



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ciencias Naturales

Maestría en Salud y Producción Animal Sustentable

Efecto del consumo de una dieta adicionada con concentrado de proteína de papa y *Saccharomyces boulardii* sobre el desarrollo de la función digestiva de lechones en la fase predestete.

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Salud y Producción Animal Sustentable

Presenta

Ing. Gerardo Ruiz Mendiola

Dirigido por :

Dra. Tércia Cesária Reis de Souza

Querétaro, Qro. a 01 de octubre de 2025

La presente obra está bajo la licencia:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



SinDerivadas — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas](#) que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una [excepción o limitación](#) aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como [publicidad, privacidad, o derechos morales](#) pueden limitar la forma en que utilice el material.



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ciencias Naturales

Maestría en Salud y Producción Animal Sustentable

Efecto del consumo de una dieta adicionada con concentrado de proteína de papa
y *Saccharomyces boulardii* sobre el desarrollo de la función digestiva de lechones
en la fase predestete

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Salud y Producción Animal Sustentable

Presenta

Ing. Gerardo Ruiz Mendiola

Dirigido por:

Dra. Tércia Cesária Reis de Souza

Dra. Tércia Cesária Reis de Souza

Presidente

Dra. Samantha Elizabeth Bautista Marín

Secretario

Dr. Gerardo Mariscal Landín

Vocal

Dr. Ulisses Moreno Celis

Suplente

MSPAS. Teresita de Jesús Hijuitl Valeriano

Suplente

Centro Universitario, Querétaro, Qro.

Septiembre 2025

México

Resumen

Para la industria Porcicola el lechón es la base de este importante gremio, es por esto que, es de suma importancia el tener una alimentación inicial que aporte defensas y nutrimentos requeridos de una forma integral. El destete es caracterizado por ser un cambio abrupto de una alimentación, en donde dejan de consumir una dieta líquida, además de que se enfrentan a un ambiente nuevo para los lechones en donde la alimentación es sólida. Por esto es vital contar con estrategias nutricionales en la etapa de lactancia para hacer del destete, un cambio transicional que afecte lo menos posible a los neonatos porcinos. Estudios previos han demostrado que el uso de concentrado de proteína de papa (CPP) y *Saccharomyces boulardii* (*S. boulardii*) proporcionan efectos benéficos en la salud gastrointestinal de lechones. El presente estudio se realizó con 60 lechones provenientes de 6 camadas, que se distribuyeron entre dos tratamientos: Dieta base (DB) y una dieta adicionada con alimentos funcionales (CPP-Sb). Los animales empezaron a consumir alimento sólido a partir del día 7 hasta el 21 de vida. A los días 0, 7, 14 y 21 de vida se pesaron y se eutanasiaron 6 lechones, se extrajeron y se calcularon los pesos absolutos y relativos sin contenido de algunos órganos digestivos, así como la medición de pH de los contenidos. Los resultados mostraron que la dieta no afectó ($P > 0.05$) el peso de los lechones, los pesos absolutos de los órganos digestivos, la longitud del intestino delgado y grueso ni el pH de los contenidos de estómago y yeyuno. El efecto del día fue evidente para el peso de los lechones y los pesos absolutos de todos los órganos digestivos, que incrementaron con el tiempo. La dieta consumida tuvo poco efecto sobre el desarrollo de órganos digestivos, sin embargo; el páncreas, contenidos de ciego y colon fueron afectados positivamente por la dieta adicionada con los alimentos funcionales.

Palabras clave: lechón lactante, destete, estrategias nutricionales, neonato.

Summary

For the swine industry, the piglet is the foundation of this important sector. Therefore, providing an initial diet that delivers essential nutrients and immune support in a comprehensive manner is of utmost importance. Weaning is characterized as an abrupt transition in feeding, during which piglets stop consuming a liquid diet and face a new environment with solid feed. For this reason, implementing nutritional strategies during the lactation stage is crucial to ensure that weaning becomes a transitional change with minimal impact on neonatal piglets. Previous studies have shown that the use of Potato Protein Concentrate (PPC) and *Saccharomyces boulardii* (*S. boulardii*) provides beneficial effects on gastrointestinal health in piglets. The present study was conducted with 60 piglets from 6 litters, distributed into two treatments: a basal diet (BD) and a diet supplemented with functional feed ingredients (PPC-Sb). The animals began consuming solid feed from day 7 to day 21 of life. On days 0, 7, 14, and 21 of life, six piglets were weighed and euthanized. The absolute and relative weights (without content) of certain digestive organs were recorded, and pH measurements of the contents were taken. Results showed that the diet had no effect ($P>0.05$) on piglet body weight, absolute weights of digestive organs, length of the small and large intestines, or the pH of stomach and jejunal contents. The effect of age was evident in the body weight of piglets and the absolute weights of all digestive organs, which increased over time. The consumed diet had little influence on the overall development of digestive organs; however, the pancreas, and the contents of the cecum and colon, were positively affected by the diet supplemented with functional ingredients.

Keywords: suckling piglet, weaning, nutritional strategies, neonate.

Dedicatorias

A mis padres, María de la Luz Mendiola Sepúlveda y Gerardo Esteban Ruiz Pérez, imposible describir con palabras lo que significan para mí, pero saben que yo vivo para ustedes, gracias por todo su amor incondicional, por creer en mí a pesar de todas las circunstancias que se han presentado, por alentarme a ser mejor día con día e inculcarme los valores que hoy pongo en práctica, por no dejarme solo a pesar de tantos errores que he cometido, sin ustedes no hubiera sido posible lo poco que he logrado, ojala dios les preste vida para poder pagarles aunque sea un poco de lo tanto que me han dado.

A mi hermana, Perla Citlalli Ruiz Mendiola por el apoyo que siempre me ha brindado y ser un ejemplo a seguir.

A mis abuelos paternos, Angelina Pérez Toledo y Norberto Ruiz Aguilar, por cuidarme, estar al pendiente de mí y demostrarme el cariño que me tienen, todas las pláticas y consejos que me han dado.

A mi abuela materna, Gregoria Sepúlveda Vélez, gracias por todo el cariño que me demuestra, estar al pendiente de mí y recibirme siempre con una sonrisa.

A mi abuelo materno, León Mendiola Benito, sé que desde el cielo está orgulloso de mí.

A toda mi familia, tíos, tías, primos y primas, siempre me han alentado y aconsejado en todo momento.

A mis amigos y hermanos Alberto Benjamín Moreno Núñez y Enrique Gutiérrez Ávila, siempre nos hemos demostrado un cariño y apoyo inmenso, desde la preparatoria me han aconsejado y han estado en mis momentos más felices, pero también en los más difíciles, me siento muy agradecido de poder decir que son mis mejores amigos y el saber que siempre voy a contar con ellos.

Muchas Gracias.

Agradecimientos

A la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Autónoma de Querétaro por permitirme acceder al posgrado y de esa manera enriquecer mis conocimientos.

A la Maestría en Salud y Producción Animal Sustentable (MSPAS) por abrirme las puertas para cursar los estudios de maestría y poder adquirir los conocimientos que ahora tengo.

Al Fondo de Proyectos Especiales de Rectoría (FOPER) por el financiamiento otorgado para la realización del experimento.

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el apoyo económico brindado para mi manutención y poder llevar a cabo la maestría.

A la Dra. Tércia Cesária Reis de Souza, gracias de todo corazón por haberme acogido como su estudiante, aun sin conocerme. Tener la oportunidad de trabajar a su lado me ayudó a crecer no solo académicamente, sino también como persona. Sus consejos, enseñanzas y llamadas de atención han dejado en mí una huella profunda y significativa. La admiro sinceramente; nunca me propuse ser su mejor alumno, pero sí el que más aprendiera de usted y creo que lo logré. Gracias, infinitas gracias, por haberme brindado esta oportunidad.

A MSPAS. Teresita de Jesús Hijuitl Valeriano, gracias por aconsejarme y guiarme en los momentos que necesitaba y ser una gran amiga.

Al comité tutorial; Dr. Gerardo Mariscal Landín, Dra. Samantha Bautista Marín y Dr. Ulisses Moreno Celis, gracias por la confianza y el tiempo que me brindaron para acudir con ustedes ante cualquier duda.

Al Dr. Roberto Esquivel García por su asesoramiento durante la parte experimental de la investigación.

A la MCyTA Mariela Camacho Barrón por su apoyo y acompañamiento en los análisis de ELISA.

Al Laboratorio de Nutrición Animal (LNA) y a cada una de las personas que lo conforman, sobre todo a MVZ. Maryber Mendívil Velasco y MSPAS. Aurora

Jáuregui Mejía, por el apoyo en las matanzas, colectas de muestras y los análisis de laboratorio realizados.

A la Unidad de Producción Porcina (UPP-UAQ) y a sus trabajadores, Adán Centeno de la Cruz, Adán Centeno Ibarra y Rogelio Ílario Martínez por el apoyo recibido a lo largo de la parte experimental de mi investigación.

ÍNDICE

Resumen.....	1
Summary	2
Dedicatorias	3
Agradecimientos	4
ÍNDICE.....	6
ÍNDICE DE CUADROS.....	9
ÍNDICE DE FIGURAS.....	10
I. INTRODUCCIÓN	11
II. ANTECEDENTES.....	13
2.1 Panorama de la porcicultura a nivel mundial.....	13
2.2 Porcicultura en México.	14
2.3 Alimentación del lechón lactante.....	15
2.3.1 Lactación.	16
2.3.2 Calostro de la cerda y su composición.	17
2.3.3 Leche de la cerda y su composición.	18
2.3.4 Componentes bioactivos del calostro y leche.....	20
2.4 Desarrollo morfofisiológico del aparato digestivo del lechón lactante.	20
2.4.1 Desarrollo de los órganos digestivos	20
2.4.2 Enzimas digestivas.....	23
2.4.3 Desarrollo de la microbiota intestinal.....	25
2.5 Alimentos Pre iniciadores.....	26
2.5.1 Uso de alimentos funcionales en dietas preiniciadoras.	29
2.6 Estrés durante el periodo adaptación del lechón.	36

2.6.1 Factores estresantes en lechones lactantes.	37
2.6.2 Cortisol como marcador de estrés en cerdos.	38
III. HIPÓTESIS.....	41
IV. OBJETIVOS.....	41
4.1 Objetivo general.....	41
4.2 Objetivos específicos	41
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	42
5.1 Animales y Manejo General	42
5.2 Dietas.....	43
5.3 Cálculo de consumo diario de alimento.	43
5.4 Evaluación de diarreas	43
5.5 Toma de muestras biológicas	46
5.5.1 Muestreo sanguíneo.....	46
5.5.2 Eutanasia y colecta de órganos y tejidos	47
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	50
6.1 Datos productivos.	50
6.1.1 Consumo diario de alimento.....	50
6.1.2 Pesos semanales de los lechones	51
6.1.3 Ganancia diaria de peso.....	53
6.2 pH de contenidos intestinales.	55
6.3 Morfometría intestinal.	57
6.3.1 Medición longitudinal de intestino delgado e intestino grueso.....	57
6.3.2 Pesos absolutos y relativos de órganos.	58
6.3.3 Altura de vellosidades y profundidad de las criptas intestinales.....	61
6.4 Niveles de cortisol en sangre.....	65
6.5 Evaluación de diarreas.	67
VII. CONCLUSIONES.....	68

VIII. IMPLICACIONES	69
IX. LITERATURA CITADA	71
X Anexos	91
10.1 Sincronización del estro.....	91
10.2 Inseminación artificial.....	91

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición de calostro y leche de la cerda.	18
Cuadro 2. Concentración de inmunoglobulinas en calostro y leche de la cerda. ..	19
Cuadro 3. Influencia de la edad sobre el peso corporal, páncreas y mucosa gástrica de cerdos jóvenes.	22
Cuadro 4. Composición porcentual y química de las dietas.	45
Cuadro 5. Consumo promedio aparente diario de alimento por lechón (g/día).	50
Cuadro 6. Pesos semanales de los lechones.	52
Cuadro 7. Ganancias diarias de peso.	53
Cuadro 8. Efecto de inclusión de CPP-Sb sobre el pH de los contenidos de órganos digestivos.	56
Cuadro 9. Efecto de la inclusión de CPP-Sb sobre la longitud de ID e IG.	57
Cuadro 10. Efecto de la inclusión de CPP-Sb sobre el peso absoluto de órganos digestivos.	59
Cuadro 11. Efecto de la inclusión de CPP-Sb sobre el peso relativo de órganos digestivos.	60
Cuadro 12. Altura de vellosidades y profundidad de criptas intestinales.	64
Cuadro 13. Concentración de cortisol en plasma.	66

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Composición porcentual de las secreciones mamarias	18
Figura 2. Clasificación de la alimentación temprana de los lechones	28
Figura 3. Efecto del tratamiento prenatal sobre la concentración de cortisol en plasma	40
Figura 4. Esquema de muestreo de sangre.	47
Figura 5. Esquema de eutanasia de los lechones.....	48
Figura 6. Diferencias porcentuales de GDP entre grupos experimentales.....	55
Figura 7. Comparación de longitudes de intestino delgado (ID) e intestino grueso (IG).....	58
Figura 8. Interacción DietaxDía en la altura de vellosidades del duodeno.	62
Figura 9. Ancho de vellosidades de íleon, interacción DietaxDía.	63

I. INTRODUCCIÓN

En México existe un inventario superior a los 18 millones de animales y una producción de más de 1.4 millones de toneladas anuales de carne de alta calidad nutricional. Los principales estados productores de carne de cerdo en canal son Jalisco, Sonora, Puebla, Guanajuato, Yucatán y Veracruz, quienes conjuntamente generaron alrededor de 76.5% de la producción de carne de cerdo nacional en el 2016 (Córdova *et al.*, 2020).

La porcicultura mexicana genera empleos, divisas, economía social, desarrollo en zonas rurales y suma a la seguridad alimentaria del país, de ahí la importancia de fortalecer su productividad, competitividad y sustentabilidad (SADER, 2023).

En la industria porcina, el lechón es la base de la producción, sin embargo, es un ser frágil al nacimiento que requiere una atención especial, tanto en los aspectos nutricionales como en el manejo general, pues deberá incrementar alrededor de 67 veces su peso desde que nace hasta su sacrificio. Por lo tanto, la alimentación inicial, que aporta simultáneamente defensas y nutrimentos, es esencial para que los lechones recién nacidos logren llegar al destete con un peso satisfactorio (Campabadal, 2009).

La leche es un alimento líquido, completo de fácil ingestión y digestión, debido a que el aparato digestivo del cerdo lactante está bien adaptado a sus componentes. Sin embargo, el cambio de alimentación láctea a una alimentación sólida hace que el destete sea uno de los periodos más críticos en la vida del lechón, en donde factores estresantes de diferentes orígenes, causan un periodo de anorexia, baja de peso, susceptibilidad a enfermedades y diarreas (Wellock *et al.*, 2008). Por lo tanto, es necesario buscar alternativas nutricionales para el periodo predestete de modo que se facilite la transición a la alimentación sólida postdestete.

La justificación para la realización del presente trabajo se debe a que estudios previos han mostrado que el uso de forma individual de concentrado de proteína de papa (CPP) en una dieta para lechones destetados tiene efectos benéficos, así

como el uso de probióticos en esta etapa fisiológica (de Souza *et al.*, 2019; Bautista, 2020; Parra *et al.*, 2022). Para desarrollar este protocolo de investigación surgió una pregunta: ¿Puede una dieta preiniciadora adicionada con concentrado de papa y *S. boulardii* suministrada a lechones; mejorar algunas características fisiológicas y productivas durante su desarrollo? Por lo tanto, en el presente trabajo se planteó evaluar la utilización en conjunto de dichos ingredientes, para verificar su eficacia en aspectos productivos y fisiológicos en lechones de los 7 a los 21 días de lactancia.

II. ANTECEDENTES

2.1 Panorama de la porcicultura a nivel mundial

A lo largo de los últimos diez años, la porcicultura a nivel mundial creció en promedio 1.5% anual, ubicándose para 2023 en 116.3 millones de toneladas (mdt) siendo este su máximo histórico (FIRA, 2024).

Los principales países productores de carne de cerdo en 2023 fueron: China en primer lugar con un 49.8% de la producción total mundial, en el segundo lugar se colocó la Unión Europea con el 17.9%, el tercer lugar fue ocupado por Estados Unidos de América (EE. UU) con el 10.7%; en el cuarto lugar se ubicó a Brasil con el 3.8% y finalmente Rusia se posicionó en el quinto lugar con 3.4% (FIRA, 2024).

En la actualidad, tanto en China como en Europa, la industria porcina ha centrado sus esfuerzos en maximizar la productividad de las cerdas hiperprolíficas, buscando incrementar el número de lechones por camada. En China, empresas como Muyuan Foodstuff, que produce más de 61 millones de cerdos anualmente (Agrodigital, 2023), y Wens Food Group, con 1.57 millones de cerdas reproductoras (Eurocarne, 2023), lideran la producción porcina. Sin embargo, este enfoque en la prolificidad ha dejado de lado un aspecto crucial, el desarrollo adecuado de los lechones. A pesar de los avances en la cantidad de lechones por camada, se ha observado que, en muchos casos, el crecimiento y la salud de los lechones nacidos en estas condiciones no reciben la misma atención, esto puede comprometer el rendimiento y la calidad a largo plazo, ya que un mayor número de lechones por camada no siempre se traduce en un desarrollo óptimo de cada animal (Studer *et al.*, 2024). Este enfoque ha generado preocupaciones sobre el bienestar animal y la eficiencia productiva, pues priorizar la cantidad por encima de la calidad podría tener consecuencias negativas en la salud y el crecimiento de los lechones a medida que avanzan en su desarrollo (Rutherford *et al.*, 2023).

En la búsqueda de mejorar los parámetros zootécnicos, se han enfocado en lograr el mayor número de lechones vivos (LV) posibles, superando inclusive, el número de glándulas mamarias (14) disponibles para el amamantamiento del

neonato. De igual manera, al crecer el tamaño de la camada, el peso vivo (PV) al nacimiento del lechón disminuye (Gil, 2022). Rathje & Mauch (2018) reportaron que, lechones que pesen 10-15% menos que un 1kg al nacimiento tienen solo un 50% de probabilidad de sobrevivir, mientras que lechones arriba del peso promedio tienen hasta 90% de probabilidad de sobrevivir al destete.

Una de las consecuencias de la hiperprolificidad es el incremento de la incidencia de partos distócicos, pues la presencia de camadas más numerosas aumenta la duración del parto, pasando de un tiempo promedio de 2.5h considerado un parto normal, a partos de 3.5-4h considerados distócicos, siendo más dolorosos para la cerda y aumentando la probabilidad de lechones nacidos muertos, retención de placenta, así como la disminución de la vitalidad de los que nacen vivos a causa de la hipoxia (Gil, 2022). Lo cual probablemente se puede traducir en pérdida en la eficiencia de las producciones.

2.2 Porcicultura en México.

Durante los últimos diez años la producción porcina en México ha mantenido un constante crecimiento, produciendo su máximo histórico en 2023 con 1.77 millones de toneladas de carne en canal, situándose en el octavo lugar mundial de producción de carne de cerdo, es decir, el 1.36% del total mundial (OPORMEX, 2022; FIRA, 2024).

La porcicultura se mantiene como una industria importante dentro de la actividad pecuaria en el territorio nacional, generando más de un millón de toneladas (mt) anualmente y con una marcada presencia en los estados de Jalisco (302 mt), Sonora (227 mt), Puebla (137 mt), Yucatán (123 mt), Veracruz (115 mt) y Guanajuato (105 mt) representando hasta el 78% de la producción nacional en 2023 (INAES, 2018; OPORMEX, 2023).

En 2019, México alcanzó un consumo nacional aparente (CNA) de 2.10 millones de toneladas del cual el 47.10% fue producción de origen nacional, 42% de importación y el 10.9% restante de exportación (Rebollar, 2022).

Según proyecciones realizadas por USDA (2021), México se perfila para ser el tercer importador de carne de cerdo a nivel mundial en 2031, debido a la alta demanda de carne que tendrá debido a la gran urbanización y crecimiento poblacional que se tiene proyectado. En la porcicultura mexicana y para mantener índices productivos altos, la eficiencia reproductiva es fundamental para la rentabilidad del sector. De acuerdo con un estudio realizado por Castañeda *et al.* (2019), las granjas comerciales producen un promedio de entre 10 y 12 lechones nacidos vivos por cerda por ciclo, lo que refleja una mejora continua gracias a los avances genéticos y al manejo adecuado. En cuanto a los lechones nacidos totales, el número promedio se encuentra entre 12 y 14 por parto, aunque estos valores pueden variar dependiendo de la genética y las condiciones de manejo (Rodríguez *et al.*, 2020). Respecto a los lechones nacidos destetados, las granjas porcinas mexicanas logran un promedio entre 9 y 11 lechones destetados por cerda, lo que señala tanto la mortalidad temprana como la eficiencia en los procesos de destete (González *et al.*, 2018). Estos datos indican la importancia para el sector porcícola que tiene el lechón desde que nace y hasta el destete por lo que es necesario implementar nuevas tecnologías en la nutrición para hacerlo más eficiente.

2.3 Alimentación del lechón lactante.

La Real Academia Española (RAE) (2001) define al lechón como “Cochinillo que todavía mama”. En este mismo sentido, en la porcicultura actual se denomina “lechón” al cerdo que aún está en el periodo de lactancia, que va desde el día del nacimiento hasta el día del destete.

El neonato porcino tiene una alta capacidad para digerir y absorber los nutrientes lácteos, ya que la fisiología de su tracto gastrointestinal (TGI) está íntimamente relacionada con la composición de la leche materna (Pluske, 2016), sin embargo, hay numerosas adaptaciones como la capacidad de absorber moléculas de mayor tamaño; la cual disminuye a medida que el intestino se adapta, esto da paso a una digestión más “normal”. Las enzimas presentes en el TGI de los

lechones al nacimiento, que son responsables de la digestión están enfocadas a la digestión de calostro y leche, específicamente.

2.3.1 Lactación.

La OMS (2024) define la lactación como la acción de dar alimento de forma líquida al neonato. Siendo la forma más eficaz para garantizar la salud y supervivencia de los neonatos debido a su composición rica y con una gran variedad de sustancias que permiten al lechón un óptimo desarrollo (Lewis & Southern, 2000). La leche materna es un alimento ideal para los lactantes, ya que es un alimento seguro, limpio y contiene diversos anticuerpos que tienen la función de protección contra diversos microorganismos patógenos.

En un principio la lactancia se divide en dos etapas: Lactogénesis 1 y lactogénesis 2. Cinco semanas antes del parto, las glándulas mamarias comienzan la lactogénesis 1, durante esa primera fase se da la producción de calostro, sin embargo, no hay producción de leche debido a la inhibición por los elevados niveles de progesterona plasmática (Theil *et al.*, 2012). Es hasta el momento del parto, donde la progesterona plasmática disminuye, deteniendo la inhibición de la síntesis de leche. El aumento de la prolactina plasmática da paso a la síntesis de componentes de la leche (Theil *et al.*, 2012).

La producción de leche es estimulada por la mama de los lechones quienes a su vez dependen de su peso y tamaño de la camada para llevar a cabo esta acción. La producción láctea de la cerda está dada por 4 fases: la fase calostrual, ascendente, constante y descendente. Es en la fase calostrual donde la secreción mamaria es disponible continuamente para los lechones, mientras que, cuando pasa a ser leche, no está disponible de forma continua sino durante los llamados periodos de eyección que duran de 10 a 15 segundos (Farmer, 2015).

Durante la lactogénesis 2 es esencial la extracción o “mama” de leche por parte del lechón para mantener a las glándulas mamarias individuales en constante producción de leche. Es por esto por lo que, si el amamantamiento se detiene, se

presentará una involución muy rápida de la glándula mamaria. Esta involución se da si la retención de la leche dura 24 horas o menos, llegando a ser irreversible después de las 40 a 60 horas. Por esto, la succión del lechón es clave para el mantenimiento de la lactancia, induciendo a la liberación de prolactina de la glándula pituitaria a la sangre y de esta manera unirse a los receptores de las glándulas mamarias, dando señales que estimulan a la síntesis de leche y crecimiento mamario (Theil *et al.*, 2012).

2.3.2 Calostro de la cerda y su composición.

El calostro es una secreción postparto (0-24 horas) de la glándula mamaria el cual es catalogado como una fuente rica de nutrimentos pues tiene la característica de ser fácilmente digestible. El calostro debe ser debidamente empleado, el lechón debe consumir, al menos para sobrevivir, 200 g/kg de peso vivo, llegando a un promedio de consumo de 214 a 230 g/kg de peso vivo, teniendo el primer consumo de entre 50 y 70 g dentro de las primeras 9 a 12 horas de vida (Theil *et al.*, 2012), lo que permite el desarrollo de los órganos vitales y sobre todo del intestino, ya que es eficientemente aprovechado, considerando las características morfofisiológicas del intestino que se encuentra aún inmaduro en esta temprana etapa fisiológica (Mota *et al.*, 2014). El calostro se caracteriza por ser un líquido seroso, amarilloso y denso, compuesto básicamente por agua, proteínas, lípidos, carbohidratos y sólidos (Cuadro 1) e inmunoglobulinas; IgG 80%, IgA 15%, IgM 5% (Mota *et al.*, 2018), composición que únicamente durante las primeras 24 horas de lactación, puesto que conforme pasa el tiempo, los niveles de IgG disminuyen rápidamente, mientras que los niveles de IgA aumentan en leche madura. A diferencia de la leche, el calostro es superior en cuanto su composición nutricional debido a los niveles de sólidos totales y proteínas que lo componen, sin embargo, los niveles de lactosa y grasa son superiores en leche (Theil *et al.*, 2014).

Cuadro 1. Composición de calostro y leche de la cerda.

Componentes (%)	Calostro	Leche
Lípidos	6.3	7.55
Lactosa	3.7	5.51
Proteína	12.4	5.6
Sólidos totales	-	18.48

(Adaptado de Theil *et al.*, 2012)

2.3.3 Leche de la cerda y su composición.

Las secreciones mamarias cambian de una manera gradual pasando de calostro a leche de transición y de leche de transición a leche madura modificando de igual forma su composición nutrimental (Figura 1) (Theil *et al.*, 2014; Reis de Souza *et al.*, 2025).

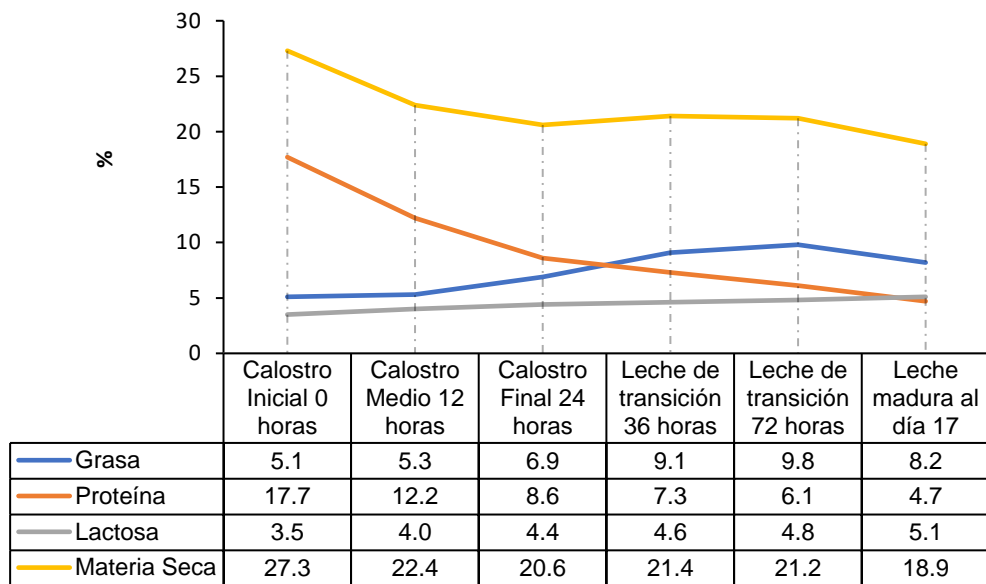


Figura 1. Composición porcentual de las secreciones mamarias (Fuente Theil *et al.*, 2014).

El rápido desarrollo del lechón coincide con los cambios rápidos en la composición de las secreciones mamarias que son consumidas por el lechón lactante (Farmer, 2015). Después de la producción de calostro (24 horas), comienza

la producción de leche de transición, definiéndose como la secreción mamaria que va desde las 34 horas postparto y hasta el día 4 de lactación, siendo durante el día 2 al 4 en donde la leche aumenta su valor lipídico (Theil *et al.*, 2014). Por último, es a partir del día 10 y hasta el final de lactancia (21-28 días postparto) donde se le denomina leche madura ya que, durante este periodo, la composición de la leche ya se encuentra de una forma constante (Theil *et al.*, 2014; Farmer, 2015). El cambio está relacionado a la disminución de la concentración de anticuerpos, como se mencionó anteriormente, los anticuerpos de tipo IgG que en un principio tiene una concentración alrededor del 70% del total de las inmunoglobulinas en calostro (Cuadro 2), pero rápidamente se reduce esta concentración en la leche madura, teniendo una mayor concentración las inmunoglobulinas de tipo A (Klobasa *et al.*, 1987).

Cuadro 2. Concentración de inmunoglobulinas en calostro y leche de la cerda.

Elemento (mg/ml)*	IgG	IgA	IgM
Calostro 6 h	64.8	15.6	6.9
Leche 24 h	14.2	6.3	2.7
Leche 7 días	1.5	4.8	1.8

*miligramos por mililitro

(Adaptado de Klobasa *et al.*, 1987).

La composición química de la leche madura se presenta en el Cuadro 1. Contiene entre un 6% y 8% de grasa, entre 5.1% y 5.8% de proteínas, de 5.6% a 5.8% de lactosa, 0.9% de minerales y entre 18% a 20% de sólidos (Theil *et al.*, 2012). Es importante mencionar que las hormonas juegan un papel fundamental para la producción láctea, entre las más importantes se encuentra la prolactina que se encarga de mantener la producción de leche, y la hormona del crecimiento, la cual es fundamental para estimular las células secretoras y regular el aporte de nutrientes hacia la glándula mamaria (Theil *et al.*, 2014).

2.3.4 Componentes bioactivos del calostro y leche.

Theil *et al.* (2012) en su revisión bibliográfica reportan las características del calostro y mencionan que, durante un periodo de lactancia de 21 a 28 días, una cerda puede producir alrededor de 350 kg de calostro/leche. Siendo el calostro el alimento que tiene un mayor valor en cuanto a componentes bioactivos a comparación con la leche madura. Así mismo, los autores mencionan que algunos de los componentes más conocidos son las inmunoglobulinas A, G y M, las cuales son valiosas para la defensa inmune pasiva, así como la supervivencia de los lechones. De igual forma, comentan que el calostro tiene una variedad de factores de crecimiento como: factores de crecimiento similares a la insulina I y II, factor de crecimiento epidérmico y factor de crecimiento transformante, además de vitaminas, minerales, hormonas peptídicas y esteroides, enzimas digestivas y metabolitos. Por otra parte, mencionan que existen componentes macroquímicos presentes en calostro y leche, por ejemplo: lactosa catalogada como combustible, aminoácidos considerados eslabones importantes para la síntesis de musculo y otros tejidos y grasas; mientras que la grasa juega un papel crucial en el calostro, pues la pueden utilizar como fuente de energía disminuyendo la mortalidad neonatal por inanición.

2.4 Desarrollo morfofisiológico del aparato digestivo del lechón lactante.

2.4.1 Desarrollo de los órganos digestivos

Según Mukonowenzou *et al.* (2021) el tracto gastrointestinal (TGI) es el primer punto de contacto de las sustancias ingeridas representando una interfaz directa con el entorno externo. Además del procesamiento de alimentos, desempeña un papel fundamental en la inmunidad y contribuye al bienestar de los animales a través del eje cerebro-intestino-microbiota. La transición de la vida desde el entorno intrauterino hasta la lactancia y el posterior destete debe ir acompañada de un desarrollo y una maduración gradual del TGI: desde la ocupación del líquido amniótico durante la gestación, hasta la leche en la lactancia y, finalmente, la

ingestión de alimentos sólidos al destete; esta maduración gradual del TGI puede verse afectada por factores intrínsecos y extrínsecos, como la dieta.

Las vísceras son esenciales por su papel en el metabolismo y la distribución de los nutrientes consumidos, así como otras funciones vitales en los animales. Particularmente los órganos que componen el TGI son importantes para la vida de todos los animales debido al papel esencial en todos los aspectos de la fisiología digestiva, incluyendo la digestión de alimentos, la absorción de nutrientes y su metabolismo (Elefson *et al.*, 2021).

Los lechones nacen con el sistema digestivo inmaduro e inmediatamente después del nacimiento, el TGI inicia una fase de maduración que permite la digestión eficiente de la leche materna (Pluske *et al.*, 1996). El peso absoluto de las vísceras de los lechones aumenta con el peso corporal y la edad a lo largo del tiempo, asumiendo que el animal goza de buena salud y recibe una dieta adecuada (Elefson *et al.*, 2021). Durante los períodos prenatal, neonatal y del destete, el tracto gastrointestinal porcino experimenta varios cambios morfofuncionales (Modina *et al.*, 2021).

Se ha reportado desde hace varias décadas que el desarrollo del tracto gastrointestinal (TGI) de los lechones experimenta adaptaciones significativas durante la lactancia (Cunningham, 1959). Entre los años 60 y 80 se realizaron varios estudios sobre la fisiología digestiva de los cerdos con énfasis en los lechones destetados. Sin embargo, algunos autores como Lindemann *et al.* (1986) realizaron un trabajo, considerado clásico y citado en la literatura más de 440 veces, en el que estudiaron el desarrollo de algunos órganos y enzimas digestivas. Ellos observaron un incremento lineal importante en el peso absoluto del páncreas y de la mucosa gástrica del nacimiento hasta la cuarta semana de vida de los lechones (Cuadro 3).

Cuadro 3. Influencia de la edad sobre el peso corporal, páncreas y mucosa gástrica de cerdos jóvenes.

Edad/Semana	Peso corporal	Peso páncreas (g)	Peso mucosa gástrica (g)
Nacimiento	1.29 ± 0.50	1.06 ± 0.51	2.01 ± 1.24
1	1.97 ± 0.36	2.74 ± 0.36	4.28 ± 0.88
2	3.28 ± 0.36	3.70 ± 0.36	5.96 ± 0.88
3	4.79 ± 0.36	5.54 ± 0.36	6.96 ± 0.88
4	6.56 ± 0.36	7.36 ± 0.36	10.88 ± 0.88

(Adaptado de Lindemann *et al.*, 1986)

El incremento del páncreas observado por Lindemann *et al.* (1986) durante el periodo predestete fue acompañado por un aumento en la actividad de la lipasa y amilasa pancreática, mostrando que los órganos crecen e incrementan su capacidad secretoria.

Cabe destacar que el intestino experimenta la mayoría de los cambios funcionales y estructurales en consonancia con los cambios en la dieta que ocurren después del nacimiento o al destete (Mukonowenzou *et al.*, 2021). Según Modina *et al.* (2021) el crecimiento y desarrollo intensivo del intestino delgado del lechón es un proceso más rápido que el crecimiento de todo el organismo; además, comienza temprano en el período prenatal, se acelera poco después del nacimiento y continúa hasta la fase postdestete. De hecho, durante la gestación, el intestino experimenta importantes cambios morfofuncionales facilitados por hormonas, factores de crecimiento y productos lumbinales de los fetos. También se producen modificaciones en la estructura general del intestino delgado, así como un rápido aumento de volumen, principalmente en el último período de la gestación: las vellosidades intestinales, a partir del yeyuno, aparecen poco antes de la sexta semana de gestación, y hacia el final del tercer mes las células epiteliales se diversifican en enterocitos, células caliciformes, células endocrinas y células de Paneth (Modina *et al.*, 2021).

Recientemente, Elefson *et al.* (2021) observaron que durante la primera semana de vida de los lechones el intestino delgado aumentó de 3.72 a 5.94 m en

su extensión, lo que representa aproximadamente el 62%. El intestino grueso también aumentó aproximadamente un 62% y la longitud absoluta incrementó de 0.72 a 1.15 m. El peso relativo del hígado aumentó del 2.99 % al nacer al 4.20 % al quinto día posparto y después del quinto día posparto, el peso relativo del hígado disminuyó al 2.73 % hasta al destete. De igual manera, el peso relativo del páncreas y del estómago aumentó desde el nacimiento hasta el tercer día posparto y el peso relativo del ciego aumentó durante todo el período de amamantamiento del 0.09 % al 0.13 %, respectivamente.

2.4.2 Enzimas digestivas

Los órganos anexos (glándulas salivales y páncreas) al aparato digestivo son los principales responsables de la secreción de enzimas que intervienen en la digestión de los nutrimentos. En la lactancia, el paquete enzimático del lechón está adaptado específicamente a la digestión y absorción de los nutrientes de la leche (Lindemann *et al.*, 1986).

Leyendo los trabajos de Corring *et al.* (1978) y Lindemann *et al.* (1986), se puede hacer una síntesis en los conocimientos generados sobre la fisiología digestiva en el lechón. En 1956 y 1961 se descubrió que la introducción de alimentos sólidos provoca un aumento del peso del estómago, la capacidad potencial secretora de pepsina y la secreción ácida. Posteriormente, en 1978 se observó que la mucosa gástrica del cerdo recién nacido rara vez contiene las pepsinas presentes en el cerdo adulto, pero sí contiene una proteinasa (quimosina porcina) estrechamente relacionada inmunológicamente con la quimosina de los becerros. Pocos años después se descubrió que la concentración de quimosina en la mucosa gástrica del cerdo era máxima al nacer y disminuía durante las dos primeras semanas de vida, y que, la concentración de pepsina (EC 3.4.23.1) o también conocida como “pepsina A” encargada de hidrolizar los enlaces peptídicos, era muy baja durante este período y aumentaba notablemente entre las 2 y 4 semanas después del nacimiento; en ese mismo año, algunos autores descubrieron que el

aumento de la actividad proteolítica en el contenido gástrico después de las 2 semanas de edad era más pronunciado en los cerdos alimentados con alimentos sólidos que en los lechones lactantes.

Los estudios del papel del estómago y sus secreciones, responsables de la digestión de las proteínas en los lechones recién nacidos se realizaron en la gran mayoría en los años 60–80 y fueron reportados por Cranwell (1985). Los resultados de estos estudios indican que la mucosa gástrica y el jugo gástrico del cerdo recién nacido presentan poca o ninguna actividad proteolítica, y que la cantidad de pepsina en la mucosa gástrica y su concentración en el jugo gástrico aumentan con la edad, con un gran aumento entre las 3 y 4 semanas después del nacimiento.

Para la digestión de carbohidratos durante la lactancia, la actividad enzimática se centra en la producción de lactasa para la digestión de la lactosa (Portillo, 2021). Las otras carbohidrasas como la α -amilasa, maltasa-glucoamilasa y sacarasa están presentes de forma restringida al nacimiento, sin embargo, conforme pasa el tiempo y de manera gradual van aumentando su actividad (Everaert *et al.*, 2017).

Bauer *et al.* (2005) mencionan que la utilización de la grasa en animales y humanos requiere la digestión y absorción de las fuentes de grasa dietética durante su paso por el tracto gastrointestinal (TGI). La digestión lipídica gastrointestinal consta de varios pasos secuenciales que incluyen procesos fisicoquímicos y enzimáticos. El hígado participa activamente en la digestión de grasas a través de la producción de bilis, un fluido rico en sales biliares con propiedades emulsionantes. Dado que los lípidos son insolubles en el medio acuoso del tracto gastrointestinal, la bilis permite fragmentar las gotas de grasa en micelas más pequeñas, aumentando la superficie de acción para las lipasas. Este proceso de emulsificación facilita la digestión y posterior absorción de los ácidos grasos en el intestino delgado, siendo esencial para un aprovechamiento eficiente de los lípidos en la dieta de los lechones (Carey *et al.*, 1983; Kitt *et al.*, 1992). Las lipasas gástricas también pueden ser de gran importancia para la digestión lipídica en animales recién nacidos, como ya se ha establecido en lactantes. Sin embargo, la lipasa pancreática

es la enzima clave para la digestión de los lípidos y su actividad incrementa desde el nacimiento hasta el destete (Lindemann *et al.*, 1986).

2.4.3 Desarrollo de la microbiota intestinal.

Después del nacimiento de los lechones, los cambios morfofuncionales del intestino delgado mencionados por Modina *et al.* (2021) suceden adicionalmente con una modificación sustancial del ecosistema microbiano. Desde el nacimiento existe un aumento de forma gradual de la diversidad microbiana, una colonización inicial es fundamental para un óptimo desarrollo y programación de la respuesta inmunitaria de la mucosa, de no ser así, un cambio abrupto en la composición y la actividad del ecosistema presente en el TGI de los neonatos porcinos puede resultar en complicaciones gastrointestinales, atrofiando las vellosidades (estructura, altura), disminuyendo así la capacidad de digestión y alterando la permeabilidad intestinal (de Vries & Smidt, 2020).

Desde que los lechones nacen, la microbiota del TGI se desenvuelve en un medio altamente dinámico, donde la fisiología intestinal y la inmunidad innata se desarrollan de manera simultánea. Existen múltiples factores que entran en juego para el desarrollo o cambio de la microbiota del tracto digestivo. El ambiente en constante cambio hace que el ecosistema sea complejo con una composición altamente dinámica que cambia con base en el tiempo (de Vries & Smidt, 2020).

En el trabajo realizado por Frese *et al.* (2015) se observó que la composición de la microbiota desde el día 1 de vida hasta la tercer semana de vida de lechones consistía en: *Enterobacteriaceae*, *Lachnospiraceae*, *Bacteroidaceae* y *Lactobacillaceae*.

Otros estudios han reportado que Firmicutes y Bacteroidetes son los filos más presentes a lo largo de todo el TGI, sin embargo, al nacer y durante las primeras 24 horas, los lechones adquieren bacterias tolerantes al oxígeno como bacterias del ácido láctico, enterobacterias y estreptococos, posteriormente, entre 1 y 5 días después del nacimiento empieza la colonización de bacterias como; *Lactobacillus*,

Bifidobacterium, *Bacteroides* y *Clostridium* (de Vries & Smidt, 2020). Durante la lactancia, siendo la leche el único sustento para los lechones, el microbioma está orientado a este tipo de alimento. Cuando comienzan a consumir una dieta sólida, la microbiota cambia su composición a lo largo del TGI, estando más enfocada a los ingredientes de origen vegetal presentes en estas dietas.

La microbiota intestinal de los lechones es encargada de múltiples funciones benéficas, por ejemplo: fermentación de fibras, desarrollo de vitaminas, promoción del desarrollo inmunitario, prevención y combate contra la colonización de patógenos (de Vries & Smidt, 2020).

Choudhury *et al.* (2021a) alimentaron un grupo de lechones con una mezcla de fibras del día 2 después del nacimiento hasta el destete que se realizó al día 29. Los autores observaron que la alimentación temprana tuvo un impacto significativo en la microbiota del colon, mientras que no se observó tal efecto en la microbiota del yeyuno y el íleon.

2.5 Alimentos Pre iniciadores.

Tras el destete, los lechones experimentan cambios significativos en el TGI debido a la transición de la leche a una dieta sólida, lo que puede generar estrés y una reducción temporal en el consumo de alimento, afectando la morfología intestinal y la función digestiva (Hampson, 1986). La atrofia de las vellosidades intestinales y la reducción en la actividad de enzimas como la lactasa pueden comprometer la absorción de nutrientes y aumentar la susceptibilidad a enfermedades entéricas (Miller *et al.*, 1984). Esta problemática, aunada a la inmadurez del sistema digestivo y carente de enzimas digestivas que puedan digerir la dieta sólida (Pluske *et al.*, 1996), indican que es necesario adaptar tempranamente el sistema digestivo a alimentos sólidos al mismo tiempo que consumen la leche.

Para aminorar estos problemas, se han implementado alimentos preiniciadores o “creep feeding”, que pueden emplearse en la granja durante el

período de lactancia para hacer el cambio de una dieta líquida a una sólida lo menos perjudicial para el lechón y facilitar la transición al destete (Arnaud, 2023). El uso de alimentos preiniciadores tiene como fin enseñar al lechón a ingerir materia seca y adaptar el aparato digestivo a dietas más complejas con diferentes ingredientes a diferencia de la dieta 100% láctea que llevan en maternidad (Castañón *et al.*, 2024).

La introducción temprana de alimentos preiniciadores, a partir de los 7 a 10 días de vida, es fundamental para preparar el TGI del lechón para la transición al destete (Alcázar, 2022) y que empiecen a ingerir materia seca junto con la leche. Bruininx *et al.* (2002) reportaron que el 90% de los lechones que tuvieron un consumo de alimento en la etapa de lactancia lograron un consumo dentro de las primeras 10 horas postdestete, mientras que el grupo que no consumió y no conocía el alimento sólido, tardó hasta 50 horas en lograr un primer consumo en la etapa postdestete.

Para estimar el tiempo de alimentación por lechón Choudhury *et al.* (2021b) observaron videos de las camadas experimentales que consumieron alimento sólido simultáneamente a la ingesta de leche materna durante 12 h al día en las cuatro semanas previas al destete, en los cuales se registraron los episodios de alimentación. A pesar de que se observó un consumo errático, el comportamiento alimentario de los lechones aumentó gradualmente con el tiempo, alcanzando su puntuación más alta en la última semana previa al destete. Sin embargo, los autores comentan que hubo una sustancial variación en el consumo estimado de alimentos entre lechones.

Con base en los puntajes de alimentación de los últimos dos días, Choudhury *et al.* (2021b) clasificaron a los lechones individualmente, como se muestra en la Figura 2, como buenos (> 2 veces la mediana; verde), moderados (entre 0.8 y 2 veces la mediana; azul) y malos (por debajo de 0.8 veces la mediana; rojo).

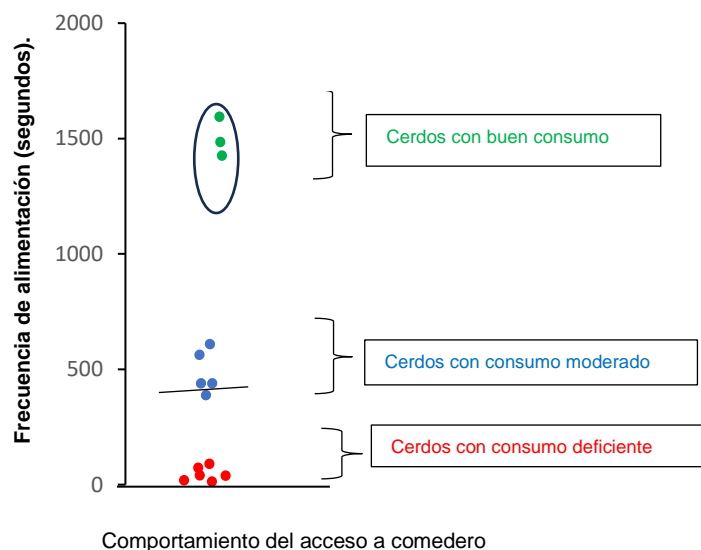


Figura 2. Clasificación de la alimentación temprana de los lechones (Fuente: Adaptado de Choudhury *et al.*, 2021a).

Para estimular el consumo, los alimentos preiniciadores deben ser altamente palatables, pero también deben tener un gran aporte nutritivo, ser bastante digestibles y exentos de factores anti nutricionales. Esto se logra gracias al uso de ingredientes especializados y de alta calidad que pasan por un estricto proceso de control para asegurar la calidad óptima (Solano, 2024).

Las proteínas de muy alta calidad, carbohidratos fácilmente digestibles y grasas de absorción rápida ayudan a la producción de enzimas como amilasas y proteasas en el TGI del neonato preparándolo para recibir una dieta con diferente composición a la de la leche materna en la etapa postdestete (Pluske *et al.*, 1997; Lallès *et al.*, 2004).

Kelly *et al.* (1991) reportan que el consumo de preiniciadores antes del destete favorece el crecimiento de las vellosidades intestinales y mejora la capacidad de absorción de nutrientes, reduciendo el impacto del destete en la morfología intestinal.

Los resultados encontrados por Luo *et al.* (2022) mostraron que las intervenciones nutricionales en las primeras etapas de la vida mediante la

administración de leche sintética mejoraron el crecimiento de los lechones, el peso del hígado y redujo la tasa de diarrea de los lechones después del destete. Los microorganismos intestinales, principalmente bacterias benéficas como *Lactobacillus*, desempeñaron un papel importante en estos cambios.

También Choudhury *et al.* (2021b) observaron que el consumo de alimento sólido durante la lactancia afectó el pH del contenido del ciego y colon, el peso y la longitud de varios segmentos del tracto intestinal, así como la relación entre vellosidades-cripts en la mucosa yeyunal y la concentración de células proliferativas en la mucosa del colon. Estos resultados ejemplifican el potencial de la alimentación temprana para modular el desarrollo intestinal en lechones jóvenes.

Castañón *et al.* (2024) han demostrado que lechones que consumen alimentos sólidos durante la lactancia tienen un desempeño postdestete mejor en cuanto al consumo de alimento y la ganancia de peso en el destete, a diferencia de lechones que no consumen este tipo de alimentos.

2.5.1 Uso de alimentos funcionales en dietas preiniciadoras.

El término “alimento funcional” se acuñó por primera vez en Japón en 1980, posteriormente en 1991 el Ministerio de Salud, Trabajo y Bienestar del mismo país asiático se dio a la tarea de definir un conjunto de normas denominando una categoría especial para este tipo de alimentos que son promotores de la salud, denominándolos FOSHU (alimentos para uso específico de salud) (Durán & Valenzuela, 2010), refiriéndose a alimentos que contienen ingredientes que actúan de manera saludable para el huésped que los consume. Los alimentos funcionales pueden ser totalmente naturales o ser alimentos que se les han añadido, quitado o alterado algún factor para mejorar su biodisponibilidad (Illanes, 2015).

Los alimentos funcionales además de tener un efecto nutricional, favorecen una o más funciones fisiológicas del huésped, teniendo una mejoría en la condición física general y/o disminuyendo el riesgo a enfermedades (Fuentes *et al.*, 2015; Illanes, 2015). El uso de los alimentos considerados funcionales puede considerarse

con un valor agregado a las dietas favoreciendo algunos aspectos de la función del TGI en lechones.

En las últimas décadas, los alimentos funcionales son empleados en las dietas de los animales como alternativas al uso de antibióticos, sobre todo para controlar las diarreas postdestete (Heo *et al.*, 2013b), los cuales provocan resistencia microbiana en el organismo que los consume sin restricción. A partir del 2006 su uso ha sido prohibido en la Unión Europea (UE) (Briz, 2006) y en algunos países como Estados Unidos, Canadá y Australia se han implementado prohibiciones parciales o regulaciones ante su uso. México cuenta con una Estrategia Nacional de Acción contra la Resistencia a los Antimicrobianos, publicada en el Diario Oficial de la Federación (2018), sin embargo, aún no existe una legislación regulatoria que controle eficazmente el uso de antimicrobianos o una prohibición total como los países antes mencionados.

Después de la prohibición del uso de antibióticos en las dietas de los animales, muchos investigadores se han dedicado a estudiar alternativas como la inclusión de ingredientes considerados alimentos funcionales en las dietas de los cerdos.

El propósito del presente trabajo fue estudiar la inclusión de alimentos funcionales como; *S. boulardii* y concentrado de proteína de papa en dietas preiniciadoras, pues favorecen algunos aspectos de la función del TGI en lechones (Landaburu *et al.*, 2020; Parra *et al.*, 2020) y resultan ser una fuente alternativa eficiente al uso de antibióticos promotores de crecimiento (APC) (Reis de Souza *et al.*, 2025). A continuación, se describen las características más relevantes de estos alimentos:

- Aportan beneficios más allá del valor nutricional básico:
 - Contienen compuestos bioactivos que mejoran una o más funciones fisiológicas del organismo. Además de poder contribuir a la prevención de enfermedades o al fortalecimiento del rendimiento (Gibson *et al.*, 2017; Granato *et al.*, 2020).

- Incluyen ingredientes activos con efectos específicos:
 - Probióticos, prebióticos, péptidos bioactivos, antioxidantes, lípidos funcionales, entre otros que ayudan a modular la microbiota, mejorar la absorción de nutrientes o reducir inflamación (Shahidi, 2009; Choudhury *et al.*, 2021a).
- Se consumen como parte de la dieta habitual:
 - No se consideran medicamentos ni suplementos aislados ya que deben integrarse en la alimentación diaria, humana o animal (Diplock *et al.*, 1999).
- Sus efectos deben ser científicamente comprobados:
 - Requieren estudios experimentales que validen su seguridad, biodisponibilidad y eficacia (Granato *et al.*, 2020).
- Contribuyen a la salud intestinal y al rendimiento productivo:
 - En animales, pueden reducir la incidencia de enfermedades digestivas y el uso de antibióticos, además de ser especialmente útiles en etapas críticas como el destete (Bajagai *et al.*, 2020; Choudhury *et al.*, 2021b).

2.5.1.1. Probióticos (*S. boulardi*)

En los últimos años, la investigación se ha enfocado en los alimentos funcionales que ayudan a mejorar la salud intestinal del huésped para prevenir y/o aliviar diarreas. Dentro de esos alimentos funcionales toman mayor importancia los prebióticos y probióticos (Illanes, 2015).

Los probióticos son microorganismos vivos que, una vez administrados en una cantidad adecuada, generan un efecto benéfico al huésped (Giraldo-Carmona *et al.*, 2015), estos organismos no deben ser patógenos ni producir efectos negativos (Morales-Oñate *et al.*, 2020).

Según lo descrito por Vasiljevic (2008), existen algunos requisitos para que un microorganismo sea considerado como probiótico:

- Caracterización *in vitro*:

- Estabilidad fenotípica y genotípica.
- Patrones de utilización de carbohidratos y proteínas.
- Resistencia a la acidez gástrica.
- Resistencia a la bilis.
- Adhesión al epitelio intestinal.
- Resistencia a lisozima (opcional).
- Capacidad de utilizar prebióticos (opcional).
- Ensayos *in vitro* donde comprueben el o los efectos probióticos que se le adjudican.
- No presentar resistencia a los antibióticos ni determinantes de patogenicidad.

A lo largo del tiempo se han utilizado distintas cepas de bacterias como probióticos, de las especies más utilizadas son provenientes del ácido láctico como *Lactobacillus*, *Streptococcus* y *Bifidobacterium*, otras especies diferentes de las del ácido láctico y las cuales son utilizadas actualmente en forma de probiótico comercial y para investigación, son las levaduras *Saccharomyces cerevisiae* (*S. cerevisiae*) (Morales-Oñate *et al.*, 2020).

Aunque las bacterias de ácido láctico y las levaduras son microorganismos que llevan a cabo funciones similares, las levaduras son hongos unicelulares con un núcleo definido, es decir, eucariotas, a diferencia de las bacterias ácido lácticas las cuales son procariotas, las levaduras son resistentes a un pH neutro alcalino y temperaturas más altas, aunque de igual forma, ambas son usadas para prevenir enfermedades gastrointestinales. Las levaduras, específicamente *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* se ha investigado ampliamente su efectividad para la prevención y tratamiento de diarreas (Czerucka *et al.*, 2007; Holzapfel *et al.*, 2014).

Las levaduras han sido empleadas como probiótico en las dietas de los animales para disminuir el uso de antibióticos promotores de crecimiento, debido a sus efectos sobre los indicadores productivos, microbiota intestinal, índice de diarreas, respuesta antiinflamatoria intestinal, salud e integridad de la mucosa intestinal, además de la segregación de metabolitos que mejoran la respuesta

inmunológica (Sanders *et al.*, 2018). Se han estudiado diferentes levaduras probióticas con diferentes aplicaciones como *Debaryomyces hansenii* que ayuda a la reducción de la inflamación intestinal; *Pichia kudriavzevii* ayuda a la inhibición de patógenos; *Kluyveromyces marxianus* mejora la digestión de lactosa; *S. cerevisiae* promueve el desarrollo de la microbiota intestinal y *S. boulardii* usada para la prevención y tratamiento de diarreas (Czerucka *et al.*, 2007; Mukherjee *et al.*, 2007; Chaucheyras-Durand *et al.*, 2010; Fontana *et al.*, 2013; Russo *et al.*, 2017) entre otras levaduras. Sin embargo, se ha reportado que la variedad *S. boulardii* fue efectiva contra bacterias patógenas, así como la disminución de la inflamación causada por enfermedades en el TGI además de ayudar para la prevención y alivio de diarreas asociadas a antibióticos (Edwards-Ingram *et al.*, 2007; Martins *et al.*, 2013).

S. boulardii es una levadura tropical la cual fue aislada por primera vez en 1923 a partir de las frutas de lichi por el científico francés Henri Boulard (Gagnon *et al.*, 2007). En un principio, se sugirió que *S. cerevisiae* y *S. boulardii* eran especies diferentes, sin embargo, gracias a estudios recientes se ha determinado que son miembros de la misma especie (Edwards-Ingram *et al.*, 2007). Se ha comprobado que *S. boulardii* facilita la función de restaurar y mantener la flora intestinal propia del intestino delgado y grueso, clasificándolo como probiótico cuando es suministrado de forma viva (Landaburu *et al.*, 2020).

Aunque *S. boulardii* y *S. cerevisiae* comparten similitudes genéticas (van der Aa Kühle *et al.*, 2003), presentan diferencias notables en cuanto a su origen, aplicaciones y características fisiológicas. Mientras que *S. cerevisiae* es usada principalmente en la industria alimentaria (panificación, fermentación alcohólica), *S. boulardii* es usada contra el tratamiento de diarreas. Otra de las grandes diferencias se debe a que *S. boulardii* tiene una gran capacidad de resistir a las condiciones (pH) del tracto gastrointestinal como ácidos y sales biliares, a diferencia del *S. cerevisiae* que tiene una menor resistencia a las condiciones del TGI (Edwards-Ingram *et al.*, 2007; Chaucheyras-Durand *et al.*, 2010; Kelesidis *et al.*, 2012).

La eficacia de *S. boulardii* en diferentes estudios ha permitido a los autores proponer varios mecanismos de acción del probiótico como por ejemplo; secreción de proteasas o inhibidores de proteínas, estimulación de inmunoglobulina A, adquisición y eliminación de toxinas secretadas, modificación de la mucosa intestinal y adherencia directa de capa epitelial provocando competición por sitios de colonización; sin embargo, en los mecanismos que se han propuesto no está del todo claro la interacción del probiótico en el huésped (Edwards-Ingram *et al.*, 2007).

Según lo reportado por Gagnon *et al.* (2007) *S. boulardii* fue capaz de influir en la biodiversidad bacteriana. Además de ser efectivo contra bacterias potencialmente patógenas y disminuir la inflamación por enfermedades en el TGI (Martins *et al.*, 2013; Liao & Nyachoti, 2017).

Las propiedades probióticas de *S. boulardii* han sido demostradas y se ha usado durante los últimos 50 años. (Edwards-Ingram *et al.*, 2007). Estudios realizados *in vitro* e *in vivo* sugieren que *S. boulardii* es efectiva para la prevención de infecciones intestinales causadas por la invasión o adherencia de *Clostridium difficile*, *Escherichia coli* y *Candida albicans* (Berg *et al.*, 1993; Czerucka *et al.*, 2000; Czerucka & Rampal, 2002).

Bautista (2015) evaluó la inclusión de *Saccharomyces cerevisiae* p en una dieta para lechones destetados como alternativa al uso de APC y observó un efecto positivo sobre el crecimiento de páncreas e intestino delgado en la primera semana posdestete.

Landaburu *et al.* (2020) mencionan que *S. cerevisiae* var. *boulardii* es clasificado como un agente bioterapéutico que es usado en la prevención y tratamiento para varias enfermedades gastrointestinales.

2.5.1.2. Concentrado de Proteína de Papa.

El concentrado de proteína de papa (CPP) es un coproducto de la industria alimentaria, específicamente del almidón, recuperado de la fracción líquida restante posterior a la extracción del almidón y fibra. Este ingrediente cuenta con las

cantidades adecuadas de aminoácidos esenciales, estos aminoácidos pueden llegar a reemplazar la proteína de origen animal en dietas para lechones (Taciak *et al.*, 2011).

El uso de CPP en dietas libres APC tiene un efecto positivo sobre la digestibilidad ileal de los nutrientes; así como mejora el aprovechamiento de la materia seca y de la energía en la totalidad del tracto gastrointestinal de lechones destetados debido al contenido de los denominados péptidos antimicrobianos (PAM's) (de Souza *et al.*, 2019). Los PAM's reportan efectos benéficos sobre la salud intestinal del huésped cuando se usan en dietas libres de APC lo que los hace una alternativa viable al uso de APC (Parra *et al.*, 2020).

Entre los PAM's más comunes se encuentran el Potide-G, que inhibe el crecimiento de *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes* y *Escherichia coli*; el Potamin-1, al que se le atribuye la capacidad de interrumpir el metabolismo energético de las bacterias; el Snakin-1 (SN1), con eficacia comprobada frente a patógenos bacterianos y fúngicos en plantas; y, finalmente, el Snakin-2 (SN2), que presenta efectos similares al SN1, actuando también contra hongos y bacterias patógenas (Hijuitl, 2021).

Las plantas y tubérculos desarrollan a los PAM como un mecanismo de defensa y respuesta ante infecciones microbianas. Estos péptidos son codificados por genes los cuales cuentan con un amplio rango en cuanto a su actividad contra bacterias grampositivas, gramnegativas, hongos y bacilos del género *Mycobacterium*, teniendo un rol muy relevante sobre los mecanismos encargados de deshacerse de patógenos o inhibiendo su crecimiento (Parra *et al.*, 2020).

Los PAM's presentes en el CPP han demostrado múltiples mecanismos de acción contra microorganismos patógenos. Su principal método de acción consiste en la interacción con las membranas celulares bacterianas, alterando su permeabilidad a través de la formación de poros, lo que provoca la pérdida de contenido celular y la muerte del microorganismo (González-Lamothe *et al.*, 2009). Además, algunos PAM's inhiben la síntesis de la pared celular al unirse a precursores del peptidoglicano o interferir con enzimas esenciales en su biosíntesis,

debilitando la estructura bacteriana y favoreciendo su lisis (García-Olmedo *et al.*, 1998). Otro mecanismo importante, es la inhibición de la síntesis de ácidos nucleicos y proteínas, ya que algunos péptidos pueden ingresar al citoplasma bacteriano y unirse a moléculas de ADN o ARN, impidiendo la replicación y transcripción genética, lo que interrumpe procesos vitales del microorganismo (Muñoz, 2007). Además, estos péptidos pueden modular la respuesta inmune del huésped, actuando como moléculas señalizadoras que inducen la activación de células inmunitarias y la producción de citoquinas, lo que refuerza la defensa frente a infecciones (González-Lamothe *et al.*, 2009). La eficacia de estos mecanismos depende de la secuencia de aminoácidos y la estructura tridimensional de los péptidos, por lo que se requieren más estudios para caracterizar y optimizar su aplicación en estrategias antimicrobianas (García-Olmedo *et al.*, 1998).

2.6 Estrés durante el periodo adaptación del lechón.

Según la World Health Organization (2023), el estrés es definido como un estado de tensión mental provocado por una situación o ambiente difícil, esto es una respuesta totalmente natural al estar propenso a amenazas y otros estímulos.

Este mecanismo es generado para aumentar las probabilidades de supervivencia ya que permite responder rápidamente ante la amenaza o una demanda creciente del organismo (estrés o situación estresante) (Tuchscherer, 2004). Existen 2 tipos de estrés; el eustrés o estrés positivo es un proceso habitual donde ocurre una activación en un periodo corto de tiempo para resolver la situación específica en la que se encuentra. El distrés o estrés negativo es donde el organismo cae en un estado de alostasis o desequilibrio, sin embargo, este estado permanece de manera indefinida debido a esto, desgasta las reservas de energía del organismo (Sacchetta, 2019).

Para que este estado de estrés se dé, se necesitan tres componentes: el agente o situación estresante, integración de la situación y la respuesta a la situación. Siendo el estresor, un factor combinado entre el estado físico del animal

o el medio ambiente que le rodea (hambre, fatiga, sed, temperatura ambiente) o hasta características mentales (estabulación, manejo, mezcla con otras camadas, transporte, etc.) (Sacchetta, 2019).

2.6.1. Factores estresantes en lechones lactantes.

El período de lactancia es crucial en el desarrollo fisiológico y digestivo de los lechones, pero también representa una etapa de alta vulnerabilidad debido a la presencia de múltiples factores estresantes que pueden comprometer la funcionalidad del tracto gastrointestinal (TGI) y el rendimiento productivo. Entre las principales causas de estrés durante esta etapa se encuentran las variaciones ambientales, las prácticas de manejo y la competencia por el alimento. Las fluctuaciones en la temperatura y la humedad pueden generar estrés térmico en los lechones, afectando su metabolismo energético y reduciendo el consumo voluntario de alimento, lo que impacta negativamente la ganancia diaria de peso y la eficiencia digestiva (Romo-Valdez *et al.*, 2022). Además, prácticas como el destete temprano, el transporte y la reagrupación con lechones de diferentes camadas pueden provocar respuestas fisiológicas adversas, incluyendo la liberación de cortisol, la supresión del sistema inmunológico y la reducción en la actividad enzimática digestiva (Roldán Santiago *et al.*, 2014).

El estrés en los lechones es un factor crucial que puede afectar su bienestar y rendimiento desde el nacimiento hasta el destete. Durante el parto, los lechones experimentan una serie de desafíos físicos y psicológicos, como el cambio abrupto de su entorno intrauterino al ambiente externo, lo que puede generar una respuesta de estrés inicial (Kauffold *et al.*, 2009). Esta respuesta puede intensificarse por la separación temprana de la madre, el manejo invasivo y las condiciones de la jaula de maternidad, factores que alteran el comportamiento natural de los lechones y los exponen a situaciones de estrés crónico (Terlouw *et al.*, 2009). La lactancia, aunque esencial para el desarrollo, también puede ser una fuente de estrés debido a la

competencia por la fuente de alimento, la aglomeración y las manipulaciones constantes por parte de la madre o el personal de manejo (O'Connell *et al.*, 2003).

Así, el manejo adecuado de los lechones durante estas primeras etapas es fundamental para mitigar el estrés y promover su desarrollo óptimo.

Otro factor de estrés significativo en esta etapa es la competencia por el alimento, especialmente en sistemas de producción con camadas numerosas donde algunos lechones tienen menor acceso a la ubre materna. Esto puede resultar en una ingesta insuficiente de calostro y leche, comprometiendo la transferencia de inmunoglobulinas y nutrientes esenciales, lo que predispone a los lechones a enfermedades entéricas y afecta su desarrollo intestinal (Castañeda, 2021). A nivel morfológico, el estrés puede inducir atrofia de las vellosidades intestinales y una reducción en la profundidad de las criptas, disminuyendo la superficie de absorción de nutrientes y afectando la eficiencia digestiva (Sol Valmoría Ortega & Szabó, 2021). También se ha reportado que el estrés durante la lactancia reduce la producción y actividad de enzimas digestivas como la lactasa, maltasa y sacarasa, comprometiendo la digestión de carbohidratos y otros macronutrientes esenciales (Hampson, 1986).

Además, el estrés tiene un impacto directo en la microbiota intestinal, ya que altera el equilibrio de microorganismos benéficos y favorece la proliferación de patógenos oportunistas, lo que incrementa la susceptibilidad a infecciones gastrointestinales (Pohl *et al.*, 2015). La disbiosis intestinal inducida por el estrés también se asocia con una respuesta inmunológica comprometida, ya que la reducción de bacterias beneficiosas disminuye la producción de metabolitos antiinflamatorios y afecta la regulación inmune en la mucosa intestinal (Shimada, 2003).

2.6.2 Cortisol como marcador de estrés en cerdos.

El cortisol es una hormona esteroidea producida en la corteza de las glándulas suprarrenales. Su principal función es regular diversas respuestas

biológicas asociadas al estrés, como el metabolismo de la glucosa, la regulación del sistema inmune, y la modulación de la inflamación. Su liberación se desencadena en situaciones de estrés, tanto físico como psicológico, y tiene un efecto directo en varios sistemas orgánicos, ayudando al organismo a adaptarse a situaciones de adversidad (Sapolsky *et al.*, 2000).

La secreción de cortisol se activa principalmente a través del eje hipotálamo-hipófisis-adrenal (HPA). El proceso comienza con la liberación de la hormona liberadora de corticotropina (CRH) desde el hipotálamo, que estimula la glándula pituitaria para liberar la adrenocorticotropina (ACTH). La ACTH, a su vez, actúa sobre las glándulas suprarrenales para inducir la producción y liberación de cortisol. Este aumento en los niveles plasmáticos de cortisol es crucial en la respuesta fisiológica al estrés, ya que actúa sobre tejidos diana como el hígado, los músculos y el sistema inmunológico (McEwen, 2007).

En el contexto de la producción porcina, el cortisol se ha consolidado como uno de los principales biomarcadores para evaluar el estrés en los cerdos. Esto se debe a que su liberación está estrechamente vinculada a la activación del eje HPA, el cual se activa ante una amplia variedad de factores estresantes, tales como el manejo, transporte o cambios ambientales (Ernst & Dawkins., 2006). La medición de cortisol en fluidos biológicos, como la sangre o la saliva, permite cuantificar la intensidad de las respuestas al estrés en los cerdos (Hemsworth *et al.*, 2000). Además, investigaciones han demostrado que los niveles elevados de cortisol durante períodos prolongados pueden inducir efectos adversos en la salud y el rendimiento productivo de los animales, como una disminución en el crecimiento, mayor susceptibilidad a enfermedades y un debilitamiento del sistema inmune (Mormède *et al.*, 2007).

Por estas razones, el cortisol ha sido ampliamente utilizado como un marcador confiable del estrés en cerdos. Su medición es fundamental para identificar situaciones de estrés y aplicar estrategias de manejo que favorezcan el bienestar animal, al tiempo que optimizan la eficiencia productiva en sistemas de producción porcina (Aluwé *et al.*, 2016). Este enfoque ha demostrado ser eficaz no

solo para la mejora del bienestar de los cerdos, sino también para prevenir pérdidas económicas asociadas con los efectos del estrés crónico sobre la salud y la productividad animal.

Así mismo Salak-Johnson *et al.* (2022) midieron el nivel de cortisol de la progenie, el estado inmunológico y la capacidad de respuesta al estrés desde el nacimiento hasta los 14 días posteriores al destete. Lo que observaron fue que los cerdos nacidos de cerdas que consumieron levaduras en sus dietas tuvieron una menor secreción de cortisol y parámetros inmunológicos mejorados al nacer y 24 horas después, lo que indica menos estrés. Resultados similares a estos se observaron en los lechones después del destete (Figura 3).

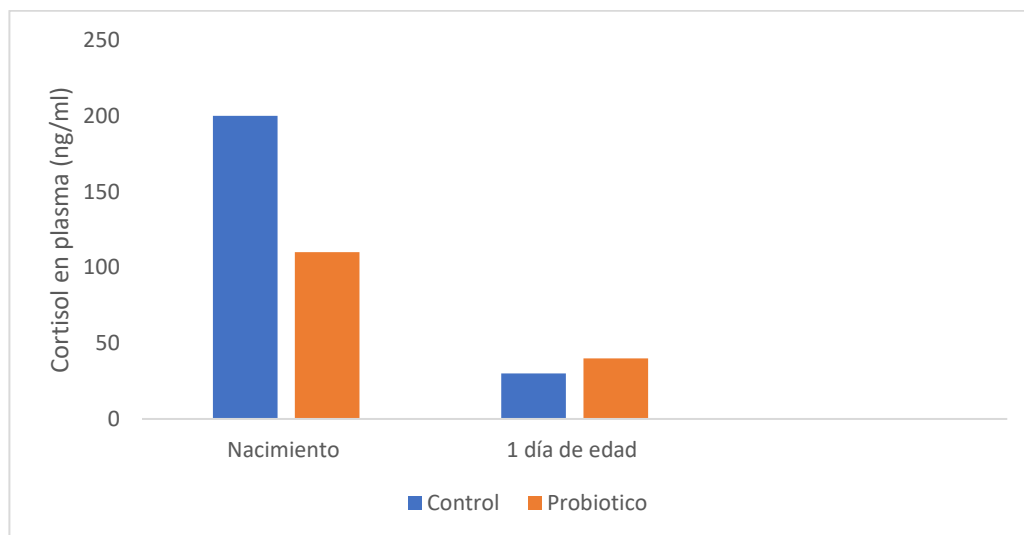


Figura 3. Efecto del tratamiento prenatal sobre la concentración de cortisol en plasma (Fuente: Salak-Johnson *et al.*, 2022).

III. HIPÓTESIS

El consumo de una dieta preiniciadora adicionada con concentrado de proteína de papa y *S. boulardii* promueve un mayor desarrollo fisiológico y productivo de lechones lactantes.

IV. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Evaluar durante la lactancia, los parámetros productivos, el desarrollo de la función digestiva y del nivel de estrés en lechones alimentados con dietas preiniciadoras con o sin la adición de CPP y *S. boulardii*.

4.2 Objetivos específicos

En los días 7, 14 y 21 de vida de los lechones suplementados con dietas preiniciadoras con y sin alimentos funcionales evaluar:

- Consumo diario de alimento, pesos corporales y las ganancias diarias de peso.
- pH de los contenidos de estómago, intestino delgado e intestino grueso.
- El desarrollo del aparato digestivo: longitud de intestino delgado e intestino grueso, pesos absolutos y relativos de órganos digestivos, así como la arquitectura de las vellosidades y criptas de duodeno, yeyuno, íleon y colon.
- Los niveles sanguíneos de cortisol a los días 0, 7, 14 y 21 de vida.
- La incidencia y severidad de diarreas.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto de investigación se realizó bajo las normas aprobadas previamente por el H. Comité de Bioética de la Facultad de Ciencias Naturales con clave de proyecto 114FCN2023, aprobado el 28 de noviembre de 2023.

El experimento se realizó en la Unidad de Producción Porcina (UPP-UAQ), localizada en la Posta Zootécnica del Campus Amazcala de la Universidad Autónoma de Querétaro, en el Municipio de El Marqués, Querétaro. Con coordenadas 20°42'46"N 100°15'47"W y con una altura de 1,923 m.s.n.m. Caracterizando la zona con un clima en temporada seca parcialmente nublado, la temperatura varía de 5 °C a 29°C, escasamente baja a menos de 1 °C o sube más de 32 °C.

5.1 Animales y Manejo General

Se utilizaron 60 lechones Landrance × Yorkshire provenientes de seis camadas, con un peso promedio de 1.4 ± 0.140 kg al nacimiento. Los lechones tuvieron libre acceso al calostro y a la leche materna permaneciendo con sus madres durante 21 días en las jaulas de maternidad, las cuales cuentan con espacios separados para la madre y las crías, barra de protección contra aplastamiento y fuente de calor proveniente de una lámpara calefactora y un tapete térmico para mantener la temperatura a 30-32 °C durante la primera semana de vida. Posteriormente la temperatura se mantuvo entre 25-28 °C. Se realizó la aplicación de hierro vía parenteral a cada lechón al tercer día de nacido, según los procedimientos propios de la UPP-UAQ. Los lechones se pesaron al nacimiento y en los días 7, 14 y 21 de vida, cuando se destetaron.

5.2 Dietas

A partir del día 7 de vida, todos los lechones empezaron a consumir el alimento preiniciador, el cual fue servido en comederos diseñados para este propósito. La alimentación sólida consistió en dos dietas libres de antibióticos. Tres camadas consumieron una dieta base (DB) mientras que las tres camadas restantes consumieron una dieta experimental (CPP-Sb), cuya composición fue similar a DB, pero incluyendo el concentrado de proteína de papa a expensas del concentrado de soya, además de adicionar 0.1% de *S. boulardii* (Cuadro 4).

A las dietas se les determinó la cantidad de materia seca por secado a 100°C, así como la proteína cruda de acuerdo con el método de Kjeldahl (AOAC, 2002) y la energía bruta por calorimetría (Bateman, 1970).

5.3 Cálculo de consumo diario de alimento.

Diariamente por las mañanas, a las 08:00 h, se ofrecieron 300 gramos de la dieta experimental correspondiente, en comederos iniciadores en cada jaula. A las 24 horas posteriores, se recolectaba y pesaba el rechazo de cada uno de los comederos. El consumo diario de alimento se calculó como la diferencia entre la cantidad ofrecida (300 g) y la rechazada. Este valor fue posteriormente dividido entre el número total de lechones presentes en cada jaula, con el fin de obtener el consumo promedio diario por lechón, de acuerdo con el tratamiento correspondiente.

5.4 Evaluación de diarreas

Se llevó a cabo la evaluación de la incidencia y severidad de diarreas por tratamiento (Ball & Aherne, 1987). La incidencia de diarrea (ID) se midió como el número de días en que se observó diarrea dentro de la jaula de maternidad. La

severidad de la diarrea (SD) consistió en otorgar una puntuación visual diaria en una escala de 0 a 3 basada en la consistencia fecal: 3 describe una diarrea severa y altamente fluida; 2 una diarrea moderada; 1 una diarrea ligera, pastosa; y 0 sin diarrea. Las puntuaciones diarias se sumaron en cada semana y en el periodo experimental para dar un índice de gravedad de la diarrea para cada jaula.

Cuadro 4. Composición porcentual y química de las dietas.

Ingredientes (%)	Dietas Experimentales	
	DB	CPP-Sb
Maíz Blanco	32.20	32.69
Avena decorticada	4.00	4.00
Arroz quebrado	20.32	20.91
Pasta de soya	12.00	12.00
Aislado de proteína de soya	0.78	--
Concentrado de proteína de soya	6.00	--
Concentrado de proteína de papa ¹	--	6.00
<i>S. boulardii</i> ²	--	0.1
Hemoglobina	1.50	1.54
Pescado Menhaden	3.00	3.00
Suero de Leche dulce	16.46	16.46
Aceite de maíz	0.79	0.45
L-Lisina	0.50	0.44
L-Treonina	0.18	0.13
DL-Metionina	0.25	0.23
L-Triptófano	0.04	0.05
L-Valina	0.004	--
Sal Común	0.60	0.60
Carbonato de calcio	1.08	1.10
Vitaminas ³	0.20	0.20
Minerales ⁴	0.10	0.10
Composición química		
Materia seca (%) ⁵	94.11	94.43
Proteína cruda (%) ⁵	20.12	20.01
Fibra Detergente Neutro (%) ⁵	6.19	6.15
EM (kcal/kg) ⁶	3341.06	3333.64

¹Concentrado de Proteína de Papa (Grupo NUTEC, Querétaro). ²*Saccharomyces boulardii* (LevucellSB, CNCM I-1079, Lallemand Animal Nutrition, Canadá). ³Premezcla de vitaminas por kg de alimento: vitamina A 13,000 UI, vitamina D3 1,000 UI, vitamina E 160 mg, vitamina K 9 mg, tiamina 4 mg, riboflavina 12 mg, piridoxina 6 mg, cianocobalamina 0.07 mg, niacina 66 mg, ácido pantoténico 46 mg, ácido fólico 5 mg, biotina 0.67 mg, vitamina C 266 mg. ⁴Premezcla de minerales por kg de alimento: manganeso 32 mg, zinc 120 mg, hierro 100 mg, cobre 12 mg, yodo 0.08, selenio 0.25 mg, cobalto 0.6 mg. ⁵Valor analizado. ⁶Valor calculado.

5.5 Toma de muestras biológicas

5.5.1 Muestreo sanguíneo

Para la cuantificación de los niveles sanguíneos de cortisol al nacimiento, se seleccionaron aleatoriamente dos lechones por camada (un macho y una hembra), de los cuales se recolectaron muestras de sangre a través del cordón umbilical. Adicionalmente, se realizaron muestreos en los días 7, 14 y 21 de vida (Figura 4), mediante punción venosa en la vena yugular externa o, en su defecto, en la vena braquial, siguiendo la técnica descrita por Salak-Johnson *et al.* (2022).

La sujeción de los lechones se efectuó colocándolos en decúbito dorsal, con las extremidades anteriores replegadas hacia atrás y aplicando una leve presión sobre el hocico para facilitar la exposición del sitio de punción. La vena yugular externa, localizada a una profundidad aproximada de 25 a 40 mm en la región cervical, fue puncionada utilizando una aguja de 12 mm de calibre.

Las muestras de sangre se recolectaron en tubos Vacutainer® con gel separador y activador de coagulación, destinados a la obtención de suero para el análisis de cortisol. Todos los tubos fueron debidamente identificados y colocados en gradillas para su manejo posterior. Las muestras fueron dejadas en reposo a temperatura ambiente durante al menos 10 minutos para permitir la formación del coágulo, y posteriormente centrifugadas durante 15 minutos a 2500 rpm. El suero obtenido fue almacenado a -80 °C hasta su procesamiento para la determinación de cortisol.

La determinación de la concentración de cortisol sérico se llevó a cabo mediante un ensayo inmunoenzimático tipo ELISA (Enzyme-Linked Immunosorbent Assay), siguiendo los principios metodológicos establecidos por Engvall y Perlmann (1972). Para ello, se utilizó suero previamente obtenido de las muestras de sangre colectadas al nacimiento, y en los días 7, 14 y 21 de vida de los lechones.

El análisis se realizó utilizando el kit comercial “Porcine Cortisol ELISA Kit” (Elabscience®, Houston, TX, EE. UU.), diseñado específicamente para cuantificar cortisol en muestras de cerdo mediante el método de ELISA, la metodología

consistió en la competencia entre cortisol en muestra y el cortisol fijado en la placa por un anticuerpo biotinilado, seguido de un conjugado Avidina-HRP y reacción cromogénica TMB. Tras parar la reacción con solución de detención (color azul a amarillo), se midió la densidad óptica a 450 ± 2 nm. La concentración final se derivó de una curva estándar (Elabscience, 2025). Este kit incluye un anticuerpo monoclonal específico para cortisol pre-revestido en la placa, reactivos enzimáticos y sustrato cromogénico.

Las placas se prepararon siguiendo estrictamente las instrucciones del fabricante. Se agregaron las muestras y los estándares en los pocillos correspondientes, incubándose a temperatura ambiente durante el tiempo especificado. Posteriormente, se realizaron los lavados, se añadió el conjugado enzimático, y tras la incubación y aplicación del sustrato, se midió la densidad óptica a 450 nm utilizando un lector de microplacas. Las concentraciones de cortisol se calcularon a partir de la curva estándar generada en cada ensayo.

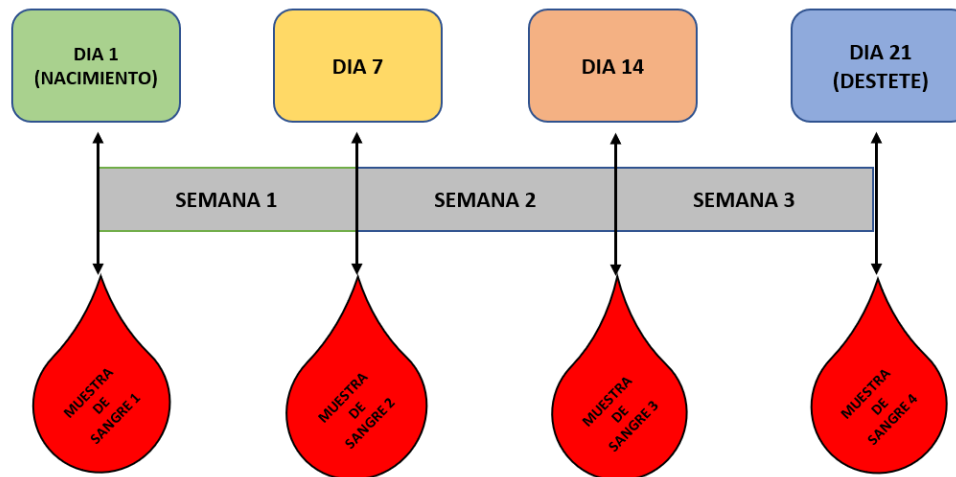


Figura 4. Esquema de muestreo de sangre.

5.5.2 Eutanasia y colecta de órganos y tejidos

A los días 7, 14 y 21 de vida se realizó la eutanasia de 6 lechones (2 lechones/día/camada-dieta) dando un total de 36 lechones eutanasiados (Figura 5).

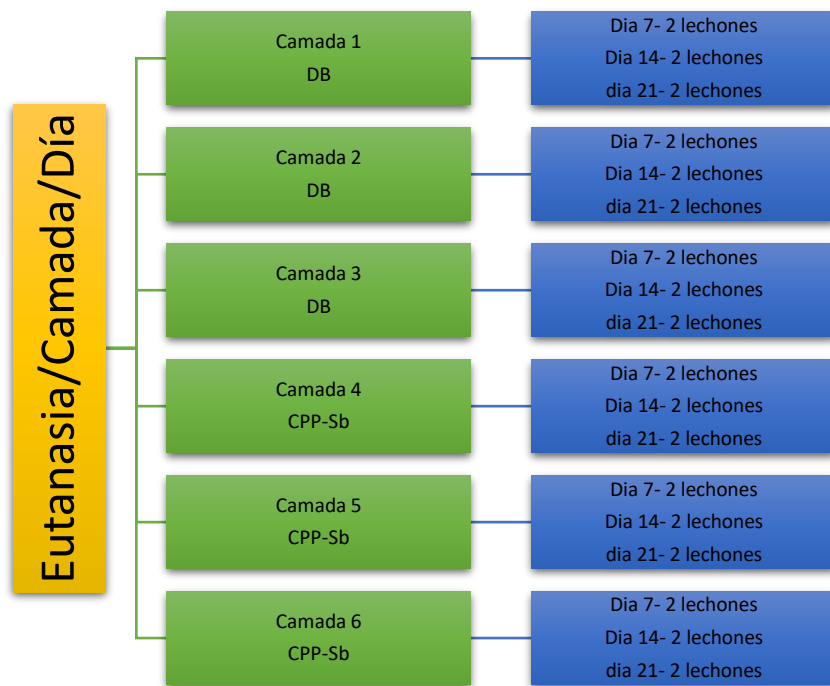


Figura 5. Esquema de eutanasia de los lechones.

Para la eutanasia, los lechones se tranquilizaron con azaperona (Sural®) con una dosis de 20 mg/kg de peso vivo, de manera intramuscular. Posteriormente se administró vía intracardiaca una sobredosis de pentobarbital sódico de 50 mg/kg de peso vivo, en donde, a partir de la aplicación y hasta los 10 minutos posteriores no se presentaron signos como respiración, latidos y reflejo corneal, corroborado lo anterior se confirmó la muerte clínica (AEMPS, 2012). Se procedió con la apertura de la cavidad abdominal para extraer los órganos digestivos (estómago, duodeno, yeyuno, íleon, ciego, colon, hígado y páncreas) y después se realizó la medición de pH de sus contenidos estomacales e intestinales, posteriormente se procedió a realizar las mediciones morfométricas y colecta de muestras necesarias para análisis posteriores (Bautista, 2020).

5.5.2.1 Medición de pH de los contenidos.

El pH del contenido de estómago, yeyuno, íleon y colon fue determinado utilizando un potenciómetro (HANNA® Instruments Mexico, Mexico City, Mexico) previamente calibrado. Para cada medición, el equipo fue ajustado con soluciones buffer estándar de pH 7.0 y pH 4.0, garantizando la precisión del instrumento. Una vez calibrado y encendido el equipo, se introdujo cuidadosamente el electrodo en la muestra de contenido digestivo, evitando el contacto con las paredes del recipiente para no alterar la lectura. El valor de pH fue registrado directamente de la pantalla digital del potenciómetro, indicando así el grado de acidez del contenido de cada porción del tracto gastrointestinal evaluado. Tras cada medición, el electrodo fue enjuagado con agua destilada y secado antes de proceder con la siguiente muestra, siguiendo las recomendaciones metodológicas descritas por Elles (2018).

5.5.2.2 Morfometría Intestinal

Después de colectados los órganos digestivos, se extendieron las diferentes porciones del intestino delgado y grueso para proceder a la medición de sus longitudes. Una vez terminada la medición longitudinal, se retiraron los contenidos estomacales e intestinales, se lavaron y pesaron los órganos vacíos para obtener el peso absoluto de los mismos y posteriormente calcular el peso relativo (g/kg de peso vivo).

Posteriormente, para evaluar la morfología de las vellosidades y criptas intestinales, se colectaron muestras del duodeno, yeyuno, íleon y colon de aproximadamente diez centímetros de largo, las cuales se lavaron con solución salina y se conservaron en formol neutralizado al 10%. Las muestras histológicas se procesaron mediante la técnica de inclusión en parafina para hacer cortes de cinco micras de espesor y poder teñirlas con hematoxilina-eosina. Posteriormente se realizó la observación en un microscopio óptico (Zeiss® Jena, Alemania) para hacer la medición de la altura de las vellosidades (de la base hasta el ápice) y de la profundidad de las criptas (de la base hasta el fondo) (de Souza *et al.*, 2007).

Para el día 21 de vida, se realizó el destete de los lechones restantes de las camadas siguiendo el manejo que rutinariamente se hace en la Unidad de Producción Porcina-UAQ, los cuales se transfirieron a la sala de destete.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Datos productivos.

6.1.1 Consumo diario de alimento

En el Cuadro 5 se muestran los valores correspondientes al consumo promedio de alimento durante las dos semanas de evaluación. En la primera semana (días 7 a 14 de vida), no se identificaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($P>0.05$). Sin embargo, en la segunda semana (días 14 a 21 de vida), los lechones que consumieron la DB presentaron un consumo significativamente mayor ($P=0.019$) en comparación con aquellos que recibieron la dieta suplementada con CPP y *S. boulardii* (CPP-Sb).

Cuadro 5. Consumo promedio aparente diario de alimento por lechón (g/día).

Periodo	Dietas		P	EEM
	DB	CPP-Sb		
7 - 14 días	3.6	3.4	0.643	0.231
14 - 21 días	9.0 ^a	7.3 ^b	0.019	0.357

^{ab}Letras diferentes en la misma fila representan diferencias significativas entre los valores ($P<0.05$). P: probabilidad. EEM: Error estándar de la media.

La diferencia en el consumo de alimento observada durante la segunda semana sugiere un posible efecto adverso de la inclusión del CPP sobre la palatabilidad de la dieta. Diversos estudios han indicado que algunas fuentes de proteína vegetal, incluido el CPP, pueden presentar características organolépticas menos atractivas para los lechones, debido a compuestos amargos o sabores residuales como: glicoalcaloides (solanina), fenoles oxidados y péptidos amargos

(Lallès *et al.*, 2009; Liu *et al.*, 2017). Esta menor palatabilidad podría haber limitado la aceptación del alimento por parte de los lechones, especialmente considerando que durante esta etapa aún están en proceso de adaptación a la ingesta de alimento sólido.

Adicionalmente, es importante considerar que la dosis de CPP empleada en este estudio fue deducida de investigaciones realizadas en lechones destetados, cuya madurez fisiológica digestiva difiere de la de los lechones lactantes (Hijuitl, 2021). Estudios previos han demostrado que los lechones aún lactantes presentan una capacidad digestiva limitada para ciertos ingredientes proteicos de origen vegetal, lo que podría generar rechazo o menor consumo si no se ajusta adecuadamente la inclusión (Pluske *et al.*, 1997; Heo *et al.*, 2013b). Por lo tanto, la dosis de CPP utilizada en este estudio podría haber sido elevada para esta etapa fisiológica, lo que, sumado a su posible impacto en la palatabilidad, explicaría el menor consumo observado.

En contraste, *S. boulardii* no ha mostrado efectos negativos sobre el consumo en diversos estudios, e incluso se ha asociado con una mejora en la aceptación de la dieta cuando se incluye en niveles adecuados (Trevisi *et al.*, 2008). Por tanto, es probable que el efecto observado se atribuya principalmente al CPP y no al probiótico.

6.1.2 Pesos semanales de los lechones

En el Cuadro 6 se muestran los resultados de los pesos semanales. Al nacimiento los pesos promedios fueron similares entre los dos grupos experimentales. No obstante, al día 7 de vida se observó una diferencia ($P = 0.015$), donde los lechones del grupo asignado a la dieta base (DB) fueron significativamente más pesados que aquellos del grupo CPP-Sb. Sin embargo, en el día 14, tras una semana de consumo de alimento sólido, los lechones del grupo CPP-Sb mostraron una tendencia ($P = 0.079$) hacia un mayor peso en comparación

con los del grupo DB. Finalmente, al día 21 de vida, los lechones que consumieron la dieta CPP-Sb presentaron pesos ligeramente superiores respecto al grupo DB.

Cuadro 6. Pesos semanales de los lechones.

Peso (Kg)	Dietas		P	EEM
	DB	CPP-Sb		
Peso d0	1.455	1.388	0.252	0.0284
Peso d7	2.600 ^a	2.328 ^b	0.015	0.0537
Peso d14	3.921 ^B	4.123 ^A	0.079	0.0512
Peso d21	6.006	6.180	0.238	0.0647

^{ab}Letras diferentes en la misma fila representan diferencias significativas entre los valores ($P < 0.05$). ^{AB}Letras diferentes en la misma fila representan una tendencia a ser diferentes, mas no significativas. P: probabilidad. EEM: Error estándar de la media.

Diversos estudios han documentado que el inicio de la ingestión de alimentos sólidos en lechones es crucial para su crecimiento, ya que les proporciona la energía y los nutrientes necesarios para su desarrollo (Zijlstra *et al.*, 2003). A pesar de que no se evidenció un efecto significativo de los alimentos funcionales en el crecimiento de los lechones en este experimento, el incremento progresivo de peso podría estar relacionado con la transición exitosa del consumo de leche materna a alimentos sólidos, lo cual es un proceso fundamental en esta etapa. Este efecto se ha reportado en estudios anteriores, donde el consumo de alimentos sólidos aumenta gradualmente conforme los lechones se adaptan a esta nueva etapa alimenticia (Moeser *et al.*, 2012).

Además, investigaciones previas han demostrado que el tipo de alimento ofrecido a los lechones en su etapa temprana de vida influye en la ingesta de alimento y en el crecimiento. Por ejemplo, estudios anteriores han reportado que el consumo de alimentos sólidos mejora significativamente cuando los lechones reciben dietas adaptadas a sus necesidades digestivas y nutricionales (Lallès *et al.*, 2004). En el presente estudio, aunque los lechones que consumieron alimentos funcionales mostraron un incremento en su peso corporal, es posible que otros

factores, como la adaptación digestiva a los alimentos, hayan jugado un papel más relevante que la acción de los alimentos funcionales en sí.

En cuanto al crecimiento, algunos estudios han reportado que la transición de la dieta líquida a la sólida no siempre resulta en una ganancia diaria de peso significativa, especialmente si la dieta no es completamente adecuada o si el sistema digestivo del lechón no se adapta bien a los cambios en la composición de los alimentos (Hansen *et al.*, 2015). Por lo tanto, aunque la inclusión de alimentos funcionales podría tener beneficios a largo plazo, su impacto en el crecimiento en este corto período no fue tan evidente.

6.1.3 Ganancia diaria de peso.

Los resultados del presente estudio (Cuadro 7) mostraron diferencias significativas en las ganancias diarias de peso (GDP) entre el nacimiento y el día 7 de vida ($P = 0.025$). Entre los periodos 7 - 14 días de vida y 14 - 21 de vida, se observó que los animales continuaron incrementando sus GDP, sin que existiera una diferencia significativa entre los dos grupos experimentales (Cuadro 7).

Cuadro 7. Ganancias diarias de peso.

Periodo (Kg/día)	Dietas		<i>P</i>	EEM
	DB	CPP-Sb		
Semana 1	0.164 ^a	0.134 ^b	0.025	0.0602
Semana 2	0.196	0.219	0.165	0.0076
Semana 3	0.274	0.284	0.502	0.0071

^{ab}Letras diferentes en la misma fila representan diferencias significativas entre los valores ($P < 0.05$). *P*: probabilidad. EEM: Error estándar de la media.

La diferencia en la GDP entre los dos grupos de animales del día 0 al 7 de vida se atribuye al efecto materno, ya que no consumieron alimento sólido en este periodo. Este hallazgo puede explicarse por la diferencia de la capacidad materna de la cerda de origen en cada grupo experimental. El calostro y la leche de la cerda contienen altos niveles de grasa y proteínas, además de factores bioactivos esenciales para el crecimiento y la inmunidad del neonato (Devillers *et al.*, 2011,

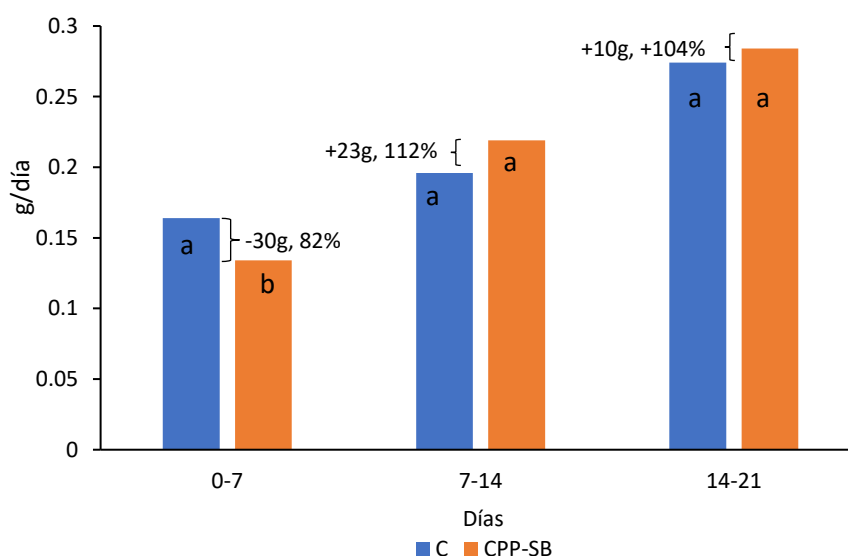
Theil *et al.*, 2012). La diferencia en la producción de calostro/leche y por ende el aporte de nutrientes a los lechones está influenciado por factores individuales de las hembras y la capacidad de los lechones para estimular la bajada de la leche (Farmer, 2013).

Debido a la ausencia de diferencias estadísticas entre los grupos alimentados con los alimentos experimentales en los siguientes días (Cuadro 7), la discusión de los resultados tomó como base el incremento de la GDP promedio de los dos grupos experimentales. Entre los días 7 y 14, el incremento en relación con la semana anterior fue de 59 g/día, pero entre los días 14 y 21 el aumento de la GDP fue mayor (71.5 g/ día), coincidiendo con el pico de producción láctea en las cerdas. Se ha reportado que la producción de leche en cerdas generalmente alcanza su punto máximo entre los días 14 y 18 de lactancia y luego comienza a declinar (Theil *et al.*, 2006). Este patrón sugiere que, durante ese intervalo, los lechones aprovecharon tanto el aumento en la disponibilidad de leche, como un mayor consumo de alimento sólido, lo que contribuyó a un incremento significativo en la ganancia de peso.

A pesar de que los valores de la GDP del día 7 al 14 y del 14 al 21 no difirieron entre los animales alimentados con las dos dietas, el comportamiento entre los dos grupos tuvo ciertas variaciones. Los animales del grupo CPP-Sb en la primera semana (0 - 7 días de vida) tuvieron una menor GDP que los animales del grupo DB, con una diferencia de 30g (Figura 6), que correspondió al 82% de la GDP de los animales que consumieron la DB. Para la semana 2 (7 - 14 días de vida), cuando empezaron a consumir alimentos sólidos, se observó una mejora en animales que consumieron la dieta CPP-Sb, inclusive superando a los animales que consumieron la dieta base, con una diferencia de 23 gramos más, representando el 112%. Finalmente, en la última semana (14-21 días de vida), los animales que consumieron CPP-Sb siguieron la tendencia a tener una mejor GDP que los animales que consumieron DB, con una diferencia de 10g correspondiente al 104% respecto al grupo DB (Figura 6).

Este efecto puede atribuirse al papel de *S. boulardii* como probiótico, que ha demostrado mejorar la salud intestinal, modular la microbiota y reducir la inflamación

intestinal, lo que puede favorecer la mejor absorción de nutrientes (Bontempo *et al.*, 2006; Trevisi *et al.*, 2008). Asimismo, el CPP es una fuente de proteínas funcionales con propiedades antiinflamatorias y digestibilidad elevada, lo que también puede haber contribuido a mejorar la conversión del alimento a peso vivo de los lechones (Canibe *et al.*, 2014).



^{ab}Letras diferentes en el mismo periodo representan diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.05$).

Figura 6. Diferencias porcentuales de GDP entre grupos experimentales.

6.2 pH de contenidos intestinales.

En la presente investigación, no se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) en los valores de pH del contenido del estómago (Cuadro 8), del yeyuno, del ciego y del colon entre los lechones que consumieron alimentos funcionales y aquellos que no. Estos resultados muestran que la inclusión de *S. boulardii* y CPP en la dieta sólida durante la lactancia no alteró significativamente el pH del tracto gastrointestinal en las condiciones evaluadas.

Cuadro 8. Efecto de inclusión de CPP-Sb sobre el pH de los contenidos de órganos digestivos.

Contenido	Dietas		Día			P			EEM
	DB	CPP-Sb	7	14	21	Dieta	Día	DxD*	
Estómago	3.6	3.3	3.4	3.4	3.6	0.22	0.51	0.99	0.1004
Yeyuno	6.2	6.2	6.2	6.2	6.3	0.74	0.83	0.24	0.0419
Ciego	6.1	6.3	6.4	6.3	6.4	0.24	0.94	0.48	0.0507
Colon	6.2	6.5	6.1	6.2	6.3	0.35	0.43	0.40	0.0531

P: probabilidad. *Interacción entre Dieta y Día. EEM: Error estándar de la media.

Investigaciones previas han reportado efectos distintos, Choudhury *et al.* (2021a) observaron que los lechones que recibieron alimentación durante la lactancia presentaron una disminución significativa del pH en el ciego y el colon al momento del destete. Este descenso del pH se asoció con un aumento en la concentración de ácidos grasos de cadena corta (AGCC), como ácido acético, butírico y propiónico, indicando una fermentación microbiana más activa en el intestino distal. La reducción del pH en estas regiones puede favorecer un ambiente intestinal más saludable, inhibiendo el crecimiento de bacterias patógenas y promoviendo la salud intestinal.

Por otro lado, Lindemann *et al.* (1986) tampoco observaron cambios significativos en el pH gástrico debido a la dieta. Esto sugiere que, en ciertas condiciones, la dieta puede no tener un impacto directo en el pH del tracto gastrointestinal, especialmente cuando los lechones aún están en la etapa de lactancia.

Estos hallazgos indican que, si bien la inclusión de alimentos funcionales no alteró significativamente el pH gastrointestinal en este estudio, otros factores, como la edad y la composición general de la dieta, pueden desempeñar roles más determinantes en la modulación del pH de las digestas del TGI de los lechones.

6.3 Morfometría intestinal.

6.3.1 Medición longitudinal de intestino delgado e intestino grueso.

En el presente estudio, no se encontraron diferencias significativas en la longitud del intestino delgado ni del intestino grueso (Cuadro 9) entre los lechones que consumieron alimentos funcionales y los que no. Sin embargo, se observó un efecto del tiempo, donde ambos órganos incrementaron su longitud a medida que avanzaba la edad de los lechones, independientemente de la dieta que consumieron (Figura 7).

Cuadro 9. Efecto de la inclusión de CPP-Sb sobre la longitud de ID e IG.

Medida (cm)	Dietas		Día			P		EEM	
	DB	CPP-Sb	7	14	21	Dieta	Día	D×D***	
ID*	632	659	444 ^c	672 ^b	820 ^a	0.30	<0.0001	0.86	12.28
IG**	113	119	79 ^c	124 ^b	145 ^a	0.32	<0.0001	0.32	2.99

^{abc}En la misma fila representa diferencia significativa entre los valores ($P<0.05$). *ID: Intestino Delgado. **IG: Intestino Grueso. P: probabilidad. ***Interacción entre Dieta y Día. EEM: Error estándar de la media.

Este comportamiento de crecimiento intestinal asociado a la edad ha sido bien documentado en la literatura. Según Pluske *et al.* (1997), el intestino delgado de los lechones sufre un crecimiento acelerado desde el nacimiento hasta el destete, con un desarrollo que incluso supera al del peso corporal total durante los primeros días de vida. Este crecimiento responde a una adaptación fisiológica que permite al lechón maximizar la digestión y absorción de nutrientes, especialmente durante la transición entre la alimentación láctea y la sólida.

En este mismo sentido, Choudhury *et al.* (2021a) reportaron que la introducción temprana de alimento sólido durante la lactancia promovió un mayor desarrollo del tracto gastrointestinal, incluyendo una mayor longitud en segmentos como el intestino delgado y el colon. En su estudio Choudhury *et al.* (2021a) comentan que los lechones expuestos a dieta sólida desde los primeros días de vida presentaron intestinos más largos al destete comparados con los que solo consumieron leche, lo cual fue interpretado como una respuesta adaptativa al

estímulo trófico del alimento sólido y su impacto sobre la proliferación y diferenciación celular del epitelio intestinal.

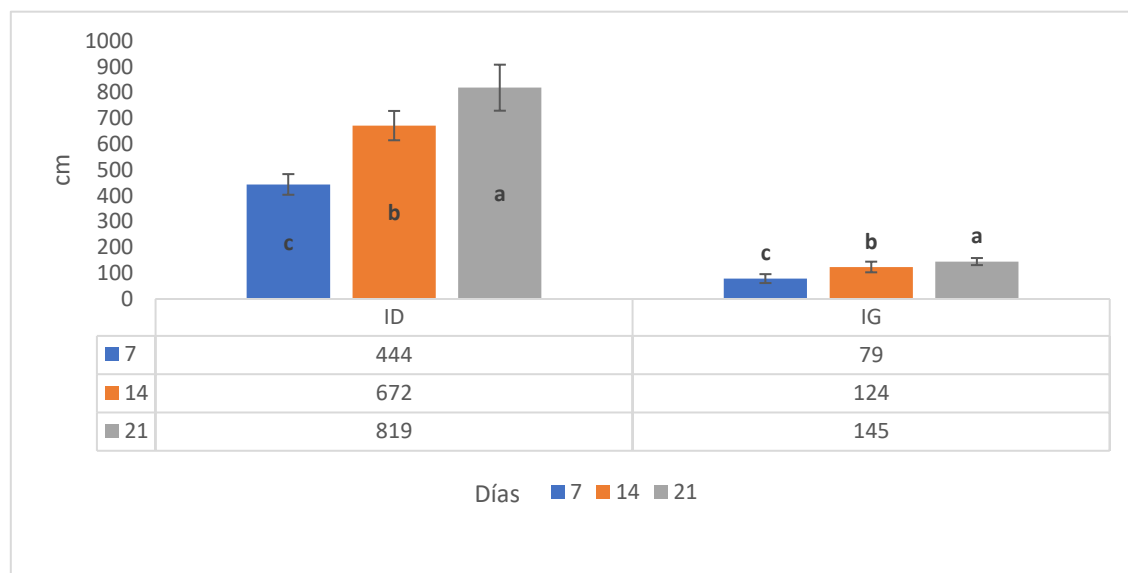


Figura 7. Comparación de longitudes de intestino delgado (ID) e intestino grueso (IG).

^{abc} Letras diferentes en el mismo grupo representa diferencias significativas entre los valores ($P < 0.05$).

De forma similar, Zijlstra *et al.* (1996) y Heo *et al.* (2013a) han señalado que, aunque la dieta puede modular ciertos aspectos de la morfología intestinal, el crecimiento estructural del intestino en longitud está fuertemente influenciado por la edad y la maduración fisiológica del lechón. El efecto de la edad y del tiempo se manifiesta como una elongación progresiva del intestino, en paralelo al aumento del consumo de alimento y al desarrollo funcional del sistema digestivo, corroborando los hallazgos del presente trabajo.

6.3.2 Pesos absolutos y relativos de órganos.

En el presente estudio no se observaron diferencias significativas en los pesos absolutos de órganos digestivos (páncreas, hígado, estómago, intestino delgado e intestino grueso) (Cuadro 10) entre los lechones que consumieron

alimentos funcionales (*S. boulardii* y CPP) y los que no. Este hallazgo coincide con investigaciones previas que han evaluado el impacto de dietas funcionales en lechones lactantes. Por ejemplo, un estudio realizado por Choudhury *et al.* (2021a) evaluó el efecto de la alimentación temprana con una dieta mixta de fibra en lechones lactantes, sin presentar efectos en los pesos de órganos digestivos como el hígado, estómago o intestinos. Asimismo, una investigación de Lindemann *et al.* (1986) no reportaron diferencias significativas en los pesos de órganos digestivos atribuibles a la dieta.

Cuadro 10. Efecto de la inclusión de CPP-Sb sobre el peso absoluto de órganos digestivos.

Peso Absoluto (g)	Dieta		Día			P			EEM
	DB	CPP-Sb	7	14	21	Dieta	Día	DxD***	
Páncreas	5.2	5.7	3.3 ^c	5.0 ^b	8.0 ^a	0.21	<0.0001	0.94	0.18
Hígado	115	113	65.5 ^c	113.2 ^b	162.9 ^a	0.81	<0.0001	0.44	3.32
Estómago	22	21	11.2 ^c	21.1 ^b	32.3 ^a	0.50	<0.0001	0.25	0.45
ID*	123	128	61.1 ^c	118.4 ^b	196.3 ^a	0.44	<0.0001	0.63	3.35
IG**	36	36	14.5 ^c	35.4 ^b	57.7 ^a	0.91	<0.0001	0.37	1.32

^{abc}En la misma fila representan diferencias significativas entre los valores ($P < 0.05$). *ID: Intestino delgado.

IG: Intestino grueso. *Interacción entre Dieta y Día. P: probabilidad. EEM: Error estándar de la media.

Los pesos relativos de los órganos digestivos entre los grupos CPP-Sb y DB (Cuadro 11) no variaron, sin embargo, se observó una tendencia ($P=0.069$) de un mayor peso relativo del páncreas en los lechones que consumieron alimentos funcionales (*S. boulardii* y CPP).

Esta observación sugiere una posible estimulación del desarrollo pancreático exocrino, lo cual podría tener implicaciones positivas en la capacidad digestiva de los lechones ya que el páncreas es responsable de la secreción de enzimas digestivas como amilasa, lipasa y proteasas, esenciales para la digestión eficiente de nutrientes. El incremento en el peso relativo de este órgano podría asociarse con una mayor actividad secretora, mejorando así la digestibilidad de los nutrientes. Esta hipótesis está respaldada por algunos estudios (Choundhury *et al.*, 2021; Reis de

Souza *et al.*, 2025) que han demostrado cómo ciertos alimentos funcionales pueden modular la actividad pancreática.

Cuadro 11. Efecto de la inclusión de CPP-Sb sobre el peso relativo de órganos digestivos.

Peso Relativo (g/kg PV)	Dieta		Día			P			EEM
	DB	CPP-Sb	7	14	21	Dieta	Día	DxD***	
Estómago	5.3	5.3	5.4	5.3	5.3	0.99	0.87	0.49	0.15
Páncreas	1.3 ^B	1.5 ^A	1.6 ^a	1.3 ^b	1.3 ^b	0.07	0.033	0.51	0.04
Hígado	29.1	28.7	31.8 ^a	28.4 ^{ab}	26.5 ^b	0.79	0.028	0.44	0.77
ID*	30	31	29.3	28.9	31.9	0.65	0.46	0.74	0.89
IG**	8.2	8.6	7.07 ^b	8.79 ^a	9.36 ^a	0.39	0.0028	0.37	0.25

^{ab}Dentro de la misma fila representan diferencias significativas entre los valores ($P < 0.05$). ^{AB}Dentro de la misma fila, representa medias con tendencia a ser diferente. *ID: Intestino Delgado. **IG: Intestino Grueso
***DxD: Interacción entre Dieta y Día. P: probabilidad. EEM: Error estándar de la media.

La tendencia a un mayor desarrollo del páncreas podría estar relacionada con el incremento de estímulos debido a la presencia de nutrientes en el lumen intestinal desde etapas tempranas de la vida.

Además, investigaciones sobre el desarrollo digestivo en lechones lactantes indican que el páncreas se adapta al tipo y cantidad de alimento consumido. Por ejemplo, un perfil enzimático pancreático con mayor capacidad de digestión ha sido reportado en lechones con consumo de alimentos sólidos: la actividad de amilasa pancreática aumentó, mientras que la lipasa y diversas proteasas (tripsina/quimotripsina) disminuyen durante el destete pero se recuperan e incluso superan los niveles anteriores, reflejando una posible adaptación funcional del páncreas (Gao *et al.*, 2022), lo cual puede estar relacionado con el crecimiento del páncreas y con una mejora en la funcionalidad digestiva, aún sin cambios morfológicos evidentes en otros órganos. Por ejemplo, un estudio realizado en lechones canulados por Pierzynowski *et al.* (1990) demostraron que hubo una mayor secreción pancreática en paralelo con la maduración del páncreas exocrino, lo que sugiere que esta mayor actividad está ligada al crecimiento del tejido pancreático, reflejándose en un aumento de la masa pancreática.

Estos hallazgos refuerzan la idea de que, aunque los alimentos funcionales no siempre inducen cambios significativos en la morfología de los órganos digestivos, sí pueden promover mejoras fisiológicas importantes, particularmente en órganos como el páncreas que tienen una alta plasticidad funcional en respuesta a la dieta (Saviano *et al.*, 2023).

Por otra parte, los cambios observados tanto en el peso absoluto como en el peso relativo por el efecto día coinciden con lo reportado por Elefson *et al.* (2021) en donde tanto ID como IG aumentaron su tamaño y el peso relativo del páncreas y del estómago aumentó conforme iba pasando el tiempo (nacimiento al tercer día postparto). De igual forma Luo *et al.* (2022) reafirman que la inclusión de alimentos en las primeras etapas de vida mejoran el crecimiento de los lechones.

6.3.3 Altura de vellosidades y profundidad de las criptas intestinales.

Los resultados del análisis de la arquitectura de las vellosidades y criptas se muestran en el Cuadro 12.

En el duodeno no se detectaron efectos directos de la dieta y del día de vida sobre la altura de vellosidades (ALV) ($P < 0.05$) sin embargo, hubo una interacción entre la dieta y el día ($P = 0.0106$). Para el grupo que consumió la dieta DB se observa una reducción de la ALV en el día 21 en comparación del día 7, mientras que los animales del grupo CPP-Sb tuvieron un comportamiento a la inversa, es decir el tamaño de las vellosidades aumentó entre el día 7 y el día 21 de vida (Figura 8).

Además, en animales que consumieron la dieta CPP-Sb se observó un mayor desarrollo en el ancho de las vellosidades ($P = 0.0032$) entre el día 7 y 21 de vida, y la profundidad de las criptas fue mayor en el día 21 de vida en comparación con el día 7 ($P = 0.0068$), esto podría estar relacionado con una fase activa de desarrollo intestinal.

En el yeyuno, aunque no se observaron efectos significativos por la dieta ni por la interacción de dieta y día ($P < 0.05$), se observó un efecto día ($P = 0.0291$) en donde la profundidad de las criptas creció conforme avanzaba el tiempo.

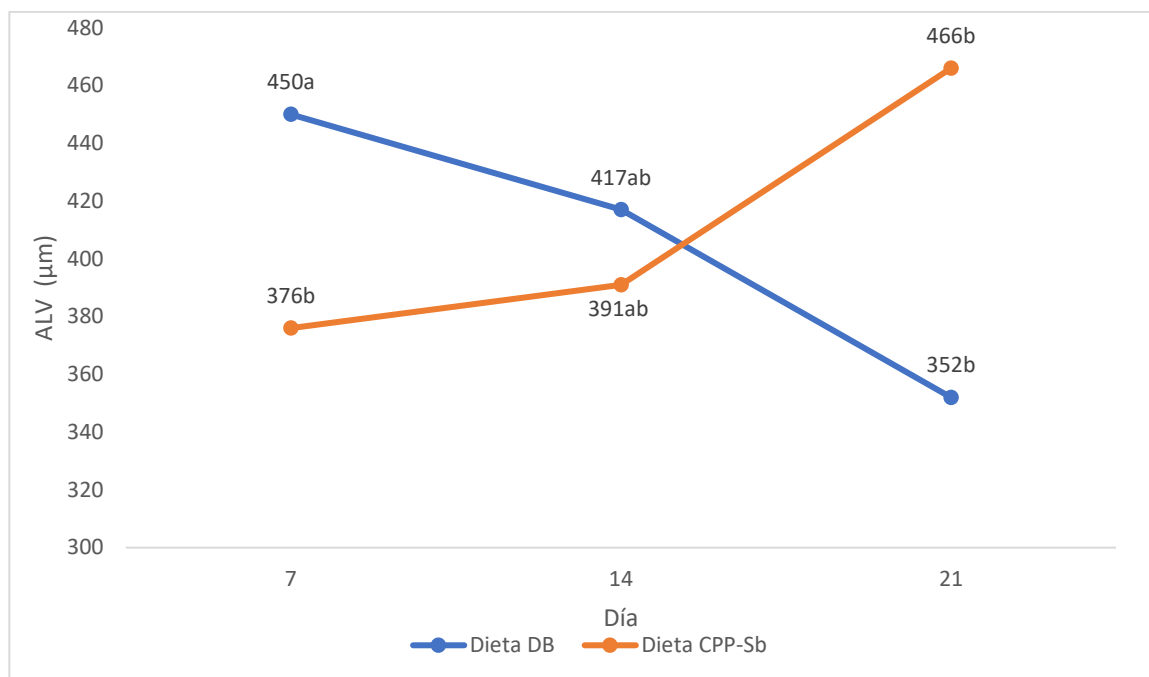


Figura 8. Interacción Dieta×Día en la altura de vellosidades del duodeno.

^{ab} Letras diferentes dentro del mismo grupo representan diferencias significativas entre los valores ($P < 0.05$).

En el íleon, se observó un efecto significativo de la dieta CPP-Sb sobre la altura de vellosidades ($P = 0.0329$), con valores mayores en comparación con los lechones del grupo DB. Además, la altura de la vellosidad también tuvo un efecto del día ($P = 0.032$), indicando un crecimiento progresivo del epitelio entre el día 7 y el final del experimento (día 21).

Para el ancho de las vellosidades de íleon, la interacción Dieta×Día fue significativa ($P = 0.0419$), siendo el grupo que consumió la dieta base mostró una disminución en la anchura de la vellosidad al término del experimento (día 21), mientras que el grupo que consumió alimentos funcionales reportó un crecimiento ascendente desde el día 7 y hasta el 21 de vida, lo que muestra que la dieta moduló de manera diferente la estructura intestinal a lo largo del tiempo (Figura 9).

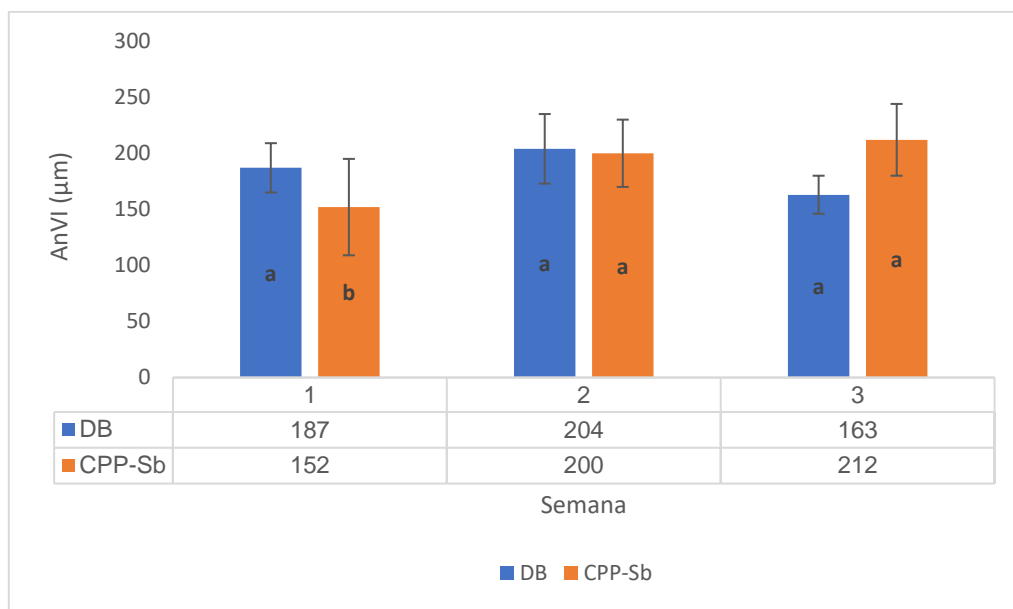


Figura 9. Ancho de vellosidades de íleon, interacción Dieta×Día.

^{ab}Letras diferentes dentro del mismo periodo representa diferencias significativas entre los valores ($P < 0.05$).

Se observó un incremento ($P = 0.0001$) en la profundidad de las criptas de íleon del grupo CPP-Sb entre el día 7 y 21, lo que probablemente implique en una intensa replicación celular en la zona criptal por lo tanto induce a un recambio acelerado de enterocitos como lo observaron Reznikov *et al.* (2014).

En el colon se observó un efecto del día sobre la profundidad de las criptas ($P = 0.0114$), con valores más altos en el día 21 en comparación del día 7, lo cual podría reflejar una mayor capacidad de absorción de agua, vitaminas, minerales y de ácidos grasos de cadena corta, sobre todo acetato, propionato y butirato, los cuales promueven la proliferación celular y maduración de la mucosa (Zhou *et al.*, 2019).

Los cambios en la morfología intestinal son considerados un reflejo directo de la salud y funcionalidad del epitelio, ya que una mayor altura de vellosidades se asocia con una mayor capacidad de absorción, mientras que una profundidad excesiva de las criptas puede indicar hiperplasia compensatoria o inflamación (Pluske *et al.*, 2018). En este contexto, los resultados del presente estudio coinciden con los de Choudhury *et al.* (2021b), quienes al evaluar la inclusión de *S. cerevisiae*

var. boulardii y extractos de plantas en lechones lactantes también observaron un incremento en la altura de las vellosidades y una tendencia a la mejora en la relación vellosidad:cripta, particularmente en íleon y yeyuno. Estos autores atribuyen los efectos benéficos a la modulación de la microbiota intestinal y a la reducción de procesos inflamatorios locales.

Cuadro 12. Altura de vellosidades y profundidad de criptas intestinales.

Variable (μm)	Dieta		Día			P			EEM
	DB	CPP-Sb	7	14	21	Dieta	Día	DxD	
Duodeno									
ALV	406	411	412	404	409	NS	NS	0.0106	12.05
ANV	123	131	107 ^b	135 ^a	139 ^a	NS	0.0032	NS	3.71
PC	164	171	141 ^b	172 ^{ab}	189 ^a	NS	0.0068	NS	5.73
Yeyuno									
ALV	537	585	361	581	542	NS	NS	NS	23.75
ANV	124	110	112	119	120	NS	NS	NS	4.93
PC	122	122	105 ^b	123 ^{ab}	139 ^a	NS	0.0291	NS	4.49
Íleon									
ALV	326 ^b	379 ^a	290 ^b	386 ^a	382 ^a	0.0329	0.032	NS	11.64
ANV	185	188	170	202	188	NS	NS	0.0419	6.43
PC	147	150	120 ^b	158 ^a	167 ^a	NS	0.0001	NS	4.01
Colon									
PC	252	239	212 ^b	241 ^{ab}	284 ^a	NS	0.0114	NS	9.05

^{ab}Letras diferentes en la misma fila representan diferencias significativas entre los valores ($P < 0.05$).

*Interacción entre Dieta y Día. P: probabilidad. EEM: Error estándar de la media.

Los cambios en la morfología intestinal son considerados un reflejo directo de la salud y funcionalidad del epitelio, ya que una mayor altura de vellosidades se asocia con una mayor capacidad de absorción, mientras que una profundidad excesiva de las criptas puede indicar hiperplasia compensatoria o inflamación (Pluske *et al.*, 2018). En este contexto, los resultados del presente estudio coinciden con los de Choudhury *et al.* (2021b), quienes al evaluar la inclusión de *S. cerevisiae var. boulardii* y extractos de plantas en lechones lactantes también observaron un incremento en la altura de las vellosidades y una tendencia a la mejora en la relación vellosidad:cripta, particularmente en íleon y yeyuno. Estos autores atribuyen los

efectos benéficos a la modulación de la microbiota intestinal y a la reducción de procesos inflamatorios locales.

De manera similar, Yan *et al.* (2021) reportaron que la suplementación con *S. boulardii* en lechones lactantes mejoró la estructura de la mucosa intestinal al incrementar la altura de las vellosidades y reducir la profundidad de las criptas, lo cual se tradujo en un mejor aprovechamiento de nutrientes y una mayor ganancia de peso. Esto coincide con el planteamiento de Wang *et al.* (2022), quienes observaron que dietas enriquecidas con proteínas funcionales vegetales, como el concentrado de proteína de papa, favorecieron el desarrollo intestinal mediante una mayor integridad epitelial y un perfil inmunológico más balanceado.

El efecto del día de vida y la interacción DietaxDía observada en el presente estudio refuerza la idea de que la modulación intestinal no es inmediata, sino que depende del tiempo de exposición y del grado de maduración fisiológica del lechón. Estudios como el de Tran *et al.* (2019) indican que los efectos de los prebióticos y probióticos en la morfología intestinal tienden a ser más evidentes hacia el final del periodo de lactancia, momento en el que la mucosa se encuentra más desarrollada y receptiva a estímulos funcionales.

Estos hallazgos respaldan que la inclusión de *S. boulardii* y proteínas funcionales en dietas preiniciadoras desde etapas tempranas pueden favorecer el desarrollo de la mucosa intestinal, particularmente en segmentos distales como el íleon, con beneficios potenciales en la salud digestiva y la transición al destete (Reis de Souza, 2025). Estos resultados, en conjunto, sugieren que la maduración intestinal es un proceso dinámico y que la inclusión de CPP-Sb pudo modular favorablemente la arquitectura intestinal en regiones clave para la digestión y absorción de nutrientes.

6.4 Niveles de cortisol en sangre.

En el presente estudio, la concentración de cortisol en sangre no mostró diferencias significativas por efecto de la dieta ni por la interacción entre DietaxDía

($P>0.05$). Sin embargo, se observó un aumento ($P=0.0001$) en la concentración de cortisol entre el día 14 y el día 21 de vida (Cuadro 13), lo que sugiere que el aumento en los niveles de cortisol podría estar relacionado con el desarrollo fisiológico del lechón y no directamente con el tipo de alimentación recibida.

Cuadro 13. Concentración de cortisol en plasma.

Dieta (ng)		Día				P			EEM
DB	CPP-Sb	0	7	14	21	Dieta	Día	DxD*	
21.0	20.8	17.1 ^c	21.4 ^{ab}	20.4 ^b	25.2 ^a	NS	< 0.0001	NS	0.5042

^{abc}Letras diferentes en la misma fila representan diferencias significativas entre los valores ($P<0.05$).

*Interacción entre el Día y la Dieta. P: probabilidad. EEM: Error estándar de la media. NS: No significativo.

Resultados similares han sido reportados por Perri *et al.* (2016), quienes al suplementar dietas preiniciadoras con *Lactobacillus plantarum* en lechones lactantes tampoco encontraron variaciones significativas en cortisol entre tratamientos, aunque sí observaron cambios relacionados con la edad. De igual forma, Yan *et al.* (2021) tampoco reportaron diferencias en la concentración de cortisol plasmático en lechones que consumieron *S. boulardii* antes del destete, lo cual sugiere que este probiótico podría no alterar el nivel de cortisol.

El incremento observado hacia el día 21 coincide con lo reportado por otros autores que destacan un aumento progresivo de cortisol conforme se aproxima el destete. Cho *et al.* (2022), describen un patrón de incremento en cortisol plasmático entre los días 14 y 21, incluso en ausencia de cambios dietéticos, lo que atribuyen al proceso natural de maduración endocrina y a una mayor actividad social en los lechones. En el mismo sentido, Le Dividich y Seve (2000) argumentan que el aumento de cortisol hacia el final de la lactancia puede representar una preparación fisiológica ante el estrés que implica el destete.

Aunque los alimentos funcionales evaluados en esta investigación no modificaron los niveles de cortisol, podrían estar ejerciendo efectos benéficos a otros niveles, particularmente en el sistema digestivo e inmune. Bajagai *et al.* (2020) y Wang *et al.* (2022) han documentado que tanto *S. boulardii* como las proteínas

funcionales vegetales pueden favorecer la integridad intestinal, modular la microbiota y mejorar parámetros inmunológicos, contribuyendo así a una mejor adaptación postdestete, sin afectar directamente los niveles hormonales relacionados con el estrés.

6.5 Evaluación de diarreas.

Durante los 21 días de lactancia, únicamente en el día 11 de experimento, se observó una jaula del grupo tratado con alimentos funcionales, que presentó heces clasificadas como 1 en la escala de Ball y Aherne (1987).

La diarrea en lechones lactantes puede deberse tanto a causas infecciosas como no infecciosas. Entre los agentes infecciosos más importantes se encuentran *Escherichia coli* enterotoxigénica (ETEC), que produce toxinas que inducen la pérdida de líquidos (Fairbrother *et al.*, 2005), *Clostridium perfringens* tipo C, que causa necrosis intestinal (Songer & Uzal, 2005), rotavirus, que daña las vellosidades intestinales (Martella *et al.*, 2010), y *Isospora suis*, un coccidio que afecta a lechones a partir de la primera semana de vida (Driesen *et al.*, 1993). Además, factores como la higiene del ambiente, el manejo inadecuado, la temperatura ambiental y la calidad del calostro pueden aumentar el riesgo de diarrea (Madec & Bridoux, 2001; Rooke & Bland, 2002).

En el presente estudio, la prácticamente nula presencia de diarreas sugiere que el manejo sanitario, la buena calidad del alimento preiniciador y la correcta ingesta de calostro pudieron haber sido claves para prevenir esta afección.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Pluske *et al.* (1995), quienes señalan que una dieta adecuada en los primeros días de vida favorece el desarrollo del sistema digestivo y previene enfermedades intestinales. Así, la combinación de nutrición, manejo y ambiente controlado resulta esencial para mantener la salud intestinal en lechones lactantes.

VII. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en esta investigación permiten concluir que la inclusión del CPP y *S. boulardii* en dietas preiniciadoras ofrecidas durante la lactancia (del día 7 al 21 de vida) no generó efectos adversos sobre el desempeño productivo ni sobre parámetros fisiológicos de los lechones; al contrario, generó ciertas ventajas.

El menor consumo de alimento del día 14 al 21 de vida en el grupo tratado con alimentos funcionales, no se reflejó en un menor crecimiento, ya que los pesos finales y las ganancias diarias de peso, se mantuvieron similares e incluso ligeramente superiores respecto al grupo dieta base en este periodo.

Desde el punto de vista digestivo, la inclusión de los AF en la dieta preiniciadora no modificó la morfología macroscópica de los órganos digestivos, ni alteró el pH de los contenidos gastrointestinales. Sin embargo, estimuló el crecimiento de las vellosidades de duodeno e íleon lo que sugiere un mayor desarrollo intestinal y, por lo tanto, una mayor capacidad de absorción y digestión.

Así mismo, el incremento de los niveles plasmáticos de cortisol entre el día 0 y 21 de vida, probablemente obedece a un patrón fisiológico de maduración endocrina propia de los lechones influenciada por diferentes factores ambientales, más que a un efecto asociado a la dieta.

Finalmente, la complementación de la alimentación láctea con un alimento preiniciador, no fue un factor predisponente de los lechones a trastornos gastrointestinales como diarreas durante la lactancia.

VIII. IMPLICACIONES

Los resultados de este estudio muestran que el uso en conjunto de *S. boulardii* y concentrado de proteína de papa en dietas preiniciadoras durante la lactancia puede ser una alternativa nutricional que promueve el desarrollo digestivo de los lechones, sin afectar su estado de salud ni crecimiento. Los conocimientos científicos generados podrán ser utilizados por los nutriólogos y profesionistas que se dedican a la porcicultura para la elaboración de dietas rentables para la industria porcina.

Durante el desarrollo de la etapa experimental se observaron circunstancias que generaron áreas de oportunidades de mejora en los futuros experimentos que se desarrollarán en esta línea de investigación:

- Es recomendable probar dosis más bajas de CPP, así como la incorporación de saborizantes que faciliten la ingesta sin perder propiedades funcionales del CPP, debido a que en el grupo al que se le adicionó CPP resultó con un menor consumo de alimento en comparación del grupo DB, esto se cree que fue debido a las características poco organolépticas del concentrado de proteína de papa.
- Se propone ofrecer raciones en cantidades más reducidas a fin de minimizar pérdidas por desperdicio y estimular el consumo. Asimismo, sería conveniente la instalación de tapetes o bandejas recolectoras debajo de las jaulas de maternidad, justo en la zona donde se encuentra el plato de alimentación. Esto permitiría recuperar el alimento que pueda caer, el cual debe ser recolectado y pesado para considerarlo como parte del rechazo. Finalmente, se sugiere que este alimento recuperado sea secado antes de su pesaje, con el objetivo de eliminar la humedad que pudiera haber adquirido por saliva u orina.
- Se recomienda experimentar por separado los AF y probar esquemas de inclusión de una forma más gradual adaptado a la etapa fisiológica de los

animales, con el fin de identificar efectos más claros al utilizar los AF de manera conjunta.

- También se sugiere incluir un grupo que consuma únicamente leche materna, sin alimento sólido, para poder comparar más fácilmente los cambios que ocurren por efecto de la dieta frente a los propios del crecimiento natural.
- Por último, sería interesante dar seguimiento a los animales después del destete, con el fin de saber si los beneficios observados durante la lactancia se mantienen en el tiempo y contribuyen a una mejor adaptación al alimento sólido y a una buena salud intestinal.

IX. LITERATURA CITADA

- Agrodigital. (2023). Una empresa china produce más cerdos que toda España. Recuperado el 5 de mayo de 2024, de <https://agrodigital.info/2023/06/12/una-empresa-china-produce-mas-cerdos-que-toda-espana/>
- Alcázar, M. (2022). Importancia de los alimentos preiniciadores en lechones. *Nutrición Animal*, 58(2), 45–52.
- Aluwé, M., Janssens, G. P. J., & Ooghe, W. (2016). The effects of stress on the performance and welfare of pigs. *Animal Welfare*, 25(1), 105–115.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (2002). *Official methods of analysis* (17th ed.). AOAC International.
- Arnaud, E. A., Gardiner, G. E., Chombart, M., O'Doherty, J. V., Sweeney, T., & Lawlor, P. G. (2023). Effect of creep feeding solid starter diet, liquid milk and a liquid mixture of starter diet and milk to suckling pigs on their growth and medication usage. *Journal of Animal Science*, 101(3), Doi: 10.1093/jas/skad018.
- Bajagai, Y. S., Klieve, A. V., Dart, P. J., & Bryden, W. L. (2020). Probiotics in animal nutrition—Production, impact and regulation. *Animal Production Science*, 60(7), 1325–1336. Doi:10.1071/AN19603.
- Ball, R. O., & Aherne, F. X. (1987). Influence of dietary nutrient density, level of feed intake and weaning age on young pigs. II. Apparent nutrient digestibility and incidence and severity of diarrhea. *Canadian Journal of Animal Science*, 67(4), 1105–1115. Doi: 10.4141/cjas87-116.
- Bateman, J. V. (1970). *Nutrición animal: Manual de métodos analíticos* (pp. 269–280). Herrero Hnos., Sucesores, S.A.
- Bauer, E., Jakob, S., & Mosenthin, R. (2005). Principles of physiology of lipid digestion. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 18(2), 282–295. Doi:10.5713/ajas.2005.282.

- Bautista, M. S. E. (2020). Modulación de la respuesta inflamatoria intestinal a través de la inclusión de *Saccharomyces cerevisiae* y *Saccharomyces boulardii* en la dieta iniciadora de lechones [Tesis de doctorado, Universidad Autónoma de Querétaro]. Repositorio Institucional UAQ. <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/2gao163>.
- Bautista, M. S. E. (2015). El uso de probióticos en la dieta de lechones recién destetados y su efecto sobre las diarreas posdestete y la salud intestinal [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Querétaro]. Repositorio Institucional UAQ. <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/10934>.
- Berg, R., Bernasconi, P., Fowler, D., & Gautreaux, M. (1993). Inhibition of *Candida albicans* translocation from the gastrointestinal tract of mice by oral administration of *Saccharomyces boulardii*. *Journal of Infectious Diseases*, 168(5), 1314–1318. Doi:10.1093/infdis/168.5.1314.
- Bontempo, V., Di Giancamillo, A., Savoini, G., Dell'Orto, V., & Domeneghini, C. (2006). Live yeast supplementation during weaning in piglets: Effects on performance, intestinal morphology, and microbiology. *Archiv für Tierernährung*, 60(5), 347–362. Doi:10.1080/17450390600880030.
- Briz, R. C. (2006). Retirada de los antibióticos promotores de crecimiento en la Unión Europea: causas y consecuencias [Ponencia en el XII Congreso Biental de la Asociación Mexicana de Especialistas en Nutrición Avícola (AMENA), Facultad de Veterinaria, Universidad de Zaragoza]. Asociación Española de Ciencia Avícola – WPSA.
- Bruininx, E. M. A. M., Heetkamp, M. J. W., Van den Bogaart, D., Van der Peet-Schwering, C. M. C., Beynen, A. C., Everts, H., & Schrama, J. W. (2002). A prolonged photoperiod improves feed intake and energy metabolism of weanling pigs. *Journal of Animal Science*, 80(7), 1736–1745. Doi:10.2527/2002.8071736x.
- Campabadal, C. (2009). Guía técnica para alimentación de cerdos (p. 46). Asociación Americana de Soya–IM.

- Canibe, N., Poulsen, H. D., Nørgaard, J. V., & Jensen, B. B. (2014). Effect of potato protein concentrate and spray-dried plasma protein in diets for weaning pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 192, 117–125. Doi: 10.1016/j.anifeedsci.2014.03.003.
- Carey, M. C., Small, D. M., & Bliss, C. M. (1983). Lipid digestion and absorption. *Annual Review of Physiology*, 45, 651–677. Doi:10.1146/annurev.ph.45.030183.003251.
- Castañeda, M. J., García, R. P., & Hernández, R. F. (2019). Rendimiento reproductivo en cerdas de diferentes sistemas de producción en México. *Revista Mexicana de Ciencia Animal*, 10(4), 45–53.
- Castañon, E., Baltazar, J., & Olvera, E. (2024). Elementos clave en la alimentación postdestete: Implicaciones para un arranque exitoso parte 1. Grupo Nutec Formulamos la Excelencia. Recuperado el 24 de agosto de 2024, de <https://www.gponutec.com/elementos-clave-en-la-alimentacion-postdestete-implicaciones-para-un-arranque-exitoso/>.
- Chaucheyras-Durand, F., & Durand, H. (2010). Probiotics in animal nutrition and health. *Animal Feed Science and Technology*, 166–167, 405–410. Doi: 10.1016/j.anifeedsci.2011.04.003.
- Cho, J. H., Kim, I. H., & Park, J. H. (2022). Age-dependent variations in blood cortisol, behavior, and gut microbiota of piglets during lactation. *Livestock Science*, 258, 104876. Doi: 10.1016/j.livsci.2022.104876.
- Choudhury, R., Mahajan, R., Dutta, R., Negi, S., Banerjee, P., Mande, S. S., & Patole, M. S. (2021a). Early-life feeding accelerates gut microbiome maturation. *Environmental Microbiome*, 16(1), 1–13. Doi:10.1186/s40793-021-00385-6.
- Choudhury, R., Middelkoop, A., Harms, A. C. (2021b). Dietary yeast cell wall extracts and plant-derived products improve gut morphology in neonatal piglets. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 12(1), 20. Doi:10.1186/s40104-021-00539-1.

- Consejo de Salubridad General. (2018). Acuerdo por el que se declara la obligatoriedad de la Estrategia Nacional de Acción contra la Resistencia a los Antimicrobianos. Diario Oficial de la Federación. Recuperado el 25 de julio de 2025, de <https://sidof.segob.gob.mx/notas/5525043> Gobierno de México.
- Córdova Izquierdo, A., Iglesias Reyes, A. E., Ruiz Lang, G., Huerta Crispín, R., Méndez Mendoza, M., Villa Mancera, A. E., Gómez Vázquez, A., Guerra Liera, J. E., Juárez Mosqueda, M. de L., & Sánchez Sánchez, R. (2020, 2 de noviembre). Importancia económica de la porcicultura. *BM Editores*. Recuperado el 12 de enero de 2025, de <https://bmeditores.mx/porcicultura/importancia-economica-de-la-porcicultura/>.
- Corring, T., Aumaitre, A., & Rérat, A. (1978). Development of digestive enzymes in the piglet from birth to 8 weeks. *Livestock Production Science*, 5(2), 103–120. Doi:10.1016/0301-6226(78)90027-6.
- Cranwell, P. D. (1985). The development of acid and pepsin (EC 3.4.23.1) secretory capacity in the pig; the effects of age and weaning: 1. Studies in anaesthetized pigs. *British Journal of Nutrition*, 54(1), 305–320. Doi:/10.1079/BJN19850037.
- Cunningham, H. M. (1959). The development of digestive enzymes in the pig during its preweaning phase of growth. *Canadian Journal of Animal Science*, 39(1), 93–103. Doi:10.1093/ansci/16.3.568.
- Czerucka, D., & Rampal, P. (2002). Experimental effects of *Saccharomyces boulardii* on diarrheal pathogens. *Microbes and Infection*, 4(7), 733–739. Doi:10.1016/S1286-4579(02)01516-7.
- Czerucka, D., Dahan, S., Mograbi, B., Rossi, B., & Rampal, P. (2000). *Saccharomyces boulardii* preserves the barrier function and modulates the signal transduction pathway induced in enteropathogenic *Escherichia coli*-infected T84 cells. *Infection and Immunity*, 68(11), 5998–6004. Doi:10.1128/IAI.68.11.5998-6004.2000.

- Czerucka, D., Piche, T., & Rampal, P. (2007). Review article: *Saccharomyces boulardii* – mechanisms of action and therapeutic applications. *Alimentary Pharmacology & Therapeutics*, 26(6), 767–778. Doi: 10.1111/j.1365-2036.2007.03405.x.
- de Souza, T. C. R., & Landín, G. M. (1997). El destete, la función digestiva y la digestibilidad de los alimentos en cerdos jóvenes. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 35(3).
- de Souza, T. C. R., Barreiro, M. D. L. A. A., Barreiro, A. A., Landín, G. M., & Carrillo, M. D. J. G. (2007). Digestive tract morphology of piglets fed diets with isolated or concentrate soy protein. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 15(4).
- de Souza, T. C. R., Barreyro, A. A., Rubio, S. R., González, Y. M., García, K. E., Soto, J. G. G., & Mariscal-Landín, G. (2019). Growth performance, diarrhoea incidence, and nutrient digestibility in weaned piglets fed an antibiotic-free diet with dehydrated porcine plasma or potato protein concentrate. *Annals of Animal Science*, 19(1), 159–172. Doi:10.2478/aoas-2018-0037.
- De Vries, H., & Smidt, H. (2020). Microbiota development in piglets. In *The suckling and weaned piglet* (p. 95). Doi:10.3920/978-90-8686-894-0_7.
- Devillers, N., Le Dividich, J., & Prunier, A. (2011). Influence of colostrum intake on piglet survival and immunity. *Animal*, 5(10), 1605–1612. Doi:10.1017/S1751731111000410.
- Diplock, A. T., Aggett, P. J., Ashwell, M., Bornet, F., Fern, E. B., & Roberfroid, M. B. (1999). Scientific concepts of functional foods. *British Journal of Nutrition*, 81(S1), S1–S27. Doi:10.1017/S0007114599000471.
- Driesen, S. J., Fahy, V. A., Carland, P. G., & Fahy, V. A. (1993). Coccidiosis in neonatal pigs in Australia. *Australian Veterinary Journal*, 70(9), 351–353. Doi:10.1111/j.1751-0813.1993.tb02915.x.
- Durán, C., Rodrigo, & Valenzuela, B., Alfonso. (2010). La experiencia japonesa con los alimentos FOSHU: ¿Los verdaderos alimentos funcionales? *Revista*

Chilena de Nutrición, 37(2), 224–233. Doi:10.4067/S0717-75182010000200012.

Edwards-Ingram, L., Gitsham, P., Burton, N., Warhurst, G., Clarke, I., Hoyle, D., Oliver, S. G., & Stateva, L. (2007). Genotypic and physiological characterization of *Saccharomyces boulardii*, the probiotic strain of *Saccharomyces cerevisiae*. *Applied and Environmental Microbiology*, 73(8), 2458–2467. Doi:10.1128/AEM.02201-06.

Elabscience. (2025). Porcine cortisol ELISA kit (Cat. No. E-EL-0159) [Página de producto]. Recuperado el 9 de septiembre de 2025, de <https://www.elabscience.com/p/porcine-cortisol-elisa-kit--e-el-0159>.

Elefson, S. K., Lu, N., Chevalier, T., Dierking, S., Wang, D., Monegue, H. J., Matthews, J. C., Jang, Y. D., Chen, J., Rentfrow, G. K., Adedokun, S. A., & Lindemann, M. D. (2021). Assessment of visceral organ growth in pigs from birth through 150 kg. *Journal of Animal Science*, 99(9), skab249. Doi:10.1093/jas/skab249.

Elles Navarro, E. (2018). Guía de laboratorio bromatología y microbiología de alimentos. Corporación Universitaria Rafael Núñez.

Engvall, E., & Perlmann, P. (1972). Enzyme-linked immunosorbent assay, ELISA: III. Quantitation of specific antibodies by enzyme-labeled anti-immunoglobulin in antigen-coated tubes. *The Journal of Immunology*, 109(1), 129–135. Doi:10.4049/jimmunol.109.1.129.

Ernst, C. W., & Dawkins, M. S. (2006). The use of cortisol as a marker of stress in pigs. *Livestock Science*, 103(2–3), 105–113. Doi: 10.1016/j.livsci.2006.02.009.

Eurocarne. (2023). Tres empresas de porcino españolas se sitúan entre las 50 que tienen mayor número de cerdas reproductoras. *Eurocarne*. Recuperado el 24 de mayo de 2024, de <https://www.eurocarne.com/tres-empresas-de-porcino-espanolas-se-situan-entre-las-50-que-tienen-mayor-numero-de-cerdas-reproductoras>.

- Everaert, N., Van Cruchten, S., Weström, B., Bailey, M., Van Ginneken, C., Thymann, T., & Pieper, R. (2017). A review on early gut maturation and colonization in pigs, including biological and dietary factors affecting gut homeostasis. *Animal Feed Science and Technology*, 233, 89–103. Doi: 10.1016/j.anifeedsci.2017.06.011.
- Fairbrother, J. M., Nadeau, É., & Gyles, C. L. (2005). *Escherichia coli* in postweaning diarrhea in pigs. *Animal Health Research Reviews*, 6(1), 17–39. Doi:10.1079/AHR2005105.
- Farmer, C. (2015). The gestating and lactating sow (e-ISBN 978-90-8686-803-2; ISBN 978-90-8686-253-5). Wageningen Academic Publishers. Doi:10.3920/978-90-8686-803-2.
- FIRA. (2024). Panorama agroalimentario carne de cerdo 2024. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. Recuperado el 28 de noviembre de 2024, <https://www.fira.gob.mx/InfEspDtoXML/abrirArchivo.jsp?abreArc=123835>
- Fontana, L., Bermudez-Brito, M., Plaza-Díaz, J., Muñoz-Quezada, S., & Gil, A. (2013). Sources, isolation, characterization and evaluation of probiotics. *British Journal of Nutrition*, 109(S2), S35–S50. Doi:10.1017/S0007114512004011.
- Frese, S. A., Parker, K., Calvert, C. C., & Mills, D. A. (2015). La dieta moldea el microbioma intestinal de los cerdos durante la lactancia y el destete. *Microbioma*, 3, 28. Doi: 10.1186/s40168-015-0091-8.
- Fuentes-Berrío, L., Acevedo-Correa, D., & Gelvez-Ordóñez, V. (2015). Alimentos funcionales: impacto y retos para el desarrollo y bienestar de la sociedad colombiana. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 13(2), 140–149. Doi: 10.18684/BSAA(13)140-149.
- Gagnon, N., Talbot, G., Ward, P., Roy, D., Dupuis, M., Farnworth, E., & Lessard, M. (2007). Evaluation of bacterial diversity in the gut of piglets supplemented with

- probiotics using ribosomal intergenic spacer analysis. *Canadian Journal of Animal Science*, 87(2), 207–219. Doi: 10.4141/A06-065.
- Gao, X., Yu, B., Yu, J., Mao, X., Huang, Z., Luo, Y., Zheng, P., He, J., Wang, Q., Wang, H., Zhang, J., Liu, Z., Chen, H., Li, J., Zhang, Y., Liu, Y., Zhang, L., Zhang, Y., & Chen, D. (2022). Developmental profiling of dietary carbohydrate digestion in piglets. *Frontiers in Microbiology*, 13, Article 896660. Doi:10.3389/fmicb.2022.896660.
- García-Olmedo, F., Molina, A., Alamillo, J. M., & Rodríguez-Palenzuela, P. (1998). *Plant defence peptides. Peptide Science*, 47(6), 479–491. Doi:10.1002/(SICI)1097-0282(1998)47:6<479::AID-BIP6>3.0.CO;2-K.
- Gibson, G. R., Hutkins, R., Sanders, M. E., Prescott, S. L., Reimer, R. A., Salminen, S. J., Scott, K., Stanton, C., Swanson, K. S., Cani, P. D., Verbeke, K., & Reid, G. (2017). Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 14(8), 491–502. Doi:10.1038/nrgastro.2017.75.
- Gil, I. M., & en Sanidad, V. M. (2022). Las cerdas hiperprolíficas: retos futuros. *Suis*, (186), 10-16.
- Giraldo-Carmona, J., Narváez-Solarte, W., & Díaz-López, E. (2015). Probióticos en cerdos: resultados contradictorios. *Biosalud*, 14(1), 81-90. Doi: 10.17151/biosa.2015.14.1.9.
- González, A., López, R., & Vargas, F. (2018). Estrategias para mejorar la productividad reproductiva en la porcicultura mexicana. *Revista de Producción Animal*, 14(2), 120–127.
- González-Lamothe, R., Mitchell, G., Gattuso, M., Diarra, M. S., Malouin, F., & Bouarab, K. (2009). Plant antimicrobial agents and their effects on plant and human pathogens. *International Journal of Molecular Sciences*, 10(8), 3400– Doi:10.3390/ijms10083400.

- Granato, D., Barba, F. J., Bursać Kovačević, D., Lorenzo, J. M., Cruz, A. G., & Putnik, P. (2020). Functional foods: Product development, technological trends, efficacy testing, and safety. *Annual Review of Food Science and Technology*, 11, 93–118. Doi:10.1146/annurev-food-032519-051708.
- Hampson, D. J. (1986). Alterations in piglet small intestinal structure at weaning. *Research in Veterinary Science*, 40(1), 32–40. Doi:10.1016/S0034-5288(18)30482-X.
- Hansen, C. F., Mullan, B. P., & McCormack, H. A. (2015). The influence of weaning and dietary factors on the growth and health of the weaned piglet. *Animal Production Science*, 55(6), 737–746. Doi:10.1071/AN14410.
- Hemsworth, P. H., Coleman, G. J., & Barnett, J. L. (2000). The effects of management and housing on the stress and welfare of pigs. *Australian Veterinary Journal*, 78(9), 613–618. Doi:10.1111/j.1751-0813.2000.tb10289.x.
- Heo, J. M., Opapeju, F. O., Pluske, J. R., Kim, J. C., Hampson, D. J., & Nyachoti, C. M. (2013a). Gastrointestinal health and function in weaned pigs: A review of feeding strategies to control post-weaning diarrhoea without using in-feed antimicrobial compounds. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 97(2), 207–237. Doi:10.1111/j.1439-0396.2012.01233.x.
- Heo, J. M., Pluske, J. R., Hansen, C. F., Mullan, B. P., & Kim, J. C. (2013b). Feeding a reduced protein diet with and without protease to pigs in the immediate post-weaning period reduces indices of protein fermentation in the hindgut. *Animal Feed Science and Technology*, 180(1–4), 72–80. Doi: 10.1016/j.anifeedsci.2013.02.002.
- Hijuitl, T de J. (2021). Efecto del nivel de inclusión de concentrado de proteína de papa en la dieta de lechones sobre algunos indicadores de la salud intestinal. [Tesis Maestría, Universidad Autónoma de Querétaro]. Repositorio

- institucional de la Universidad Autónoma de Querétaro <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/3338>.
- Holzapel, W. H., & Wood, B. J. B. (Eds.). (2014). Lactic acid bacteria: Biodiversity and taxonomy (632 pp.). *Wiley-Blackwell*. ISBN 978-1-4443-3383-1.
- Illanes, A. (2015). Alimentos funcionales y biotecnología. *Revista Colombiana de Biotecnología*, XVII(1), 5–8. Doi:10.15446/rev.colomb.biote.v17n1.50997.
- INAES. (2018). Porcicultura, una actividad milenaria. *Gob.mx*. Recuperado el 20 de octubre de 2025, de <https://www.gob.mx/inaes/articulos/porcicultura-una-actividad-milenaria?idiom=es>.
- Kauffold, J., Albrecht, E., & Lutz, M. (2009). Stress in piglets: The impact of early life events. *Livestock Science*, 124(1-3), 73-79.
- Kelesidis, T., & Pothoulakis, C. (2012). Efficacy and safety of the probiotic *Saccharomyces boulardii* for the prevention and therapy of gastrointestinal disorders. *Therapeutic Advances in Gastroenterology*, 5(2), 111-125. Doi: 10.1177/1756283X114285.
- Kelly, D., Smyth, J. A., & McCracken, K. J. (1991). Digestive development of the early-weaned pig: effect of continuous nutrient supply on the development of the digestive tract and on changes in digestive enzyme activity during the immediate post-weaning period. *British Journal of Nutrition*, 65(2), 169-180. Doi: 10.1079/BJN19910078.
- Kirkwood, R. N., McGlone, J. J., & Beattie, V. E. (2007). The effects of early weaning on pig performance and welfare. *Animal Welfare*, 16(2), 159-164. Doi: 10.7120/096272807X206612.
- Klobasa, F., Werhahn, E., & Butler, J. E. (1987). Composition of sow milk during lactation. *Journal of Animal Science*, 64(5), 1458–1466. Doi:10.2527/jas1987.6451458x.
- Lallès, J. P., Bosi, P., Smidt, H., & Stokes, C. R. (2009). Weaning a challenge to gut physiologists. *Livestock Science*, 108(1–3), 82–93. Doi: 0.1016/j.livsci.2007.01.091.

- Lallès, J.P., Boudry, G., Favier, C., & Kolditz, C. (2004). "Gut health and growth in piglets: Effects of early weaning and the introduction of solid food." *Animal Feed Science and Technology*.
- Landaburu, M. F., Daneri, G. A. L., Relloso, S., Zarlenga, L. J., Vinante, M. A., & Mujica, M. T. (2020). Fungemia posterior al tratamiento con *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* como probiótico en una paciente anosa. *Revista argentina de microbiología*, 52(1), 27-30. Doi: 10.1016/zj.ram.2019.04.002.
- Le Dividich, J., & Seve, B. (2000). Effects of underfeeding during the weaning period on growth, metabolism, and hormonal adjustments in piglets. *Livestock Production Science*, 66(1), 61–75. Doi:10.1016/S0301-6226(00)00151-7.
- Lewis, A. J., & Southern, L. L. (2000). Nutritional requirements of swine. In A. J. Lewis & L. L. Southern (Eds.), *Swine nutrition* (2nd ed., pp. 45–78). CRC Press.
- Liao, S. F., & Nyachoti, M. (2017), Using probiotics to improve swine gut health and nutrient utilization. *Animal Nutrition*, 3(4), 331-343. Doi: 10.1016/j.aninu.2017.07.004.
- Lindemann, M. D., Cornelius, S. G., El Kandelgy, S. M., Moser, R. L., & Pettigrew, J. E. (1986). Effect of age, weaning and diet on digestive enzyme levels in the piglet. *Journal of Animal Science*, 62(5), 1298–1307. Doi:10.2527/jas1986.6251298x.
- Liu, Y., Kong, X., Lei, Y., Zeng, X., & Yin, Y. (2017). Specialized metabolic functions of the gut microbiota and the gut–brain axis: Implications for nutritional interventions in metabolic diseases. *Nutrition & Metabolism*, 14, 66. Doi:10.1186/s12986-017-0220-6.
- Luo, C., Xia, B., Zhong, R., Shen, D., Li, J., Chen, L., & Zhang, H. (2022). Early-life nutrition interventions improved growth performance and intestinal health via the gut microbiota in piglets. *Frontiers in Nutrition*, 8, 783688. Doi:10.3389/fnut.2021.783688.

- Madec, F., & Bridoux, N. (2001). Intestinal disorders in the weaned piglet: Prevention and control. *Journées Recherche Porcine en France*, 33, 281–288. Doi: 10.2527/2001.791281x.
- Martella, V., Bányai, K., Matthijssens, J., Buonavoglia, C., & Ciarlet, M. (2010). Zoonotic aspects of rotaviruses. *Veterinary microbiology*, 140(3-4), 246-255. Doi: 10.1016/j.vetmic.2009.08.028.
- Martins, F.S., Vieira, A. T., Elian, S. D. A., Arantes, R. M. E., Tiago, F. C. P., Sousa, L. P., & Teixeira, M. M. (2013). Inhibition of tissue inflammation and bacterial translocation as one of the protective mechanisms of *Saccharomyces boulardii* against *Salmonella* infection in mice. *Microbes and infection*, 15(4), 2070-279. Doi: 10.1016/j.micinf.2012.12.007.
- McEwen, B. S. (2007). Physiology and neurobiology of stress and adaptation: Central role of the brain. *Physiological Reviews*, 87(3), 873–904. Doi:10.1152/physrev.00041.2006.
- Miller, B. G., Newby, T. J., Stokes, C. R., & Bourne, F. J. (1984). Influence of diet on postweaning malabsorption and diarrhoea in the pig. *Research in Veterinary Science*, 36(2), 187–193. Doi: 10.1016/S0034-5288(18)31977-5.
- Modina, S. C., Aidos, L., Rossi, R., Pocar, P., Corino, C., & Di Giancamillo, A. (2021). Stages of gut development as a useful tool to prevent gut alterations in piglets. *Animals*, 11(5), 1412. Doi:10.3390/ani11051412.
- Moeser, A. J., Pohl, C. S., & Bane, D. D. (2012). Early-life diet and development of gut health in pigs: Implications for the gut-brain axis. *Animal Nutrition*, 4(4), 283-290. Doi: 10.1016/j.aninu.2012.07.003.
- Morales-Oñate, V., & Morales-Oñate, B. (2020). Probióticos como aditivos dietéticos para cerdos. Una revisión/Probiotics as dietetic additives for pigs. A review. *KnE Engineering*, 477–499. Doi: 10.18502/keg.v5i2.6267.
- Mormède, P., Andanson, S., Aupérin, B., & Bézard, J. (2007). Stress in pigs: A review. *Journal of Animal Science*, 85(3), 909-915. Doi: 10.3920/9789086866373_004.

- Mota Rojas, D., Roldán Santiago, P., Pérez Pedraza, E., Martínez Rodríguez, R., Hernández-Trujillo, E., & Trujillo Ortega, M. E. (2014). Factores estresantes en lechones destetados comercialmente. *Veterinaria México*, 45(spe), 37–51.
- Mota, D., Ramírez, R., Roldan, P., & Martínez, R. (2018). *La importancia del calostro*. BM editores. Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco. Recuperado el 25 de marzo de 2025, de <https://www.bmeditores.mx/>.
- Mukherjee, V., Hoque, M. T., Singh, L., & Ghosh, P. K. (2017). The emerging yeast *Pichia kudriavzevii*: Biochemistry, genetics, and potential applications. *Fungal Biology Reviews*, 31(4), 28–45. Doi: 10.1016/j.fbr.2017.03.001.
- Mukonowenzou, N. C., Adeshina, K. A., Donaldson, J., Ibrahim, K. G., Usman, D., & Erlwanger, K. H. (2021). Medicinal plants, phytochemicals, and their impacts on the maturation of the gastrointestinal tract. *Frontiers in Physiology*, 12, 684464. Doi: 10.3389/fphys.2021.684464.
- Muñoz, A. (2007). *Caracterización de distintos péptidos antimicrobianos con actividad frente a fitopatógenos* (Tesis doctoral). Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos (IATA), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), España.
- O'Connell, N. E., McClure, J. T., & Ward, W. W. (2003). The effect of early weaning on the behavior and welfare of piglets. *Animal Welfare*, 12(1), 57-62. Doi: 10.7120/096272803100015234.
- OMS. (2024). *Lactancia materna*. World Health Organization. Recuperado el 19 de febrero de 2024, de https://www.who.int/es/health-topics/breastfeeding#tab=tab_1.
- OPORMEX. (2022). *Congreso Nacional Porcicultores, Memorias del Congreso. Compendio Estadístico 2022*. Consejo Mexicano de la Carne. Recuperado el 28 de marzo de 2024, de <https://www.opormex.org>.
- OPORMEX. (2023). *Reporte Estadístico del Mercado (quincenal)*. Recuperado el 8 de febrero de 2024, de <https://opormex.org.mx/wp->

content/uploads/2023/11/Reporte-estadistico-del-mercado-Primera-quincena-de-octubre-2023-JIE-OPORMEX.pdf.

- Parra Alarcón, E. A., Hijuitl Valeriano, T. D. J., Mariscal Landín, G., & Reis de Souza, T. C. (2022). Concentrado de proteína de papa: una posible alternativa al uso de antibióticos en las dietas para lechones destetados. Revisión. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 13(2), 510-524. Doi: 10.22319/rmcp.v13i2.5980.
- Perri, A. M., O'Sullivan, T. L., Harding, J. C. S., & Friendship, R. M. (2016). The impact of probiotic *Lactobacillus plantarum* on stress-related biomarkers in weaned piglets. *Journal of Swine Health and Production*, 24(3), 122–129. Doi: 10.1186/jshp24-3-122.
- Pierzynowski, S. G., Karlsson, B., Jacobson, H., & Weström, B. (1990). Development of exocrine pancreas function in chronically cannulated pigs during 1–13 weeks of postnatal life. *Biology of the Neonate*, 58(1), 29–36. Doi:10.1159/000243246.
- Pluske, J. R. (2016). Invited review: aspects of gastrointestinal tract growth and maturation in the pre-and postweaning period of pigs. *Journal of animal science*, 94(suppl_3), 399-411. Doi: 10.2527/jas.2015-9767.
- Pluske, J. R., Hampson, D. J., & Williams, I. H. (1997). Factors influencing the structure and function of the small intestine in the weaned pig: a review. *Livestock Production Science*, 51(1-3), 215-236. Doi:10.1016/S0301-6226(97)00057-2 Doi: 10.1079/BJN19960046.
- Pluske, J. R., Turpin, D. L., & Kim, J. C. (2018). Gastrointestinal tract (gut) health in the young pig. *Animal Nutrition*, 4(2), 187–196. Doi: 10.1016/j.aninu.2017.12.004.
- Pluske, J. R., Williams, I. H., & Aherne, F. X. (1995). Nutrition of the neonatal pig. *The Neonatal Pig: Development and Survival* (pp. 187–235). CAB International.

- Pluske, J. R., Williams, I. H., & Aherne, F. X. (1996). Physiological and biochemical aspects of weaning in the pig. *Journal of Animal Science*, 74(8), 2163–2170. Doi: 10.1017/S1357729800014417.
- Pluske, J. R., Williams, I. H., & Aherne, F. X. (2002). Maintenance of gut integrity and function in the piglet during the early post-weaning period. *Animal Feed Science and Technology*, 108(1-4), 27-43. Doi: 10.1079/NRR200242.
- Pluske, J., Hopwood, D. E., & Hampson, D. (2003). Relación entre la microbiota intestinal, el pienso y la incidencia de diarreas, y su influencia sobre la salud del lechón tras el destete. *Avances en nutrición y alimentación animal*, 93-108. ISBN 8460790339.
- Pohl, C. S., Medland, J. E., & Moeser, A. J. (2015). Early-life stress origins of gastrointestinal disease: animal models, intestinal pathophysiology, and translational implications. *American Journal of Physiology - Gastrointestinal and Liver Physiology*, 309, 927-941. Doi:10.1152/ajpgi.00206.2015.
- Portillo, G. (2021). Fisiología digestiva del lechón: implicaciones para la alimentación. *Porcicultura.com*. Recuperado el 24 de enero de 2024, de <https://porcicultura.com>.
- RAE. (2001). Lechón. *Diccionario de la lengua española*. Recuperado el 24 de marzo de 2024, de <https://www.rae.es/drae2001/lech%C3%B3n>.
- Rathje, T., & Mauch, E. (2018). Importancia de los caracteres maternos en la cadena de producción. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 9(1), 1–14.
- Rebollar Rebollar, S., Hernández Martínez, J., & Rebollar Rebollar, E. (2022). Modelo econométrico de demanda de carne porcina en México, 1990-2019. *Ciencia ergo sum*, 29(3), e167. Doi:10.30878/ces.v29n3a1.
- Reis de Souza, T. C., Landín, G. M., Celis, U. M., Valeriano, T. H., Gómez-Soto, J. G., & Briones, C. N. (2025). Supplementation with Potato Protein Concentrate and *Saccharomyces boulardii* to an Antibiotic-Free Diet Improves Intestinal Health in Weaned Piglets. *Animals*, 15(7), 985. Doi:10.3390/ani15070985.

- Reis de Souza, T. C., Mariscal Landín, G., & Escobar García, K. (2010). Algunos factores fisiológicos y nutricionales que afectan la incidencia de diarreas posdestete en lechones. *Veterinaria México*, 41(4), 275-288.
- Reznikov, E. A., Comstock, S. S., Yi, C., Contractor, N., & Donovan, S. M. (2014). Dietary bovine lactoferrin increases intestinal cell proliferation in neonatal piglets. *The Journal of Nutrition*, 144(9), 1401–1408. Doi:10.3945/jn.114.196568.
- Rodríguez, A., Pérez, J., & Sánchez, M. (2020). Factores que afectan la productividad reproductiva en granjas porcinas comerciales en México. *Veterinaria México*, 51(1), 23-34.
- Roldán Santiago, P., Mota-Rojas, D., Pérez Pedraza, E., Martínez-Rodríguez, R., Hernández-Trujillo, E., & Trujillo Ortega, M. E. (2014). Factores estresantes en lechones destetados comercialmente. *Veterinaria México OA*, 45(2), 37–51. Recuperado el 18 de marzo de 2024, de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0301-50922014000200005&script=sci_arttext
- Romo-Valdez, J., Silva-Hidalgo, G., Güémez-Gaxiola, H., Romo-Valdez, A., & Romo-Rubio, J. (2022). Estrés por calor: Influencia sobre la fisiología, comportamiento productivo y reproductivo del cerdo. *Abanico Veterinario*, 12, e2022-22. Doi: 10.21929/abavet2022.37.
- Rooke, J. A., & Bland, I. M. (2002). The acquisition of passive immunity in the new-born piglet. *Livestock Production Science*, 78(1), 13–23. Doi: 10.1016/S0301-6226(02)00182-3.
- Russo, P. (2017). Functional properties of *Debaryomyces hansenii* in the production of fermented foods. *Frontiers in Microbiology*, 8, 1247. Doi: 10.3389/fmicb.2017.01247.
- Rutherford, K. M. D., Baxter, E. M., D'Eath, R. B., Turner, S. P., Arnott, G., Roehe, R., Ask, B., Sandøe, P., Moustsen, V. A., Thorup, F., Edwards, S. A., Berg, P., & Lawrence, A. B. (2013). The welfare implications of large litter size in the

- domestic pig I: Biological factors. *Animal Welfare*, 22(2), 199–218. Doi:10.7120/09627286.22.2.199.
- Sacchetta, R. E. (2019). Efecto del estrés post-destete sobre el eje del hipotálamo-hipofiso-adrenal y parámetros inmunes en un sistema de crianza porcina intensivo.
- SADER. (2023). Porcicultura nacional fomenta la economía social y suma a la seguridad alimentaria: Agricultura. Recuperado el 24 de junio de 2024, de <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/porcicultura-nacional-fomenta-la-economia-social-y-suma-a-la-seguridad-alimentaria-agricultura?idiom=es>.
- Salak-Johnson, J. L., Reddout, C., Hernandez, L., & Visconti, A. (2022). Maternal supplementation of *Saccharomyces cerevisiae boulardii* during late gestation through lactation differentially modulated immune status and stress responsiveness of the progeny to farrowing and weaning stressors. *Animals*, 12(2), 164. Doi: 10.3390/ani12020164.
- Sanders, M. E., Benson, A., Lebeer, S., & Merenstein, D. J. (2018). Shared mechanisms among probiotic taxa: implications for general probiotic claims. *Current Opinion in Biotechnology*, 49, 207-216. Doi: 10.1016/j.copbio.2017.09.007.
- Sapolsky, R. M., Romero, L. M., & Munck, A. U. (2000). How do glucocorticoids influence stress? Glycemic and metabolic effects. *Science*, 291(5511), 370-373. Doi: 10.1210/edrv.21.1.0389.
- Saviano, A., Zanza, C., Longhitano, Y., Nista, E. C., Franceschi, F., & Ojetti, V. (2023). Effects of functional foods, nutraceuticals, and herbal products on pancreas. *Chinese Medical Journal (English)*, 136(5), 619–620. Doi:10.1097/CM9.0000000000002396.
- Shahidi, F. (2009). Whole vs processed foods. *Trends in Food Science & Technology*, 20(9), 376–387. Doi: 10.1016/j.tifs.2008.08.004.
- Shimada, A. S. (2009). *Nutrición animal* (2.^a ed., pp. 275–290). Trillas.

- Sol Valmoria Ortega, A. D., & Szabó, C. (2021). Adverse effects of heat stress on the intestinal integrity and function of pigs and the mitigation capacity of dietary antioxidants: A review. *Animals*, 11(4), 1135. Doi:10.3390/ani11041135.
- Solano, M. L. (2024). Uso de preiniciadores en la producción porcina. *Montana*. Recuperado el 25 de marzo de 2025, de <https://www.corpmontana.com/m-conecta/porcicultura/uso-de-preiniciadores-en-la-produccion-porcina>.
- Songer, J. G., & Uzal, F. A. (2005). Clostridial enteric infections in pigs. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 17(6), 528–536. Doi: 10.1177/104063870501700602.
- Souza, T. C. R., Aguilera, M. A. B., Aguilera, A. B., Mariscal, G. L., & Guerrero, M. J. C. (2007). Morfología del tracto digestivo de lechones alimentados con proteínas de soya aislada o concentrada. *Arch. Latinoam. Prod. Anim*, 15(4), 139-146.
- Studer, J. M., Kiefer, Z. E., Koester, L. R., Johnson, E. M., Schmitz-Esser, S., Farkas, A., Galina Pantoja, L., Vonnahme, K. A., Greiner, L. L., Keating, A. F., Baumgard, L. H., & Ross, J. W. (2024). Evaluation of circulating immune cells, analytes, and inflammatory markers in sows affected with postpartum dysgalactia syndrome. *Journal of Animal Science*, 102. Doi:10.1093/jas/skae270.
- Taciak, M., Tuśnio, A., & Pastuszewska, B. (2011). The effects of feeding diets containing potato protein concentrate on reproductive performance of rats and quality of the offspring. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 95(5), 556-563. Doi: 10.1111/j.1439-0396.2010.01083.x.
- Terlouw, C., Rushen, J., & De Passillé, A. M. (2009). Behavioral responses of pigs to handling: Implications for animal welfare. *Applied Animal Behaviour Science*, 121(3-4), 227-238. Doi: 10.1016/j.livprodsci.2004.11.032.
- Theil, P. K., Lauridsen, C., & Jensen, S. K. (2006). Lactation performance and nutrient metabolism in sows fed diets differing in vitamin and fatty acid

- composition. *Journal of Animal Science*, 84(4), 1001-1009. Doi: 10.2527/jas.2005-545.
- Theil, P. K., Lauridsen, C., & 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), 1021-1030. Doi: 10.1017/S1751731114000950.
- Theil, P. K., Nielsen, M. O., Sørensen, M. T., & Lauridsen, C. (2012). Lactation, milk and suckling. In K. E. B. Knudsen, N. J. Kjeldsen, H. D. Poulsen, & B. B. Jensen (Eds.), *Nutritional physiology of pigs* (pp. 1–47). Danish Pig Research Centre.
- Tran, H., Narayan, N. R., Pullar, J. M., & Simcock, D. C. (2019). Effects of prebiotic supplementation on the intestinal morphology and immune function of piglets. *Animal Feed Science and Technology*, 253, 47–56. Doi: 10.1016/j.anifeedsci.2019.05.009.
- Trevisi, P., Casini, L., Coloretto, F., Mazzoni, M., Merialdi, G., Minieri, L., & Bosi, P. (2008). Effects of dietary *Saccharomyces cerevisiae* on performance, intestinal morphology, and microbiota in weaned piglets. *Italian Journal of Animal Science*, 7(1), 35-45. Doi: 10.4081/ijas.2008.1s.35.
- Tuchscherer M., Kanitz E., Puppe B., Tuchscherer A., Stabenow B. (2004). Effects of postnatal social isolation on hormonal and immune responses of pigs to an acute endotoxin challenge. *Physiology and Behaviour* 82, 503-511. Doi: 10.1016/j.physbeh.2004.04.056.
- USDA. (2022). *USDA agricultural projections to 2031: USDA long term projections, February 2022*. United States Department of Agriculture. Recuperado el 27 de enero de 2024, de <https://www.usda.gov/sites/default/files/documents/usda-long-term-agricultural-projections-february-2022.pdf>.
- van der Aa Kühle, A., & Jespersen, L. (2003). The taxonomic position of *Saccharomyces boulardii* as determined by sequence analysis of the D1/D2

- domain of 26S rDNA, the ITS1-5.8S-ITS2 region and the mitochondrial cytochrome-c oxidase II gene. *FEMS Yeast Research*, 3(4), 369–373. Doi:10.1016/S1567-1356(03)00126-6.
- Vasiljevic, T. & Shah, N. (2008). Probiotics from Metchnikoff to bioactive. *International Dairy Journal*. 18: 714-728 Doi: 10.1016/j.idairyj.2008.03.004.
- Wang, J., Chen, L., Li, D., Yin, Y., & Wang, X. (2022). Effects of dietary functional proteins on the intestinal development and immune function of piglets. *Animal Nutrition*, 8, 243–251. Doi: 10.1016/j.aninu.2022.02.007.
- Wellock, I, Fortomaris, P, Houdijk, J, Kyriazakis, I. (2008). Effects of dietary protein supply, weaning age and experimental enterotoxigenic *Escherichia coli* infection on newly weaned pigs: health. *Animal*. 2008:2: 825-833. Doi: 10.1017/S1751731108002048.
- World Health Organization. (2023). Estrés. World Health Organization. Recuperado el 27 de abril de 2024, de <https://www.who.int/es/news-room/questions-and-answers/item/stress>.
- Yan, H., Lu, Q., Fan, Y., Wang, Y., & Wang, L. (2021). Effects of *Saccharomyces boulardii* supplementation on growth performance, intestinal health and stress resistance in neonatal piglets. *Animals*, 11(8), 2365.
- Zhou, Z., Zhang, J., Zhang, X., Mo, S., Tan, X., Wang, L., Li, J., Li, Y., Ding, X., Liu, X., Ma, X., Yang, H., & Yin, Y. (2019). The production of short chain fatty acid and colonic development in weaning piglets. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 103(5), 1530–1537. Doi:10.1111/jpn.13164.
- Zijlstra, R. T., van Dijk, A. J., & McCracken, V. J. (2003). Early weaning and its effects on the development of the piglet's digestive system. *Animal Feed Science and Technology*, 108(1), 1–19. Doi: 10.1016/S0377-8401(03)00090-9.
- Zijlstra, R. T., van Kempen, T. A. T. G., & Patience, J. F. (1996). Nutritional value of wheat for growing pigs: chemical composition and digestible energy content. *Canadian Journal of Animal Science*, 76(4), 571–578. Doi: 10.4141/A98-103.

X Anexos

10.1 Sincronización del estro.

Se realizó la sincronización de estro, en un primer bloque de 5 cerdas primerizas. Se aplicó Altrenogest (Virbages). el tratamiento consistió en la administración vía oral a 5ml/cerda equivalente a 20 mg cada 24 horas durante 18 días. Se logró la sincronización del 80% de las cerdas, 1 cerda no entró a celo durante los siguientes 5 días, mientras que el resto del grupo entro a celo en un lapso de 7-10 días, se completó el grupo con una cerda que entró a celo durante las fechas de inseminación sin que fuera sincronizada.

10.2 Inseminación artificial.

La inseminación artificial se realizó pasando un lapso de 7-9 días pasado el tratamiento de sincronización, diariamente se realizaba la labor de estimulación de celo sacando el verraco al área de gestación para poder detectar signos clínicos que nos confirmaban celo, una vez identificado estos signos como lo son; vulva enrojecida e hinchada, deja de comer y esta inquieta, cuando pasa el verraco se queda totalmente estática y se puede confirmar presionando con las dos manos ambos flancos en el cuarto trasero, confirmando que acepta el verraco (FAO, 1995).

Se siguió la metodología de inseminación artificial cervical o standard descrita por Rivera Marco en 2012, en donde se fijó el catéter al inicio del cérvix para que posteriormente el semen pueda atravesar y alcanzar el cuerpo del útero, donde se distribuye a ambos cuernos (Rivera, 2012). La técnica utilizada fue la idónea para poder mejorar el paso del semen por el cérvix y tratar de conseguir que llegue la suficiente cantidad de semen al cuerpo del útero para garantizar la fecundación.