinas como el factor de necrosis tumoral alfa (TNF- α), la interleucina-1 beta (IL-1 β) y la interleucina-12 (IL-12) son mediadores clave de la inflamación y respuestas adaptativas del estrés fisiológico y ambiental, mismos que inciden directamente sobre el crecimiento y desarrollo de los lechones (Lalles y Montoya, 2021).

El incremento de citocinas proinflamatorias postdestete puede inducir a un estado de catabolismo, lo cual afecta negativamente la digestión, absorción y el metabolismo energético (Martínez-Aguilar y Salazar-Villanea, 2020). Puesto que, estas citocinas incrementan la producción de especies reactivas de oxígeno e inducen el estrés oxidativo (Tang, *et al.* 2022), lo cual daña tejidos clave del crecimiento (músculos). Debido a la interferencia en la síntesis de proteínas, se aumenta la degradación muscular y reducir la ganancia de peso (Martínez-Aguilar y Salazar-Villanea, 2020).

Por lo anteriormente descrito, la administración de agentes antioxidantes y/o antiinflamatorios como lo son flavonoides y polifenoles contenidos en el nopal (Villa-Jaimes *et al.*, 2023) podrían beneficiar el TGI y el rendimiento productivo de los animales (Peng *et al.*, 2022). Aspectos que pudieron ser observados en la presente investigación (Tabla 1 y Figura 1) y en donde la ganancia de peso semanal y final (Tablas 2 y 3) fueron superiores al grupo testigo. Aunado a ello, las pectinas contenidas en el nopal modulan el tránsito intestinal del bolo alimenticio (disminuye), lo cual mejora la digestión y absorción de lípidos presentes en la dieta e incrementa la secreción de enzimas digestivas, aumentando así la digestibilidad en la dieta (Liu *et al.*, 2016; Vilcanqui-Pérez *et al.*, 2017).

De acuerdo con Chang *et al.* (2022), la adición de extractos cítricos (aditivo fitobiótico) puede modular positivamente las respuestas inmunes e inflamatorias y mejorar el rendimiento de crecimiento en lechones postdestete. En un estudio reportado por Grilli *et al* (2015), durante la primera (día 7) y segunda (día 14) semana postdestete, se encontraron ganancias de peso de 127 y 286.9 g/lechón tras la adición de ácido ascórbico (Vitamina C). Además, dichos investigadores encontraron una menor expresión de IL-12 a partir de la segunda semana, tal como se observó en la presente investigación (Tabla 1; Figura 1). Sin embargo, para el caso de la ganancia de peso, esta fue superior a lo encontrado en el G2 y G3 (Tabla 2 y 3).

Peng *et al* (2022) encontró a partir de la segunda semana (día 14 postdestete) una ganancia de peso de 233 g/lechón en grupo control y de 244g/lechón tras la adición de aceites esenciales en la dieta. Comportamiento atribuido a la adición de fitobióticos, el cual disminuye la concentración sistémica de TNF- α en lechones destetados. Chen *et al* (2018) establecieron que la alta concentración de TNF- α inmediatamente después del destete y

en conjunto con otras citocinas proinflamatorias inducen daño intestinal (Novais *et al.*, 2021).

En condiciones de inflamación intestinal crónica, el estrés oxidativo tiene un impacto negativo sobre el metabolismo energético y el crecimiento de los animales (Rivera, 2010). En la presente investigación, el aumento de la ganancia de peso en lechones que recibieron la dieta adicionada con nopal (BF o CocV) presentaron una mejora en el índice de conversión alimenticia (Tabla 2), lo cual pudo estar mediada por un balance energético positivo al reducirse la inflamación y el estrés oxidativo (Rossi *et al.*, 2020). Sin embargo, no se descarta el efecto de la fibra soluble e insoluble del nopal sobre la modulación de la microbiota intestinal (Sánchez-Tapia *et al.*, 2017) y, con ello, la mejoría de los procesos de digestión y absorción del alimento suministrado (Gaitán-Lemus *et al.*, 2017).

CONCLUSION

La adición de nopal (*O. ficus-indica*) al 1%, independientemente de su presentación en base fresca o cocido a vapor, a la dieta de lechones postdestete modula la expresión de citocinas proinflamatorias y reduce la inflamación del TGI al promover la salud inmunológica, la integridad de la barrera intestinal y el metabolismo digestivo, con lo cual, se logran incremento del consumo de alimento, mejores ganancias de peso de los lechones durante la fase de destete-iniciación.

BIBLIOGRAFIA

- Besné-Eseverri, I., Trepiana, J., Gómez-Zorita, S., Antunes-Ricardo, M., Cano, M. P. y Portillo, M. P. (2023). Beneficial Effects of *Opuntia* spp. On Liver Health. *Antioxidants*. 12(6), pp. 1-20. <https://doi.org/10.3390/antiox12061174>.
- Campbell, J. M., Crenshaw, J. D. y Polo, J. (2013). The biological stress of early weaned piglets. *Journal of animal science and biotechnology*. 4(1) pp. 1-19. <https://doi.org/10.1186/2049-1891-4-19>.
- Chang, S. Y., Song, M. H., Lee, J. H. (2022). Los aditivos fitobióticos para piensos alivian el daño intestinal inducido por *Escherichia coli* patógena al mejorar la integridad de la barrera e inhibir la inflamación en cerdos destetados. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 13(107). <https://doi.org/10.1186/s40104-022-00750-y>.
- Chen, J., Xie, H., Chen, D., Yu, B., Mao, X., Zheng, P., Yu, J., Luo, Y. y He, J. (2018). Chlorogenic Acid Improves Intestinal Development via Suppressing Mucosa Inflammation and Cell Apoptosis in Weaned Pigs. 3(2), pp. 2211-2219. DOI: 10.1021/acsomega.7b01971.
- El-Mostafa, K., Kharrassi, Y., Badreddine, A., Andreoletti, P., Vamecq, J., Kebbaj, M. S., Latruffe, N., Lizard, G., Nasser, B. y Cherkaoui-Malki, M. (2014). Nopal Cactus (*Opuntia*

- ficus-indica) as a Source of Bioactive Compounds for Nutrition, Health and Disease. *Molecules*. 19(9), pp. 14879-14901. <https://doi.org/10.3390/molecules190914879>.
- Gaitán-Lemus, S. B., Ordaz-Ochoa, G., Val-Arreola, D., Martínez-Flores, H. E., Pérez-Sánchez, R.E. & Ortiz-Rodríguez, R. (2017). Diet supplemented with nopal (*Opuntia ficus-indica* L.) modifies productive behavior and blood profile in pigs. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 17(1), pp. 39-50. DOI: 10.5154/r.rchsza.2017.11.011.
- Gheisar, M. M. y Kim, I. H. (2017). Phytobiotics in poultry and swine nutrition – a review. *Italian Journal of Animal Science*, 17(1), pp. 92–99. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2017.1350120>.
- Grilli, E., Tugnoli, B., Passey, J. L., Stahl, C. H., Piva, A. y Moeser, A. J. (2015). Impact of dietary organic acids and botanicals on intestinal integrity and inflammation in weaned pigs. *BMC Veterinary Research*. 11(96). <https://doi.org/10.1186/s12917-015-0410-0>.
- Hu, C. H., Xiao, K., Luan, Z. S. y Song, J. (2013). Early weaning increases intestinal permeability, alters expression of cytokine and tight junction proteins, and activates mitogen-activated protein kinases in pigs. *Journal of Animal Science*. 91, pp. 1094-1101. doi:10.2527/jas2012-5796.
- Lalles, J. P. y Montoya, C. A. (2021). Dietary alternatives to in-feed antibiotics, gut barrier function and inflammation in piglets post-weaning: ¿Where are we now?. *Animal Feed Science and Technology*. 274, pp. 1-21. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114836>.
- Liu, Q., Zhang Q. M., Zhang Z. J., Zhang Y. J., Zhang Y. W., Chen L.,... y Zhuang S. (2016), Effect of fiber source and enzyme addition on the apparent digestibility of nutrients and physicochemical properties of digest in cannulated growing pigs, *Animal Feed Science and Technology* 216: Pp. 262-272.
- Lu, T., Harper, A. F., Zhao, J., Estienne, M. J. y Dalloul, R. A. (2014). Supplementing antioxidants to pigs fed diets high in oxidants: I. Effects on growth performance, liver function, and oxidative status. *Journal of Animal Science*. 92(12), pp. 5455-5463. doi: 10.2527/jas.2013-7109.
- Martínez-Aguilar, M. V. y Salazar-Villanea, S. (2020). Activación del sistema inmune en cerdos y su requerimiento de metionina, treonina y triptófano. 14(2), pp. 23-38. DOI: 10.15517/nat.v14i2.43580.
- Martins, M., Ribeiro, M. H., Almeida, C. M. M. (2023). Physicochemical, Nutritional, and Medicinal Properties of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. and Its Main Agro-Industrial Use: A Review. *Plants*. 12(7). doi: 10.3390/plants12071512.
- Mejía-Reyes, J. D., García-Cabrera, K. E., Velázquez-Ovalle, G. y Vázquez-Ovando, A. (2022). Antioxidant capacity: concepts, quantification methods and use for tropical fruits and derived products characterization. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*. 9(1), pp. 9-33. <https://doi.org/10.23850/24220582.4023>.
- Modina, S. C., Polito, H., Rossi, R., Corino, C. y Giancamillo, A. D. (2019). Nutritional Regulation of Gut Barrier Integrity in Weaning Piglets. *Animals*. 9(12), pp. 1045. <https://doi.org/10.3390/ani9121045>.

- Novais, A. K., Deschêne, K., Martel Kennes, Y., Roy, C., Laforest J. P., Lessard, M., Matte, J. J. y Lapointe, J. (2021). Weaning differentially affects mitochondrial function, oxidative stress, inflammation and apoptosis in normal and low birth weight piglets. *PLoS ONE*. 16(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247188>
- Orengo, j., Hernández, F., Martínez-Miro, S., Sánchez, C. J., Peres, R. C. y Madrid, J. (2021). Effects of Commercial Antioxidants in Feed on Growth Performance and Oxidative Stress Status of Weaned Piglets. *Animals*. 11(2), pp. 266. <https://doi.org/10.3390/ani11020266>.
- Peng, X, Zhou, Q., Wu, C., Zhao, J., Tan, Q., He, Y., Hu, L., Fang, Z., Lin, Y., Xu, S., Feng, B., Li, J., Zhuo, Y., Ginneken, C. V., Jiang, X. y Che, L. (2022). Effects of dietary supplementation with essential oils and protease on growth performance, antioxidation, inflammation and intestinal function of weaned pigs. *Animal Nutrition*. 9, pp. 39-48. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2021.12.003>.
- Pluske, j. R. (2016). Invited review: Aspects of gastrointestinal tract growth and maturation in the pre- and postweaning period of pigs. *Journal of Animal Science*. 94, pp. 399-411.
- Pohl, C. S., Medland, J. E., Mackey, E., Edwards, L. L., Bagley, K. D., DeWilde, M. P., Williams, K. J. y Moesner, A. J. (2017). Early weaning stress induces chronic functional diarrhea, intestinal barrier defects, and increased mast cell activity in a porcine model of early life adversity. *Neurogastroenterology y Motility*. 29(11). <https://doi.org/10.1111/nmo.13118>.
- Portillo, G. A., Aquino, J. E. R. y Mazacotte, E. E. S. (2021). Efectos de la utilización de enzimas α amilasa y lipasa sobre el desempeño productivo de lechones recién destetados. *Investigación Agraria*. 23(2), pp. 111-116.
- Rivera, J. A. (2010) Como puede afectar el estrés oxidativo a los animales en producción. *NutriNews LATAM*. [En línea:] <https://nutrinews.com/download/nutriNewsLatam-Nuproxa-estres-oxidativo.pdf>.
- Rossi, B., Toschi, A., Piva, A. y Grill,i E. (2020) Single components of botanicals and nature-identical compounds as a non-antibiotic strategy to ameliorate health status and improve performance in poultry and pigs. *Nutrition Research Reviews*. 33(2), pp. 218-234. doi:10.1017/S0954422420000013
- Sánchez-Tapia, M., Aguilar-López, M., Pérez-Cruz, C., Pichardo-Ontiveros, E., Wang, M., Donovan, S. M., Tovar, A. R. y Torres, N. (2017). Nopal (*Opuntia ficus indica*) protects from metabolic endotoxemia by modifying gut microbiota in obese rats fed high fat/sucrose diet. *Scientific Reports*. 7(4716), pp. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-05096-4>.
- Sieminska, I. & Pejsak, Z. (2022). Impact of stress on the functioning of the immune system, swine health and productivity, *Medycyna Weterynaryjna*, 78(11), pp. 541-547. DOI: [dx.doi.org/10.21521/mw.6673](https://doi.org/10.21521/mw.6673).
- Sinicropi MS, Baldino N, Ceramella J, Iacopetta D, Scali E, Basile G, Saturnino C, Catalano A. (2022). *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. An Ancient Plant Source of Nutraceuticals. *Curr Top Med Chem*. 22(21), pp.1736-1749. doi: 10.2174/1568026622666220803151814.
- Tang, X., Xiong, K., Fang, R. y Li, M. (2022). Weaning stress and intestinal health of piglets: A review. *Front. Immunol*. 13, pp. 1-14. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.1042778>.

- Vilcanqui-Perez, F. y Vilchez-Perales, C. (2017). Fibra dietaria: nuevas definiciones, propiedades funcionales y beneficios para la salud. Revisión. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 67(2), pp. 146-156.
- Villa-Jaimes, G. S., Moshage H., Avelar-González F. J., González-Ponce H. A., Buist-Homan M., Guevara-Lara F., ... y Martínez-Saldaña M. C. (2023), Molecular and antioxidant characterization of *Opuntia robusta* fruit extract and its protective effect against diclofenac-induced acute liver injury in an in vivo rat model, *Antioxidants*, 12(1), Pp.113.
- Wei, X., Tsungcheng, T., Howe, S. y Zhao, J. C. (2021). Weaning Induced Gut Dysfunction and Nutritional Interventions in Nursery Pigs: A Partial Review. *Animals*. 11(5). <https://doi.org/10.3390/ani11051279>.
- Zou, Y., Wei, H. K., Xiang, Q. H., Wang, J., Zhou, Y. F. y Peng, J. (2016) Protective effect of quercetin on pig intestinal integrity after transport stress is associated with regulation oxidative status and inflammation. *Journal Veterinary Medical Science*. 78(9), pp. 1478-1494. doi: 10.1292/jvms.16-0090.

DISCUSION GENERAL

En la actualidad la ineficiencia alimenticia en la producción porcina es uno de los desafíos más importantes, puesto que está determinada, principalmente, por la calidad nutricional; misma que representa el mayor costo/kg de cerdo producido (Collins *et al.*, 2017). Sin embargo, el éxito de la nutrición radica en su capacidad para disminuir el tiempo para que un cerdo de abasto alcance el peso al mercado (Rentería *et al.*, 2022). Pero, dentro de las fases de la línea de producción (destete-destete-iniciación, crecimiento, desarrollo y finalización) establecidas en la producción porcina, la fase de destete-destete-iniciación es considerada como la etapa crucial de la eficiencia en la salud y el crecimiento del cerdo (Jayaraman y Nyachoti, 2017).

La etapa crítica para los lechones en las primeras semanas de la fase destete-destete-iniciación, se debe a que estos animales se enfrentan abruptamente a varios factores estresantes como el cambio de alimentación, ambiente y el restablecimiento social (Sieminska y Pejsak, 2022). Aspectos que provocan que se deprima la ingesta de alimento y la ganancia de peso corporal durante dicha fase, generando múltiples daños intestinales que pueden ser o no permanentes en los procesos digestivos y de absorción y con ello, se incrementa la tasas de morbilidad y mortalidad desde que el cerdo es destetado, hasta que este llega a su peso de mercado (finalización) (Pluske *et al.*, 2018).

Los trastornos digestivos producto del estrés postdestete pueden disminuirse total o parcialmente con la ayuda de las alternativas nutricionales capaces de mantener una eficiente salud intestinal y, con ello, incrementar el rendimiento productivo y disminuir los costos de producción (Armocida, 2022). En este sentido, en el Capítulo I del presente trabajo de investigación, se estableció -a través de una revisión bibliográfica- los beneficios e implicaciones que generan la inclusión de aditivos convencionales y no convencionales en la dieta de lechones en fase de destete-iniciación sobre la salud intestinal y su rendimiento productivo.

Los diversos aditivos alimentarios utilizados en la alimentación de los cerdos tienen como finalidad promover la salud intestinal y a través de ello, propiciar que los animales desarrollen su potencial genético, específicamente en la ganancia de peso y conversión alimenticia (Zhao *et al.*, 2024). En este sentido, las propiedades genéricas de los aditivos convencionales o no, muestran capacidad antiinflamatoria, antibacteriana e

inmunomodulador; aspectos que logran controlar el crecimiento -dentro del intestino- de poblaciones bacterianas oportunista y patógenas y, en consecuencia, mantener o mejorar la salud intestinal (Upadhaya y Kim, 2021). Otras propiedades de los aditivos utilizados en la dieta de los cerdos es su capacidad para incrementar la digestibilidad y eficientar el metabolismo energético y lipídico (Ming *et al.*, 2020).

La búsqueda de alternativas que disminuyan el daño ocasionado por el estrés al momento del destete en lechones, como la inflamación intestinal, misma que aumenta la incidencia de diarreas y enfermedades, resultado de un desequilibrio digestivo y una deficiente capacidad antioxidante, son tendencia en la actualidad (Capítulo 1) (Lu *et al.*, 2014; Orengo *et al.*, 2021). Motivo por el cual, la inclusión de aditivos no convencionales que sean ricos en componentes bioactivos y que estos benefician la salud intestinal de los cerdos dentro de los procesos críticos de la producción porcina (Chernogradskaya *et al.*, 2020).

Dentro de la amplia gama de aditivos se encuentran los fitobióticos, los cuales poseen capacidad antioxidante, antiinflamatoria y bacteriostática, debido principalmente a la acción de sus metabolitos secundarios (fenoles y flavonoides) (Mosolov *et al.*, 2022). Dichos metabolitos están presentes en las plantas (Munim y Nazmul, 2022), como en las cactáceas (Martins *et al.*, 2023). Debido a ello, se ha investigado al nopal (*O. Ficus-indica*) como un insumo adicionado a la dieta de cerdos (Ortiz *et al.*, 2017), puesto que su propiedades fitoquímicas pueden coadyuvar en el mantenimiento de la salud e integridad intestinal de los lechones en fase destete-destete-iniciación (Pandey *et al.*, 2023), tal como se ha observado en cerdos en diferentes fases de producción (Gaitán *et al.*, 2017; Ordaz *et al.*, 2021).

La adición de nopal (*O. Ficus-indica*) en la dieta de los lechones en etapa de destete-iniciación, no solo son fuente rica de fibra dietética, puesto que contienen componentes bioactivos, como lo son flavonoides, compuestos fenólicos, vitamina C y E (Martins *et al.*, 2023), cuya atribución es su capacidad antioxidante, antiinflamatoria e inmunomodulador, favoreciendo la integridad de las células específicas del intestino y el metabolismo energético del organismo (Sinicopri *et al.*, 2022).

Sin embargo, los efectos observados en la mayoría de los aditivos discutidos en el Capítulo I y de acuerdo con la revisión sobre este tópico, los resultados aún son marginales y, por ello, se deben utilizar con la reservas del caso. Este aspecto se debe, en

esencia, a las diferentes configuraciones experimentales, condiciones ambientales, duración de la investigación, tipo de animales utilizados (saludables o enfermos) y tipo de aditivo que se pretende probar (Rao *et al.*, 2023). De aquí, los objetivos planteados en la presente investigación.

El nopal (*O. ficus-indica*) como parte del insumo de la dieta de los lechones en fase destete-destete-iniciación fue considerado por las siguientes razones: posee características que le permiten incluirse en la formulación de dietas de los cerdos en México, puesto que, presenta una diversidad de variedades que se encuentran y se cultivan en la mayor parte del territorio nacional (CONABIO, 2020). Además, se adaptan a condiciones de sequía (Torres-Ponce *et al.*, 2015) y su potencial para producir biomasa es de 10.1 a 11.8 toneladas/ha en BF (Bacarrillo-López *et al.*, 2021).

Otras características del nopal, que lo hacen apto para el consumo de los animales es su un alto contenido de humedad y fibra dietética (Martins *et al.*, 2023), compuestos bioactivos como lo son: polifenoles, vitaminas y minerales (Tesoriere *et al.*, 2014); mismas que, generan beneficios a nivel gastro-intestinal; en donde, se incluyen: la fermentación del bolo alimenticio, producción de AGCC (Bai *et al.*, 2022), aumento de la viscosidad y regulación del tránsito intestinal (Jha y Berrocso, 2015), acidificante, hipocolesterolemico, hipoglucemiante, antiinflamatorio, antioxidante y bacteriostático (Hernández-Becerra *et al.*, 2022). Sin embargo, su uso en la dieta de animales se restringe como un complemento de estas, debido principalmente a su bajo nivel de proteína (< 8.0%) (Hernández-Urbiola *et al.*, 2010), vida de anaquel corta (Contreras-Padilla *et al.*, 2011) y niveles de materia seca (14%) (SAGARPA, 2015; Gaitán *et al.*, 2017)

De acuerdo con las características del nopal, establecidas anteriormente, en el Capítulo II de la presente investigación, se estableció que la adición al 1% de nopal (*O. Ficus-indica*) a la dieta de lechones postdestete incrementó el consumo voluntario de alimento, aumentando su eficiencia alimenticia e inclusive su salud intestinal. Ello, posiblemente debido a que la ingesta de nopal modifica el metabolismo energético, puesto que estimuló positivamente el apetito en lechones postdestete (Capítulo II; Figura 1), mismo que fue atribuible al efecto hipoglucemiante ocasionado por la fibra dietética y a la biodisponibilidad presente de calcio contenidos en dicha cactácea (Contreras-Padilla *et al.*, 2011).

Tanto la fibra como los contenidos de calcio presentes en el nopal (*O. Ficus-indica*), han demostrado modular la secreción de insulina y mejorar el metabolismo energético del lechón, debido a su capacidad para modular los niveles de glucemia en sangre con lo cual se promueve la síntesis de glucógeno (Villela *et al.*, 2014), esencial para proveer de energía a las células.

Gaitán *et al.* (2018) sugiere que *O. Ficus-indica*, específicamente el mucilago de esta cactácea puede incrementar la viscosidad del bolo alimenticio y junto con la fibra reducir la velocidad del bolo alimenticio por el tracto gastrointestinal (GTI), aspectos que permiten una mayor acción enzimática sobre el alimento ingerido, lo cual favorece la digestión y absorción de nutrientes (Hooda *et al.*, 2011; Bosse y Pietsch, 2016). Sin embargo, las gomas y pectinas contenidas en el nopal pueden generar un pecti-gel y, con ello, atrapar lípidos y algunos carbohidratos presentes en el alimento y conferir una mayor dificultad para su digestión y absorción (Liu *et al.*, 2016); aspecto que genera la respuesta de la disminución de la glucosa en sangre y en cierta medida, el incremento del alimento en los cerdos sometidos a una dieta adicionada con nopal (Capítulo II: Tabla 2 y Figura 3).

Algunos investigadores como Falcón *et al.* (2011) han debatido que la reducción de la velocidad del tránsito intestinal y el incremento de la viscosidad de la misma, no siempre pueden ser favorables para una adecuada digestión y absorción de nutrientes, puesto que para que este fenómeno ocurra, además, se deben tomar en cuenta factores como el equilibrio de microorganismos presentes en el intestino, la respuesta inmune y la integridad tisular del mismo (Haro *et al.*, 2015; Merino *et al.*, 2021; Cordero y González-Ortiz, 2022). No obstante, los hallazgos en esta investigación sugieren que tanto la integridad del TGI, la respuesta inmune y la microbiota intestinal se mejoran con la adición de nopal a la dieta de lechones en la fase destete-destete-iniciación.

Bajo este contexto, los resultados obtenidos en los cerdos que consumieron nopal adicionado en su dieta tanto en base fresca (BF) o cocido a vapor (CocV) mostraron cambios poblacionales de los microorganismos (bacterias) grampositivas presentes en el intestino (Capítulo II; Tabla 4). Estos cambios podrían ser efecto del mismo modo, por la fibra dietética contenida en dicha cactácea, puesto que se le ha atribuido la capacidad prebiótica (Hernández-Becerra *et al.*, 2022) que tiene a nivel intestinal y que podría actuar como sustrato de los microorganismos hospederos en el intestino (Bai *et al.*, 2022), lo

cual favorece a la salud intestinal al proveer al intestino de ácidos grasos de cadena corta (AGCC) y regular el pH intestinal (Cordero y González-Ortiz, 2022).

Aunado a la mejora del metabolismo energético producto de la fermentación de la fibra no digestible y a la actividad bacteriostática del nopal (Ortiz *et al.*, 2019), mismas que favorecen a las poblaciones bacterianas intestinales benéficas y, estas últimas, al producir bacteriocinas inhiben aún más el crecimiento de bacterias patógenas. Dichos mecanismos, podrían estimular la regeneración del epitelio intestinal (Cajarville *et al.*, 2017; Agyekum y Nyachoti, 2017; Merino *et al.*, 2021; Sánchez-Torres *et al.*, 2022) y mantener el equilibrio de permeabilidad del intestino, lo que evitaría la presentación de diarreas mecánicas o infecciosas (Li *et al.*, 2021).

En la presente investigación (Capítulo IV; Figura 3; Tabla 1), la disminución de citocinas proinflamatorias (TNF- α , IL-1 β e IL-12) pudo estar mediada por la acción de los flavonoides y polifenoles contenidos en el nopal (Villa-Jaimes *et al.*, 2023) y estos al coadyuvar a: disminuir la inflamación intestinal, recuperar el equilibrio del metabolismo energético, aumentar la regeneración del epitelio intestinal (Capítulo III), promover la proliferación de microorganismos intestinales benéficos (Capítulo II) y, en consecuencia, mejorar el rendimiento productivo de los animales (Rossi *et al.*, 2020; Peng *et al.*, 2022).

No únicamente los metabolitos secundarios (fenoles, flavonoides) -presentes en el nopal- y la actividad antioxidante (Hernández-Becerra *et al.*, 2022) de estos mejoran la salud intestinal de los sujetos que la consumen (Castañeda-Arriaga *et al.*, 2021); también, la fibra soluble e insoluble de esta cactácea mejoran los procesos de digestión y absorción del alimento suministrado, promoviendo la integridad y salud del TGI (Gaitán-Lemus *et al.*, 2017).

Con respecto a la integridad del epitelio intestinal, en específico de las vellosidades intestinales, los resultados obtenidos (Capítulo III) con las dietas adicionadas con nopal (BF o CocV) sugieren que esta cactácea es capaz de mantener y proteger -hasta cierto punto- la integridad y salud intestinal al provocar cambios morfológicos (largo y ancho de vellosidades intestinales y menor profundidad de criptas de Lieberkühn) en cada una de las porciones correspondientes del intestino delgado (Capítulo III; Figura 1 y 2). Cambios que proporcionan una mayor superficie de absorción de los nutrientes ofrecidos en la dieta (Apolo y Rodríguez, 2021). Dichos fenómenos antes mencionados se

reflejaron evidentemente en el mejor crecimiento de los lechones bajo una dieta adicionada con nopal (Capítulo II; Tabla 2).

Así, la adición al 1% de *O. ficus-indica* en BF o CocV a la dieta de lechones postdestete mejora no solo el consumo voluntario de alimento modula la liberación de citocinas proinflamatorias, “restaura” el epitelio intestinal (vellosidades intestinales), puede contribuir (bacteriostático) con la disminución de crecimiento de bacterias oportunistas lo que contribuye a mantener la permeabilidad del intestino en equilibrio y evitar la presencia de diarreas mecánicas o infecciosas. En este sentido, el nopal (BF o CocV) como fuente prebiótica es una estrategia viable para eficientar el crecimiento de los lechones en la fase de destete-destete-iniciación.

BIBLIOGRAFIA GENERAL

- Agyekum, A.K. y Nyachoti, C.M. (2017). Nutritional and Metabolic Consequences of Feeding High-Fiber Diets to Swine: A Review. *Animal Nutrition and Feed Science*, 3(5), pp. 716-725.
- Armocida, A. (2022). Aditivos y salud intestinal porcina. *porciNews*. pp. 1-15 [En línea:] <https://porcinews.com/aditivos-y-salud-intestinal-porcina/>.
- Bai, Y., Zhou, X., Zhao, J., Wang, Z., Ye, H., Pi, Y., Che, D., Han, D., Zhang, S. y Wang J. (2022). Sources of Dietary Fiber Affect the SCFA Production and Absorption in the Hindgut of Growing Pigs. *Front. Nutr.* 8, pp. 719-935. doi: 10.3389/fnut.2021.719935.
- Cajarville, C., Brambillasca, S. y Zunino, P. (2017). Utilización de prebióticos en monogástricos: aspectos fisiológicos y productivos relacionados al uso de subproductos de agroindustrias y de pasturas en lechones. *Revista de Porcicultura Iberoamericana*, 1(2), pp. 1-11.
- Castañeda-Arriaga, R., Pérez-González, A., Marino, T., Russo, N., & Galano, A. (2021). Antioxidants into nopal (*Opuntia ficus-indica*), important inhibitors of free radicals' formation. *Antioxidants*. 10(12). doi:10.3390/antiox10122006.
- Collins, C. L., Pluske, J. R., Morrison, R. S., McDonald, T. N., Smits, R. J., Henman, D. J., Stensland, I. y Dunshea, F. R. (2017). Post-weaning and whole-of-life performance of pigs is determined by live weight at weaning and the complexity of the diet fed after weaning. *Animal Nutrition*. 3(4). pp. 372-379. doi: 10.1016/j.aninu.2017.01.001.
- Contreras-Padilla, M., Gutiérrez-Cortez, E., Valderrama-Bravo, M. C., Rojas-Molina, I. Espinosa-Arbelaez, D. G., Suárez-Vargas, R. y Rodríguez-García, M. E. (2011). Effects of Drying Process on the Physicochemical Properties of Nopal Cladodes at Different Maturity Stages. *Plant Foods for Human Nutrition*. 67, pp. 44-49. <https://doi.org/10.1007/s11130-011-0265-x>.

- Cordero, G. y Gonzales, O. G. (2022). Nuevas estrategias en la utilización de la fibra y efectos en la función intestinal. *SUIS*. 188, pp. 10-13.
- Falcón, M. del R., Barrón, H. J. M., Romero, B. A. L., y Domínguez, S. M. F. (2011). Efecto adverso en la calidad proteica de los alimentos de deitas con alto contenido de fibra dietaria. *Revista Chilena de Nutrición*. 38(3), pp. 369-375.
- Haro, G. M. P. (2015). Efecto de los Aceites Esenciales de Plantas Aromático Medicinales en la Fase de Transición de Animales Monogástricos. [Tesis Doctoral] Universidad de Murcia-Facultad de Veterinaria, pp. 1-337.
- Hernández-Becerra, E., Aguilera-Barreiro, M. A., Contreras-Padilla, C., Pérez-Torrero, E. y Rodríguez-García, M. E. (2022). Nopal cladodes (*Opuntia Ficus Indica*): Nutritional properties and functional potential. *Jorunal of Functional Foods*. 95, pp. 105-183. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.105183>.
- Hooda, S., Metzler-Zebeli, B. U., Vasanthan, T., & Zijlstra, R. T. (2011). Efectos de la viscosidad y la capacidad de fermentación de la fibra en la digestibilidad y características de la digesta en cerdos de engorde. *British Journal of Nutrition*, 106(5), 664-674.
- Jha, R. y Berrococo J. D. (2015) Review: Dietary fiber utilization and its effects on physiological functions and gut health of swine. *Animal*. 9(9), pp. 1441-1452. doi:10.1017/S1751731115000919.
- Li, H., Yin, J., Tan, B., Chen, J., Zhang, H., Li, Z. y Ma, X. (2021). Physiological function and application of dietary fiber in pig nutrition: A review. *Animal Nutrition*. 7(2), pp. 259-267. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2020.11.011>.
- Merino, R. J. A., Taracena, P. S., Díaz, G. E. J. y Rodríguez, WFL. (2021). Microbiota intestinal: “El órgano olvidado”, *Acta Medica Grupo Ángeles*, 19(1), pp. 92-100. DOI: <https://dx.doi.org/10.35366/98577>.
- Mosolov, A. A., Starodubova, Y. V., Miroshnik, A. S., Slozhenkina, M. I., Komlatsky, V. I. y Struk, A. N. (2022). Phytobiotics in pig feeding architecture for the organic animal hsubandry development. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 11(12), pp. 1-6. doi:10.1088/1755-1315/1112/1/012086.
- Mounir, B., Younes, E. G., Asmaa, M., Abdeljalil, Z. y Abdellah, A. (2020). Physico-chemical changes in cladodes of *Opuntia ficus-indica* as a function of the growth stage and harvesting áreas. *Jorunal of Plant Physiology*. 251, pp. 153-196. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2020.153196>.
- Ortiz R. R., Ahumada G. J. T., Pérez S. R. E., García-Saucedo P. A., Martínez-Flores H. E., Val A. D. (2022).” Evaluation of physicochemical changes of Nopal (*Opuntia ficus-indica*) at different steam cooking times”. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 24(1), pp. 42-53.
- Ortiz, R. R., Orozco, G. A., Val, A. D., Portillo, M, L. y Perez, S. R. E. (2017). Efecto de la adición de nopal (*Opuntia ficus-indica*) a la dieta de cerdas lactantes sobre la producción y calidad de la leche. 9(18), pp. <https://doi.org/10.21640/ns.v9i18.765>.
- Ortiz, R., Orozco, A., Ordaz, G., López, M., y Pérez, R. E. (2019). Effect of the addition of cactus (*O. ficus-indica*) to the lactating sows’ diet on piglet development at lactation and post-

- weaning. *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research*, 6(3), pp. 290. <http://doi.org/10.5455/javar.2019.f347>.
- Pandey, S., Kim, E. S., Cho, J. H., Song, M., Doo, H., Kim, S., Keum, G. B., Kwak, J., Ryu, S., Choi, Y., Kang, J., Choe, J. y Kim H. B. (2023) Cutting-edge knowledge on the roles of phytobiotics and their proposed modes of action in swine. *Front. Vet. Sci.* 10. doi: 10.3389/fvets.2023.1265689.
- Pluske, J. R., Kim, J. C. y Black, J. L. (2018). Impact of weaning and its associated nutritional challenges on the gastrointestinal tract of pigs. *Animal Nutrition*. 4(3), pp. 187-196. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2018.04.002>.
- Sánchez-Torres, L., Macias-Flores, M., Gutiérrez-Arenas, D., Arredondo-Castro, M., Valencia-Posadas, M., Ávila-Ramos, F. (2022). Fibra como prebiótico para aves de producción: una revisión, *Abanico Veterinario*, 12, pp. 1-12. DOI: <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2022.24>. ISSN 2448-6132.
- Twaij, B. M., y Hasan, M. N. (2022). Bioactive Secondary Metabolites from Plant Sources: Types, Synthesis, and Their Therapeutic Uses. *International Journal of Plant Biology*. 13(1), pp. 4-14. <https://doi.org/10.3390/ijpb13010003>.
- Zhao, M., Zhang, J., Liu, F., Luo, L., Wei, M., Ye, Y., Yangzom, C., & Shang, P. (2024). Effects of Different Feed Additives on Intestinal Metabolite Composition of Weaned Piglets. *Metabolites*. 14(3), pp. 1-16. <https://doi.org/10.3390/metabo14030138>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2022). ‘El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2022’. Adaptación de las políticas alimentarias y agrícolas para hacer las dietas saludables más asequibles. Roma, FAO. Pp. 1-40. Doi.org/10.4060/cc0640es.
- World Bank. (2022) Perspectivas económicas mundiales. www.worldbank.org. [En línea:] <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2022/06/07/stagflation-risk-rises-amid-sharp-slowdown-in-growth-energy-markets>.
- World Trade Organization. (2022) Informe sobre el Comercio Mundial. www.wto.org. [En línea:] https://www.wto.org/spanish/res_s/booksp_s/wtr22_s/wtr22_s.pdf.
- Moore, D., Harden, K., Sampaio, F., Miller, G. D., Rose Mc. K., Calvo-Lorenzo, M., Ransom, J., Mitloehner, F., Rice, E., Penz, A. M., Penz, M. A., Lima, R. C., Hamilton, A. y Arnot, Ch. (2021). La importancia de la producción pecuaria y la proteína animal: la perspectiva del hemisferio occidental. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica. Pp. 1-59,
- Alonso-Spilsbury, M., Ramir-Necoechea, R. y Taylor-Preciado, J. (2012). El cambio climático y su impacto en la producción de alimentos origen animal. *Rev. Electrón. Vet.*, 13(11), Pp. 1 25.
- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA) (2022) Perspectivas 2022. www.fira.com.mx. [En <https://www.fira.gob.mx/InfEspDtoXML/abrirArchivo.jsp?abreArc=98845>.

- OECD-FAO (2021). OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2021-2030. [En línea] <https://www.oecdilibrary.org/sites/6c9145fces/index.html?itemId=/content/component/6c9145fc-es>.
- Huerta-Sanabria, S., Arana-Coronado, O.A., Sagarnaga-Villegas, L.M., Matus-Gardea, J.A. y Brambila-Paz J.J. (2018). Impacto del ingreso y carencias sociales sobre el consumo de carne en México. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 9(6), Pp. 1245-1258.
- Alonso, P. F. A. (2022). Producción consumo mundial de carne de cerdo. www.bmeditores.mx. [En línea:] <https://bmeditores.mx/porcicultura/produccion-consumo-mundial-de-carne-de-cerdo/>.
- Castro, C. A. (2023) Estimaciones para el consumo de carne de cerdo en 2022 y 2023. www.3tres3.com. [En línea:] https://www.3tres3.com/es-mx/articulos/estimaciones-para-el-consumo-de-carne-de-cerdo-en-2022-y-2023_14583/#:~:text=Si%20bien%2C%20se%20observ%C3%B3%20una,alcanzar%C3%A0%20los%2048.3%20kg%2Fhab.
- Organización para la Cooperación y Desarrollos Económicos (OCDE) (2019) Exámenes de mercado en México: Estudio de caso mercado de la carne de cerdo [En línea] <https://www.oecd.org/daf/competition/market-examinations-mexicopork-meat-market-web-esp.pdf>.
- Gómez-Tenorio, G., Rebollar, R. S., Hernández, M. J. y Guzmán, S. E. (2012) Competitividad de la producción porcina de México y Estados Unidos. *Comercio Exterior*. Pp. 1-10.
- Ortiz-Rodríguez, R. (2019). Impacto de la gestión administrativa tradicional en la empresa porcinas del centro de México. *Revista Científica del Instituto Iberoamericano de Desarrollo Empresarial*, Año 2, No. 3, Pp. 111-133.
- Mota-Rojas, D., Roldán-Santiago, P., Pérez-Pedraza, E., Martínez-Rodríguez, R., Hernández Trujillo, E. y Trujillo-Ortega, M.E. (2014). Stress factors in weaned piglet. *Vet. Méx.* Pp. 37-51.
- Blanch, A. (2015). Aplicación de probióticos, prebióticos y simbióticos en porcino. *nutriNews*, Pp. 2-8.
- Duarte, A. J. y Rodríguez, N. L. A. (2022). Respuesta nutricional de concentrado comercial vs concentrado de una empresa para cerdos de engorde. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*. 8(15), Pp. 1855-1862.
- Cortéz, L., More, M., Aragón, E., Mena, R. y Quisirumbay, G. J. (2022). Suplementación de glutamina sobre el desempeño productivo y variables bioquímicas en lechones destetados. *Revista Veterinaria*. 33(2), Pp. 241-245. DOI: <http://dx.doi.org/10.30972/vet.3326190>.
- Reis de Souza, C.T., Mariscal, L.G., Escobar, G.K., Aguilera, B.A. y Magné, B.A. (2012) Cambios nutrimentales en el lechón y desarrollo morfofisiológico de su aparato digestivo. *Vet. Mex.*, 43(2), Pp. 155-173.
- Paillacho, C. J. L., More, M. J. M., Aragón, V. E. F., Mena, P. R. P. y Quisirumbay, G. J. R. (2022). Evaluación de la suplementación de aminoácidos ramificados sobre el

- desempeño productivo y variables bioquímicas en lechones destetados. *Siembra*. 9(2), Pp. 1-6. DOI: <https://doi.org/10.29166/siembra.v9i2.3991>.
- Del Carpio, R.P.A. (2018). *Dieta suplementada con fitobióticos (Thymus vulgaris y Ceratonia siliqua) y su efecto en la acción nutricional la salud intestinal de cerdos recién destetados, Chachapoya Perú*. Tesis de Maestría en Producción Animal. Chachapoyas, Perú . Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.
- Kim, J.C., Hansen, C.F., Mullan, B.P. Y Pluske, (2012) Nutrition and pathology of weaner pigs: Nutritional to support barrier function in the gastrointestinal tract. *Animal Feed Science and Technology*. 173, Pp. 3–16.
- Bautista, M. S. E., Hijuitl, V. T. J., Mariscal, L. G., Gómez, S. J. G., Narváez, B. C. I., Escobar, G. K. Reis de Souza, T. C. (2023) Asociación entre el destete, la salud intestinal de lechones destetados y el consumo de alimento de dietas con probióticos y concentrado de proteína de papa. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 31(2). Pp. 115-137. DOI: <https://doi.org/10.53588/alpa.310201>.
- Lozano, G.J.L. y Manrique, R.P.T. (2014) Evaluación de dos sistemas de alimentación en lechones en etapa de precebo. Tesis de licenciatura. Universidad De La Salle-Facultad de Ciencias Agropecuarias, Bogotá. Pp. 1-57.
- Fraile, L. (2021) Estrategias de medicina preventiva para el control de la diarrea posdestete en porcino tras la supresión del óxido de zinc (I)*. *SUIS*. 176, Pp. 10-14.
- Sieminska, I. y Pejsak, Z. (2022). Impact of stress on the functioning of the immune system, swine health and productivity. *Med. Weter.* 78(11), Pp. 541-547. DOI: [dx.doi.org/10.21521/mw.6673](https://doi.org/10.21521/mw.6673).
- Martínez-Aguilar, M. V. y Salazar-Villanea, S. (2020) Activación del sistema inmune en cerdos y su requerimiento de metionina, treonina y triptófano. *Nutrición Animal Tropical*. Vol. 14(2). Pp. 23-38.
- Cortéz, L., More, M., Aragón, E., Mena, R. y Quisirumbay, G. J. (2022). Suplementación de glutamina sobre el desempeño productivo y variables bioquímicas en lechones destetados. *Revista Veterinaria*. 33(2), Pp. 241-245. DOI: <http://dx.doi.org/10.30972/vet.3326190>.
- Rentería, F.J.A., Gómez, R.S., López, H.L.H., Ordaz, O.G., Anaya, E.A.M., Mejía, G.C.A. Mariscal, L.G. (2021) Principales aportes de la investigación del INIFAP a la nutrición porcina en México: retos y perspectivas. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 12(3), Pp. 79-110.
- Arce, N., Cervantes, M., Araiza, B. y Morales, A. (2020). Expresión de enzimas relacionadas con la síntesis de poliaminas en mucosa intestinal de cerdos recién destetados. *Arch. Zootec.* 69 (266). Pp. 184-189.
- González-Aragón, F. (2020). EFECTO DE SUPLEMENTACIÓN DE ARGININA SOBRE INTEGRIDAD INTESTINAL Y UTILIZACIÓN DE NUTRIENTES EN CERDOS (Sus scrofa) EN CRECIMIENTO EN ESTRÉS POR CALOR. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo Leon. Facultad de Agronomía. Nuevo Leon, México. Pp. 1-86.

- Salazar-Jiménez, M. M. (2021) EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD DEL MANEJO DE RECRÍA DE LECHONES DE BAJO PESO DURANTE EL PERIODO DE LACTANCIA. Tesis de licenciatura. Universidad Agraria del Ecuador. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Guayaquil, Ecuador. Pp. 1-70.
- Sánchez-Crespo, J. A. (2021). EVALUACIÓN DE AUMENTO DE PESO EN LECHONES LACTANTES DE CERDAS PRIMERIZAS Y MULTÍPARAS EN PRODUCCIÓN. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Guerrero. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales. Guerrero, México. Pp. 1-63.
- Balfagón, A. y Jiménez-Moreno, E. (2014) Nuevos avances en alimentación y nutrición porcina: bases científicas y alimentación práctica en la península ibérica. XXX CURSO DE ESPECIALIZACIÓN FEDNA. Pp. 91- 123.
- Pluske, J. (2017). Programas de alimentación y uso de aditivos en lechones. Federación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. (4), Pp. 107–116.
- Guevarra, B. R., Hyung, L. J., Hee, L. S., Min-Ja, S., Wan, K. D., Na, K. B., Johnson, J. T., Isaacson, E. R. y Bum, K. H. (2019) Piglet gut microbial shifts early in life: causes and effects. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 10(1), Pp. 1-10. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40104-018-0308-3>.
- Knecht, D., Cholewinska, P., Jankowska-Makosa, A. y Czyz, A. (2020) Development of Swine's Digestive Tract Microbiota and Its Relation to Production Indices—A Review. *animals*. Vol. 10(527). Pp. 1-13.
- Bautista, M. S. E., Hijuitl, V. T. J., Mariscal, L. G., Gómez, S. J. G., Narváez, B. C. I., Escobar, G. K. Reis de Souza, T. C. (2023) Asociación entre el destete, la salud intestinal de lechones destetados y el consumo de alimento de dietas con probióticos y concentrado de proteína de papa. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 31(2). Pp. 115-137. DOI: <https://doi.org/10.53588/alpa.310201>.
- Kim, J.C., Hansen, C.F., Mullan, B.P. Y Pluske, (2012) Nutrition and pathology of weaner pigs: Nutritional to support barrier function in the gastrointestinal tract. *Animal Feed Science and Technology*. 173, Pp. 3–16.
- Kim, B. H. y Isaacson, E. R. (2015) The pig gut microbial diversity: Understanding the pig gut microbial ecology through the next generation high throughput sequencing. *Veterinary Microbiology*. 177 (3-4), Pp. 242-251. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2015.03.014>.
- De Lucas M. B., González, S. R., Bressa, C., Bailén, M. y Larrosa, M. (2019) Modulación a través del estilo de vida de la microbiota intestinal. *Nutrición Hospitalaria*. 36(3). Pp. 35-39. DOI: <http://dx.doi.org/10.20960/nh.02805>.
- Yang H, Huang X, Fang S, He M, Zhao Y, Wu Z, Yang M, Zhang Z, Chen C, Huang L. (2017) Unraveling the Fecal Microbiota and Metagenomic Functional Capacity Associated with Feed Efficiency in Pigs. *Front Microbiol*. 8(1555), Pp.1-11. DOI: 10.3389/fmicb.2017.01555.
- Stokes, C. R. (2017) The development and role of microbial-host interactions in gut mucosal immune development. *J Animal Sci Biotechnol*. 8(12), Pp. 1-11. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40104-016-0138-0>.

- Jacobi, K. S., Moeser, J. A., Blikslager, T. A., Rhoads, M. J., Corl, A. B., Harrell, J. R. & Odle, J. (2013). Acute effects of rotavirus and malnutrition on intestinal barrier function in neonatal piglets. *World Journal of* <https://doi.org/10.3748/wjg.v19.i31.5094>.
- Tran, T. H. T., Everaert, N. & Bindelle, J. (2016). Review on the effects of potential prebiotics on controlling intestinal enteropathogens *Salmonella* and *Escherichia coli* in pig production. *Journal Animal Physiology* <https://doi.org/10.1111/jpn.12666> 37. and *Animal Nutrition*, 102(2018), 17–32.
- Pérez-Chabela, M de L., Alvarez-Cisneros, Y., Soriano-Santos, J., Perez-Hernandez, M. A. (2020) Los probióticos y sus metabolitos en la acuicultura. Una Revisión. *Hidrobiológica*. 30 (1). Pp. 93-105. DOI: 10.24275/uam/izt/dcb/hidro/2020v30n1.
- Matheus, D. A. y Guedes, R. M. C. (2021) Nutracéuticos para el control de enteropatógenos. *Porcinews Latam*. [En línea:] <https://porcinews.com/nutraceuticos-para-el-control-de-enteropatogenos/>.
- Ordaz, G., Juárez, A., López, M., Martínez, H.E., Pérez, R.E. y Ortiz, R. (2021). *Opuntia ficus indica* as a supplement for gilts in late gestation and lactation: effects on biochemical parameters and voluntary feed intake. *Journal of Applied Animal Research*, 49(1), Pp. 404-412.
- Martins, M., Ribeiro, M. H. y Almeida, C. M. (2023) Physicochemical, Nutritional, and Medicinal Properties of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. and Its Main Agro-Industrial Use: A Review. Vol. 12(7). Pp. 1-45.
- Matheus, D. A. y Guedes, R. M. C. (2021) Nutracéuticos para el control de enteropatógenos. *Porcinews Latam*. [En línea:] <https://porcinews.com/nutraceuticos-para-el-control-de-enteropatogenos/>.
- Torres-Ponce, R.L., Morales-Corral, D., Ballinas-Casarrubias, M.L. y Nevárez- Morillon, G.V. (2015). El nopal: planta del semidesierto con aplicaciones en farmacia, alimentos y nutrición animal. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 6(5), Pp. 1130-1142.
- Arnaldo-Portillo, G., Renaut-Aquino, J.E. y Silva-Mazacotte, E.E. (2021) Efectos de la utilización de enzimas α -amilasa y lipasa sobre el desempeño productivo de lechones recién destetados. *Investig. Agrar.* 23(2), Pp. 111-116.
- El-Mostafa K, El Kharrassi Y, Badreddine A, Andreoletti P, Vamecq J, El Kebbaj MS, Latruffe N, Lizard G, Nasser B, Cherkaoui-Malki M. (2014) Nopal cactus (*Opuntia ficus-indica*) as a source of bioactive compounds for nutrition, health and disease. *Molecules*. Vol. 19(9). Pp. 879-901. doi: 10.3390/molecules190914879.
- Madrigal-Santill, E.; Portillo-reyes, J.; Madrigal-bujaidar, E.; Sánchez-Gutiérrez, M.; Izquierdo Vega, J.A.; Izquierdo-Vega, J.; Delgado-Olivares, L.; Vargas-Mendoza, N.; Álvarez González, I.; Morales-González, Á.; et al. (2022) *Opuntia* spp. in Human Health: A Comprehensive Summary on Its Pharmacological, Therapeutic and Preventive Properties. Part 2. Plants. Vol. 11. Pp. 23-33.
- Tesoriere, L.; Attanzio, A.; Allegra, M.; Gentile, C.; Livrea, M.A. Indicaxanthin inhibits NADPH oxidase (NOX)-1 activation and NF- κ Bdependent release of inflammatory mediators and prevents the increase of epithelial permeability in IL-1 β exposed Caco-2 cells. *Br. J. Nutr.* 2014, 111. Pp. 415-423.

- Castillo, S.L.; Heredia, N.; Contreras, J.F.; García, S. (2011) Extracts of edible and medicinal plants in inhibition of growth, adherence, and cytotoxin production of *Campylobacter jejuni* and *Campylobacter coli*. J. Food Sci. Vol. 76, M421– M426.
- Sánchez, E.; García, S.; Heredia, N. (2010) Extracts of Edible and Medicinal Plants Damage Membranes of *Vibrio cholerae*. Appl. Environ. Microbiol. Vol. 76. Pp. 6888–6894.
- Bacarrillo-Lopez, R., PedrozaSandoval, A., Inzunza, M. A. I., Flores-Hernández, A. y Macias-Rodríguez, F. J. (2021) Productividad de forraje de variedades de nopal (*Opuntia* spp.) bajo diferentes regímenes de humedad del suelo. Ecosist. Recur. Agropec. Vol. 8(3). Pp. 1-9.
- CONABIO. (2020) Centros de plantas cultivadas. [En línea:] <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/evolucionbajo-domesticacion/centrosPlantas>.
- Achon, T. M., González, G. M. P. y Varela-Moreiras, G. (2018) Criterios de armonía funcional entre gastronomía y salud: una visión desde la comunidad científica. Nutrición Hospitalaria. 35(4). Pp. 75-84. DOI: <http://dx.doi.org/10.20960/nh.2131>.

ANEXOS



Página 1 of 126 - Portada

Identificador de la entrega trn:oid::3117:433517821

Aarón Ponce de León Zavala

EFECTO DE LA ADICIÓN DE NOPAL (*Opuntia ficus-indica*) COCIDO A VAPOR A LA DIETA DE LECHONES POSTDESTE

 Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::3117:433517821

Fecha de entrega

24 feb 2025, 12:06 p.m. GMT-6

Fecha de descarga

24 feb 2025, 12:18 p.m. GMT-6

Nombre de archivo

EFECTO DE LA ADICIÓN DE NOPAL (*Opuntia ficus-indica*) COCIDO A VAPOR A LA DIETA DE LECHO....pdf

Tamaño de archivo

1.3 MB

101 Páginas

43,931 Palabras

237,869 Caracteres



Página 1 of 126 - Portada

Identificador de la entrega trn:oid::3117:433517821

Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



A quien corresponda,

Por este medio, quien abajo firma, bajo protesta de decir verdad, declara lo siguiente:

- Que presenta para revisión de originalidad el manuscrito cuyos detalles se especifican abajo.
- Que todas las fuentes consultadas para la elaboración del manuscrito están debidamente identificadas dentro del cuerpo del texto, e incluidas en la lista de referencias.
- Que, en caso de haber usado un sistema de inteligencia artificial, en cualquier etapa del desarrollo de su trabajo, lo ha especificado en la tabla que se encuentra en este documento.
- Que conoce la normativa de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, en particular los Incisos IX y XII del artículo 85, y los artículos 88 y 101 del Estatuto Universitario de la UMSNH, además del transitorio tercero del Reglamento General para los Estudios de Posgrado de la UMSNH.

Datos del manuscrito que se presenta a revisión		
Programa educativo	Programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas	
Título del trabajo	Efecto de la adición de nopal (<i>Opuntia ficus-indica</i>) cocido a vapor a la dieta de lechones postdestete sobre citocinas proinflamatorias, integridad intestinal y desempeño productivo	
	Nombre	Correo electrónico
Autor/es	Aarón Poncedeleón Zavala	ponce21@umich.mx
Director	Rosa Elena Pérez Sánchez	rosa.perez@umich.mx
Codirector	Ruy Ortiz Rodríguez	ruy.ortiz@umich.mx
Coordinador del programa	Daniel Val Arreda	dval@umich.mx

Uso de Inteligencia Artificial		
Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Asistencia en la redacción	No	

Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



Uso de Inteligencia Artificial		
Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Traducción al español	Sí	Traducción de conceptos
Traducción a otra lengua	No	
Revisión y corrección de estilo	No	
Análisis de datos	No	
Búsqueda y organización de información	Sí	Definición de conceptos
Formateo de las referencias bibliográficas	No	
Generación de contenido multimedia	No	
Otro	No	

Datos del solicitante	
Nombre y firma	Aarón Ponce de León.
Lugar y fecha	Morelia, Michoacán. 24 de febrero 2025