



Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

Tesis

EFFECTO DE LA ADICIÓN DE NOPAL (*O. ficus-indica*) EN BASE FRESCA Y PRECOCIDO A LA DIETA DE CERDOS DE 6-25 KG SOBRE CRECIMIENTO Y MICROBIOTA INTESTINAL

Que para obtener el grado de Médico Veterinario Zootecnista presenta:

PMVZ. Aarón Ponce de León Zavala

Asesor de tesis

MC. Ruy Ortiz Rodríguez

Co-asesor de tesis

MC. Manuel López Rodríguez

Morelia, Michoacán. Noviembre de 2022

AGRADECIMIENTOS

A mi madre Tzentiolt Zavala Uribe, por darme la vida, amarme y educarme para ser quien soy hoy día. Por su impulso y preocupación para poder salir adelante cuando más lo he necesitado para poder cumplir mis metas.

A mi padre José Luis Ponce de León Mendoza, por ser mi máxima inspiración en este camino, gracias a sus consejos y enseñanzas, he podido motivarme en todo momento para alcanzar mis anhelos. Ello me ha forjado con esa dedicación y paciencia que nadie tiene.

A mi asesor M.C. Ruy Ortiz Rodríguez y co-asesor MC. Manuel López Rodríguez, por haberme brindado la oportunidad de realizar este proyecto a través de su capacidad y conocimientos, así como por haberme tenido paciencia en todo momento.

A mi novia Kimberly Beatriz Longoria Mendoza, por ser mi compañera incondicional en cada momento que se lo he pedido durante todo este proyecto y por cada larga y agotadora tarde de estudio. Su motivación, conocimiento y cariño me ha ayudado a salir adelante en momentos difíciles.

A mis profesores, quienes son y serán parte importante de mi formación, cada uno de sus conocimientos me forjarán como un buen profesionalista.

Agradezco a Dios, por haberme brindado una familia maravillosa, quienes son los primeros que han creído en mí siempre. Porque han fomentado en mí los valores suficientes para superarme día a día.

A mis amigos, los mejores compañeros de vida, por estar conmigo en los buenos y malos momentos. Gracias por creer en mí, comprenderme y tenerme paciencia en todo momento. Es su compañía, sus consejos y su sentido del humor, lo que me llena de sonrisas cada día.

INDICE

	Pág.
RESUMEN	
ABSTRACT	
1. INTRODUCCION	1
2. ANTECEDENTES	3
2.1. El cerdo en la alimentación humana	3
2.2. Panorama de la porcicultura a nivel mundial y nacional	3
2.3. Cambios anatomo-fisiológicos del aparato digestivo del lechón recién nacido	6
2.4. Velloosidades intestinales y establecimiento de la microbiota digestiva del lechón recién nacido	8
2.5. Cambios anatomo-fisiológicos del aparato digestivo del lechón 36-72 horas post-nacimiento	10
2.6. El destete y su relación con la eficiencia en el desarrollo del lechón	13
2.6.1. Estrés del lechón por efecto del destete	14
2.7. Efectos detrimentales en la salud y crecimiento del lechón causados por el estrés del destete	16
2.8. Alimentación del lechón postdestete (fase de iniciación)	17
2.8.1. Uso de aditivos convencionales en la alimentación de cerdos en la fase de iniciación	20
2.8.2. Uso de aditivos no convencionales en la alimentación de cerdos en la fase de iniciación	21
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	25
4. HIPOTESIS	26
5. OBJETIVOS	26
5.1. Objetivo general	26
5.2. Objetivos específicos	26
6. MATERIAL Y METODOS	27
7. RESULTADOS	33
8. DISCUSION	39
9. CONCLUSIONES	43
10. RECOMENDACIONES	44
11. BIBLIOGRAFIA	45

INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

	Pág.
Tabla 1. Composición nutricional de la dieta comercial E6a25 para lechones por fase	28
Tabla 2. Características morfológicas y bromatológicas de los cladodios de nopal <i>O. ficus-indica</i>	29
Tabla 3. Medias de mínimos cuadrados para parámetros de crecimiento y consumo de alimento® y nopal por semana de acuerdo con el grupo en la etapa de iniciación	33
Figura 1. Medias de mínimos cuadrados de consumo de alimento comercial (E6a25) de los lechones durante siete semanas (etapa de iniciación)	34
Figura 2. Medias de mínimos cuadrados del consumo voluntario de nopal en sus dos presentaciones (base fresca y precocido con vapor) semana/lechón durante siete semanas (fase de iniciación)	35
Figura 3. Medias de mínimos cuadrados del peso del lechón grupo-1 semana-1 durante siete semanas (etapa de iniciación)	36
Figura 4. Medias de mínimos cuadrados de la ganancia de peso semanal del lechón tratamiento/semana durante siete semanas (etapa de iniciación)	37
Figura 5. Medias de mínimos cuadrados para la conversión alimenticia de acuerdo con el grupo	37
Figura 6. Promedios del conteo de UFC's Gram positivas respecto a los tratamientos	38

RESUMEN

El objetivo fue evaluar el efecto de la adición *O. ficus-indica* [en base fresca (BF) y precocido al vapor (PCV)] a la dieta de lechones en la fase de 6-25 kg de peso sobre el crecimiento y microbiota intestinal en la porción del íleon. Se seleccionaron al azar 60 lechones destetados (21 ± 2 días de edad) de ambos sexos y de 6 a 7 kg de peso, cuyo genotipo pertenecía a la línea genética para magrez de la canal y velocidad de crecimiento. Los 60 lechones fueron distribuidos en tres grupos ($n=20$ lechones) con dos repeticiones por grupo ($n=10$ lechones/repetición): GT o grupo testigo, el cual recibió alimento comercial para la etapa de 6 a 25 kg de peso (E6a25); Grupo nopal base fresca (GNBF), grupo de lechones que recibió alimento comercial E6a25 más el 1% (en relación con el peso del lechón⁻¹ semana⁻¹) de *O. ficus-indica* en BF; Grupo nopal precocido al vapor (GNPCV), grupo de lechones alimentados con alimento comercial E6a25 más el 1% de *O. ficus-indica* PCV. El alimento comercial se suministró *ad libitum* en los tres grupos. Se evaluó: consumo voluntario de alimento (CVA), consumo voluntario de nopal (CVN), ganancia de peso semanal (GPS), conversión alimenticia (CA) y su peso vivo (PV). Así como las variables medidas una sola vez: total de unidades formadoras de colonias (UFC) Gram positivas presentes en íleon a partir de cultivos bacteriológicos. Con la información recabada se realizó un análisis de mediciones repetidas bajo la metodología de modelos de efectos fijos para las variables dependientes del tiempo. Para las variables no afectadas por el tiempo (medición en una sola ocasión), estas se analizaron a través de modelos de efectos fijos. Las diferencias entre grupos se obtuvieron a través del procedimiento de medias de mínimos cuadrados a un $\alpha = 0.05$. Se encontró efecto de grupos sobre el CVA ($p < 0.001$). Al respecto, el GNBF y el GNPCV presentaron mayor CVA (3.24 y 3.25 kg de alimento semana⁻¹, respectivamente) respecto al GT (3.12 kg de alimento semana⁻¹) ($p < 0.05$). En relación con el CVN se observó mayor ($p < 0.001$) consumo en el GNBF (0.700 kg semana⁻¹) vs GNPCV (0.630 kg semana⁻¹). En cuanto al PV final de la fase de iniciación, el GT obtuvo un menor ($p < 0.05$) PV (20.940 kg) vs GNBF (26.030 kg) y GNPCV (26.550 kg), promedios similares entre sí ($p > 0.05$). Mientras que, para la GPS, el GT presentó menor ($p < 0.05$) ganancia (1.90 kg) vs GNBF (2.39 kg) y GNPCV (2.43 kg), promedios sin diferencias entre sí ($p > 0.05$). En cuanto a la CA, el GT mostró menor ($p < 0.05$) eficiencia en esta variable (1.73:1) vs GNBF (1.40:1) y GNPCV (1.38:1); ambos promedios sin diferencias significativas ($p > 0.05$). En cuanto a la población de bacterias Gram positivas (microbiota) en íleon, el GT mostró una menor cantidad de UFC (6.98×10^7) de dichas bacterias, ello en comparación con los grupos adicionados con *O. ficus-indica*, los cuales mostraron mayor cantidad de UFC: GNBF, UFC = 8.04×10^8 y GNPCV, UFC = 7.67×10^7 ; valores diferentes entre sí ($p < 0.05$). Finalmente, estos resultados sugieren que la adición de nopal (*O. ficus-indica*) en BF incrementa el CVA y modifica benéficamente la microbiota del íleon, lo que provoca mayor GPS y mejor CA.

Palabras clave: destete, alimentación, nopal, microbiota intestinal, consumo de alimento, conversión alimenticia

ABSTRACT

The aim was to evaluate the effect of the addition of *O. ficus-indica* [on fresh base (BF) and pre-steamed (PS)] to the diet of piglets in the phase of 6-25 kg of weight on the growth and intestinal microbiota in the ileum portion. We randomly selected 60 weaned piglets (2 ± 12 days old) of both sexes and weighing 6 to 7 kg, whose genotype belonged to the genetic line for carcass lean and growth velocity. The 60 piglets were distributed in three groups (n=20 piglets) with two repeats per group (n=10 piglets/repeat): CG or control group, which received commercial food for the stage of 6 to 25 kg of weight (E6a25); Fresh base cactus group (FBCG), group of piglets that received commercial feed E6a25 plus 1% (relative to piglet weight⁻¹ week⁻¹) of *O. ficus-indica* in FB; Pre-steamed cactus group (PSCG), group of piglets fed with commercial food E6a25 plus 1% of *O. ficus-indica* PS. Commercial food was supplied *ad libitum* in all three groups. The following were evaluated: voluntary food intake (VFI), voluntary cactus intake (VCI), weekly weight gain (WWG), feed conversion (FC) and live weight (LW). As well as the variables measured only once: total colony forming units (CFU) Gram positive present in ileum from bacteriological crops. With the information collected, an analysis of repeated measurements was carried out under the methodology of fixed-effect models for time-dependent variables. For variables not affected by time (one-time measurement), these were analysed using fixed-effect models. Differences between groups were obtained through the least squares mean procedure $\alpha = 0.05$. An effect of groups on VFI was found ($p < 0.001$). In this regard, the FBCG and the PSCG presented higher VFI (3.24 and 3.25 kg of week⁻¹ food, respectively) compared to the CG (3.12 kg of week⁻¹ food) ($p < 0.05$). In relation to the VCI was observed higher ($p < 0.001$) intake in the FBCG (0.700 kg week⁻¹) vs. PSCG (0.630 kg week⁻¹). As for the final LW of the initiation phase, the CG obtained a lower ($p < 0.05$) LW (20,940 kg) vs FBCG (26,030 kg) and PSCG (26,550 kg), similar averages to each other ($p > 0.05$). While, for WWG, the CG presented lower ($p < 0.05$) gain (1.90 kg) vs FBCG (2.39 kg) and PSCG (2.43 kg), similar averages to each other ($p > 0.05$). Regarding FC, the CG showed lower ($p < 0.05$) efficiency in this variable (1.73:1) vs FBCG (1.40:1) and PSCG (1.38:1); both means without significant differences ($p > 0.05$). Regarding the population of Gram-positive bacteria (microbiota) in ileum, the CG showed a lower amount of CFU (6.98×10^7) of these bacteria, compared to the groups added with *O. ficus-indica*, which showed a higher amount of CFU: FBCG, CFU = 8.04×10^8 and PSCG, CFU = 7.67×10^7 ; values different from each other ($p < 0.05$). Finally, these results suggest that the addition of cactus (*O. ficus-indica*) in FB increases VFI and beneficially modifies the ileum microbiota, which causes greater WWG and better FC.

Key words: weaning, feeding, cactus, gut microbiota, feed intake, feed conversion

1. INTRODUCCION

En la actualidad el sector porcícola de México se enfrenta a la competencia de las empresas internacionales del mismo ramo; pues las empresas del país no cubren la demanda nacional del consumo de carne de cerdo (Gómez-Tenorio *et al.*, 2011; Ortiz, 2019). Ante la competencia, las empresas porcinas han optado por disminuir el costo de producción del lechón (FAO, 2016), puesto que, el costo de éste tiene mayor impacto sobre el costo kg⁻¹ de cerdo finalizado (Santomá y Pontes, 2011; Boulot *et al.*, 2013). Sin embargo, Soraci *et al.* (2010), Mota *et al.* (2014) y Blanch (2015) sugieren que los costos de producción por cerdo finalizado pueden reducirse mejorando la velocidad de crecimiento del lechón destetado hasta la finalización (6 a 100 kg de peso vivo).

En la actualidad, se pueden conciliar los objetivos antes planteados: producir más lechones y reducir el tiempo del destete a la finalización; Para ello, se debe considerar que el destete es el periodo más crítico dentro de los procesos parciales de producción porcina y el que tiene mayor incidencia sobre la velocidad del crecimiento del cerdo y consecuentemente en la rentabilidad del sistema de producción (López-Rivera *et al.*, 2019; Parra-Alarcón *et al.*, 2022).

Es un hecho que el lechón recién destetado transita por un estado estresante, mismo que retarda su desarrollo normal; puesto que el estrés además de alterar su apetito (disminuye el consumo voluntario de alimento), también afecta la estimulación enteral y ello, compromete la integridad de la mucosa intestinal; principalmente, atrofiando las vellosidades intestinales, aumentando la profundidad de las criptas y reduciendo la concentración de enzimas digestivas (Mota *et al.*, 2014).

Las alteraciones de tracto gastro intestinal (TGI) del lechón, provocadas por el estrés del destete, modifican la absorción de nutrientes de manera negativa y predisponer a infecciones entéricas; puesto que, se modifica la exclusión competitiva entre bacterias benéficas y patógenas Gram positivas y Gram negativas (Blanch, 2015). De aquí, la importancia de las numerosas investigaciones sobre los aditivos que ayuden a desarrollar o fortalecer el TGI de los lechones; principalmente, aquellos aditivos que propicien la salud intestinal (desarrollo, equilibrio anatómico-fisiológico y de la microbiota) durante los primeros 50 días post-destete (Soraci *et al*, 2010).

De acuerdo con lo referido en el párrafo anterior, también se ha observado un auge en las investigaciones de dietas para cerdos preparadas con insumos no convencionales en un intento por encontrar aquellos alimentos que puedan sustituir total o parcialmente algunos insumos convencionales de la dieta de estos animales (Hernández-López *et al.*, 2016), sin que se afecte negativamente los parámetros productivos, es decir, que mejoren dichos parámetros. Tal es el caso del uso del nopal, como insumo no convencional dentro de la dieta de los animales como los cerdos (Ordaz *et al*, 2021).

En relación con las dietas de cerdos para abasto complementadas con nopal, se ha reportado que éstas, mejoran la productividad de estos animales, ya que: reduce el consumo de alimento comercial sin afectar el crecimiento y la calidad de la canal (Gaytán, 2017). Por ello, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la adición de nopal (*O. ficus-indica*) a la dieta de cerdos de 6-25 kg sobre crecimiento y microbiota intestinal.

2. ANTECEDENTES

2.1. El cerdo en la alimentación humana

El cerdo (*Sus escrofa spp*) ha sido explotado en casi todo el mundo debido a su adaptabilidad a distintos climas y su gran versatilidad a variados regímenes alimentarios; su producción y transformación genera importantes productos y subproductos agrícolas y agroindustriales, como la carne de cerdo, la producción de fertilizantes y la generación de biogás en biodigestores (Benítez y Sánchez, 2001).

Dentro de la alimentación humana se procura mantener una alimentación variada y la carne de cerdo constituye una fuente de proteína (16-25%) de calidad; ello, debido a su digestibilidad y gran contenido de aminoácidos esenciales. Además, contienen una gran proporción de minerales como el potasio, fosforo, hierro, y el zinc, así como de vitaminas como la tiamina (vitamina B1), niacina (vitamina B3), piridoxina (B6) y cobalamina (B12). Y no menos importante, su grasa, ésta, presenta un elevado grado de grasas poliinsaturadas en comparación con la carne de otras especies (INTERPORC, 2017). Finalmente, el consumo per cápita de carne de cerdo en México es de 20.3 kg el cual es superior respecto al consumo de carne de res, el cual tiene un consumo per cápita anual de 14.8 kg (COMECARNE, 2021).

2.2. Panorama de la porcicultura a nivel mundial y nacional

En el sector agropecuario de México, la porcicultura, después de la avicultura, es la que abastece al mercado con más proteína de origen animal, puesto que, el consumo de carne de cerdo ocupa el segundo lugar a nivel mundial (34% del consumo total de los productos cárnicos) (OCDE, 2021). La demanda de la carne de cerdo se asocia no solo a los patrones culturales de la población, también se

relaciona con el incremento de la población, la mejora salarial (Huerta-Sanabria *et al.*, 2018) y menor costo/kg vs carne de bovinos. Este menor costo/kg de la carne de cerdo se debe, en esencia, a la rapidez de su crecimiento (150 días) (Oñate-Mancero, *et al.*, 2020), eficiente conversión alimenticia (2.47) (Venegas-Guerrero, 2022), ciclos de producción cortos (140 días) y a su alta prolificidad (22- 30 lechones nacidos vivos/cerda/año (INTAGRI, 2017 SIAP, 2017).

A nivel global, la producción porcina se centra en la Unión Europea, EUA y China (regiones que poseen el 75% de la población porcina); siendo China el mayor productor. Ante estos países, México es clasificado como un país mediano productor de cerdos, pues su producción representa el 1.1% de la producción mundial. Pero, es el segundo país que más importa carne de cerdo para satisfacer la demanda nacional de este producto (consumo per cápita nacional = 20.3 kg); importaciones que equivalen al 9.0% del total del comercio internacional (OCDE, 2019). Con relación a la ubicación geográfica de la porcicultura nacional, esta se concentra principalmente en los estados de Jalisco, Sonora, Puebla y Yucatán, los cuales, en 2019, registraron el 47.8% del inventario porcino y el 60.5% de la producción de carne a nivel nacional (Amo, 2018).

Se ha establecido (Gómez-Tenorio *et al.*, 2011; Ortiz *et al.*, 2015; Ortiz, 2019) que, la incapacidad para satisfacer la demanda de carne de cerdo por el sector porcino mexicano se debe, en términos generales, al uso parcial de paquetes tecnológico y esquemas de producción inadecuados o ejecutados con deficiencias de origen. Lo que los ha llevado a fijar sus objetivos en la reducción de costos a través de la reducción del costo del lechón producido (FAO, 2016). Puesto que este es el indicador que mayor impacto tiene sobre el costo/kg de cerdo producido (Boulot *et al.*, 2013).

Respecto a lo anteriormente expuesto, la concentración de la industria porcina a nivel nacional también genera problemas no solo para este sector, sino para el sector pecuario en general, puesto que, para mantener su producción y crecimiento se debe hacer un uso más eficiente de los recursos utilizados en la producción de productos de origen animal (Bajagai *et al.*, 2016). Aunado a ello, el cambio climático (incremento de temperatura y mayor tiempo de sequía) también es un reto por resolver para este sector (Alonso-Spilsbury *et al.*, 2012), ya que no solo afecta a la producción de carne, también afecta a la producción de insumos (granos) esenciales para mantener una producción estable y un costo/beneficio accesible para los productores.

Una de las estrategias actuales para eficientar los recursos utilizados en la producción y reducir el costo del lechón destetado es a través de la utilización de cerdas hiperprolíficas, sin embargo, aún no se analiza detenidamente si esta estrategia es exitosa o no; aun y cuando Ortiz (2019), estableció que aún no representa una ventaja competitiva para la empresa porcícola del país. Por el contrario, Soraci *et al.* (2010), Mota *et al.* (2014) y Blanch (2015) sugieren que los costos de producción por cerdo finalizado pueden reducirse por la vía de la velocidad de crecimiento del lechón destetado a la finalización (6 a 100 kg de peso vivo); velocidad traducida como menor tiempo para lograr el peso al mercado.

Sin embargo, antes de establecer una estrategia para eficientar un proceso parcial de producción porcina (PPP), se requiere del conocimiento no solo del proceso que se intenta mejorar o al que se le quiere aplicar la estrategia, sino también, se debe conocer el PPP que le antecede y el que le precede. Puesto que, de acuerdo con las leyes que rigen los sistemas, cualquier modificación que

se realice en una parte del sistema afectara a todo el sistema (Ortiz et al., 2015). En este sentido, primero se deben conocer aspectos fundamentales como es el caso del TGI del lechón pre y postnacimiento, aspectos que se abordaran a continuación.

2.3. Cambios anatomo-fisiológicos del aparato digestivo del lechón recién nacido

El crecimiento, desarrollo y funcionalidad total del tracto gastrointestinal (TGI) de los cerdos, evoluciona a través de un proceso dinámico de desarrollo que prepara al cerdo desde antes de nacer, hasta su finalización. El TGI de los lechones desde su vida fetal hasta que son destetados atraviesa por tres fases: la fase prenatal, la fase neonatal y la fase postdestete; esta última se caracteriza por la evolución del TGI para su adaptación al consumo de alimento solido (Pluske, 2016).

El periodo prenatal, se caracteriza por el crecimiento exponencial fetal a partir del último tercio de la gestación (día 70) hasta el parto, en donde el acelerado crecimiento y desarrollo del TGI está influido por: hormonas, factores de crecimiento y productos luminales (Harris *et al.*, 2013); lo cual coincide con el desarrollo de la función gástrica primaria (incremento de la secreción de ácido clorhídrico, gastrina, pepsina, limitada actividad de la quimosina, amilasa, lactasa y aminopeptidasa) como parte de la preparación previa al consumo de calostro y leche del lechón recién nacido (Rodríguez y Alfaro, 2010; Reis de Souza *et al.*, 2012). En cuanto al periodo postnatal, este se caracteriza por la adaptación rápida del lechón de la transición de la nutrición parenteral (vía placentaria) a una nutrición enteral (calostro/leche), misma que está determinada por el consumo, calidad y cantidad del alimento (Theil *et al.*, 2014).

Los lechones al nacer comienzan a ingerir calostro debido a la capacidad de su TGI para absorber proteínas macromoleculares a través del epitelio intestinal en las primeras 24-36 h del nacimiento (Jordana *et al.*, 2021). En el recién nacido, las células epiteliales del intestino delgado permanecen permeables durante el tiempo postnacimiento. Esto provoca la diferenciación y maduración celular aunado a que el lechón recién nacido aún no secreta adecuadamente las enzimas que actúan y degradan a las proteínas y, como consecuencia, facilita la absorción intacta de inmunoglobulinas (pinocitosis) desde la luz intestinal hacia el torrente sanguíneo. Pasado las primeras 36 h de vida, las inmunoglobulinas presentes en el calostro se degradan (acción proteolítica) y se absorben, como cualquier proteína (Bradley, 2014).

Posterior a ello, el lechón comienza a consumir leche materna y este duplica su peso, incrementa su longitud (30%), incrementa la altura de sus vellosidades en un 35% y la profundidad de sus criptas (40%), alcanzando su máxima expresión durante la 2^{da} semana de lactancia. La composición de la leche incluye carbohidratos, lípidos, proteínas, minerales y vitaminas, siendo estos fáciles de digerir por el lechón. La lactosa, es el principal carbohidrato ingerido por el lechón, presente en bajas concentraciones en el calostro (4.3%) en comparación con la leche (5.6%) de la cerda. Las grasas se incrementan en la leche a partir del día 2-4 llegando a 10%, sin embargo, al llegar a los 14-18 días comienza a bajar a 7.5%. En cuanto a las proteínas presentes en la leche a los 2 días postparto es de 7.5-8% y esta va disminuyendo hasta llegar al 5% al destete (21 días) (García, 2019).

2.4. Vellosidades intestinales y establecimiento de la microbiota digestiva del lechón recién nacido

Un elemento complementario del TGI del lechón lactante y fundamental para la absorción de los nutrientes contenidos en el alimento son las vellosidades intestinales, mismas que poseen una gran longitud ($\geq 410 \mu\text{m}$), debido a que la descamación de células, durante la lactancia, es mínima y, a que las células de las criptas son capaces de reemplazar las células de las vellosidades a la misma velocidad a la que se descaman. Por lo general, al tercer día del destete del lechón (<28 días de edad) la altura de las vellosidades se reduce ($\leq 299 \mu\text{m}$), reducción que puede ser más dramática conforme el destete es más temprano (< 21 días) (Gómez *et al.*, 2008)

Con respecto a la “calidad” de las vellosidades intestinales del lechón durante la lactancia, esta puede variar (altura de las vellosidades) debido a las diferentes condiciones ambientales que sometan a estrés al lechón, pero también puede afectar la profundidad de las criptas, provocando alteraciones negativas en la absorción de nutrientes tanto de la leche materna como de los nutrientes provenientes de fuentes diferentes a esta. Este aspecto puede ser observado durante la fase de lactación y en la primera semana postdestete (Klis *et al.*, 2002).

Otro elemento importante por considerar, como parte del TGI del lechón recién nacido, es el establecimiento de la microbiota intestinal. En este sentido, se ha establecido que la microbiota tiene diversas funciones en el organismo, tales como: incrementar la absorción de nutrientes, vitaminas (grupo B y C) y de ácidos grasos de cadena corta (AGCC) (acético, propiónico y butírico), estimular y renovar las células epiteliales absorbentes (enterocitos), estimular la secreción

de moco de las células caliciformes intestinales, estimular el sistema inmunológico y las respuestas inflamatorias y fungen como una barrera protectora competitiva y química (bacteriocinas y la fermentación ácida que mantiene un pH relativamente bajo) ante la invasión de microorganismos patógenos (Guarner, 2007; Soraci *et al.*, 2010) mediante la exclusión competitiva, produciendo sustancias con actividad antimicrobiana o favoreciendo las uniones oclusivas de los enterocitos (Hermann-Bank *et al.*, 2015).

La colonización de la microbiota comienza al nacimiento del individuo y va cambiando conforme crece y se desarrolla el organismo. Estos cambios están influidos por diversos factores como lo son: la microbiota materna, la exposición neonatal a la microbiota del ambiente, inclusiones y cambios de dieta, entre otros factores más. Aunque ésta se adapta a cambios bruscos en alguno de estos factores que pueden modificar su composición (Odamaki *et al.*, 2016; Chen *et al.*, 2018; Miranda, 2018). Previo al nacimiento, la microbiota del intestino del lechón es influenciada cualitativa y cuantitativamente desde el intestino de la cerda hacia el del lechón por vía placentaria; durante el nacimiento, los microorganismos que provienen de la vulva y su contacto con el exterior (Torres, 2018), tras el nacimiento, esta será modificada por la ingesta de calostro y leche materna (Jiménez-Quintana, 2010).

El ecosistema microbiano o microbiota está integrado por bacterias, virus, hongos y arqueas nativas que colonizan el TGI permanentemente y otras que solo lo hacen de forma transitoria en una proporción que va aumentando a lo largo del TGI en sentido caudal, del duodeno al íleon e intestino grueso, este último siendo la porción de mayor densidad bacteriana (Martínez-Martínez *et al.*, 2022). Dicha población, representa diez veces más la cantidad de células

somáticas residentes de cualquier órgano y sistema del cerdo, la cual, de forma simbiótica, actúa y ejerce funciones nutricionales, metabólicas e inmunológicas (Soraci, 2010).

La microbiota contribuye a la maduración del TGI y del sistema inmunitario, la cual protege la microbiota contra la colonización de patógenos mediante la exclusión competitiva, produciendo sustancias con actividad antimicrobiana o favoreciendo las uniones oclusivas de los enterocitos (Hermann-Bank *et al.*, 2015). La composición de la microbiota intestinal como lo menciona Crespo-Piazuelo *et al.* (2018) está relacionada con la ganancia de peso diaria, la eficiencia alimentaria, la ingesta de alimento y su conversión alimenticia.

2.5. Cambios anatomo-fisiológicos del aparato digestivo del lechón 36-72 horas postnacimiento

El lechón recién nacido, una vez que pasan las primeras 36 h de vida y después de haber ingerido calostro, su alimentación y desarrollo depende exclusivamente de leche materna, debido a que aún no posee un sistema enzimático adaptado a la digestión de nutrientes que no sean los contenidos en la leche. Por ello, la digestión de proteínas lácteas, lactosa y lípidos de cadena corta es casi completa. Esta característica se mantiene entre los 21 y 28 días postnacimiento; posterior a este tiempo la producción de lipasas, amilasas y otras enzimas que degradan los vegetales y productos de origen animal se hace presente y se establece un sistema digestivo con mayor madurez capaz de digerir y asimilar este tipo de alimentos (Pluske, 2016; Jordana *et al.*, 2021)

Hurley (2015) y Hansen *et al.* (2012) encontraron que el mayor contenido de lactosa se encuentra durante los primeros siete días de lactación debido a que

este periodo es considerado como la transición de calostro a leche. Por ello, la digestión de carbohidratos en el lechón, al comienzo de la lactancia, se basa solo en la digestión de la lactosa. Esto es así, debido a que la lactasa está presente en el intestino delgado desde que el lechón nace y esta disminuye conforme el lechón deja de mamar. Sin embargo, la digestión de almidones, maltosa y sacarosa inicia conforme la lactasa declina gradualmente y la maltasa y sacarasa aumentan debido a la ingesta de alimentos sólidos (pre-iniciadores) (Reis de Souza *et al.*, 2012).

En cuanto a las proteínas, como la caseína (proteína láctea), esta es digerida gracias a las pequeñas cantidades de ácido clorhídrico (HCl) estomacal presentes desde el nacimiento y de enzimas como la renina y la pepsina. Estas enzimas junto con la acidez estomacal (pH 3.5-4.6) provocan que la caseína láctea coagule y se precipite; aspecto que provoca mayor tiempo de permanencia en el estómago para poder ser digerida y posteriormente absorbida por el intestino (Macías *et al.*, 2006; Rodríguez y Alfaro, 2010).

También se debe considerar que la secreción de HCl es limitada en las primeras semanas de vida del lechón. La acidez del estómago no llega a niveles apreciables hasta la tercera o cuarta semana postdestete (pH \leq 4), lo que complica aún más el inicio del consumo de proteína en alimentos secos, tanto durante la lactancia como posterior a ello (primeros días postdestete) (Daposa, 2002).

Posteriormente, tras avanzar el bolo alimenticio en el TGI, la secreción pancreática inactiva la pepsina y neutraliza el exceso de HCl (pH 7), llevando el alimento al final del duodeno para continuar su absorción a través de enzimas

proteolíticas, pancreáticas, tripsina y quimotripsina, rompiendo las proteínas de la leche 5.9% en péptidos más pequeños (Hurley, 2015), los cuales estarán a cargo de las exopeptidasas (carboxipeptidasas, aminopeptidasas y peptidasas); mismas que son producidas en la mucosa intestinal, de ahí, en parte de la importancia de mantener su integridad (Pluske,2016; Brandley, 2014).

En la digestión de grasas, el desarrollo de enzimas como la lipasa pancreática y las sales biliares hepáticas están presentes al nacer (Lauridsen, 2020), debido al contenido graso elevado del calostro (11.0%) y en leche (8.4%) (Hurley, 2015), dicha enzima aumenta conforme el lechón sigue creciendo, además de digerir y ayudar en la absorción de ácidos grasos unidos a los triglicéridos (TG), los cuales forman emulsiones para ser fácilmente digeridos por los enterocitos del lumen intestinal (Lauridsen, 2020). Además, el lechón al ingerir la leche, la grasa de esta forma pequeñas gotas emulsificadas que se combinan rápidamente con las sales biliares para formar la mezcla de micelas, recubiertas por una lipoproteína que permite una adecuada digestión enzimática (Fowler, 1995; Gómez *et al.*, 2008).

Previo y durante la fase del destete, la eficiencia productiva del lechón es dependiente, como se mencionó anteriormente, de la ingesta de calostro y leche, debido a que estos son el suministro de energía en forma de lactosa, grasa y proteínas, lo cual es crucial para su crecimiento (Theil *et al.*, 2014; Pluske, 2016; Jordana *et al.*, 2021).

Por otra parte, la colonización de la microbiota (iniciada al nacimiento) auxilia al organismo en determinadas funciones intestinales del lechón lactante. Dentro de la sección del intestino delgado, la microbiota residente actúan sobre las vías

metabólicas de la biosíntesis de carotenoides y flavonoides a nivel duodenal; en yeyuno, ayuda a la extracción de energía de los carbohidratos, como la fructosa y la manosa mediante la glucólisis/gluconeogénesis; en íleon, su mayor aporte está relacionado con el metabolismo de los ácidos grasos de cadena corta y piruvatos, así como el metabolismo de algunos carbohidratos por la vía fosfotransferasa.

Por otro lado, la microbiota presente en el intestino grueso, en colon proximal, digieren y absorben pequeñas cantidades de proteínas, realizan la biosíntesis de fenilalanina, tirosina y triptófano y promueve el metabolismo de esfingolípidos, ácido araquidónico, beta-alanina y vitamina B₆; en colon distal, sus funciones están relacionadas con el metabolismo de carbohidratos, el piruvato y el metano (Miranda-Hevia, 2018).

Durante la lactancia del lechón su microbiota intestinal está compuesta principalmente de bacterias Gram positivas como *Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Enterococcus* y *Clostridium* y, Gram negativas como *Escherichia coli*. Siendo las de mayor predominancia el género *Lactobacillus* a lo largo de todo el intestino delgado durante la lactancia (Sánchez-Suarez *et al.*, 2019).

2.6. El destete y su relación con la eficiencia en el desarrollo del lechón

El destete, en la porcicultura comercial, se cataloga como un evento fisiológico y de manejo en un ambiente natural, donde el lechón es separado de la madre, para restringir el acceso a la leche materna (Del Carpio, 2018). Por ello, el éxito de la producción porcina está basado principalmente en este proceso, debido a que determina el continuo potencial de crecimiento del lechón sin que ocurran

trastornos alimenticios y se presenten enfermedades (Parra-Alarcón *et al.*, 2022).

Una vez destetado el lechón, el crecimiento de éste depende del éxito de la transición de alimento líquido (leche) a sólido, ya que este proceso promueve el desarrollo del sistema digestivo aumentando el potencial para aprovechar adecuadamente el alimento. Previo al destete, el lechón por naturaleza mantiene un comportamiento exploratorio y ello es aprovechado para incorporar en su dieta alimento sólido específico para esta etapa (predestete), dichos alimentos son denominados pre-iniciador (Paniagua, 2019).

La fabricación de pre-iniciadores está basada en sustitutos lácteos, cereales, concentrados proteicos, vitaminas, minerales y aditivos, los cuales son necesarios para el lechón lactante y que se requieren para una transición y preparación digestiva del lechón exitosa (Mateos *et al.*, 2021). En la actualidad, el uso de pre-iniciadores durante la fase de lactancia del lechón está acorde a los objetivos y tecnología de los sistemas de producción porcina que manejan periodos de lactancia de 21 días o menos, en busca no solo de preparar al lechón a la etapa del destete sino también, incrementar la productividad de la cerda, permitiéndole a esta producir más lechones al año (Herrera-Camacho *et al.*, 2018; Rentería *et al.*, 2021).

2.6.1. Estrés del lechón por efecto del destete

Previo al destete, durante y posterior a este, el lechón interactúa con cuatro factores que de manera simultánea son estresantes para éste, como son: 1^{er} factor, separación brusca del lechón de su madre y, posiblemente también, del resto de la camada; 2^{do}, cambio total de la alimentación (totalmente sólida); 3^{ro}, medioambientales (pasa de un área a otra) y 4^{to}, etológico (Campbell *et al.*,

2013). Los cuales, afectan negativamente el desarrollo intestinal y la respuesta inmunológica del lechón recién destetado (Fraile, 2021).

Los factores antes mencionados, provocan en el lechón destetado una respuesta activa del hipotálamo y de las glándulas adrenales, que da origen a la segregación de cortisol, adrenalina, noradrenalina y dopamina; mismas que en una primera instancia provocan una respuesta adaptativa porque preparan al lechón, tras el estímulo agudo del destete, a la fase de iniciación. Sin embargo, es posible que el estímulo primario adaptativo se convierta en un estímulo crónico (Gómez-Eguílaz *et al.*, 2019) y ello, provoque alteraciones en el consumo de alimento voluntario, en su comportamiento (depresión) y en la microbiota intestinal y, puede culminar con la atrofia intestinal y debilitamiento de su sistema inmune; lo que lo hace susceptible a enfermedades y/o trastornos entéricos (Mota *et al.*, 2014).

La microbiota del lechón al destete sufre cambios, puesto que el sistema inmune aun es inmaduro, por lo que tras el sometimiento a estrés causado por la separación de la cerda, un nuevo ambiente y el cambio brusco de alimentación líquida a sólida, son factores que contribuyen al incremento y/o cambio de su diversidad de la microbiota (La Rosa-Hernández *et al.*, 2014); ello, debido a que el constante cambio de alimentación durante la fase de iniciación favorece el establecimiento de nuevas poblaciones bacterianas, por lo que durante este periodo, la microbiota comienza a estabilizarse, reduciendo la cantidad de *Bacteroidetes* e incrementa la de *Firmicutes*, siendo estos dos filos los que conforman la diversidad de la microbiota por lo menos en un 90% del cerdo adulto (Miranda, 2018).

2.7. Efectos detrimentales en la salud y crecimiento del lechón causados por el estrés del destete

El estrés postdestete, trae consigo modificaciones temporales del TGI en relación con su estructura y sus funciones, las cuales son divididas en dos fases, la 1^{ra} o fase aguda (0-5 días) y la 2^{da} fase o fase tardía (5-15 días). Para el caso de la 1^a fase, esta es inducida inmediatamente tras el destete, lo cual eleva los niveles de cortisol sanguíneo y, en consecuencia, inmunodeprime al lechón, caracterizado por un periodo de anorexia transitoria, la cual trae consigo una disminución total o parcial de la motilidad intestinal, lo cual disminuye la digestión y absorción de nutrientes, por lo que se disminuye considerablemente la producción de enzimas intestinales (peptidasa, lactasa, maltasa, amilasa), lo que disminuye la producción de moco, afectando la permeabilidad intestinal, lo cual a su vez aumenta la profundidad de las criptas ($\geq 150 \mu\text{m}$) y atrofia la longitud de absorción de las vellosidades ($\leq 375 \mu\text{m}$) (Gómez *et al.*, 2008; Kim *et al.*, 2012).

En cuanto a la 2^{da} fase, esta implica la adaptación al alimento sólido, puesto que después de la anorexia transitoria antes mencionada, el lechón puede consumir alimento en cantidades superiores a su capacidad actual, por lo que se aumenta progresivamente la digestibilidad y, por ende, su máxima absorción de los nuevos nutrientes. Sin embargo, debido al déficit de secreción de enzimas digestivas (pepsina, tripsina) y HCl, en conjunto con los cambios osmóticos y de pH en el intestino, disminuyen la actividad proteolítica (Lozano y Manrique, 2014), terminando por aumentar la motilidad y presentar diarreas (Reis de Souza *et al.*, 2010).

En la 2^a fase, también está implicado el sistema inmune, por ello y ante el estrés del lechón, éste se ve comprometido (inmunodepresión). Aspecto que al

asociarse con la pobre maduración intestinal del lechón permite la entrada y adhesión en el epitelio intestinal a bacterias oportunistas enteroxigenicas (*E. coli*, *Salmonella*), rompiendo el equilibrio microbiano de bacterias (Gram positivas y Gram negativas) y terminan por ocasionar diarreas infecciosas (Jayaraman y Nyachoti, 2017; Xiong *et al.*, 2019).

En síntesis, el estrés del lechón provoca disminución de la ingesta de alimento postdestete, propiciando el retardo del crecimiento y desarrollo del lechón; aunado a ello, su dependencia a la adaptación y maduración de los cambios fisiológicos y estructurales progresivos del TGI durante la lactancia, mismos que en gran medida están asociados a la cantidad y calidad fisicoquímica del alimento.

2.8. Alimentación del lechón postdestete (fase de iniciación)

Como se mencionó anteriormente, el objetivo primordial de las maternidades es favorecer la transición de alimento líquido a sólido, debido a que la leche materna contiene carbohidratos, grasas y proteínas de alta calidad, los cuales cumplen con los requerimientos nutricionales del lechón para crecer y desarrollarse. Sin embargo, el suministrar fuentes de proteína y carbohidratos de alta calidad de modo que los nutrientes estén disponibles para el lechón cuando lo necesiten, es complicado, debido a los altos costos que estos tienen (Rentería *et al.*, 2021).

Los cambios bruscos en el tipo de alimentación (líquida o sólida) en el lechón lactante deben cuidarse con detenimiento, debido a que el desarrollo del sistema enzimático del TGI aún está en desarrollo, por lo que el ofrecimiento de pequeñas cantidades de alimento sólido micropelletado a partir de los 7-14 días de edad facilita no solo el desarrollo y la digestión a futuro también, permite que

el lechón se familiarice con este. Además, el pre-iniciador contiene un agregado de ácido cítrico, mismo que actúa positivamente a nivel del TGI estimulando la producción de HCl y, por consiguiente, la actividad proteolítica del contenido gástrico y promueve el desarrollo de las enzimas digestivas; factores estos que atenúan los efectos negativos del destete (Balfagón y Jiménez-Moreno, 2014; Contreras-Quintero, 2019).

Con el fin de disminuir el retraso del crecimiento postdestete, el lechón es previamente sensibilizado con una alimentación sólida, misma que requiere de formulaciones con ingredientes altamente digestibles y palatables, y con un aporte nutricional basto para sus necesidades, adecuados al peso correspondiente. Además, su composición debe incluir componentes de alta calidad derivados de la leche (suero, lactosa, caseína), aceites, plasma, harinas de alta calidad, entre otros, semejándose al aporte nutricional de la cerda, de tal manera que el lechón se adapte progresivamente a la ingesta de cereales y proteínas de distinto origen (vegetal y animal) (Soraci *et al.*, 2010).

Durante esta transición y a lo largo de la fase de iniciación de los lechones se les debe proporcionar alimentos ricos en grasas, con adecuadas concentraciones de lactosa y con un perfil de aminoácidos altamente digestibles que cubran los requerimientos nutricionales de estos animales, los cuales usualmente se aplican en etapas de 3 a 5 dietas durante el periodo (iniciación), etapa comprendida entre la 7^{ma} y 8^{va} semana de vida (Mendoza, 2021); etapa que está a su vez dividida de acuerdo al peso del lechón: etapa 0 (4-6 kg), etapa 1 (6-9 kg), etapa 2 (9-14 kg) y etapa 3 (14-25 kg) (Cromwell, 2022).

A los cerdos dentro de la etapa cero (4-6 kg), se les administra una dieta sólida secundaria previa al destete, la cual estimulara al TGI del lechón, permitiendo una correcta transición de alimento. Sus requerimientos están basados en altas concentraciones de lactosa >15% y proteínas 22-24% altamente digestibles, principalmente calcio (Ca) 0.80%, fósforo (P) 0.65%, lisina (Lys) 1.53% y triptófano (Trp) 0.25% (Cromwell, 2022).

Posterior al destete, primera etapa (6-12 kg), los lechones requieren de maximizar su desarrollo durante las primeras semanas postdestete; por lo cual, necesitan de una mayor (15%) inclusión de carbohidratos altamente digestibles (lactosa, maltosa, dextrosa, arroz micronizado) y fuentes de proteínas (21%) (aminoácidos sintéticos, harina de soya con tratamiento enzimático, plasma, etc.), así como la fuente de minerales en la dieta: Ca 0.70%, P 0.60%, Lys 1.40% y Trp 0.23% (PIC, 2016); Mientras que en la segunda etapa (12-22 kg) los lechones requieren de menores cantidades de: carbohidratos (lactosa <10%), proteínas (19%) altamente digestibles (Lys 1.12% y Trp 0.19%) y minerales (Ca 0.66%, P 0.56%).

Por último, en la tercera etapa, disminuyen considerablemente la inclusión de carbohidratos altamente digestibles como la lactosa (<5%) y comienza la inclusión de fuentes de carbohidratos menos digestibles como granos de maíz, sorgo, entre otros. Complementario a ello, el requerimiento de proteína también disminuye (18-17%) al igual que los aminoácidos (Lys 0.97% y Trp 0.17%) y los minerales (Ca 0.59%, P 0.52%) (Carrero, 2005; Campabadal, 2009; Cromwell, 2022). Sin embargo, para la formulación de una dieta de acuerdo con la etapa y a los requerimientos nutricionales, la variedad y calidad de los insumos dependen de la disponibilidad en la zona geográfica en que se encuentren; por

ello, los insumos se encarecen. Adicionalmente, los precios altos de estos insumos básicos de las dietas para cerdos también se deben a la falta de rendimientos agrícolas y a los cambios climáticos (López y Hernández, 2016). Por ello, es ideal la búsqueda de alternativas alimenticias que favorezcan la biofuncionalidad de la dieta y su valor nutricional, tratando de reducir los costos de su elaboración (Argemí-Armengol *et al.*, 2020).

2.8.1. Uso de aditivos convencionales en la alimentación de cerdos en la fase de iniciación

En la producción animal se han empleado sustancias terapéuticas (antibióticos) que, a dosis específicas, pueden ejercer efectos como promotores de crecimiento, incrementando la degradación de proteínas y disminuyendo la acumulación de grasas excesivas. Sin embargo, su utilización excesiva y sus residuos en la proteína de origen animal (carne) ha generado efectos secundarios negativos en la salud humana (OMS, 2017). Por ello y en sustitución de los antibióticos, como promotores del crecimiento, se han comenzado a utilizar aditivos en la dieta, con el fin de mitigar los efectos negativos del destete, puesto que se busca mantener la integridad de la mucosa intestinal (salud intestinal) y de su microbiota (Flores-Mancheno *et al.*, 2016; Rentería *et al.*, 2021).

Para mantener la integridad de la mucosa intestinal (salud intestinal) y de su microbiota, las investigaciones giran en torno al suministro de dosis adecuadas de microorganismos como bacterias (*Bacillus subtilis*, *Lactobacillus sp*, etc.) (Suarez *et al.*, 2019; Albo, 2020) y levaduras específicas, como la levadura de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*) (Ormaza y Bermeo, 2019; Arnaldo-Portillo *et al.*, 2021), así como de algunas enzimas sintéticas (xilanasas, proteasas,

lipasas, amilasas, celulasas) (Flores-Manchero *et al.*, 2016) y aminoácidos como la glutamina (Quisirumbay, 2020) y de minerales como el Óxido de Zinc (Bedón *et al.*, 2015), los cuales han demostrado disminuir los problemas de salud intestinal en los lechones, al prevenir o restaurar la atrofia del epitelio intestinal (Pérez *et al.*, 2014; García y García, 2015).

El efecto positivo de los aditivos señalados en el párrafo anterior se refleja también en la disminución de diarreas, evitando el estrés oxidativo e incrementando el consumo voluntario de alimento durante la primera semana tras el destete. Estas mejoras a nivel TGI del lechón postdestete, promovidos por los aditivos, tienen como consecuencia no solo el incremento de la ganancia diaria de peso sino también, la eficiencia alimentaria (CA); los cuales disminuyen los costos de producción (Valdivia *et al.*, 2019; López *et al.*, 2021).

2.8.2. Uso de aditivos no convencionales en la alimentación de cerdos en la fase de iniciación

En la actualidad, la utilización de aditivos en la dieta de cerdos es fundamental para mejorar la eficiencia de la dieta, traducida en mejoras nutricionales o de salud en el cerdo (Bahelka *et al.*, 2011). Sin embargo, algunos de estos pueden llegar a ser costosos, de difícil acceso (importados) o presentar efectos residuales en el ambiente o en la carne de los animales (Reig y Toldrá, 2008). Por ello, se ha dado paso a nuevas investigaciones de aditivos nutricionales (no convencionales) con características funcionales o nutraceuticos, los cuales tienen principios bioactivos dentro de sus componentes y, además, son considerablemente más accesibles y económicos de producir (Caicedo *et al.*, 2019).

Entre las investigaciones de insumos no convencionales destacan, la inclusión de caña de azúcar (Menéndez, 2021), papa (Parra *et al.*, 2022), yuca (Lezcano *et al.*, 2014) y forrajes como la morera (*Morus alba*) (Ordoñez y Contreras, 2018), los cuales pueden incrementar la ganancia de peso (>650 gr/día) y mejorar su conversión alimenticia (2.28-2.60 kg) adicionadas en dietas con alimento convencional (Benítez-Meza *et al.*, 2015).

Otros aditivos implementados en la dieta de los cerdos son los aceites esenciales extraídos de plantas como el clavo, canela, anís silvestre, orégano, los cuales contienen compuestos fenólicos, terpenos y taninos. Plantas a las que se les atribuye: 1). Mejoran la digestibilidad del alimento; 2). Favorecen el equilibrio de la microbiota; 3). Estimulan la inmunidad; y 4). Actúan sobre el estrés oxidativo (son antioxidantes) (Janacua-Vidales *et al.*, 2018; Bernal, 2018; Caicedo *et al.*, 2019). Sin embargo, estas plantas se han investigado a nivel experimental.

Por ello, para que su aplicación sea viable a gran escala se deben considerar factores como su disponibilidad geográfica, producción (siembra) volumen (ton/ha) y vida de anaquel (tiempo de almacenaje del producto); Además, estos nuevos insumos en la alimentación animal no deben competir con la alimentación del hombre (Lezcano *et al.*, 2014; Montejo-Sierra *et al.*, 2017; Argemí-Armengol *et al.*, 2020).

En la actualidad se está investigando el nopal (*Opuntia sp.*) como estrategia en la nutrición animal. Esta planta es nativa de México y de amplia distribución geográfica en el país. Dentro las principales especies de nopal explotadas como forraje para la producción animal se encuentran: *O. ficus-indica*, *O. durangensis* y *O. robusta*. Sin embargo, se considera a *O. ficus-indica* como la variedad

principal dentro de la alimentación humana y animal, debido a que tiene alto valor nutricional, principalmente por su contenido en minerales, fibra dietética y fitoquímicos (carotenoides, flavonoides, compuestos fenólicos y antioxidantes) (Torres-Ponce *et al.*, 2015). Además, el nopal es una planta rústica, que, por sus características, su cultivo comercial puede ser a bajos costos.

El nopal (*Opuntia sp.*) es la planta que puede tener efecto favorable en cuanto a la absorción de glucosa, ya que tiene altos contenidos de pectinas y fibra dietética (soluble e insoluble), por lo cual se le considera hipoglucemiante (Gaytán, 2017; Ahumada, 2021). Otros estudios, argumentan el efecto de los extractos de *Opuntia sp.* como un inhibidor de la actividad enzimática de alfa-glucosidasa, actuando como una barrera intestinal, mediante la viscosidad del bolo alimenticio, entre el complejo enzimático y el sustrato (Rincón-Silva *et al.*, 2019; Monroy-Vásquez, 2021).

Una propiedad más del nopal es su capacidad antioxidante, debida a los fitoquímicos que lo componen como los compuestos fenólicos, los cuales, descritos por Hernández-Castillo (2015) generan beneficios a la salud debido al control que pueden generar en diversas enfermedades, ya que dentro de sus funciones incluyen la actividad antiinflamatoria, antimicrobiana, antialérgica, antitumoral, antidiabética, anti carcinogénica y antidepresiva. Mientras que, los carotenoides presentes en esta cactácea poseen capacidad precursora de la vitamina A; esencial para promover el crecimiento, mejorar la capacidad inmune y regular la diferenciación celular de los tejidos epiteliales.

Por otro lado, la fibra dietética del nopal (*Opuntia sp.*) funge como auxiliar para contrarrestar los trastornos digestivos, debido a que favorece la disminución de

niveles de lipoproteínas de baja densidad y disminuye el colesterol en sangre al interferir en la absorción de grasas que realiza el intestino (Almeida-Alvarado *et al.*, 2014; Ramírez, 2016). Además, los carbohidratos aun no digeridos, provenientes del íleon, al llegar al ciego estos son sustrato fuente de nutrientes, los cuales mediante la fermentación microbiana se transforman en AGCC (Domínguez-Vara *et al.*, 2017).

Los AGCC son aprovechados por el epitelio intestinal para mantener su integridad y función. En este sentido, el ácido butírico, es el principal metabolito energético utilizado por los colonocitos y es un elemento clave para la nutrición e inmunidad del intestino, así como para su mantenimiento y restablecimiento de la integridad de la mucosa intestinal (Agudelo-Ochoa *et al.*, 2016; Manrique y González, 2017).

Por otra parte, el estudio de dietas complementadas con *O. ficus-indica* en base fresca (BF) han evidenciado beneficios en el metabolismo de cerdas reproductoras en el último tercio de la gestación y durante la lactancia; dichos beneficios se resumen en: incremento del consumo voluntario de alimento (Ortiz, *et al.*, 2017), menor pérdida de peso corporal de la cerda al destete (Ordaz *et al.*, 2021), no afecta negativamente la producción y calidad de la leche materna ni el desarrollo del lechón lactante (Ordaz *et al.*, 2019). Además, los lechones presentan una mayor tasa de crecimiento, lo que supone que el nopal provoca cambios benéficos en torno a sus vellosidades intestinales (Ortiz *et al.*, 2019).

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El destete es una de las prácticas de manejo más críticas en la productividad del cerdo; puesto que se manifiesta con un estrés agudo provocado principalmente por el cambio de ambiente y por la transición de alimento líquido a sólido. Aunado a ello, al momento del destete (21 días de edad), aun no presenta madurez digestiva y fisiológica: baja producción de HCl y actividad enzimática inadecuada para atacar insumos sólidos y ricos en proteína. Así, el estrés del destete se ve reflejado en un bajo consumo voluntario de alimento (durante las primeras semanas postdestete) y atrofia del epitelio intestinal, lo que ocasiona la alta incidencia de diarreas, bajas ganancias de peso e incremento del costo de producción.

Ante el escenario negativo del estrés postdestete, una estrategia que debe ser investigada para contrarrestar el efecto del destete sobre los lechones es la adición de nopal (*O. ficus-indica*) a la dieta de estos. En la actualidad se ha revisado exhaustivamente el efecto del nopal en BF adicionado a la dieta de los cerdos, sin embargo, no existe información sobre el consumo de esta cactácea PCV en lechones destetados, específicamente en la fase de iniciación (6-25 kg). Por lo que se requiere determinar los cambios que puede generar tanto en el metabolismo como en la microbiota del TGI de los individuos que lo consumen y si es capaz de reducir los efectos detrimentales en el desarrollo de los cerdos postdestete causados por el estrés del destete.

4. HIPOTESIS

La adición del nopal (*O. ficus-indica*) precocido al vapor (PCV) a la dieta de cerdos en la fase de iniciación (etapa de 6–25 kg) contrarresta los efectos del estrés postdestete al modificar positivamente la microbiota intestinal del íleon lo cual se refleja en el crecimiento (kg) del lechón durante la etapa de 6-25 kg.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de la adición de *O. ficus-indica* (en BF y PCV) a la dieta de cerdos para abasto durante la fase de 6-25 kg sobre su crecimiento y modificación de la microbiota intestinal del íleon.

5.2. Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de la adición de *O. ficus-indica* (en BF y PCV) a la dieta de cerdos de 6-25 kg sobre el consumo de alimento.
- Establecer el consumo de nopal en BF y PCV en cerdos de 6 – 25 kg.
- Evaluar el efecto de la adición de *O. ficus-indica* (en BF y PCV) a la dieta de cerdos de 6-25 kg sobre la ganancia de peso
- Evaluar el efecto de la adición de *O. ficus-indica* a la dieta de cerdos de 6-25 kg sobre la conversión alimenticia
- Determinar el efecto de la adición de *O. ficus-indica* a la dieta de cerdos de 6-25 kg sobre el cambio poblacional de bacterias Gram positivas en íleon.

6. MATERIAL Y METODOS

La presente investigación se llevó 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).

Se utilizaron 60 lechones destetados (21 ± 2 días de edad) de ambos sexos seleccionados al azar, con un peso entre 6 y 7 kg. El genotipo de estos animales fue de línea genética para magrez de la canal y velocidad de crecimiento, mismos que se identificaron con aretes enumerados.

Con los 60 lechones se formaron tres grupos ($n=20$ lechones/grupo), con dos repeticiones/grupo ($n=10$ lechones⁻¹ repetición⁻¹): Grupo testigo (GT), lechones que se recibieron alimento comercial específico para la etapa 6-25 kg de peso vivo (E6a25) (Tabla 1); Grupo nopal en BF (GNBF), lechones que recibieron alimento E6a25 más la adición del 1.0% (en relación con el peso del lechón⁻¹ semana⁻¹) de *O. ficus-indica* en BF (Tabla 2); Grupo nopal cocido a vapor (GNPCV), lechones a los que se les suministro alimento E6a25 más la adición de 1.0% (en relación con el peso del lechón⁻¹ semana⁻¹) de *O. ficus-indica* precocido al vapor (PCV) por 4 minutos.

Los lechones de cada repetición se confinaron en jaulas elevadas al piso. Cada jaula contenía un comedero de acero inoxidable (Ancho 32.5 cm, Altura 67.5 cm, Largo 76.20 cm) con una capacidad de 60 kg, además contaron con un bebedero automático tipo chupón. La ventilación y la temperatura interna del área de iniciación se controló a través del manejo de cortinas.

EFECTO DE LA ADICIÓN DE NOPAL (*O. ficus-indica*) EN BASE FRESCA Y PRECOCIDO A LA DIETA DE CERDOS DE 6-25 KG SOBRE CRECIMIENTO Y MICROBIOTA INTESTINAL

Tabla 1. Composición nutricional de la dieta comercial E6a25 para lechones de 6 a 25 kg de peso vivo por fase.

Composición	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Iniciador
Energía metabolizable, Mcal/kg	3.45	3.41	3.36	3.27
Energía neta, Mcal/kg	2.50	2.50	2.49	2.47
Proteína cruda, %	21.97	17.10	18.92	16
Lisina, %	1.74	1.65	1.50	1.06
Lisina digestible, %	1.50	1.44	1.30	0.9
Treonina, %	1.12	0.99	0.92	
Treonina digestible, %	0.94	0.85	0.81	0.58
Metionina, %	0.50	0.56	0.46	
Metionina digestible, %	0.45	0.52	0.42	
Valina, %	0.31	1.10	0.97	
Valina digestible, %	1.02	0.91	0.82	
Triptófano, %	0.31	0.29	0.24	
Triptófano digestible, %	0.26	0.25	0.21	
Lactosa, %	16.28	8.88	0.00	
Calcio, %	0.68	0.68	0.57	0.52
Fósforo, %	0.59	0.59	0.50	0.45
Fósforo digestible, %	0.35	0.35	0.26	0.2

El alimento E6a25 y el agua de bebida se ofrecieron *ad libitum*. El nopal BF y precocido al vapor (PCV) adicionado a la dieta comercial fue con base al 1.0% del promedio del peso vivo semanal de los lechones; este se proporcionó una vez al día (8:00 h), desde el primer día postdestete hasta la séptima semana de edad. A las 21:00 h se procedió a retirar el nopal (BF y PCV) y el alimento sobrante para establecer el consumo voluntario de alimento y nopal por día; para ello, se separó el nopal (BF y PCV) del alimento comercial mediante una malla metálica para poder ser pesados por separado.

Se utilizaron cladodios de nopal (*O. ficus-indica*) provenientes de la parcela de la Posta Zootécnica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UMSNH, ubicada en la carretera Morelia-Zinapécuaro km 9.5, municipio de Tarímbaro, Michoacán, México. Los cladodios por cosechar debían poseer una edad aproximada de 90 días, mismos que se seleccionaron al azar y se recolectaron cada semana.

EFFECTO DE LA ADICIÓN DE NOPAL (*O. ficus-indica*) EN BASE FRESCA Y PRECOCIDO A LA DIETA DE CERDOS DE 6-25 KG SOBRE CRECIMIENTO Y MICROBIOTA INTESTINAL

Tabla 2. Características morfológicas y bromatológicas de los cladodios de nopal *O. ficus-indica*

Variable	Promedio	D.E [±]
Largo del cladodio (cm)	46.9	4.7
Ancho del cladodio (cm)	15.5	2.6
Peso fresco (kg)	1.1	0.3
Humedad (%) [*]	88.9	3.3
Cenizas (%) ^{&}	26.5	2.5
Fibra (%) ^{&}	32.9	1.2
Proteína cruda (%) ^{&}	5.2	0.8
Grasa (%) ^{&}	0.2	0.08
E.L.N. (%) ^{&}	34.6	2.6

[±] Desviación estándar; ^{*} Se determino en base fresca; [&] Se determino en base seca

Fuente: (Ahumada, 2021)

Para la recolección de los cladodios se utilizó un cuchillo afilado de acero inoxidable (previamente desinfectado) para separarlos del punto de unión con la planta. Estos cladodios eran del tercer nivel de la planta; considerando el primer nivel a los cladodios que están cercanos al suelo. Una vez cosechados los cladodios, se transportaron a la granja en estudio, para su almacenamiento en un lugar fresco y seco.

Para la adición del nopal en BF, diariamente cada cladodio se fracciona con un cuchillo en trozos de aproximadamente 1.0 cm² y se mezclaron con el alimento E6a25, ello para facilitar su consumo. Mientras que, el proceso de cocción de los cladodios se realizó en una olla vaporera para uso doméstico (Vasconia®, capacidad de 5.0 L.). Previo a la cocción, los cladodios se fraccionaron en trozos de aproximadamente 1.0 cm², e inmediatamente después se sometieron a cocción con vapor a 100°C durante 4 minutos; ello, de acuerdo con la metodología descrita por Ahumada (2021). Culminado el tiempo de cocción, la cantidad de nopal cocido a vapor se drenó para retirar el mucilago excedente; inmediatamente después del drenado, el nopal PCV se dejó enfriar a temperatura ambiente y posteriormente se mezcló con el alimento para E6a25.

Las variables productivas evaluadas grupo/semana fueron: consumo voluntario de alimento (CVA), consumo voluntario de nopal (CVN), ganancia de peso semanal (GPS), ganancia diaria de peso (GDP), conversión alimenticia (CA) y peso vivo (PV) inicial, semanal y final. Mientras que las variables evaluadas al término de la fase experimental fueron: unidades formadoras de colonias (UFC) Gram positivas y Gram negativas, presentes en el íleon.

El CVA y CVN se determinó mediante el pesaje previo del alimento a suministrar por día menos el peso del alimento y nopal sobrante por día. El alimento suministrado, el nopal y el sobrante se pesaron en una báscula digital (SF-400® con una capacidad de 5 kg).

La GPS se determinó mediante el pesaje semanal de los lechones de cada grupo⁻¹ tratamiento⁻¹ de forma individual a través de una báscula digital portátil (CraneScale®, con una capacidad de 300 kg.) Mientras que la GDP lechón⁻¹ se obtuvo a través de la siguiente fórmula:

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

Donde:

GPD = Ganancia diaria de peso

P_f = Peso final

P_i = Peso inicial

S_d = Días de la semana

El índice de la CA se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$CA = \frac{\text{Consumo de alimento (kg)}}{P_f - P_i}$$

Donde:

CA = Conversión alimenticia

P_f = Peso final

P_i = Peso inicial

Para la determinación de los cambios de la microbiota del íleon (Gram positivas y negativas) se tomaron muestras (1.0 ml/muestra) de contenido intestinal de dos cerdos por grupo. Para ello, al término de la fase experimental, los cerdos se trasladaron al Taller de cárnicos de la FMVZ-UMSNH, donde se realizó el sacrificio conforme lo establecido por la Norma Oficial Mexicana (NOM-033-SAG/ZOO-2014).

Antes de seccionar la canal caliente por la mitad, se extrajeron las porciones intestinales, identificando el íleon para su inmediata toma de muestra. Previo a la toma de muestra, se preparó una zona estéril con la ayuda de un mechero e inmediatamente se procedió a la toma de muestra del contenido del íleon mediante un asa calibrada (Drigalsky, capacidad de 0.1 ml), para sembrarse en agar cuenta estándar. Sembradas las muestras, se trasladaron inmediatamente al laboratorio para incubarse a 35 ± 2 °C durante 48 h.

Establecido el crecimiento de las colonias, postincubación de las muestras del contenido del íleon, se realizó un frotis bacteriano directo a través de un asa de platino (0.01ml) para su identificación por medio de la tinción de Gram. Posteriormente, se realizó un recuento bacteriano por campos, utilizando para ello un objetivo 100x, tal como los establece el método de Breed (1911).

El conteo de bacterias se llevó a cabo mediante la siguiente fórmula:

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

Donde:

Am = Área de extensión medida

Ac = Área de campo

VI = Volumen de inoculación

Con la información recabada se elaboró una base de datos para su análisis estadístico en donde las variables afectadas por el tiempo se analizaron estadísticamente a través de mediciones repetidas, bajo la metodología de modelos de efectos fijos (MIXED) (Litell *et al.*, 1998), bajo el siguiente modelo:

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

Donde:

Y_{ijk} = Variable respuesta: CVA, CVN, GPS, CA y PV;

G_i = Efecto fijo del grupo con el *i*ésimo grupo= GT, GNBF y GNPCV;

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

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

E_{ijk} = Error con NID=0, σ^2 e

Para el caso de las variables independientes del tiempo, éstas, se analizaron a través de modelos de efectos fijos (MIXED) (Litell *et al.*, 1998):

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

Donde:

Y_{ijk} = Variable respuesta: UFC

G_i = Efecto fijo del grupo con *i*ésimo= GT, GNBF y GNPCV

S_j = Efecto que varía en cuestión del tiempo con *j*ésimo= S1, S2, S3, S4, S5, S6 y S7.

7. RESULTADOS

Respecto al CVA, se encontró efecto del grupo sobre dicha variable ($p < 0.001$); siendo los cerdos de los grupos de nopal (BF y PCV) quienes presentaron mayor CVA ($p < 0.05$): 130g más de alimento balanceado semana/cerdo respecto al GT (Tabla 3).

Tabla 3. Medias de mínimos cuadrados para parámetros de crecimiento y consumos de alimento® y nopal por semana de acuerdo con el grupo en la etapa de iniciación.

VARIABLE	ETAPA 6-25 KG		
	GT Prom \pm E.E.	GNBF Prom \pm E.E.	GNPCV Prom \pm E.E.
CVA (kg)	3.12 ^a \pm 0.02	3.24 ^b \pm 0.02	3.25 ^b \pm 0.02
CVN (g)	0.00	0.70 ^a \pm 0.001	0.63 ^b \pm 0.001
PV (kg)	12.68 ^a \pm 0.23	14.83 ^b \pm 0.23	15.06 ^b \pm 0.23
GPS (kg)	1.90 ^a \pm 0.08	2.39 ^b \pm 0.08	2.43 ^b \pm 0.08
CA (kg)	1.73 ^a \pm 0.08	1.40 ^b \pm 0.08	1.38 ^b \pm 0.08

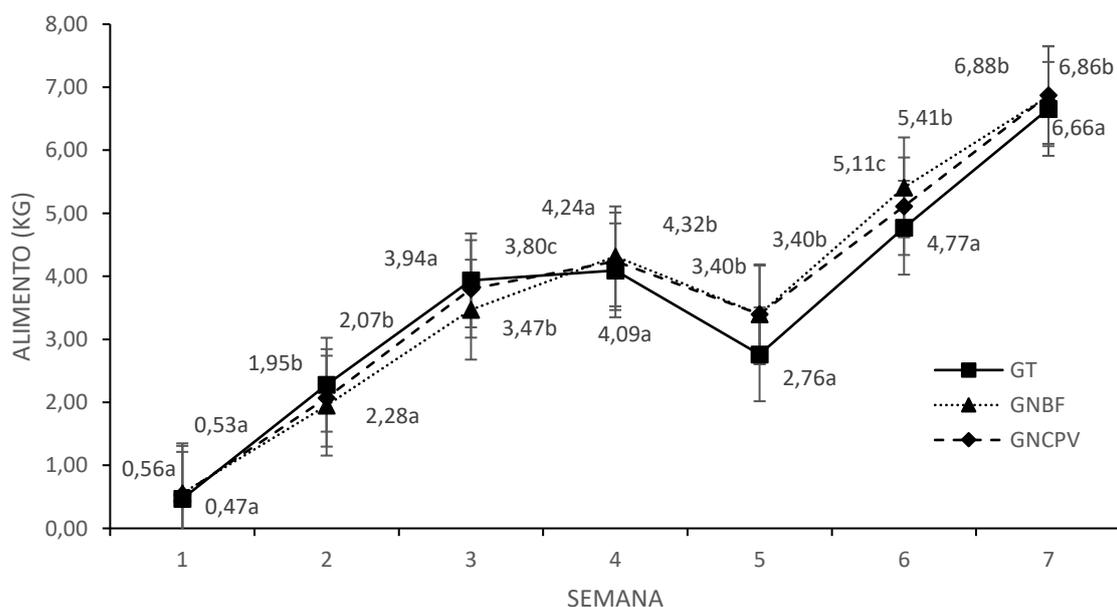
GT= grupo testigo; GNBF= grupo nopal en base fresca; GNPCV= grupo nopal precocido con vapor; CVA= consumo de alimento; CVN= consumo de nopal; GPS= ganancia de peso semanal; PV= peso vivo; CA=conversión alimenticia; E.E.=Error Estándar

^{a, b}. Literales diferentes indican diferencias ($p < 0.05$)

En cuanto al CVN lechón⁻¹ grupo⁻¹ semana⁻¹ se observaron diferencias ($p < 0.001$) entre grupos GNBF y GNPCV: 700 y 630 g de nopal lechón⁻¹ semana⁻¹.

Respecto al PV lechón⁻¹ grupo⁻¹ semana⁻¹, se encontraron diferencias ($p < 0.001$) de acuerdo con el grupo; el GT mostró menor ($p < 0.001$) peso: 12.68 kg promedio vs GNBF y GNPCV, cuyos pesos promedio fueron de 14.83 y 15.06 kg respectivamente e iguales entre sí ($p > 0.05$) (Tabla 3). Para el caso de la GPS, se encontró efecto de grupo sobre esta variable ($p < 0.001$), en donde el GT mostró un comportamiento inferior (1.90 kg) ($p < 0.05$) al compararse con el GNBF (2.39 kg) y GNPCV (2.43 kg), mismos que fueron similares en la GPS (Tabla 3).

En lo referente a la dinámica del CVA durante la etapa de iniciación (E6a25) específicamente del alimento comercial (AC), se encontró que esta fue similar en los grupos analizados ($p>0.05$) (Figura 1). Sin embargo, en la 5^{ta} semana de la fase de iniciación se observó que el CVA disminuyó ($p<0.05$). Pero, fue más drástico ($p<0.05$) para el GT (2.76 kg lechón⁻¹ semana⁻¹) vs 3.40 kg lechón⁻¹ semana⁻¹ en GNBF y GNPCV. A partir de la 6^{ta} semana, el CVA aumentó ($p<0.05$) en los tres grupos analizados: GT (4.77 kg lechón⁻¹ semana⁻¹), GNBF (5.41 kg lechón⁻¹ semana⁻¹) y GNPCV (5.11 kg lechón⁻¹ semana⁻¹). Dinámica que mantuvo en ascenso con diferencias ($p<0.05$) entre GT (6.66 kg lechón⁻¹ semana⁻¹); GNBF 6.86 y GNPCV 6.88 kg/semana, estos dos últimos similares ($p>0.05$) entre sí (Figura 1).

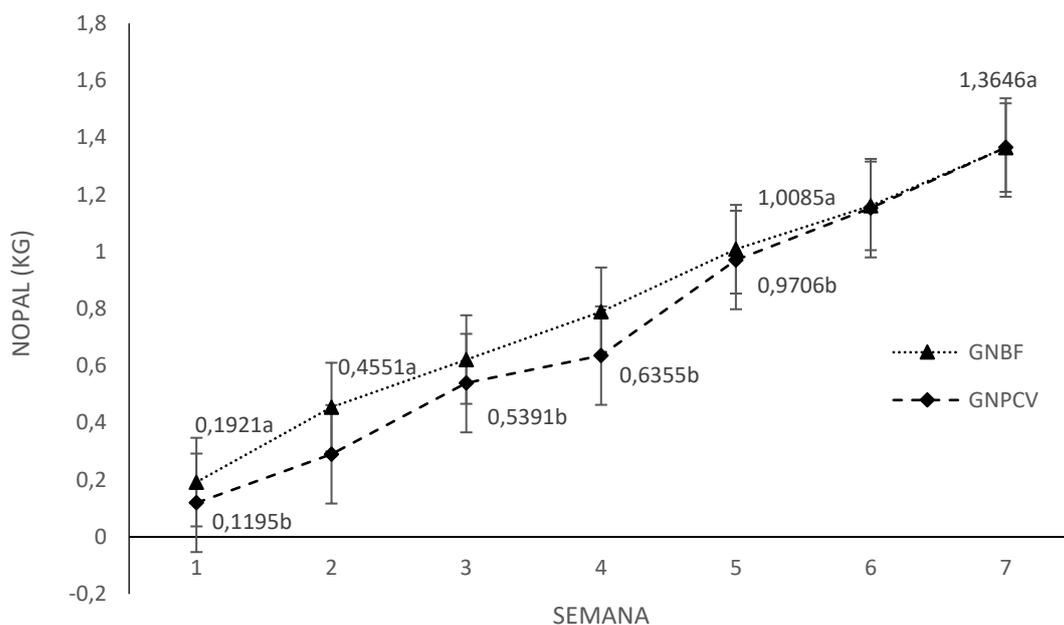


GT=grupo testigo; GNBF=grupo nopal en base fresca; GNPCV=grupo nopal en base precocido con vapor
^{a, b}. Literales diferentes indican diferencias ($p<0.05$)

Figura 1. Medias de mínimos cuadrados de consumo de alimento comercial (E6a25) de los lechones durante siete semanas (etapa de iniciación).

Para el caso de la dinámica del CVN (BF o PCV), se encontró mayor consumo ($p<0.05$) de nopal en BF, ello en comparación con el consumo de nopal PCV

durante las primeras cinco semanas de la fase de iniciación (Tabla 1). Sin embargo, el PCV a partir de la 6^{ta} semana mostró una dinámica de consumo (1.15 kg lechón⁻¹ semana⁻¹) similar al del grupo de nopal en BF y culminar ambos grupos con un consumo de 1.36 kg de nopal (en BF o PCV) lechón⁻¹ semana⁻¹ (Figura 2).

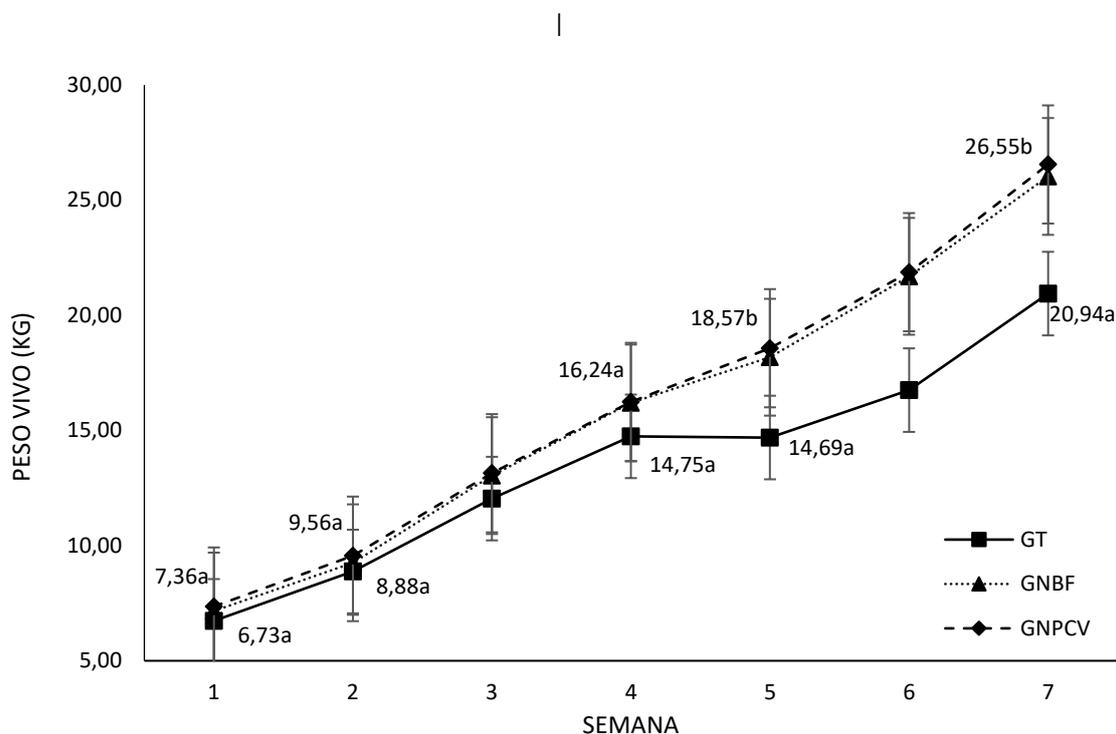


GNBF=grupo nopal en base fresca; GNPCV=grupo nopal en base precocido con vapor
a, b. Literales diferentes indican diferencias ($p < 0.05$)

Figura 2. Medias de mínimos cuadrados del consumo voluntario de nopal en sus dos presentaciones (base fresca y precocido con vapor) semana/lechón durante siete semanas (fase de iniciación).

En lo que respecta al comportamiento del PV por semana de los lechones⁻¹ grupo⁻¹, este mostró una dinámica similar ($p > 0.05$) en los tres grupos analizados durante las primeras cuatro semanas de la fase de iniciación (Figura 3). De la 5^{ta} a la 7^{ma} semana, el GT mostró menores ($p < 0.05$) pesos semanales, ello en comparación con los grupos que consumieron nopal (en BF o PCV) como parte de su dieta; el peso promedio lechón⁻¹ final en la 7^{ma} fue como sigue: 20.94, 26.03

y 26.55 kg para GT, GNBF y GNPCV, respectivamente); siendo el peso del GT diferente a los grupos con nopal ($p < 0.05$) (Figura 3).

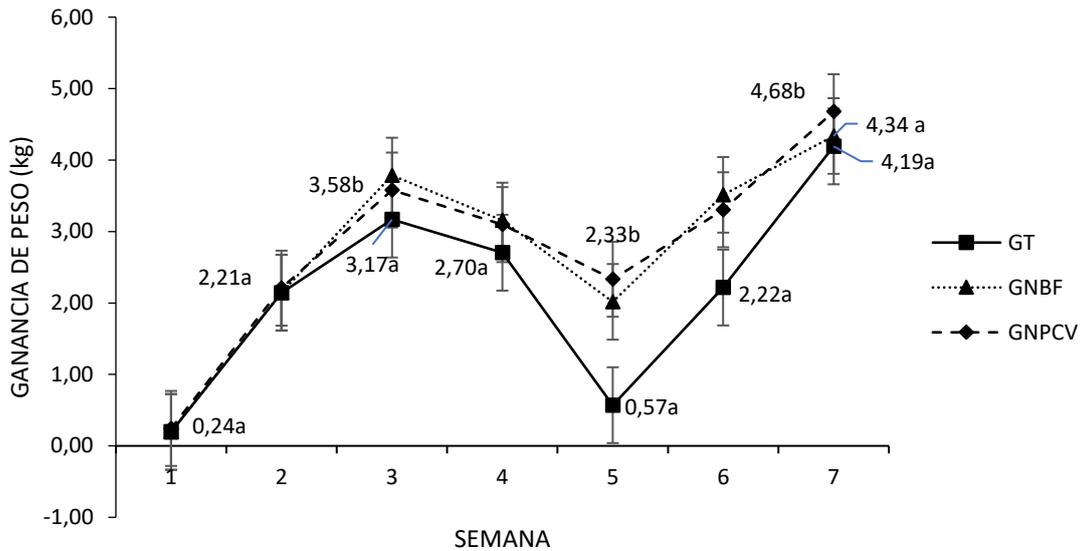


GT=grupo testigo; GNBF=grupo nopal en base fresca; GNPCV=grupo nopal en base precocido con vapor
^{a, b}. Literales diferentes indican diferencias ($p < 0.05$)

Figura 3. Medias de mínimos cuadrados del peso del lechón grupo⁻¹ semana⁻¹ durante siete semanas (etapa de iniciación).

En lo que respecta a la dinámica del comportamiento de la GPS, en los tres grupos analizados se presentó un comportamiento similar a la regresión cubica, es decir, presentó ascenso, descenso y ascenso en esta variable (Figura 4). El primer pico de ascenso se observó en la 3^a semana de la fase de iniciación y en donde el GT presentó menor promedio de GPS (3.17 kg lechón⁻¹) vs los promedios de los grupos que consumieron nopal (3.58 y 3.78 kg lechón⁻¹ para nopal en BF y nopal PCV, respectivamente) (Figura 4). El segundo pico de ascenso se encontró en la 7^{ma} semana, pero en esta semana, tanto la GPS del GT (4.19 kg lechón⁻¹) como del GNFB (4.34 kg lechón⁻¹) fueron similares ($p > 0.05$) y diferentes ($p < 0.05$) al GNPCV (4.68 kg lechón⁻¹).

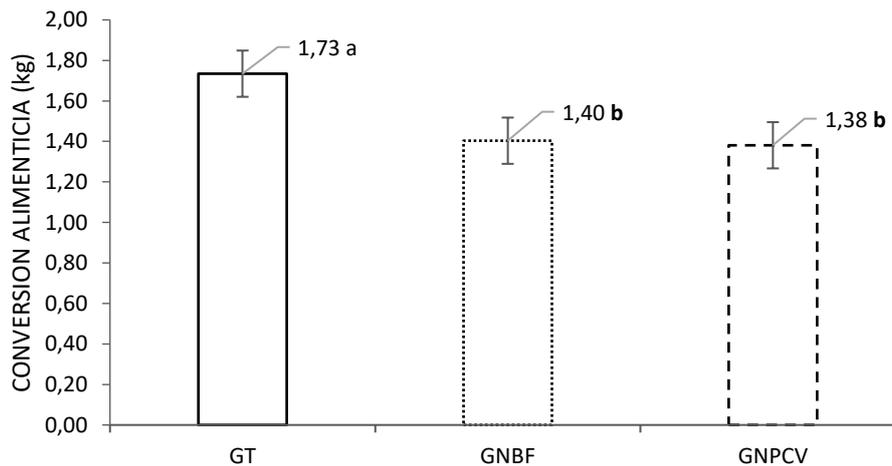
EFFECTO DE LA ADICIÓN DE NOPAL (*O. ficus-indica*) EN BASE FRESCA Y PRECOCIDO A LA DIETA DE CERDOS DE 6-25 KG SOBRE CRECIMIENTO Y MICROBIOTA INTESTINAL



GT=grupo testigo; GNBF=grupo nopal en base fresca; GNPCV=grupo nopal en base precocido con vapor
^{a, b}. Literales diferentes indican diferencias ($p < 0.05$)

Figura 4. Medias de mínimos cuadrados de la ganancia de peso semanal del lechón tratamiento/semana durante siete semanas (etapa de iniciación)

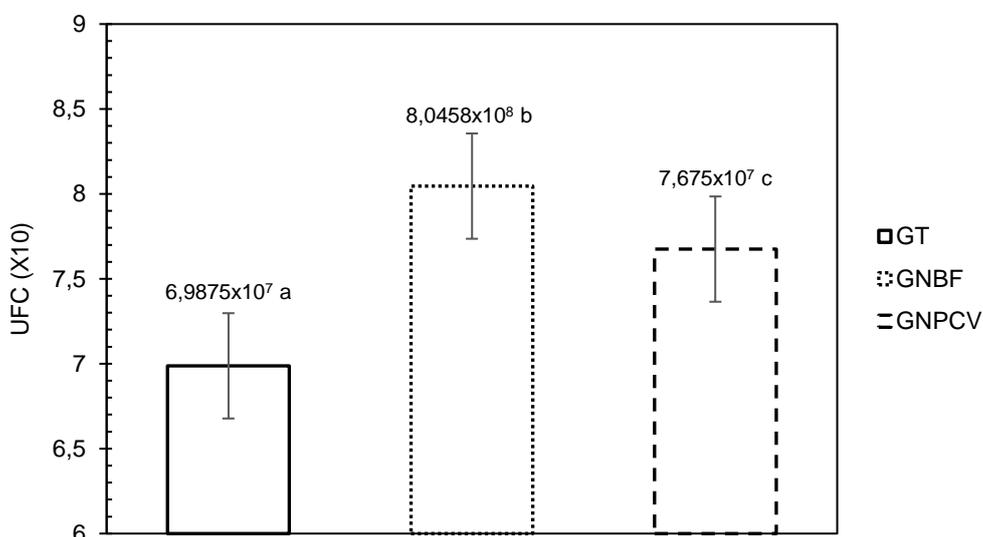
Finalmente, la CA de acuerdo con el grupo para dicha variable se encontraron diferencias ($p < 0.05$): en el GT se observó menor CA ($p < 0.05$): 1.73:1 kg alimento/kg vs 1.40:1 kg alimento/kg en el GNBF y 1.38:1 kg alimento/kg para GNPCV, promedios estos iguales entre sí ($p > 0.05$) (Figura 5).



GT=grupo testigo; GNBF=grupo nopal en base fresca; GNPCV=grupo nopal en base precocido con vapor
^{a, b}. Literales diferentes indican diferencias ($p < 0.05$)

Figura 5. Medias de mínimos cuadrados para la conversión alimenticia de acuerdo con el grupo

En lo referente al promedio de UFC de bacterias Gram positivas lechón⁻¹ de acuerdo con el grupo, se encontró efecto de grupo sobre esta variable ($p < 0.001$); en el GT se observó menor crecimiento de UFC (6.98×10^7) respecto a los tratamientos GNB y GNPCV (Figura 6). En los grupos adicionados con nopal (*O. ficus-indica*) además de observarse un mayor crecimiento de UFC, se encontraron diferencias ($p < 0.001$) entre estos grupos; el GNBF mostró mayor ($p < 0.001$) cantidad de UFC de dichas bacterias (8.04×10^8) en comparación con el GNPCV (7.67×10^7) (Figura 6).



GT=grupo testigo; GNB=grupo nopal en base fresca; GNPCV=grupo nopal en base precocido con vapor
a, b, c. Literales diferentes indican diferencias ($p < 0.05$)

Figura 6. Promedios del conteo de UFC's Gram positivas respecto a los tratamientos

8. DISCUSION

La alimentación es uno de los principales factores que repercuten en la salud intestinal de los cerdos. En la actualidad, la incidencia de diarreas postdestete (DPD) es la enfermedad más común en lechones destetados, debido a la mala capacidad de adaptación anatómico-fisiológica del lechón durante la transición alimentaria de líquido a sólido (Rentería *et al.*, 2021).

Respecto al efecto de grupos en el CVA, otras investigaciones, reportan que los grupos cuyo tratamiento incluye nopal, disminuyen su CVA comercial durante la etapa de 20 a 100 kg (Ramírez, 2016; Gaytán, 2017). Aspecto que no sucedió en los grupos de lechones sometidos a las dietas adicionadas con nopal en BF y PCV, estos mostraron un mayor ($P < 0.05$) CVA comercial específico para la etapa de 6 a 25 kg de peso vivo (E6a25) cuyos valores de consumo de alimento fueron 3.24 kg y 3.25 kg lechón⁻¹ semana⁻¹ para el GNBF y GNPCV, respectivamente vs GT 3.12 kg lechón⁻¹ semana⁻¹ (Figura 1). Resultados que concuerdan con Ordaz *et al.* (2021), quienes reportaron un mayor CVA ($p < 0.05$) en el grupo de cerdas en fase de lactancia al cual se adicionó nopal a la dieta.

Otros autores reportan en la etapa de 6 a 25 kg un CVA de los lechones entre 3.89 a 4.074 kg de alimento lechón⁻¹ semana⁻¹ (Pérez *et al.*, 2014; Arnaldo *et al.*, 2021). Resultados que sugieren que el CVA de los grupos sometidos a dieta adicionada con nopal (BF o PCV) al 1% respecto al PV del lechón estuvieron dentro del rango de consumo óptimo; a pesar de que se vio afectado durante las semanas 4^{ta} y 5^{ta} (Figura 1). Efecto (disminución del consumo) posiblemente debido a infecciones bacterianas enterales. No obstante, posterior a la 5^a

semana de la fase de inicio, se observó una compensación del consumo de alimento en los grupos sometidos a la dieta adicionada con nopal (BF y PCV).

La compensación en el CVA post-enfermedad, pudo deberse a los efectos bacteriostáticos que posee el nopal (Ortiz-Rodríguez *et al.*, 2016) y a los efectos hipoglucémicos, los cuales al reestablecer el apetito contribuyeron a incrementar la ingesta (alimento + nopal) (Montagne *et al.*, 2014; Ordaz, 2017); Además, el nopal (*O. ficus-indica*) contiene compuestos polifenólicos, al cual se les atribuye una actividad antiinflamatoria, antidepresiva, bacteriostática y bactericida (Rodríguez-Pérez *et al.*, 2020; Díaz y Llontop, 2021). Dichos compuestos también son precursores de vitamina A, la cual estimula el crecimiento y la capacidad inmune, por ello, pudieron haber contribuido en ayudar a controlar dichos trastornos gastrointestinales (Hernández-Castillo, 2015; Baca y Ampuero, 2019).

En cuanto a la GPS y su CA, los lechones sometidos a la dieta adicionada con el 1% de nopal (*O. ficus-indica*) y que pertenecieron al GNBF y GNPCV presentaron mejor comportamiento en GPS (2.39 y 2.43 kg, respectivamente), en comparación con el GT (1.90 kg de GPS), con conversiones alimenticias (CA) de 1.73:1, 1.38:1 y 1.40:1 para GT, GNBF y GNPV, respectivamente. Resultados que concuerdan con Herrera-Franco (2021) y Arnaldo-Portillo (2021); Herrera-Franco, reporta una GPS de 2.52 kg semana⁻¹ y una CA de 1.90:1 en lechones alimentados con alimento comercial durante la etapa de iniciación.

Posiblemente, la mejora en las GPS y en la CA de los lechones que consumieron nopal como parte de su dieta, se debió a una mayor digestibilidad y absorción de los nutrientes contenidos en alimento comercial; puesto que, la cantidad de fibra dietética ingerida y contenida en el nopal, promueve y favorece la digestión,

mediante la disminución de los niveles de lipoproteínas de baja densidad, disminuyendo los niveles de colesterol sanguíneos, generando una barrera protectora que crea la fibra y su viscosidad del bolo alimenticio, lo cual, a su vez aumenta la secreción de ácidos biliares y enzimas, controlando la absorción y degradación de lípidos contenidos en la dieta (Almeida-Alvarado *et al.*, 2014; Ramírez, 2016; Arnaldo-Portillo, 2021).

Un elemento más que permite explicar el mejor comportamiento de los lechones sometidos a la dieta adicionada con nopal, de acuerdo con los resultados obtenidos en la presente investigación, es la cantidad de UFC de bacterias Gram positivas encontradas en el íleon de los lechones analizados a la 7^{ma} semanas de inicio la fase de iniciación (50 días de edad) fueron mayor (GNBF, UFC = 8.04×10^8 y GNPCV, UFC = 7.67×10^7) a las contabilizadas en los lechones del GT (6.98×10^7). Resultado que de acuerdo con Castillo-Gavidia (2021), la concentración en el íleon de UFC promedio fue de $9.18 \times 10^6 \pm 4.44$ en lechones alimentados con una dieta comercial. Resultado menor al encontrado en el GT (6.98×10^7) y menor a lo encontrado en lechones que consumieron nopal.

El aumento de UFC para los grupos que consumieron nopal BF y PCV, posiblemente se debió a la fibra dietética de esta cactácea; la cual, a través de la fermentación y el metabolismo de las bacterias, actuó como un prebiótico (Brambillasca, 2011; Agudelo-Ochoa *et al.*, 2016), produciendo una mayor cantidad de AGCC los cuales fomentan a su vez la acidez intestinal, la digestibilidad aparente del TGI y la proliferación del equilibrio de la microbiota benéfica, excluyendo a las bacterias patógenas del lumen intestinal (Manrique y González, 2017; Cordero y González-Ortiz, 2022).

Por otro lado, otro efecto bactericida y bacteriostático lo poseen los ácidos orgánicos y flavonoides, presentes en el nopal (Carrillo-Verástegui, 2021), los cuales mediante la acidificación del pH intestinal inhiben su metabolismo, crecimiento y su replicación del ADN. El mecanismo por el cual actúan es sobre la pared celular bacteriana desnaturalizándola, alterando su permeabilidad, de modo que interrumpen sus procesos celulares esenciales como el transporte de electrones, translocación de proteínas, la fosforilación oxidativa, etc. Esto da lugar a la pérdida de su control quimiosmótico y, en consecuencia, la muerte bacteriana, principalmente de Gram negativas (Costa *et al.*, 2013), como las enterobacterias, así mismo, el pH ácido aumenta la actividad de las enzimas digestivas (pepsina), mejorando la absorción de proteínas y, con ello, pueden controlar las diarreas postdestete y potenciar su rendimiento productivo (Herrera, 2021; Radzikowski y Milczarek, 2021).

El estudio realizado por Jurado-Gómez *et al.* (2014) muestra los valores adecuados para determinar si un producto posee cualidades probióticas, mismas que alcanzan valores de UFC Log 10⁸ y hasta UFC Log 10¹¹ UFC/mL, tomando en cuenta que esta proporción de bacterias viables son determinadas por factores tales como: temperatura, pH y condiciones del medio.

En el presente trabajo de investigación se puede sugerir que el nopal (*O. ficus-indica*) adicionado al 1% en BF es óptimo para mejorar la dieta de los animales durante la fase de iniciación, por sus efectos biofuncionales; ya que la ingesta de nopal puede incrementar la producción de la hormona de crecimiento.

9. CONCLUSIONES

- La adición de *O. ficus-indica* (independiente de su presentación: BF y PCV) a la dieta de lechones durante la fase de iniciación incrementa el consumo de alimento comercial, a pesar de los efectos ocasionados por el estrés al destete.
- El consumo de *O. ficus-indica* en BF en lechones en fase de iniciación es mayor en comparación con el consumo de nopal precocido con vapor.
- El nopal en BF, aún y cuando el lechón tarda más tiempo en aceptarlo, presenta mayor consumo debido a la menor proporción de carbohidratos y su menor volumen dentro del tracto gastrointestinal. Ello a diferencia del nopal PCV; pues este último, contiene mayores niveles de carbohidratos y fibra digestible disponibles para el lechón, lo cual puede provocar una rápida respuesta de saciedad del apetito.
- La adición *O. ficus-indica* (independientemente de su presentación) incrementa la ganancia de peso semanal del lechón y con mejora la conversión alimenticia durante la fase de iniciación.
- El nopal *O. ficus-indica* en BF promueve el crecimiento de la población de bacterias Gram positivas en íleon en comparación con dietas adicionadas con nopal PCV o con dietas sin adición de nopal.
- La adición de *O. ficus-indica* en BF o PCV a la dieta de lechones durante la fase de iniciación aún y cuando no muestran diferencias en los parámetros productivos en lechones que los consumen, el nopal en BF es la estrategia más viable para mejorar la microbiota del íleon, permitiendo un mejor desarrollo del lechón que transita por estrés postdestete.

10. RECOMENDACIONES

Con el fin de mitigar los efectos ocasionados por el destete en el lechón es necesario un previo estímulo a través de la inclusión de alimento sólido en pequeñas porciones, de tal manera que el TGI se desarrolle con mayor rapidez. Así mismo, adicionar alimentos ricos en fibra que promuevan la fermentación del intestino y con ello un incremento de la microbiota intestinal benéfica. Por ello, la importancia de adicionar a la dieta de estos animales, durante la fase de iniciación insumos no convencionales como es el caso del nopal, que por sus características físicas y químicas, promueve la salud del TGI. Esta estrategia, puede disminuir el detrimento del TGI causado por el estrés postdestete y con ello, mejorar el desarrollo de los lechones.

Sin embargo, dicha estrategia nutricional implica mayor mano de obra puesto que se requiere fraccionar el nopal en trozos pequeños para que el lechón lo pueda consumir; mano de obra que puede ser justificada con una mayor eficiencia en el crecimiento de lechones postdestete.

11. BIBLIOGRAFIA

- Agudelo-Ochoa, G.M., Giraldo-Giraldo, N.A., Berrera-Causil, C.J. y Valdés-Duque, B.E. (2016)** Microbiota intestinal y ácidos grasos de cadena corta en pacientes críticos. *Perspectivas en nutrición humana*. 18(2), Pp. 205-222.
- Ahumada, G.J.T. (2021)**. Efecto de la adición de nopal (*O. ficus-indica*) cocido a la dieta de cerdas postparto sobre: perfil metabólico y consumo voluntario de alimento. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Químico Farmacobiología, Morelia, Michoacán.
- Albo, G.N. (2020)** Probióticos y aceites esenciales en la dieta de lechones destetados. Tesis de especialidad. Universidad Nacional de La Plata-Facultad de Ciencias Veterinarias, Pp. 1-70.
- Almeida-Alvarado, S.L., Aguilar-López, T. y Hervert-Hernández, D. (2014)** La fibra y sus beneficios a la salud. *Anales Venezolanos de Nutrición*, 27(1), Pp. 73-76.
- 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.
- Amo, J. (2018)**. 'El mercado de carne de cerdo en México'. www.icex.es. [En línea] <https://www.icex.es/icex/es/navegacion-principal/todos-nuestros-servicios/informacion-de-mercados/paises/navegacion-principal/el-mercado/estudios-informes/DOC2020862812.html?idPais=MX#>.
- Argemí-Armengol, I., Villalba, D., Tor, M. y Álvarez-Rodríguez, J. (2020)** Estrategias de alimentación, evaluación del impacto ambiental y valoración económica de dietas de porcino ecológico. *Arch. Zootec.* 69(266), Pp. 196-207.
- 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.
- Baca, C.N. y Ampuero, B.A. (2019)** Efecto de la inclusión de aceite esencial de orégano en la dieta de lechones destetados sobre parámetros productivos. *Rev. Inv. Vet. Perú.* 30(4), Pp. 1537-1542.
- Bahelka, I., Nürnberg, K., Küchenmeister, U. y Lahučký, R. (2011)** Chemical composition, meat quality and oxidative status of pork after supplementation of diet with vitamin E and/or vitamin E + Herb extracts. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 27 (3), Pp. 853-860.
- Bajagai, Y.S., Klieve, A.V., Dart, P.J., y Bryden, W.L. (2016)** *Probiotics in animal nutrition-Production, impact and regulation*. N°179, Rome, Italy: Food & Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- 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
- Bedón, C.A., Cruz, C.F., Quillupangui, G.R. y Ponce C.H. (2015)** *Efecto de la suplementación de aditivos alimenticios en parámetros productivos de lechones recientemente destetados*. X CONGRESO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA ESPE. Sangolquí, Ecuador. Pp. 65-68.

- Benítez, O.W. y Sánchez, M.D. (2001)** *Los cerdos locales en los sistemas tradicionales de producción*. Roma, Italia. FAO.
- Benítez-Meza, A., Gómez-Gurrola, A., Hernández-Ballesteros, J., Navarrete-Méndez, R., Moreno-Flores, L. (2015)** Evaluación de parámetros productivos y económicos en la alimentación de porcinos de engorda. *Abanico Veterinario*. 5(3), Pp. 36-41.
- Bernal, A.D.A. (2018)** *Efecto de un aditivo nutraceútico en cerdos en finalización sobre parámetros productivos*. Tesis de licenciatura. Universidad de La Salle-Facultad de Ciencias Agropecuarias, Bogotá, Pp.1-29.
- Blanch, A. (2015)**. Aplicación de probióticos, prebióticos y simbióticos en porcino. *nutriNews*, Pp. 2–8.
- Boulot, S., Despres, Y., Badouard, B., Sallé, E. (2013)**. Characterization of "second parity syndrome" profiles and associated risk factors in French sow herds. *J. de la Rech. Porc. en France*, Pp. 45, 79-80.
- Bradley, G.K. (2014)** *Cunningham Fisiología Veterinaria*. 5ta Ed. Barcelona, España: Elsevier Pp. 299-308.
- Brambillasca, A.L.S. (2011)**. *Utilización de inulina, alfalfa y pulpa de citrus como aditivos en dietas para lechones: aspectos nutricionales, fermentativos, microbiológicos y morfológicos digestivos*. Tesis de maestría en producción animal, Universidad de la Republica Uruguay - Facultad de veterinaria, Uruguay.
- Breed, R. S. (1911)**. The determination of the number of bacteria in milk by direct microscopical examination. *Zentr. Bakt. Parasitenk., Abt. 2*(30). Pp. 337-40.
- 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 nutraceútico para cerdos en posdestete. *Rev. Inv. Vet. Peru.* 30(4), Pp. 1470-1480.
- Campabadal, C. (2009)** Guía Técnica para alimentación de cerdos. PITTA CERDOS. Imprenta Nacional, Costa Rica. Pp. 1-44.
- Campbell, J.M., Crenshaw, J.D. y Polo, J. (2013)** The biological stress of early weaned piglets. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 4(19), Pp. 1-4.
- Carrero, G.H. (2005)** Manual de producción porcina. SENA, Tuluá, Valle. Pp. 1-114.
- Carrillo-Verástegui, K.A. (2021)** *Evaluación del nopal como materia prima para la obtención de bioproductos y bioenergéticos*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo Leon-Facultad de Ciencias Químicas. Pp. 1-72.
- Castillo-Gavidia, C.I. (2021)** *Selección de cepas de Lactobacillus sp procedentes del tracto digestivo del cerdo como posibles cepas probióticas*. Tesis de licenciatura. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo-Facultad de Ciencias Pecuarias, Riobamba, Ecuador. Pp. 1-63.
- Chen, X., Xu, J., Ren, E., Su, Y. y Zhu, W. (2018)** Co-occurrence of early gut colonization in neonatal piglets with microbiota in the maternal and surrounding delivery environments. *Anaerobe*, 49, Pp. 30-40.
- Consejo Mexicano de la Carne (2021)** Compendio estadístico 2021. www.comecarne.org [En línea]

https://comecarne.org/wp/content/uploads/2021/07/Compendio_Estad%C3%ADstico_2021_VF.pdf.

- Contreras-Quintero, R.A., Huertas-Montiel, D.E., Angulo-Arroyave, R.A. y Gutiérrez-Giraldo, A.F. (2019)** Efecto de la adición de ácido cítrico sobre el desempeño productivo de lechones en la fase de lactancia. *Agro SENA*, Pp. 41-47.
- Cordero, G. y González-Ortiz, G. (2022)** Nuevas estrategias en la utilización de la fibra y efectos en la función intestinal. *SUIS*. 188, Pp. 10-13.
- Costa, L.B., Luciano, F.B., Miyada, V.S. y Gois, F.D. (2013)** Herbal extracts and organic acid as natural feed additives in pig diet. *South African Journal of Animal Science*. 43(2), Pp. 181-193.
- Crespo-Piazuelo, D., Estellé, J., Revilla, M., Criado-Mesas, L., Ramayo-Caldas, Y., Ovilo, C., Fernández, A.I., Ballester, M. y Folch, J.M. (2018)** Characterization of bacterial microbiota composition along the intestinal tract in pigs and their interactions and functions. *Scientific Reports*, 8(127), Pp. 1-12.
- Cromwell, G.L. (2022)** Nutritional Requirements of Pigs. [En línea:] <https://www.msdsvetmanual.com/management-and-nutrition/nutrition-pigs/nutritional-requirements-of-pigs>.
- Daposa, C. (2002)** Alimentación nitrogenada del lechón. *Producción animal*. 181, Pp. 39-50. ISSN 9956436X.
- 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.
- Díaz, C.C.B. y Llontop, B.K.S. (2021)** *Efecto in vitro del extracto etanólico del cladodio de O. ficus-indica en el crecimiento de Staphylococcus aureus y Pseudomonas aeruginosa*. (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional de Trujillo-Facultad de Ciencias Biológicas. Trujillo, Perú. Pp. 1-48.
- Domínguez-Vara, I.A., Gómez-Galeana, A.E., Pescador-Salas, N. y González-Ronquillo, M. (2017)** Fermentación cecal in vitro de cerdos Pelón Mexicano y Cuino Mexicano suplementados con cromo. *Ecosist. Recur. Agropec*. 4(11), Pp. 349-357.
- Fabian-Domínguez, F., Vásquez-Rojas, L., Baylon-Cuba, M., López-Flores, A. y Mialhe, E. (2021)**. Identificación molecular de la microbiota gastrointestinal del lechón lactante. *Revista de Veterinaria y Zootecnia Amazónica*. Vol. 1(1), Pp. 22-30.
- FAO (2016)**. Boletín de agricultura familiar para América Latina y el Caribe. ISSN: 2312-1610.
- Flores-Manchero, L.G., García-Hernández, Y., Usca-Méndez, J.E. y Caicedo-Quinche, W.O. (2016)** Estudio comparativo de tres aditivos zootécnicos en el comportamiento productivo y sanitario de cerdos en el periodo post-destete. *Rev. Cien. Agri*. 13(2), Pp. 95-105.
- Fowler, V. (1995)** Nutrition of the early weaning pig. *Proceedings of the Advance Swine Production Technology Course*. University of Illinois. Pp. 1-9.
- 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.

- García, G.K.S. (2019)** Uso de un suplemento nutricional líquido en lechones lactantes y su efecto sobre el rendimiento productivo postdestete. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Agraria la Molina-Facultad de Zootecnia, Lima, Perú. Pp. 1-68.
- García, H.Y. y García, C.Y. (2015)** Uso de aditivos en la alimentación animal: 50 años de experiencia en el Instituto de Ciencia Animal. *Rev. Cub. Cienc. Agric.* 49(2), Pp. 173-177.
- Gaytán, L.S.B. (2017).** *Efecto de la adición de nopal (O. ficus-indica) en la dieta de cerdos para abasto sobre el consumo de agua, alimento, rendimiento de la canal y producción de gas metano (Ch4) en excretas.* Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo - Facultad de Agrobiología. [En línea]
http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB_UMICH/2073/FAPJ-M-2017-1255.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Gómez, I.A.S., Vergara, D. y Argote, F. (2008)** Efecto de la dieta y edad del destete sobre la fisiología digestiva del lechón. *Fac. Cienc. Agrop.* 6(1), Pp. 32-41.
- Gómez-Eguílaz, M., Ramon-Trapero, J.L., Pérez-Martínez, L. y Blanco, J.R. (2019)** El eje microbiota-intestino-cerebro y sus grandes proyecciones. *Rev. Neurol.* 68(3), Pp. 111-117.
- 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.
- Guarner, F. (2007).** Papel de la flora intestinal en la salud y en la enfermedad. *Nutr. Hosp.* 22(2), Pp. 14-19.
- Harris, E.K., Berg, E.P., Berg, E.L. y Vonnahme, K.A. (2013)** Effect of maternal activity during gestation on maternal behavior, fetal growth, umbilical blood flow, and farrowing characteristics in pigs. *J. Anim. Sci.* 91(1), Pp. 734-744.
- Hermann-Bank, M.L., Skovgaard, K., Stockmarr, A., Strube, M.L., Larsen, N., Kongsted, H., Ingerslev, H.C., Mølbak, L. y Boye, M. (2015)** Characterization of the bacterial gut microbiota of piglets suffering from new neonatal porcine diarrhoea. *BMC Veterinary Research*, 11(139), Pp. 1-19
- Hernández-Castillo, J.B.E. (2015)** *Determinación de los cambios originados por los procesos de asado y freído del nopal verdura (O. ficus-indica) sobre la actividad antioxidante y la concentración de fenoles totales.* Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico de Celaya. Celaya, Guanajuato, México. Pp. 1-86.
- Hernández-López, S.H., Rodríguez-Carpena, J.G., Lemus-Flores, C., Grageola-Nuñez, F. y Estévez, M. (2016).** Avocado waste for finishing pigs: Impact on muscle composition and oxidative stability during chilled storage. *Meat Science.* 116, Pp. 186-192.
- Herrera, F.V.H. (2021)** *Microbiota y expresión de proteínas intestinales en cerdos adicionados con diferentes antimicrobianos durante el periodo del destete.* Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Colombia-Posgrado en Biotecnología. Medellín, Colombia. Pp. 1-142
- Herrera-Camacho, J., Chay-Canul, A.J., Casanova-Lugo, F., Piñero-Vázquez, A., Márques-Benavides, L., Santillán-Ferreira, E. y Arce-**

- Menocal, J. (2018)** *Avances de la investigación sobre producción animal y seguridad alimentaria en México*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Primera edición. Morelia, Michoacán, México. Pp. 899-903.
- 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.
- Hurley W.L (2015)** The gestating and lactating sow Chapter 9: Composition of sow colostrum. Wageningen Academic Publishers.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2010)**. Anuario Estadístico del Estado de Michoacán. Pp. 45-50.
- Instituto Nacional de la Economía Social (INES). (2018)** La historia de la porcicultura en México y el mundo. www.gob.mx. [En línea] <https://www.gob.mx/inaes/articulos/porcicultura-una-actividad-milenaria?idiom=es>
- Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura (INTAGRI). (2017)**. Sistemas de Producción Porcina. [En línea] <https://www.intagri.com/articulos/ganaderia/sistemas-de-produccion-porcina>.
- INTERPORC. (2017)** La carne de cerdo de capa blanca. www.interporc.com. [En línea] https://www.interporc.com/revista_cientifica_simposio.pdf
- Janacua-Vidales, H., Alarcón-Rojo, A., Olgún-Arredondo, H., Quintero, E.J. y Cardona-Hernández, M. (2018)** Aceites esenciales de orégano en la dieta de cerdos para mejorar las características de la canal. *CULCyT*. 65, Pp. 85-90.
- Jayaraman, B. y Nyachoti, C.M. (2017)** Husbandry practices and gut health outcomes in weaned piglets: A review. *Anim Nutr.* 3, Pp. 205–211.
- Jiménez-Quintana, E.A. (2010)** *Fuentes de bacterias para la colonización del intestino del neonato: aplicación para el tratamiento de la mastitis lactacionales*. (Tesis Doctoral). Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Veterinaria, Madrid, España. Pp. 1-245.
- Jordana, A., Cerutti, J., Torres, M., Fassola, L.A. y Lozano, A. (2021)** Transferencia de inmunoglobulina G materna a la cría en la especie porcina. *Analecta Veterinaria*. 41(2), Pp. 1-8
- Jurado-Gómez, H., Calpa-Yama, F. y Chaspuengal-Tulcan, A. (2014)** Determinación de parámetros cinéticos de *Lactobacillus casei* en dos medios probióticos. *Veterinaria y Zootecnia*. 8(2), Pp. 15-35.
- Kim, H.B., Borewicz, K., White, B.A., Singer, R.S., Sreevatsan, S., Jin, T.Z. y Isaacson, R.E. (2011)** Longitudinal investigation of the age-related bacterial diversity in the feces of commercial pigs. *Veterinary Microbiology*. 153, Pp. 124-133
- 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.
- Klis J.D., Jansman A.J. y Blok, M.C. (2002)** Optimizing nutrient digestion, absorption and gut barrier function in monogastric: ¿reality or illusion? Nutrition and health of the gastrointestinal tract. Wageningen Academic Publishers. Netherlands, Pp. 15-36.

- La Rosa-Hernández, D., Gómez-Cabeza, E.J. y Sánchez-Castañeda, N. (2014)** La microbiota intestinal en el desarrollo del sistema inmune del recién nacido. *Revista Cubana de Pediatría*. 86(4), Pp. 502-513
- Lauridsen, Ch. (2020)** Effects of Dietary Fatty Acids on Gut Health and Function of Pigs Pre- and Post-Weaning. *Journal of Animal Science*. 98(4), Pp. 1-48
- Lezcano, P.P., Berto, D.A., Bicudo, S.J., Curcelli, F., Gonzales, F.P. y Valdivie, N.M.I. (2014)** Yuca ensilada como fuente de energía para cerdos en crecimiento. *Avances en Investigaciones Agropecuaria*. 18(3), Pp. 41-47.
- Littell, R.C., Henry, P.R. y Ammerman, C.B. (1998)**. Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures. *J. Animal Science*. 76, Pp. 1216-1231.
- López, F.A.J. y Hernández, C.D. (2016)** Cambio climático y agricultura: una revisión de la literatura con énfasis en América Latina. *El Trimestre Económico*. 83(4)-332, Pp. 459-496.
- López, Y. O., Castillo, A. J. R., Oliva, M. R., Florido, G. M., y Rodríguez, A. B. (2021)** Efecto de los aditivos PROBIOLACTIL® e IHPLUS® en cerdos lactantes. *Agrisost*. 27(3), Pp. 1-9.
- López-Rivera, R., Gamboa-Castañeda, R. y Lorez-Díaz F.D. (2019)** Inclusión de microorganismos eficientes en la dieta de crías porcinas hasta el destete. *Agrisost*. 24(2), Pp. 1-9.
- 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.
- Luna, V.J. y Urrutia, M.J. (2008)**. Nopal para forraje en el altiplano potosino. INIFAP- CIRNE-Campo Experimental San Luis. Folleto para Productores No. 49. San Luis Potosí, S. L. P. México Pp. 1-31
- Macías, S.M., Rodríguez, S. y Romayne de Ferrer, P.A. (2006)** Leche materna: composición y factores condicionantes de la lactancia. *Arch. Argent. Pediatr*. 104(5), Pp. 423-430.
- Manrique, V.D. y González, S.M.E. (2017)** Ácidos grasos de cadena corta (ácido butírico) y patologías intestinales. *Nutr. Hosp*. 34(4), Pp. 58-61.
- Martínez-Martínez, R., Castañeda-Guillot, C. D. y Pimienta-Concepción, I. (2022)** Microbiota intestinal y diabetes. *Revista Universidad y Sociedad*, 14(2), Pp. 158-163.
- Mateos, G.G., Kadardar, H., Dardabou, L, Fernández, A., Luna, N. y Aguirre, L. (2021)** Estrategias nutricionales para la prevención y control de procesos digestivos en lechones posdestete en ausencia de óxido de zinc en el pienso. *SUIS*. 178, Pp. 14-18.
- Mendoza, G.M.Y. (2021)** Evaluación de dos tipos de medicación del alimento balanceado en lechones de cinco a 70 días de edad. Tesis de licenciatura. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano-Ingeniería en Agroindustria Alimentaria. Honduras, Pp. 1-31.
- Menéndez, V.K.O. (2021)** *Estudio del jugo de caña (Saccharum officinarum), como alternativa de fuente energética en dietas para cerdos en la etapa de crecimiento*. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO-FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS. Babagoyo, Los Ríos, Ecuador. Pp. 1-41.

- Miranda-Hevia, R. (2018)** *Microbiota digestiva del cerdo: determinación del patrón en condiciones de salud y enfermedad*. Universidad de León, León, España. Pp. 1-118.
- Monroy-Vásquez, H.H. (2021)** *Fibra en la nutrición de cerdos: Una revisión descriptiva*. Tesina de licenciatura. Universidad Cooperativa de Colombia-Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Ibagué, Tolima. Pp. 1-34.
- Montagne L, Loisel F, Le Naou T, Gondret F, Gilbert H, Le Gall M. (2014)** Difference in short-term responses to a high-fiber diet in pigs divergently selected for residual feed intake. *Jour. Anim. Sci.* 92(4), Pp.1512-1523.
- Montejo-Sierra, I.L., Lamela-López, L., Arece-García, J., Lay-Ramos, M.T. y García-Fernández, D. (2017)** Efecto de dietas no convencionales con microorganismos nativos en la cría porcina. *Pastos y Forrajes*. 40(4), Pp. 308-314.
- Mota, R.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.
- Odamaki, T., Kato, K., Sugahara, H., Hashikura, N., Takahashi, S., Xiao, J.Z., Abe, F. y Osawa, R. (2016)** Age-related changes in gut microbiota composition from newborn to centenarian: A cross-sectional study. *BMC Microbiology*, 16(1), Pp. 90.
- OECD-FAO (2021)**. *OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2021-2030*. [En línea] <https://www.oecdilibrary.org/sites/6c9145fces/index.html?itemId=/content/component/6c9145fc-es>.
- Oñate-Mancero, F.J., Bravo-Calle, O.E. y Huebla-Concha, V.H. (2020)** Rendimiento productivo de cerdos terminales sometidos a diferentes edades de castración. *Polo del Conocimiento*. 42(5:2), Pp. 823-835
- 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.
- 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.
- Ordoñez, O.H. y Contreras, C.J.H. (2018)** Evaluación de la sustitución de morera morus alba (26%, 23%, 21%) en el alimento sobre la respuesta bioeconomía de cerdos en etapa de ceba. *I CONGRESO IBEROAMERICANO Y XXXI CONGRESO INTERNACIONAL EN ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS AGROPECUARIAS*. Pp. 1-12.
- Organización Mundial de la Salud (OMS) (2017)** Dejemos de administrar antibióticos a animales sanos para prevenir la propagación de la resistencia a los antimicrobianos. [En línea] <https://www.who.int/es/news/item/07-11-2017-stop-using-antibiotics-in-healthy-animals-to-prevent-the-spread-of-antibiotic-resistance>.
- 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-mexico-pork-meat-market-web-esp.pdf>.

- Ormaza, V.E.J. y Bermeo, Z.M.A. (2019)** *Efecto de la levadura hidrolizada de cerveza (saccharomyces cerevisiae) como promotor de crecimiento en cerdos.* Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí-Manuel Félix López, Calceta, Pp. 1-63.
- 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. *J. Adv. Vet. Anim. Res.*, 6(3), Pp. 290-299.
- Ortiz, R.R., Pérez, S.R.E., Jarez, C.A. y Gómez, R.B. (2015)** Teoría de sistemas. Coordinación de la Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Pp. 1-132.
- Ortiz-Rodríguez, R. (2019).** Impacto de la gestión administrativa tradicional en la empresas porcinas del centro de México. *Revista Científica del Instituto Iberoamericano de Desarrollo Empresarial*, Año 2, No. 3, Pp. 111-133.
- Ortiz-Rodríguez, R., Aguilar-Barrera, J.L., Valdez-Alarcón, J.J., Val-Arreola, D., Esquivel-Córdoba, J., Martínez-Flores, H.E. y Pérez-Sánchez, R.E. (2016)** Effect of adding mucilage from *Opuntia ficus-indica* and *Opuntia atropes* to raw milk on mesophilic aerobic bacteria and total coliforms. *Revista Electrónica Nova Scientia*. 16(8), Pp. 106-122.
- Ortiz-Rodríguez, R., Ochoa-Ordaz, G., Juárez-Caratachea, A. y Pérez-Sánchez R.E. (2015).** Efecto del nopal (*Opuntia ficus-indica*) sobre los niveles de glucosa sanguínea en cerdas lactantes y su repercusión en el consumo voluntario de alimento. *Memorias del XXIV Congreso la Asociación Latinoamericana de Producción Animal XL Congreso de la Sociedad Chilena de Producción Animal*. pp. 825.
- Ortiz-Rodríguez, R., Orozco-Gaspar, A., Val-Arreola, D., Portillo-Martínez, L. y Pérez-Sánchez 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. *Nova Scientia*, 9(8), Pp. 290-312.
- Paniagua, T.P.F. (2019)** *Efecto del uso de un emulsificante en la dieta, sobre el comportamiento productivo en los lechones lactantes.* Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional "San Luis Gonzaga de Ica", Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Chíncha, Perú. Pp. 1-67.
- Parra, A.E.A., Hijuitl, V.T.J., Mariscal, L.G. y Reis, S.T.C. (2022)** Concentrado de proteína de papa: una posible alternativa al uso de antibióticos en las dietas para lechones destetados. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 13(2), Pp. 510-524.
- Parra-Alarcón, E.A., Hijuitl Valeriano, T.J., Mariscal-Landín, G. y Reis de Souza, T.C. (2022)** Concentrado de proteína de papa: una posible alternativa al uso de antibióticos en las dietas para lechones destetados. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 13(2), Pp. 510-524.
- Pérez S.R.E., López, R.M., Bautista, G.E.CH., García, V.A., Román, B.R.M., Ortiz, R.R. (2014)** Efecto del suero de leche como complemento de la dieta sobre el crecimiento de las vellosidades intestinales y el peso en lechones en la etapa de 6 a 25 kg. *Revista Científica, FCV-LUZ*. 24(4), Pp. 319-324.

- Pérez, F.A. (2009)** Practicas de manejo del lechón en maternidad: estrategias para mejorar su sobrevivencia y aumentar la productividad. *REDVET*. 11(1), Pp. 1-21.
- PIC (2016)** Manual de especificación de nutrientes. [En línea:] <https://www.picperu.com/uploads/recursos/nutrientspecifications-manual-2016-spanish-compressed.pdf>.
- 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.
- Pluske, J.R. (2016)** Aspects of gastrointestinal tract growth and maturation in the pre- and postweaning period of pigs. *J. Anim. Sci.* 94(1), Pp. 399-411.
- Pluske, J.R., Hopwood, D.E. y Hampson, D.J. (2003)** Relación entre la microbiota intestinal, el pienso y la incidencia de diarreas y su influencia sobre la salud del lechón tras el destete. *Federación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal*. Pp. 1-16
- Quisirumbay, G.J.R. (2020)** Metaanálisis del efecto de la inclusión alimenticia de glutamina sobre el desempeño productivo en lechones. *Revista de Ciencias de la Vida*. 31(1), Pp. 96-107.
- Radzikowski, D. y Milczarek, A. (2021)** Selected feed additives used in pig nutrition. *Journ. Centr. Europ. Agric.* 22(1), Pp. 54-65.
- Ramírez, V.P.P. (2016)** Efecto de la adición del nopal (*O. ficus-indica*) a la dieta de cerdos de 20-100 kg sobre glucosa sanguínea, triglicéridos, lipoproteínas de alta (HDL) y baja (LDL) densidad y su relación con calidad de la canal. (Tesis de licenciatura). Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Morelia, Michoacán. Pp.1-62
- Reig, M. y Toldrá, F. (2008)** Veterinary drug residues in meat: Concerns a rapid methods for detection. *Meat Science*., 78, Pp. 60-67.
- 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 morfo-fisiológico de su aparato digestivo. *Vet. Mex.*, 43(2), Pp. 155-173.
- Reis de Souza, T.C., Mariscal, L.G. y Escobar, G.K. (2010)** Algunos factores fisiológicos y nutricionales que afectan la incidencia de diarreas posdestete en lechones. *Vet. Méx.*, 41 (4), Pp. 275- 288.
- 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.
- Rincón-Silva, N.G., Rincón-Silva, J.D. y Acosta, V.J.S. (2019)** Inhibición de la α -glucosidasa mediante flavonoides de origen natural como vía de control en el desarrollo de diabetes mellitus. *Biociencias*. 14(2), Pp. 129-148.
- Rodríguez, P.D. y Alfaro, B.A. (2010)** Actualización de la fisiología gástrica. *Medicina Legal de Costa Rica*. 27(2), Pp. 1-10.
- Rodríguez-Pérez, B., Canales-Martínez, M. M., Penieres-Carrillo, J. G., y Cruz-Sánchez, T. A. (2020)** Composición química, propiedades antioxidantes y actividad antimicrobiana de propóleos mexicanos. *Acta Universitaria Multidisciplinary Scientific Journal*. 30, Pp. 1-29.

- Sánchez-Suarez, H., Fabian-Domínguez, F., Ochoa-Mogollón, G. y Alfaro-Aguilera, R. (2019).** Sucesión bacteriana del tracto digestivo del lechón alimentado con ensilado biológico. *Rev. Inv. Vet. Perú.* 30(1), Pp. 214-223.
- Santomá, G., Pontes M. (2011).** ¿Qué medidas nutricionales tomar ante da productividad de la cerda actual? 1a Parte. *Curso de especialización FEDNA.* Madrid. Pp. 169-225.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2017).** Actividad rentable en el sector: la reproducción de cerdos. [www.gob.mx \[En línea\] https://www.gob.mx/siap/articulos/actividad-rentable-el-sector-la-reproduccion-de-cerdos](https://www.gob.mx/siap/articulos/actividad-rentable-el-sector-la-reproduccion-de-cerdos)
- 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 Vet.* 30(1), Pp. 42-53.
- Suarez, R., Buitrago, N. y Rondón-Barragán, I. (2019)** Suplementación probiótica con *Lactobacillus casei* en cerdas y su efecto sobre los parámetros zootécnicos de los lechones. *Rev. Inv. Vet. Perú.* 30(2), Pp. 645-654.
- Theil, P.K., Lauridsen, C. y Quesnel, H. (2014)** Neonatal piglet survival: impact of sow nutrition around parturition on fetal glycogen deposition and production and composition of colostrum and transient milk. *Animal.* 8(7), Pp. 1021-1030.
- Torres, L.A. (2018)** *Microbiota del tracto urogenital de cerdas: bases para el diseño de suplementos veterinarios con microorganismos autóctonos para la prevención de infecciones posparto.* (Tesis Doctoral). Universidad Nacional de Tucumán, Instituto de Investigaciones Biológicas, San Miguel de Tucumán, Argentina.
- 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.
- Valdivia, A.L., Matos, M.M., Rodríguez, Z., Pérez, Y., Rubio, Y. y Vega, J. (2019)** Los aditivos enzimáticos, su aplicación en la crianza animal. *Cuban Journal of Agricultural Science.* 53(4), Pp. 341-352.
- Venegas-Guerrero, M.E. (2022)** Metaanálisis del efecto de la inclusión alimenticia de xilanasas sobre el rendimiento productivo y digestibilidad de nutrientes en porcinos. Tesis de licenciatura. Facultad De Medicina Veterinaria Y Zootecnia, Universidad Central Del Ecuador. Quito, Ecuador. Pp. 1-84.
- 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.