

**Probióticos en la Alimentación Porcina, los Potenciales Beneficios y Aplicaciones en la  
Porcicultura Colombiana**

Jhon Never Castaño Muñoz

Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería

Maestría en Biotecnología Alimentaria

2023

**Probióticos en la Alimentación Porcina, los Potenciales Beneficios y Aplicaciones en la  
Porcicultura Colombiana**

Jhon Never Castaño Muñoz

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de Magister En Biotecnología  
Alimentaria

Director

Vicente Ortiz Gómez

Ing. Agroindustrial

Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería

Maestría en Biotecnología Alimentaria

2023

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

Cartago, Valle del Cauca, diciembre de 2023.

### **Declaratoria de Derechos de Propiedad Intelectual**

Los autores de la presente propuesta manifestamos que conocemos el contenido del Acuerdo 06 de 2008, Estatuto de Propiedad Intelectual de la UNAD, Artículo 39 referente a la cesión voluntaria y libre de los derechos de propiedad intelectual de los productos generados a partir de la presente propuesta. Asimismo, conocemos el contenido del Artículo 40 del mismo Acuerdo, relacionado con la autorización de uso del trabajo para fines de consulta y mención en los catálogos bibliográficos de la UNAD.



---

Jhon Never Castaño Muñoz

### **Dedicatoria**

*Dedicado a Dios por brindarme la sabiduría y el tesón para culminar este nuevo logro de mi vida profesional, a mi esposa Lizeth de la Cruz Guerra Bedoya toda la gratitud que me embarga por ser mi motor y soporte diario, así como mi compañera de viaje.*

*Jhon Never Castaño Muñoz*

### **Agradecimientos**

Expreso mi total agradecimiento a: el ingeniero Vicente Ortiz Gómez, a las Doctoras Liliana Hernández y Laura María Reyes, por ser un apoyo constante en la construcción de esta monografía. A todos y cada uno de los maestros que tuve durante el curso de la maestría por su apoyo y guía oportuna en la adquisición del conocimiento.

## Resumen

Los probióticos son utilizados en la alimentación por sus beneficios en el mejoramiento de la flora intestinal y en la asimilación de nutrientes. En el caso de la alimentación animal se han realizado estudios que evidencian beneficios potenciales en los distintos tipos de ganadería mediante la inclusión o aplicación de probióticos en la alimentación. Se observó la necesidad de un documento que analice de manera sistemática el uso de probióticos como suplemento nutricional para mejorar la alimentación porcícola. El presente estudio tiene como objetivo analizar las aplicaciones de probióticos en la alimentación porcina y los potenciales beneficios que esto conllevaría en el contexto nacional. Para este propósito, se emplearon enfoques de investigación documental en la base de datos Scopus, extrayendo y analizando los datos e información pertinente de estudios relevantes realizados en la última década y los resultados obtenidos. En la presente monografía se abordan las diferentes aplicaciones de los probióticos en la alimentación porcícola y los beneficios del uso de estos, mediante el análisis de una revisión bibliográfica. Como resultado, en esta monografía, se revisaron las ventajas fisiológicas, inmunológicas y clínicas de los probióticos en varias fases del ciclo de vida del cerdo. Entre las ventajas encontradas se menciona el aumento del rendimiento de las cerdas durante la etapa de gestación y lactancia; el aumento de las defensas y de los parámetros inmunohistológicos en la etapa de crecimiento del cerdo; y el mejoramiento en la calidad de la carne durante el periodo de finalización o ceba. En esta monografía se analiza el papel de los probióticos en las diferentes etapas de la porcicultura, sus aplicaciones y beneficios. También incluye un análisis de su uso a nivel nacional y sus potenciales aplicaciones.

**Palabras Clave:** Porcicultura, probióticos, conversión cárnica, salud intestinal.

## **Abstract**

Probiotics are used in food for their benefits in improving the intestinal flora and in the assimilation of nutrients. In the case of animal feed, studies have been carried out that show potential benefits in different types of livestock through the inclusion or application of probiotics in the diet. The need for a document that systematically analyzes the use of probiotics as a nutritional supplement to improve swine feeding is observed. The objective of this study is to analyze the applications of probiotics in swine feeding and the potential benefits that this would entail in the national context. For this purpose, documentary research approaches will be employed in the Scopus database, extracting, and analyzing the relevant data and information from relevant studies carried out in the last decade and the results obtained. It is expected to obtain as a result an updated document of the different applications of probiotics in swine feeding and the benefits of their use, through the analysis of a bibliographical review using search equations. As a result, in this monograph, we will address the physiological, immunological, and clinical advantages of probiotics at various phases of the pig life cycle. Among the advantages found is the increase in sow performance during the gestation and lactation stage; the increase in defenses and immunohistological parameters in the pig's growth stage; and the improvement in meat quality during the finishing or fattening period. This monograph analyzes the role of probiotics in the different stages of pig farming, their applications, and benefits. It also includes an analysis of its use at the national level and its potential applications.

**Keywords:** Pig farming, probiotics, meat conversion, gut health.

## Tabla de Contenido

<b>Introducción.....</b>	<b>14</b>
<b>Planteamiento del Problema. ....</b>	<b>16</b>
<b>Justificación .....</b>	<b>18</b>
<b>Objetivos. ....</b>	<b>20</b>
<b>Objetivo General. ....</b>	<b>20</b>
<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>20</b>
<b>Marco Teórico .....</b>	<b>21</b>
<b>Probióticos.....</b>	<b>21</b>
<b>Porcicultura.....</b>	<b>22</b>
<b>Ciclo de Producción Porcina.....</b>	<b>23</b>
<b>Porcicultura en Colombia .....</b>	<b>25</b>
<b>Probióticos en la Porcicultura .....</b>	<b>25</b>
<b>Cerdas Gestantes y Lactantes.....</b>	<b>26</b>
<b>Lechones Destetados.....</b>	<b>27</b>
<b>Cerdos de Engorde o Finalizador.....</b>	<b>27</b>
<b>Fabricación de Alimentos Balanceados Para Cerdos.....</b>	<b>28</b>
<b>Tamaño de Partícula de Grano .....</b>	<b>28</b>
<b>Diagrama de flujo de proceso .....</b>	<b>31</b>

<b>Molino de Martillos y Molino de Rodillos .....</b>	<b>33</b>
<b>Peletizado .....</b>	<b>36</b>
<b>Mezclado .....</b>	<b>38</b>
<b>Estabilidad de las Vitaminas.....</b>	<b>40</b>
<b>Almacenamiento de Granos.....</b>	<b>41</b>
<b>Suplementación Probiótica .....</b>	<b>42</b>
<b>Microencapsulación de probióticos.....</b>	<b>46</b>
<b>Secado por aspersión .....</b>	<b>47</b>
<b>Extrusión .....</b>	<b>48</b>
<b>Emulsión .....</b>	<b>48</b>
<b>Beneficios Productivos de los Probióticos en la Porcicultura .....</b>	<b>49</b>
<b>Etapas de Gestación y Lactancia.....</b>	<b>49</b>
<b>Etapas de Lechones Destetados .....</b>	<b>53</b>
<b>Etapas de Engorde o Finalización .....</b>	<b>57</b>
<b>Cepas Probióticas Más Utilizadas en la Producción Porcina.....</b>	<b>60</b>
<b>Beneficios de los Probióticos en la Salud Porcina .....</b>	<b>70</b>
<b>Probióticos en el Tratamiento de Enfermedades Respiratorias Porcinas.....</b>	<b>70</b>
<b>Probióticos en el Tratamiento de Enfermedades del Sistema Digestivo Porcino .....</b>	<b>72</b>
<b>Antibióticos Vs Probióticos.....</b>	<b>74</b>

<b>Potencial Uso de los Probióticos en la Porcicultura Nacional.....</b>	<b>79</b>
<b>Producción Porcina en Colombia.....</b>	<b>79</b>
<b>Suplementación Probiótica en la Producción Porcícola Nacional .....</b>	<b>81</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>84</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>86</b>
<b>Referencias bibliográficas .....</b>	<b>87</b>

### Lista de figuras

<b>Figura 1.</b>	<b>Ciclo de Producción Porcina .....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 2.</b>	<b>Tamaño de Partícula en la Molienda de Alimentos Para Cerdos.....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 3.</b>	<b>Diagrama de flujo de proceso y adición de probióticos .....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 4.</b>	<b>Molino de Martillos.....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 5.</b>	<b>Molino de Rodillos.....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 6.</b>	<b>Alimento Peletizado Para Cerdos .....</b>	<b>37</b>
<b>Figura 7.</b>	<b>Principales Beneficios de la Suplementación Probiótica en Cerdos.....</b>	<b>78</b>

**Lista de tablas**

<b>Tabla 1.</b>	<b>Probioticos Utilizados Comúnmente en la Alimentación Animal<sup>1</sup> .....</b>	<b>45</b>
<b>Tabla 2.</b>	<b>Cepas probióticas Más Utilizados en Porcicultura .....</b>	<b>63</b>

## Introducción

A nivel mundial, la cadena de suministro porcina ha experimentado una presión adicional debido una mayor demanda de eficiencia, calidad, reducción de costos e impacto ambiental. Además, deben implementarse medidas eficientes para garantizar la gestión de patógenos humanos y animales. En la producción porcina, los antibióticos se han utilizado en gran medida porque ayudan en el control de enfermedades y pueden promover el crecimiento, lo que aumenta la productividad y el desarrollo de los animales (Y. Liu et al., 2018). No obstante, la pérdida de eficacia y la selección de cepas bacterianas resistentes han puesto en duda el uso de antibióticos; los datos sugieren que los genes de resistencia pueden trasladarse de la microbiota animal a la humana (Yirga, 2015). Esto es extremadamente preocupante porque puede limitar las opciones terapéuticas para el tratamiento de enfermedades bacterianas humanas (Velázquez-Meza et al., 2022).

Por lo tanto, se deben desarrollar otros métodos para combatir las enfermedades asociadas con la cría de cerdos. A diferencia de los medicamentos, la suplementación con probióticos mejora la salud porcina al aumentar la cantidad de bacterias beneficiosas en el intestino (Cardelle-Cobas et al., 2022). Como resultado, la aplicación de probióticos y/o metabolitos antimicrobianos producidos por microorganismos beneficiosos permite mejorar la salud de los animales, controlar la flora intestinal y limitar la propagación de genes resistentes a diferentes tratamientos. Los probióticos también se han utilizado para la bioconservación alimentaria (Pokharel et al., 2020).

En la producción porcina, los probióticos se pueden administrar en varias fases de desarrollo (Cardelle-Cobas et al., 2022), en la literatura consultada hay gran variedad de uso de cepas microbianas, dosis y duración de los tratamientos, que han demostrado influencia positiva

en la flora intestinal, restaurando y mejorando la resistencia de los cerdos a las enfermedades y mejorando la conversión de carne (Liao & Nyachoti, 2017).

La investigación sobre las aplicaciones de los probióticos en la porcicultura ha aumentado cada vez más creando una oportunidad de implementación en Colombia basada en las mejoras tanto de conversión de carne como en la salud animal. La cantidad de artículos de investigación publicados solo en Scopus, ha pasado pasando de 46 en el 2016 a 90 artículos publicados en el 2022, casi duplicando el número de investigaciones en esos 6 años (Scopus, 2022). La utilización de probióticos como suplemento nutricional es una tendencia global que urge ser analizada y descrita con el fin de entregar bases sólidas del conocimiento tanto al porcicultor como a futuras investigaciones a realizar (Barba-Vidal et al., 2019). En Colombia es necesaria una tecnificación de la alimentación porcícola, y en ese contexto es importante un análisis de la aplicación de probióticos en la alimentación y como esta tecnología puede ayudar al porcicultor colombiano a orientarlo hacia una mejor conversión y calidad de la carne. Las recientes investigaciones y adelantos obtenidos en esta temática aún no se han documentado ampliamente en el presente documento se extraen y analizan los resultados obtenidos por investigadores en este campo. En este documento se abordarán las últimas aplicaciones y tendencias en el uso de probióticos en la porcicultura, además de como esta se ha estado implementado a nivel nacional y sus potenciales beneficios.

### **Planteamiento del Problema.**

El consumo per cápita de carne de cerdo en Colombia creció de 4.88 kg en el 2010 hasta 11.2 kg en el 2019 con un crecimiento total en esta década de 135%, siendo la que más ha aumentado su consumo en Colombia pasando de un 35% a un 70% de los hogares que ahora lo consumen. Sin embargo, las importaciones representan un 20% del mercado y las exportaciones aun no repuntan como se debería mientras que para el 2020 las exportaciones solo fueron de 100 toneladas para destinos como Costa De Marfil y Hong Kong, las importaciones ascendieron a más 100 mil toneladas siendo el 90% provenientes de los Estados Unidos (Minagricultura, 2021; PorkColombia, 2021; PorkNews - LATAM, 2020). La industria porcícola en Colombia está atrasada en comparación de los países desarrollados, con bajas tasas de exportación y baja competitividad comercial a nivel nacional e internacional. Durante los últimos 20 años se han presentado estudios sobre las diferentes aplicaciones y beneficios del uso de probióticos en la alimentación porcícola pero aún no se ha desarrollado un documento actualizado abordando temáticas como la influencia de los probióticos en el mejoramiento del sistema inmune de los cerdos, como también el mejoramiento de la palatabilidad y el aumento en el consumo del alimento y el incremento en la conversión de carne (Dowarah, Verma, et al., 2017; Liao & Nyachoti, 2017; Valeriano et al., 2017; F. Yang et al., 2015; Zimmermann et al., 2016). Se ha proporcionado muy poca información a nivel nacional sobre los beneficios del uso de probióticos en la porcicultura, por lo que hay un desconocimiento de las posibles aplicaciones que puede tener en el contexto nacional. Adicional los estudios se han enfocado en algunas temáticas en específico, por lo que es necesario una articulación de conceptos que englobe todas las etapas de la crianza de cerdos exponiendo las ventajas competitivas que traería el uso de los probióticos en la alimentación.

Los trastornos intestinales, como la diarrea, contribuyen significativamente a la salud de los lechones y se informa que disminuyen el rendimiento (Rhouma et al., 2017). El índice de conversión se ha combatido con éxito mediante el uso de medicamentos como antibióticos y quimioterapéuticos. El uso de antibióticos en dosis bajas en la cría de cerdos parece haber mejorado la producción animal a gran escala al permitir tasas de crecimiento óptimas en condiciones a veces subóptimas (Kenny et al., 2011). Debido al amplio uso de los antibióticos en la industria porcina, se corre el riesgo de resistencia por parte de los patógenos microbianos por lo cual es necesario una solución o sustituto al uso de antibioticos (Carlson & Fangman, 2018; Yirga, 2015). Uno de los principales problemas en la porcicultura es la falta de suplementos alimenticios que contrarrestan con la falta de crecimiento y el estrés ambiental generado por la explotación pecuaria intensiva. Adicional a esto la utilización de antibióticos generan inquietudes entre los consumidores al presentarse efectos residuales debidos al consumo de carne porcina (Cardelle-Cobas et al., 2022; Carlson & Fangman, 2018).

Teniendo en cuenta lo anterior se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles son los beneficios del uso de probióticos en la alimentación y salud porcina y las posibles aplicaciones en la porcicultura colombiana? La anterior pregunta ayudará a muchos porcicultores a desarrollar estudios de campo encaminadas hacia el mejoramiento de la conversión de carne porcina y del mejoramiento en la salud de los cerdos en las granjas porcícolas colombianas.

## Justificación

A medida que la crianza de cerdos se ha vuelto más industrializada en Colombia, con unidades comerciales intensivas o semi-intensivas, la alimentación porcina ha tomado mayor relevancia en la explotación pecuaria llegando a ser crucial en el aumento del rendimiento de la producción de carne y en la salud de los semovientes. Por este motivo se han realizado investigaciones enfocadas en mejorar la alimentación mediante el uso de probióticos. Los probióticos son de gran interés en la nutrición porcícola porque pueden mejorar la respuesta inmune, mantener la salud intestinal de los animales y mejorar la eficiencia nutricional. Los probióticos pueden producir bacteriocinas las cuales tienen efectos antimicrobianos sobre varias cepas patógenas, indicando que la forma en que se administran puede aumentar los efectos positivos. En vista de los excelentes resultados encontrados en con probióticos, se destaca su capacidad para modular la salud y mejorar el rendimiento en todas las etapas de la producción porcina, y aplicar estas ventajas en la porcicultura colombiana. Como resultado, esta monografía analizará durante las distintas etapas del ciclo de vida del cerdo las ventajas fisiológicas, inmunológicas y clínicas de los probióticos, así como sus las recientes y posibles aplicaciones en la porcicultura colombiana. En concreto, los probióticos mejoran el rendimiento durante la gestación, el parto y la lactancia en las cerdas (González Salazar, 2015; Lázaro D. et al., 2005; Morales-Oñate & Morales-Oñate, 2020; Shim, 2005; Vázquez Pérez, 2013), y además pueden mejorar los parámetros inmunohematológicos y las defensas en la fase de crecimiento, pueden influir en la calidad de la carne en la fase de finalización y también pueden ayudar a la reducción de contaminantes ambientales (Accogli et al., 2018; Barba-Vidal et al., 2019; Kwak et al., 2021; Rybarczyk et al., 2020, 2021; Van Der Peet-Schwering et al., 2020).

Según la investigación realizada por Borbón Gómez (2019), el índice de conversión en Colombia en producción de carne porcina puede bajar hasta 1.48, mientras que estudios realizados en México con inclusión de probióticos, demuestran que el índice de conversión puede bajar hasta el 1.36 kilogramos de alimento/kg de peso en ganancia (Méndez-Palacios et al., 2018), ambos estudios tan solo en la etapa de lechones destetos entre 21-70 días.

Debido a las necesidades productivas del sector Porcicola en el contexto colombiano es necesario conocer la situación actual e internacional en que se encuentra la administración de probióticos en la porcicultura y cuáles son las nuevas tendencias para el mejoramiento de la producción de esta explotación agropecuaria (Giraldo-Carmona et al., 2015).

## **Objetivos.**

### **Objetivo General.**

Analizar las diferentes aplicaciones prácticas de los probióticos en la alimentación porcina y su potencial uso en la porcicultura nacional.

### **Objetivos Específicos.**

Identificar los principales probióticos utilizados actualmente como suplemento nutricional y sus beneficios en la producción cárnica porcina.

Determinar los beneficios digestivos e inmunológicos derivados de la aplicación de probióticos en ganado porcino.

Identificar las nuevas tendencias a nivel internacional que puedan ser aplicados en el contexto nacional concernientes a la inclusión de probióticos en la alimentación porcina.

## Marco Teórico

### Probióticos.

Los probióticos son microorganismos vivos que, al ingerirse en concentraciones suficientes, pueden ejercer beneficios para la salud del huésped. Esta definición de probióticos fue derivada en 2002 por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) (FAO, 2002), y ha sido el término de referencia para la ciencia y la regulación a partir de entonces. La demanda de alimentos con contenido probiótico se está expandiendo en todo el mundo debido a la constante evidencia científica e investigaciones realizadas que indican los potenciales beneficios para la salud, no solo humana sino también animal. Los productos alimenticios funcionales lucen como los alimentos convencionales, pero contienen compuestos bioactivos que pueden brindar beneficios fisiológicos además de las ventajas nutritivas (Arora et al., 2013; Young, 2017). Entre estos compuestos bioactivos se encuentran los probióticos, capaces de persistir (o colonizar transitoriamente) el tracto intestinal del huésped y confieren una influencia beneficiosa en la fisiología de este, como mejorar la salud. Los probióticos suplementados exógenamente de una especie o cepa pueden colonizar temporalmente el tracto intestinal y estabilizar la composición de la microflora, restaurando la función fisiológica vital cuando la flora nativa normal ha sido interrumpida (Sharifi-Rad et al., 2020).

Los probióticos actúan mediante una variedad de mecanismos, incluida la producción de sustancias antimicrobianas como ácidos orgánicos o bacteriocinas, la regulación de la respuesta inmunitaria secretando inmunoglobulina A (IgA) contra patógenos potenciales, la reducción del riesgo de alergias, la mejora de la función de la barrera de la mucosa intestinal, el aumento de la

estabilidad o la promoción de la recuperación de la microflora intestinal alterada, la modulación (Plaza-Díaz et al., 2019). En consecuencia, mediante la aplicación de microorganismos exógenos, derivados de los alimentos se pueden aumentar los beneficios de la microbiota intestinal propia del organismo.

Los microorganismos probióticos, de acuerdo con el conocimiento actual, exhiben una variedad de propiedades beneficiosas para el cuerpo humano en múltiples niveles (George Kerry et al., 2018; Rivera-Espinoza & Gallardo-Navarro, 2010), y todos ellos se vuelven seguros al representar un estado conocido como Generalmente Reconocido como Seguro (GRAS), son ácidos y tolerante a la bilis, y puede adherirse y colonizar el tracto intestinal. Además, los probióticos pueden proteger al huésped de los microorganismos patógenos y estimular el sistema inmunitario (Cinque et al., 2011). Sin embargo, la palabra "probióticos" se aplica principalmente al grupo de bacterias del ácido láctico (BAL) tanto en contextos científicos como industriales (Tripathi & Giri, 2014).

La suplementación probiótica en la alimentación porcícola tiene el impacto de regular la flora intestinal, mejorar la inmunidad y la función de la barrera mucosa, prevenir el crecimiento de bacterias dañinas, etc. Como resultado, los probióticos tienen la capacidad de aumentar la inmunidad de los cerdos y también son útiles para el tratamiento y prevención de enfermedades en cerdos (Y. Zhang et al., 2023).

## **Porcicultura**

La porcicultura es la crianza de cerdos para la producción de carne. La porcicultura puede organizarse de una manera más o menos sofisticada, pero siempre puede analizarse en función

del ciclo de producción y se divide en 3 partes: cerdas de parto para la producción de lechones destetados, la crianza de esos lechones, como futuros animales reproductores o como cerdos para sacrificio y los cerdos en engorde o finalizadores (ABi, 2023).

En la mayoría de las granjas no tecnificadas, selección genética se gestiona la dentro de cada una de las granjas, manteniendo apartados a los animales de cría o primerizas de los cerdos adultos o reproductores. En una granja más avanzada en tecnología, los animales que sirven como reproductores son criados en granjas especializadas que participan en un proceso de selección minucioso conocido como "núcleo-multiplicadores-criadores" (ABi, 2023). Las cerdas suelen ser inseminadas artificialmente y paridas en lotes. La eficiencia del plan de selección de cerdos mejora el rendimiento en la etapa de engorde. El engorde se puede dividir en crecimiento y finalización, y se pueden combinar las responsabilidades de reproductores, partos y cebadores.

El alojamiento de los cerdos puede incluir todas las formas intermedias, desde instalaciones cerradas para una producción estandarizada rápida hasta una producción extensiva al aire libre. La mayor parte de la producción se lleva a cabo de acuerdo con métodos intensivos optimizados, y la agricultura extensiva puede responder a la demanda del consumidor (p. ej., agricultura orgánica) o utilizarse para el consumo propio. Durante el invierno los lechones son alimentados en estos casos con algunos cereales, restos de comida y algunos subproductos agrícolas (FDA, 2019).

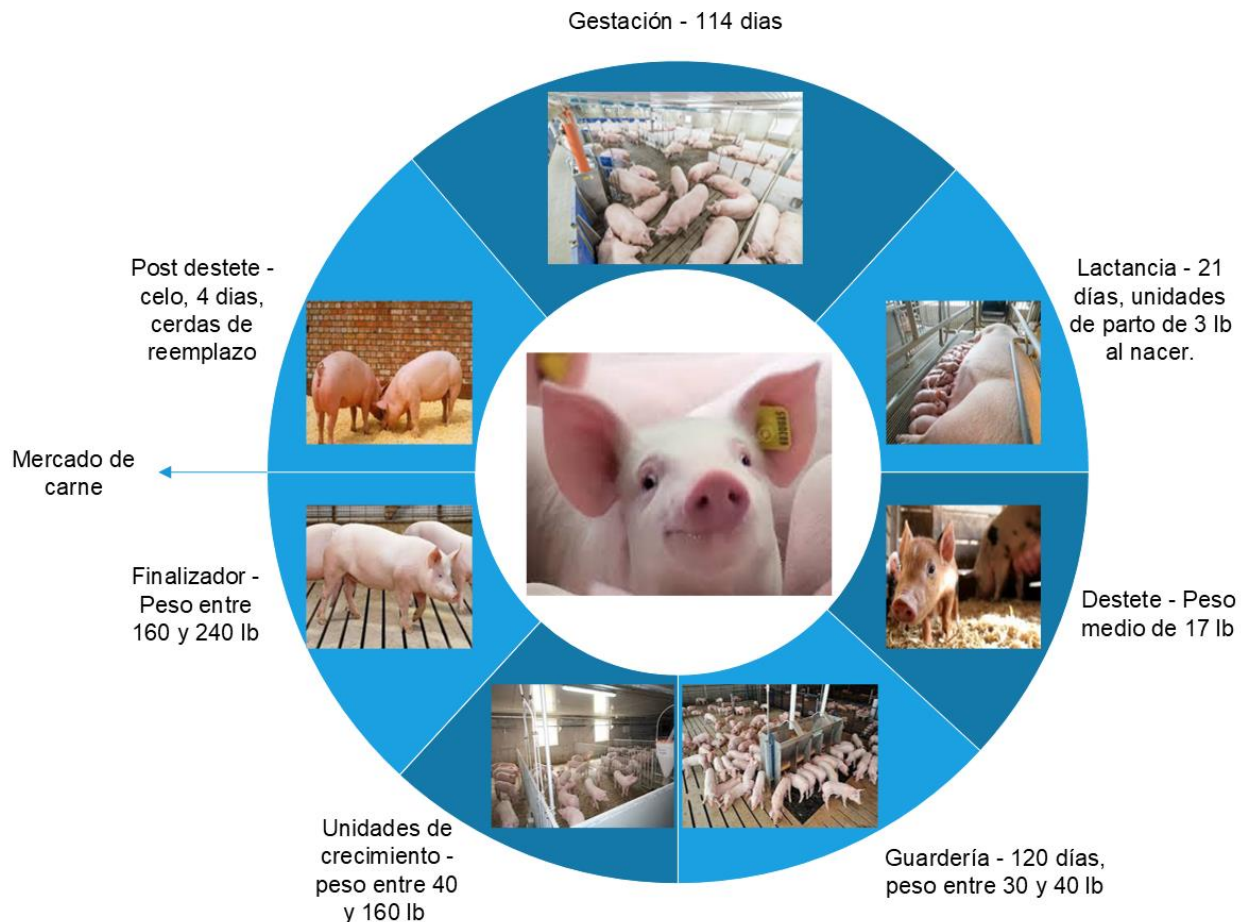
### ***Ciclo de Producción Porcina***

En la figura 1 se puede observar el ciclo productivo en la porcicultura, iniciando con la gestación de las cerdas, pasando a las unidades de parto y lactancia para continuar con el destete

y después a guarderías en donde aumentan el peso hasta 40 libras y pasan a las unidades de crecimiento hasta llegar al cerdo finalizador listo para el beneficio o sacrificio con peso entre 160 y 250 libras. Las cerdas criadas para reemplazo son dispuestas para reemplazar a las cerdas más antiguas en las unidades de crías, estas cerdas de reemplazo deben contar con ciertas características óptimas como el número de pezones, tamaño y capacidad gestación y lactancia.

### Figura 1.

#### *Ciclo de producción porcina*



Fuente: Autor

### ***Porcicultura en Colombia***

En Colombia el consumo de carne porcina en el 2022 alcanzó los 13 kg de carne por habitante, aumentando un 7.4% con respecto al 2021 (12.1 Kg/hab) (3tres3, 2023). El consumo porkcolo de carne de cerdo se ha duplicado en los últimos 10 años generando una oportunidad de crecimiento en el sector nacional, el cual todavía está tratando de suplir el mercado nacional compitiendo con las importaciones (PorkColombia, 2020, 2021).

A pesar de un aumento de más del 25% en el costo del alimento balanceado y de las enfermedades que afectaron a ciertas granjas en el Valle del Cauca en julio del 2022, las ganancias y la producción porcina aumentaron a un ritmo constante durante todo el año (3tres3, 2023).

Durante el año 2022 el volumen de las importaciones no aumentó significativamente en los 3 primeros trimestres, pero cayó más del 30% en el último trimestre. La oferta de carne por parte de los poricultores colombianos se mantuvo sólida, llegando a aumentar hasta los COP 10.000/kg en pie durante la última semana de noviembre. De manera similar, la demanda se vio alentada e impulsada por la competitividad de los precios al consumidor respecto de otras proteínas como la carne vacuna y el pollo, permitiendo que la carne de cerdo ampliara su participación en el consumo de las familias colombianas (3tres3, 2023).

### **Probióticos en la Porcicultura**

Los probióticos se utilizan en todas las etapas de la producción porcina: en cerdas gestantes y lactantes, lechones y cerdos en crecimiento-finalización. Los probióticos generalmente se utilizan para crear una microbiota intestinal saludable, lo que mejora la salud, el

bienestar y la productividad de los animales (Liao & Nyachoti, 2017; Zimmermann et al., 2016). Sin embargo, si somos más específicos, la aplicación práctica (o resultado) del uso de probióticos puede ser distinta en cada etapa o ciclo de vida del cerdo.

### *Cerdas Gestantes y Lactantes*

La administración de probióticos a las cerdas ha demostrado un doble potencial: puede ser beneficioso tanto para las cerdas como para los lechones. La suplementación probiótica de cerdas puede aumentar el consumo de alimento durante las últimas etapas de gestación o lactancia, mejorando la condición corporal al final de la etapa de lactancia (Han et al., 2022; K. Wang et al., 2020). Esta situación es deseable, porque puede causar una reducción de la necesidad de movilización de energía en la lactancia. Esto podría explicar la disminución del intervalo destete-estro que se ha observado con los probióticos (Saladrigas-García et al., 2022). El uso de probióticos en cerdas también ha demostrado mejorar el rendimiento reproductivo. Por ejemplo, un mayor peso corporal al destete o un mayor número de lechones (Azizi et al., 2022; Chang et al., 2018; Pereira et al., 2022). Además, también se ha observado una reducción de los patógenos intestinales, signos clínicos de enfermedad del útero y/o ubre (Y. Zhang et al., 2023) junto con menos signos clínicos de diarrea en lechones han sido descritos anteriormente en múltiples estudios (Su et al., 2022). Por último, en la actualidad hay un interés científico para evaluar la capacidad de las cerdas para administrar probióticos a los lechones en las primeras etapas de la vida (Scharek-Tedin et al., 2015).

### ***Lechones Destetados***

En la actualidad, el uso de probióticos en la producción porcina está ganando más interés durante el período de destete con el objetivo de mejorar los resultados en esta etapa. (Su et al., 2022). Los lechones destetados tienen una baja resistencia a las enfermedades, lo que los hace vulnerables a las reacciones de estrés y a la invasión de microorganismos patógenos (Azizi et al., 2022; Y. Zhang et al., 2023). Esto es considerado un problema relevante debido a que este período se considera crucial en términos de productividad porque los parámetros de rendimiento en la primera semana después del destete están correlacionados con el rendimiento posterior de los lechones hasta la salida al mercado (Faccin et al., 2020).

Los probióticos pueden potencialmente actuar de forma beneficiosa en estos animales de varias maneras. Por ejemplo, Su et al. (2022) ha informado que complementar a los recién destetados con probióticos puede prevenir o mejorar la diarrea, restablecer el equilibrio microbiano después de una caída transitoria de bacterias favorables, proteger contra bacterias patógenas, mejorar la función de barrera intestinal y estimular la inmunidad. Como consecuencia de una o una combinación de las razones mencionadas anteriormente, se han obtenido resultados en donde los probióticos mejoran los parámetros productivos de los lechones después del destete en muchas ocasiones (Méndez-Palacios et al., 2018).

### ***Cerdos de Engorde o Finalizador***

El objetivo principal de utilizar probióticos en esta fase sería mejorar la productividad. La investigación científica actual respalda la idea de que, aunque los cerdos adultos tienen un sistema inmune más desarrollado y una mayor capacidad para resistir los trastornos intestinales,

los probióticos aún pueden tener un impacto y fomentar el crecimiento, especialmente en fases tempranas de crecimiento. (Liao & Nyachoti, 2017; Pereira et al., 2022). La mejora de la calidad final de la carne y las propiedades organolépticas también podría ser otro objetivo para los probióticos en esta fase, ya que se ha descrito que los probióticos afectan el color de la carne, el marmoleado y las puntuaciones de firmeza (Chang et al., 2018); y reducir infecciones potencialmente zoonóticas como *Salmonella spp.* (F. Yang et al., 2015). Por último, un potencial beneficio es la reducción de contaminantes ambientales en el estiércol animal. Se ha informado que varios probióticos son capaces de reducir los contaminantes potenciales del estiércol, como el gas nocivo fecal ( $H_2S$ ) o el contenido de amoníaco ( $NH_3$ ), particularmente en cerdos alimentados con dietas de alta densidad de nutrientes (Prenafeta-Boldú et al., 2017). Aún no se han descubierto los factores directos responsables de estos efectos, pero es posible que estén involucrados factores indirectos, como la mejora de la eficiencia de la dieta, la retención de nutrientes y la regulación de la microbiota intestinal.

## **Fabricación de Alimentos Balanceados Para Cerdos.**

### ***Tamaño de Partícula de Grano***

La molienda de cereales de como el trigo o el maíz mejora el uso de alimentos al tiempo que reduce la excreción de materia seca (MS), nitrógeno (N) y fósforo (P). El área de superficie de las partículas de granos aumenta a medida que disminuye su tamaño, lo que permite un mayor contacto con las enzimas digestivas (Figura 2). En general, reducir el tamaño de las partículas de 1000 micrones a 400 micrones mejora la eficacia de la alimentación de los cerdos en un 1,3 % por cada 100 micrones de reducción (Hancock & K.C. Behnke, 2000; Wondra, Hancock,

Behnke, Hines, et al., 1995). Esta disminución del tamaño de las partículas aumenta la digestibilidad de la MS y el N en alrededor de 5 a 6 puntos porcentuales. En lechones de crecimiento y finalización, la disminución del tamaño de las partículas de 1000 a 700 micrones reduce la excreción de MS y N en un 20 y un 24 %, respectivamente (Wondra, Hancock, Behnke, Hines, et al., 1995). En las cerdas lactantes, la digestibilidad de la energía mejora linealmente del 83,8 % al 90,0 % y la excreción de MS y N disminuyen en un 21 % y un 31 %, respectivamente, a medida que el tamaño de las partículas se reduce de 1200 a 400 micrones, (Wondra, Hancock, Kennedy, Behnke, & Wondra, 1995; Wondra, Hancock, Kennedy, Hines, & Behnke, 1995). Moler el grano es una forma simple pero efectiva de aumentar la utilización de nutrientes y reducir la excreción de nutrientes de MS y N, con un costo mínimo para el porcicultor. Sin embargo, a medida que disminuye el tamaño de las partículas, el costo de la molienda aumenta y el rendimiento del molino disminuye (Wondra, Hancock, Behnke, Hines, et al., 1995). Los cambios recientes en el diseño de ingeniería de los molinos y su mayor eficiencia en la reducción del tamaño de las partículas han mejorado el rendimiento del molino y los costos asociados con la reducción del tamaño de las partículas. Según las estimaciones actuales, la maquinaria de molienda moderna puede reducir el tamaño de las partículas de grano en US\$100 por tonelada de grano por cada 100 micrones de disminución en el tamaño de las partículas entre 800 y 400 micrones (Langford et al., 2019; McElhiney & Association., 1994). Los métodos modernos de preparación de alimentos pueden reducir el tamaño de las partículas de cereal a casi 500 micrones cuando se granula la dieta, lo que mejora la durabilidad de los gránulos y maximiza la eficacia del alimento (McElhiney & Association., 1994).

**Figura 2.**

*Tamaño de partícula en la molienda de alimentos para cerdos*



Fuente (FeedPelletizer, 2021)

Muchas variables pueden influir en el tamaño de partícula del grano, lo que puede explicar por qué el tamaño de partícula puede variar con el tiempo con poca o ninguna modificación en el molino. El tamaño de las partículas producidas en la molienda puede verse afectada por la dureza, el tamaño del grano, el contenido de fibra y el contenido de humedad, así como por variables mecánicas como el desgaste del martillo, la velocidad de giro, el área abierta de la criba o pantalla, la velocidad del rodillo y las vibraciones mecánicas. Además, a medida que el tamaño de partícula se reduce por debajo de 600-700 micras, aumenta la frecuencia de

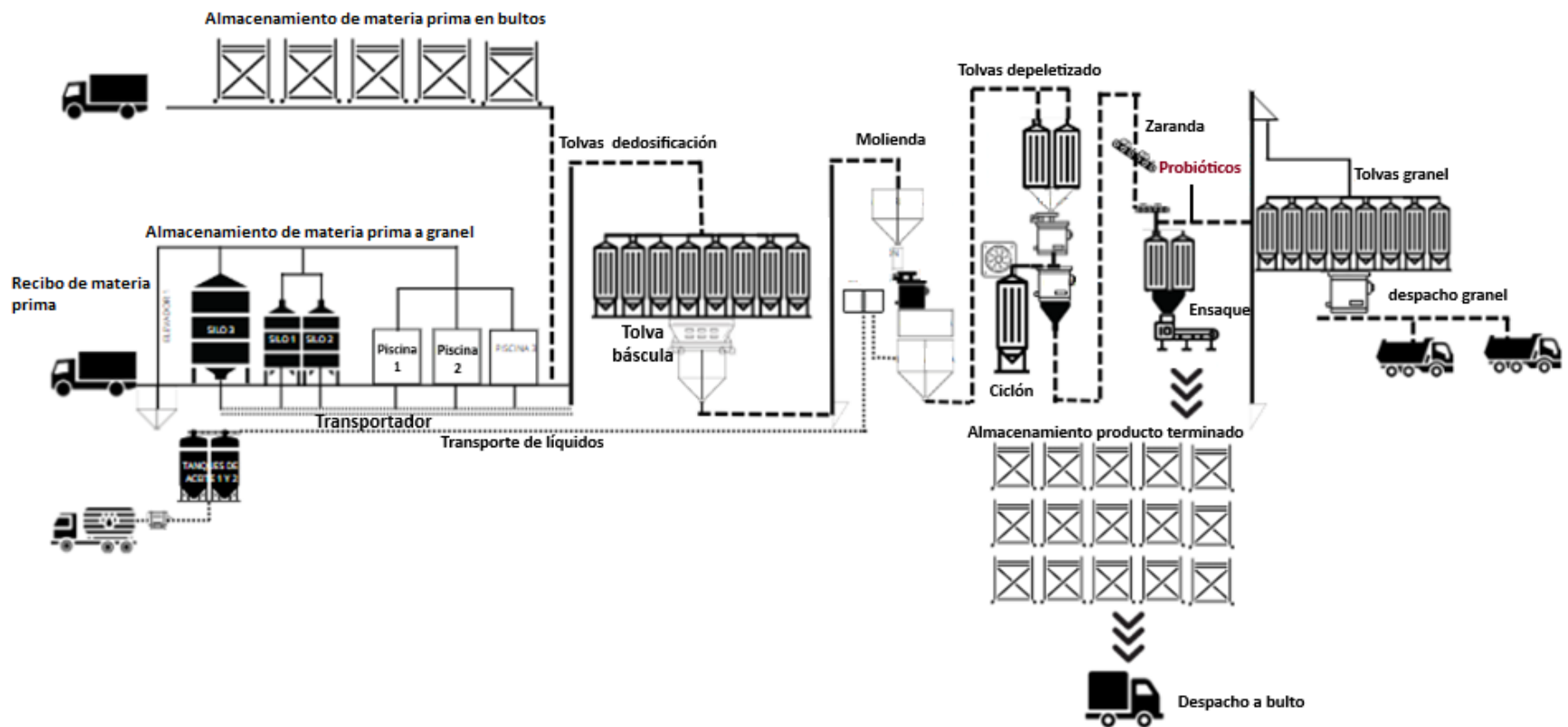
úlceras estomacales en lechones de destete (Hancock & K.C. Behnke, 2000), cerdos de engorde (Cabrera et al., 1993; Eisemann & Argenzio, 1999; Wondra, Hancock, Behnke, & Stark, 1995; Wondra, Hancock, Behnke, Hines, et al., 1995) y cerdas lactantes (Wondra, Hancock, Kennedy, Behnke, & Wondra, 1995; Wondra, Hancock, Kennedy, Hines, & Behnke, 1995). Se cree que el aumento de la fluidez del contenido del estómago, así como la mayor cantidad de pepsina y ácidos digestivos, contribuye al aumento del tiempo de contacto con el área esofágica sensible del estómago (Rojas & Stein, 2017). Además, el tamaño de las partículas finas está relacionado con un aumento en la formación de puentes de alimentación y casos de falta de alimentación en el establo. Estos casos de falta de alimento pueden disminuir el consumo de alimento y el rendimiento del desarrollo de los cerdos, así como causar estrés adicional en los cerdos, lo que puede provocar úlceras.

### ***Diagrama de flujo de proceso***

A continuación, en la figura 3 se presenta el diagrama de flujo de procesos de una planta de fabricación de alimentos balanceados para cerdos, dando énfasis en que la adición de los probióticos se puede realizar después de la zaranda por aspersion y adherencia al pellet justo en el sistema de postengrase. Esta adición del probiótico puede ser microencapsulada para mejores resultados (Choudhury et al., 2021).

**Figura 3.**

*Diagrama de flujo de proceso y adición de probióticos*



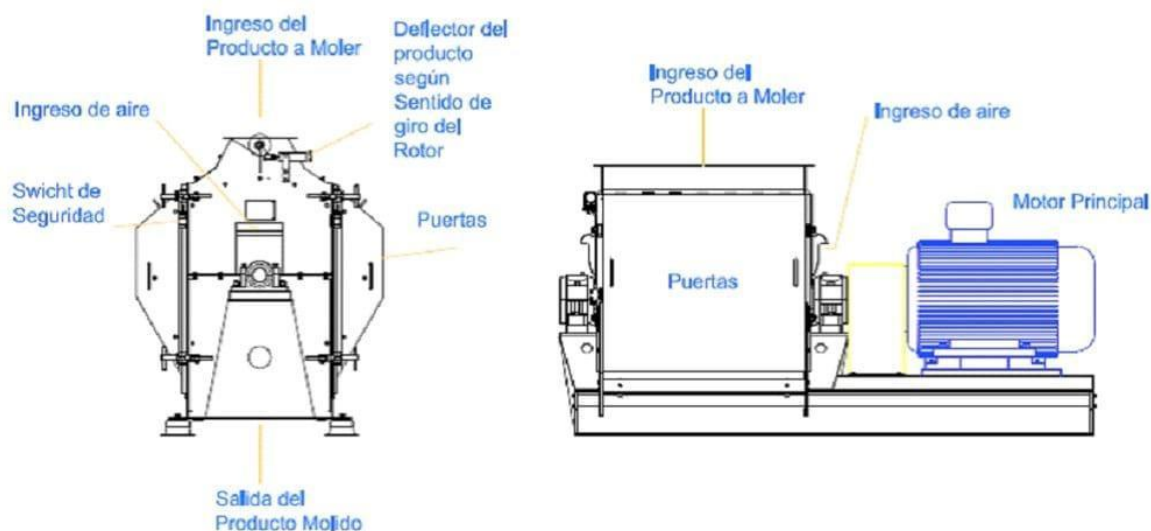
Fuente: Autor

### ***Molino de Martillos y Molino de Rodillos***

En todo el mundo, los dos métodos de molienda de cereales más comunes son los molinos de martillos y los molinos de rodillos. (Figuras 4 y 5). Ambas técnicas de procesamiento de granos producen ingredientes adecuados para la dieta de los cerdos. Sin embargo, los molinos varían en términos de capacidad de procesamiento, efectividad y mantenimiento. Los molinos de martillos son capaces de crear una amplia variedad de tamaños de partículas mientras muelen de manera efectiva una amplia gama de materias primas. Este tipo de molinos, por otro lado, pueden ser ruidosos, polvorientos y producir calor durante el proceso de molienda (Gebhardt et al., 2018; Koch, 2002). En comparación con estos, los molinos de rodillos pueden crear entre un 15 % y un 40 % más de libras de grano molido con el mismo consumo de energía (Jo et al., 2021; Lyu et al., 2020; McElhiney & Association., 1994).

**Figura 4.**

#### *Molino de martillos*



Fuente: (Engormix, 2017)

**Figura 5.***Molino de rodillos*

(Engormix, 2020)

A medida que el tamaño de las partículas disminuye por debajo de las 700 micras, la distinción entre las variedades de molienda se vuelve menos perceptible (Lyu et al., 2020; Wondra, Hancock, Behnke, Hines, et al., 1995). Además, los molinos rodantes producen menos conmoción y polvo, y proporcionan un tamaño de partícula/molienda más uniforme, lo que puede aumentar la digestibilidad (debido a la menor cantidad de partículas grandes) y la fluidez del alimento (debido a la menor cantidad de finos y una forma de partícula irregular) (Gebhardt et al., 2018; Hancock & K.C. Behnke, 2000; Koch, 2002). Con un tamaño de partícula más consistente, se debe mejorar el movimiento de alimentación a través de tornillos sinfín, tolvas y transportadores. Los puentes de alimentación en silos y comederos pueden ser un problema importante, especialmente cuando se contempla el posible efecto de eventos de falta de

alimentación. Como resultado, para la preparación de alimentos para cerdos, un molino de rodillos puede ser una opción superior a un molino de martillos (DeRouche et al., 2007).

Los molinos de rodillos, por otro lado, requieren un mayor cuidado para mantener una amplitud de espacio que produzca el tamaño de partícula deseado. El ancho del espacio entre los rodillos cambia a medida que los rodillos se desgastan y cambian las características del grano. Por el contrario, los molinos de martillos necesitarán menos supervisión. Moler semillas de granos diminutos, como el sorgo en grano, con un laminador puede ser más difícil si no se utilizan las ondulaciones y la configuración adecuadas, ya que los rodillos no se pueden colocar lo suficientemente cerca para procesar correctamente el grano. Los molinos de rodillos también son más caros de mantener que los molinos de martillos (Gebhardt et al., 2018; Koch, 2002).

El tamaño de la criba para el procesamiento de granos con un molino de martillos varía según la variedad de granos y los factores de trabajo del molino (Es decir, velocidad de la punta de los martillos, tasa de alimentación, etc.). Generalmente, este molino puede moler trigo y maíz con una criba de 3/16 o 5/32 de pulgada, mientras que la avena, la cebada y el mijo necesitan una criba de 1/8 de pulgada. Se debe obtener un tamaño de partícula de aproximadamente 700 micras utilizando estos filtros con el grano adecuado (DeRouche et al., 2007).

Cuando se utiliza un molino rodante para producir un tamaño de partícula de 700 micras, se deben cumplir tres factores. Para comenzar, los rodillos se deben mover con una transmisión diferencial, con un rodillo moviéndose entre un 50 y un 75 por ciento más rápido (es decir, una proporción de 1,5:1) que el otro para crear una acción de corte que ayudará a "cortar" en lugar de pulverizar el grano. En segundo lugar, los rollos deben tener corrugaciones para ayudar a cortar el grano, con corrugaciones preferidas por pulgada de rollo en el juego inferior de rollos de 8 a

10 para maíz, de 10 a 12 para trigo, cebada y avena, y de 12 a 14 para sorgo (Billa et al., 1997; Gebhardt et al., 2018).

En tercer lugar, para mejorar la capacidad de corte y disminuir las partículas, las ondulaciones deben tener una espiral de 1 a 1,5 pulgadas. Igualmente, un molino doble de rodillos altos (dos pares de rodillos colocados en sucesión uno arriba del otro) produce una molienda más fácil con un tamaño de partícula de 700 micras que un molino de rodillos de un solo par, esto debido a que cada juego de rodillos solo hace la mitad de la reducción si se compara con un solo conjunto de rodillos, realizando una reducción completa en una sola pasada (DeRouche et al., 2007; Lyu et al., 2020; Wondra, Hancock, Behnke, Hines, et al., 1995).

Al menos una vez al mes, los rodillos, las pantallas y los martillos deben examinarse por deterioro y reemplazarse si están dañados. En el caso de que los martillos se desgasten, se pueden girar o cambiar por unos nuevos. Además, deben reemplazarse regularmente para prolongar su vida útil. Las limpiadoras e imanes se utilizan con frecuencia para eliminar cualquier material extraño o metálico del grano prolongando la vida útil de los rodillos, los martillos y las cribas (DeRouche et al., 2007).

### ***Peletizado***

El peletizado o granulación puede mejorar las características de manejo del alimento, reducir la segregación de la dieta, aumentar la densidad aparente, reducir la formación de polvo y reducir la formación de puentes en el alimento (Hancock & K.C. Behnke, 2000). La granulación de la dieta (Figura 6) es un método eficiente para aumentar la efectividad del alimento en todas las etapas de la producción porcina. Por otro lado, es poco probable que las dietas peletizadas

aumenten el consumo de alimento o el crecimiento durante la mayoría de las etapas de producción. Durante el período de destete, cuando generalmente se administran componentes muy finos, se puede notar un modesto aumento en el consumo de alimento con una marcada ganancia en la eficiencia alimenticia cuando el alimento se granula. En la mayoría de las etapas de producción, las dietas granuladas proporcionan un aumento del 6 al 7 % en la eficiencia alimenticia sobre las dietas en harina (Lancheros et al., 2020).

**Figura 6.**

*Alimento peletizado para cerdos*



Fuente (FeedPelletizer, 2021)

Varias variables contribuyen a aumentar la eficacia de la alimentación. El primero es un menor desperdicio de alimentos. El segundo beneficio es que el calor del vapor del proceso de granulación gelatiniza parte del almidón, lo que aumenta la digestibilidad de la dieta y expone el almidón y la matriz proteica de la dieta a más hidrólisis de enzimas estomacales. La granulación del alimento reduce la excreción de materia seca y nitrógeno entre un 10 y un 20 % debido a la disminución del desperdicio de alimento y al aumento de la eficiencia y digestibilidad del alimento (Lancheros et al., 2020).

El cerdo parece ser capaz de usar gránulos de varios tamaños mientras mantiene una eficiencia de crecimiento comparable (Lancheros et al., 2020). Es ampliamente reconocido que un gránulo de 1/8-3/16 de pulgada de diámetro puede producir un excelente rendimiento de cerdos de destete, mientras que un gránulo de 3/16-3/8 de pulgada de diámetro puede producir un excelente rendimiento de cerdos de crecimiento y finalización y cerdas. Cuando la proporción de finos de gránulos en el comedero alcanza el 20-40 %, las ventajas del granulado (es decir, la eficiencia alimenticia equivalente a una dieta en harina) desaparecen y el costo del granulado ya no vale la pena para el criador de cerdos (Lancheros et al., 2020).

### ***Mezclado***

Las tres mezcladoras de alimentos más populares utilizados para preparar dietas para cerdos son: la mezcladora de tornillo vertical, la mezcladora de paletas y la mezcladora de cinta horizontal. El tipo de mezcladora, el peso como proporción máxima y las condiciones de mantenimiento de la mezcladora determinarán el tiempo de mezclado y homogenización de la dieta. (Stark & Saensukjaroenphon, 2014). Cuando la variación entre los datos es inferior al

10%, se considera una combinación de dieta adecuada (Stark & Saensukjaroenphon, 2014). Los mezcladores horizontales, en promedio, toman menos tiempo para obtener una mezcla uniforme. Según DeRouchey et al. (2007), una mezcladora horizontal en buenas condiciones logrará una variación del 10% en 3 a 4 minutos, mientras que una mezcladora vertical estándar de un solo tornillo tardará de 8 a 12 minutos en lograr una mezcla uniforme después de agregar el último componente. Si las cintas o los tornillos de la mezcladora están desgastados, o si la mezcladora está llena por encima de su capacidad máxima, el tiempo necesario para lograr una mezcla adecuada se prolongará considerablemente y la varianza nunca podrá reducirse por debajo del 20-30 % (DeRouchey et al., 2007). Las revoluciones por minuto (RPM) de la mezcladora y el tiempo necesario para combinar una dieta tienen una relación directa, cuanto más rápidas sean las RPM, antes se alcanza el 10% de variación. Debido a que los lechones jóvenes consumen solo una pequeña cantidad de alimento, el alimento poco mezclado es un problema mayor. Los cerdos más grandes, por otro lado, pueden ser menos propensos a un alimento ligeramente mixto debido a su mayor consumo de alimento (DeRouchey et al., 2007).

El orden correcto de los componentes ayudará en la producción de dietas de alta calidad. Una orden efectiva es agregar 1/3-1/2 del grano, luego las premezclas de vitaminas y oligoelementos e ingredientes de baja tasa de inclusión (suero, etc.), luego las fuentes de proteína y finalmente el grano sobrante. 5) combine durante 2-3 minutos, 6) agregue cualquier líquido adicional o fuentes de aceite, y 7) combine por última vez durante 2-3 minutos (DeRouchey et al., 2007). Estos períodos de mezcla son solo ejemplos y diferirán según el tipo y el estado de la mezcladora.

Para evitar problemas con los restos de medicamentos, el proceso de procesamiento por lotes es fundamental. Muchas mezcladoras de tornillo vertical (mezcladoras portátiles) tienen de

20 a 40 libras de material sobrante en el fondo del equipo. Este alimento sobrante es la causa de la mayoría de los problemas de contaminación. Después de cada dieta medicada, un fabricante debe sacar la placa transparente en la parte inferior de la batidora y retirar el alimento sobrante (DeRouche et al., 2007).

Sin embargo, debido a que muchos de estos puntos de venta son inaccesibles, el problema de la contaminación se aborda con frecuencia a través de una secuencia de dosificación adecuada. Después de mezclar alimentos con medicamentos como antibióticos, la siguiente dieta debe ser para cerdas gestantes o lactantes u otros animales que no serán vendidos en un futuro cercano. Para evitar problemas de sobras con los animales de mercado, nunca se deben combinar dietas con alto nivel de antibióticos (como las dietas de destete) con una dieta para cerdos en etapa de finalización (Lekagul et al., 2020).

### ***Estabilidad de las Vitaminas***

La administración adecuada de vitaminas al cerdo depende de comprar una premezcla de vitaminas fortificada correctamente. La estabilidad de las vitaminas difiere significativamente según las circunstancias a las que están sujetas y el tiempo de almacenamiento. Las variables más prevalentes que disminuyen la estabilidad de las vitaminas son la humedad, la radiación visible y ultravioleta, el calor y el contacto con ciertos elementos traza. Las premezclas de vitaminas deben conservarse en un ambiente frío, oscuro y seco.

Las pérdidas de potencia de las vitaminas más estables (p. ej., riboflavina, niacina) son inferiores al 1 % por mes. Las vitaminas menos estables (p. ej., tiamina, K-menadiona) pueden tener pérdidas mensuales del 4 al 6 % en las premezclas de vitaminas solas, pero hasta del 15 al

30 % cuando se combinan con premezclas de minerales traza. La granulación dietética disminuye la actividad de las vitaminas estables en un 2-6 % y la de las vitaminas menos estables en un 10-25 %. La pérdida total de actividad de la menadiona peletizada después de haber sido hecha con una premezcla de oligoelementos podría llegar al 55%. El período de almacenamiento debe ser inferior a dos meses si se incluyen oligoelementos o colina en la premezcla (Saensukjaroenphon et al., 2020).

### *Almacenamiento de Granos*

La calidad del grano es un aspecto importante de la dieta de los cerdos. Los cereales constituirán del 40 al 90 % de toda dieta agrícola, por lo que es esencial mantenerlos en buen estado. El almacenamiento de cereales comienza con cereales de alta calidad en el momento de la cosecha. Los porcicultores deben garantizar que el grano sea correctamente almacenado. Para el almacenamiento a largo plazo (1 año), el grano debe desecar al 14 % de humedad después de la cosecha; para el almacenamiento de invierno, no debe superar el 16 % de humedad. Durante el secado, las temperaturas del grano (temperaturas del aire de 220-240°F) no deben superar los 180°F, o habrá oscurecimiento, signos de disminución de la disponibilidad de lisina (reacción de Maillard), mayor división y finos, y una disminución de la materia seca (Kenkel, 2022).

Además, el grano desecado debe enfriarse adecuadamente antes de almacenarlo. Se deben medir las temperaturas en la parte superior de un pie de grano en el contenedor para garantizar que los ventiladores de refrigeración hayan funcionado lo suficiente como para enfriar toda la profundidad del grano. El grano debe mantenerse a 30-35 °F, en temperaturas de 60 °F y más, la actividad del moho e insectos prospera. Un buen plan para el almacenamiento a largo

plazo es sellar el conducto de aire después de que el contenedor se haya enfriado a las temperaturas adecuadas (Kenkel, 2022).

El sellamiento de la entrada de aire evita las fluctuaciones de temperatura causadas por los cambios climáticos, como el calentamiento temprano del grano en la primavera y el verano, la migración de la humedad del ambiente y los roedores. Para mejorar la calidad del grano y la capacidad de almacenamiento, los finos deben eliminarse a medida que el grano ingresa al recipiente de enfriamiento después del secado. Las multas suelen ser un buen punto de partida cuando se trata de despilfarro. Estas prácticas ayudarán a evitar que el moho crezca en lugares calientes y cree problemas de alimentación más adelante (Harush et al., 2021).

### **Suplementación Probiótica**

Se han investigado numerosos microorganismos como probióticos, lo que ha dado como resultado una amplia variedad de productos comerciales que se venden como complementos alimenticios para personas o aditivos para piensos para animales de granja (Ahasan et al., 2015). Las cepas probióticas comerciales generalmente se aíslan de la microflora intestinal de los usuarios previstos (como humanos, cerdos o pollos) y se eligen en función de factores como la resistencia a los ácidos estomacales y las sales biliares, la capacidad de colonizar el intestino o la capacidad de combatir patógenos potencialmente microorganismos (Azizpour et al., 2009; Cho et al., 2011; Fuller, 1992). Las bacterias más comunes utilizadas como probióticos son los *Bacillus*, *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Enterococcus*, *Pediococcus* y *Streptococcus* (Yirga, 2015).

Muchos géneros de bacterias que se denominan conjuntamente Bacterias Acido-Lácticas (BAL) incluyen *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Lactococcus*, *Lactosphaera*, *Leuconostoc*, *Melissococcus*, *Oenococcus*, *Pediococcus*, *Streptococcus* y *Enterococcus*. Todos los miembros de este grupo de BAL son grampositivos, tolerantes a los ácidos, por lo general no esporulantes (F. Yang et al., 2015). Teniendo además similitudes fisiológicas y metabólicas, entre las cuales se encuentra la producción de ácido láctico como subproducto metabólico principal de la fermentación de carbohidratos (F. Yang et al., 2015).

Sin embargo, la mayoría de los productos comerciales contienen más de una especie o más de una cepa de una especie, y algunos incluso contienen levadura u otros hongos viables, aunque los beneficios de usar más de una especie de bacteria en un solo producto comercial no han sido claramente comprobados (Zhao et al., 2013). Un documento técnico de la FAO escrito por Sharma Bajagai et al. (2016) enumera numerosas variedades de productos comerciales y sus fabricantes. Debido a que los diferentes microorganismos tienen diferentes orígenes, características y modos de acción, existen variaciones notables entre los distintos productos comerciales.

Los microorganismos que se utilizan con frecuencia en la alimentación animal se muestran en la Tabla 1 (Sharma Bajagai et al., 2016; Yirga, 2015). Esos microorganismos de uso frecuente se pueden dividir en varios grupos de acuerdo con varios factores para facilitar la comunicación en las prácticas de investigación, desarrollo y aplicación (Sharma Bajagai et al., 2016):

- Probióticos que se componen de una sola especie o cepa frente a los que se componen de múltiples especies o cepas de microorganismos: Los probióticos de una sola especie incluyen, por ejemplo, Bro-bio-fair (*Saccharomyces cerevisiae*) y Anta Pro EF

(*Enterococcus faecium*), mientras que los probióticos de múltiples especies incluyen, por ejemplo, PrimaLac (contiene *Lactobacillus spp.*, *E. faecium* y *Bifidobacterium thermophilus*); Microguard (contiene varias especies de *Lactobacillus* (contiene *E. faecium*, *Lactobacillus reuteri*, *L. salivarius* y *Pediococcus acidilactici*).

- Probióticos que son bacterias frente a los que no lo son: la mayoría de los microorganismos utilizados son bacterias, con algunas excepciones, como algunos probióticos de levadura y hongos. Algunos tipos de *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Bacillus* y *Enterococcus* son ejemplos de probióticos bacterianos. *Candida pintolopesii*, *Saccharomyces boulardii*, *Aspergillus oryzae* y *S. cerevisiae* son ejemplos de probióticos no bacterianos (levaduras u hongos).
- Las cepas de *Lactobacillus* y *Bifidobacterium* que no producen esporas solían dominar el mercado, pero ahora se utilizan más bacterias formadoras de esporas como *Bacillus subtilis* y *B. amyloliquefaciens*. La esporulación es un gran método para que las bacterias se defiendan de los peligros ambientales como el calor, la desecación y la radiación ultravioleta (Setlow, 2006). Esto sugiere que el uso de probióticos que producen esporas tiene una serie de beneficios. Por ejemplo, dado que las esporas pueden sobrevivir durante cientos de años, las preocupaciones sobre la vida útil y las circunstancias de almacenamiento se vuelven menos importantes. La capacidad de incorporarlos fácilmente en la alimentación animal mientras se toleran los procesos de manipulación y granulación con poca pérdida de viabilidad es otro beneficio importante. (Lorenzoni, 2010). Del mismo modo, las esporas no deberían tener problemas para atravesar el intestino.
- Cuando se utilizan como probióticos, los microorganismos que no se encuentran de

forma natural en el tracto gastrointestinal (TGI) de los animales se denominan probióticos autóctonos (como las levaduras), mientras que los microorganismos que se encuentran de forma natural allí como habitantes nativos se denominan probióticos autóctonos. (por ejemplo, *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*).

**Tabla 1.**

*Probioticos utilizados comúnmente en la alimentación animal<sup>1</sup>*

<b>Genero</b>	<b>Especie</b>	<b>Referencia</b>
<i>Bacillus</i>	<i>B. amyloliquefaciens</i> ; <i>B. cereus</i> ; <i>B. coagulans</i> ; <i>B. licheniformis</i> ; <i>B. megaterium</i> ; <i>B. mesentericus</i> ; <i>B. polymyxa</i> ; <i>B. subtilis</i> ; <i>B. toyonensis</i>	(Sharma Bajagai et al., 2016; Yirga, 2015)
<i>Brevibacillus</i>	<i>B. laterosporus</i>	(Sharma Bajagai et al., 2016)
<i>Bifidobacterium</i>	<i>B. adolescentis</i> ; <i>B. animalis</i> ; <i>B. bifidum</i> ; <i>B. bifidus</i> ; <i>B. infantis</i> ; <i>B. lactis</i> ; <i>B. longum</i> ; <i>B. pseudolongum</i> ; <i>B. thermophilum</i>	(Azizpour et al., 2009; Sharma Bajagai et al., 2016; Yirga, 2015)
<i>Candida</i>	<i>C. pintolepesii</i> ; <i>C. utilis</i>	(Ibrahim et al., 2012; Pan et al., 2011; Sharma Bajagai et al., 2016)
<i>Clostridium</i>	<i>C. butyricum</i>	(Meng et al., 2010; Sharma Bajagai et al., 2016)
<i>Escherichia</i>	<i>E. coli</i>	(Bhandari et al., 2010; Sharma Bajagai et al., 2016)
<i>Enterococcus</i>	<i>E. faecium</i> ; <i>E. faecalis</i>	(Sharma Bajagai et al., 2016; Yirga, 2015)
<i>Lactobacillus</i>	<i>L. acidophilus</i> ; <i>L. amylovorus</i> ; <i>L. brevis</i> ; <i>L. bulgaricus</i> ; <i>L. casei</i> ; <i>L. cellobiosus</i> ; <i>L. curvatus</i> ; <i>L. delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> ; <i>L. farciminis</i> ; <i>L. farmicinis</i> ; <i>L. fermentum</i> ; <i>L. galinarum</i> ; <i>L. jensenii</i> ; <i>L. lactis</i> ; <i>L. paracasei</i> ; <i>L. plantarum</i> ; <i>L. reuteri</i> ; <i>L. rhamnosus</i> ; <i>L. salivarius</i> ; <i>L. sobrius</i> ; <i>L. thermophilus</i>	(Azizpour et al., 2009; Lv et al., 2015; Sharma Bajagai et al., 2016; Yirga, 2015)
<i>Lactococcus</i>	<i>L. lactis</i>	(Sharma Bajagai et al., 2016;

Yirga, 2015)

<b>Genero</b>	<b>Especie</b>	<b>Referencia</b>
<i>Leuconostoc</i>	<i>L. citreum</i> ; <i>L. lactis</i> ; <i>L. mesenteroides</i>	(Yirga, 2015)
<i>Megasphaera</i>	<i>M. elsdenii</i>	(Sharma Bajagai et al., 2016)
<i>Pediococcus</i>	<i>P. acidilactici</i> ; <i>P. parvulus</i> ; <i>P. pentosaceus</i> subsp. <i>pentosaceus</i>	(Daudelin et al., 2011; Sharma Bajagai et al., 2016; Yirga, 2015)
<i>Prevotella</i>	<i>P. bryantii</i>	(Sharma Bajagai et al., 2016)
<i>Propionibacterium</i>	<i>P. acidipropionici</i> ; <i>P. freudenreichii</i> ; <i>P. jensenii</i> ; <i>P. shermanii</i>	(Sharma Bajagai et al., 2016)
<i>Saccharomyces</i>	<i>S. boulardii</i> <sup>2</sup> ; <i>S. cerevisiae</i> ; <i>S. pastorianus</i> ( <i>S. carlsbergensis</i> ); <i>S. servisia</i>	(Le Bon et al., 2010; Lv et al., 2015; Sharma Bajagai et al., 2016; Yirga, 2015)
<i>Streptococcus</i>	<i>S. bovis</i> ; <i>S. cremoris</i> ; <i>S. diacetylactis</i> ; <i>S. faecalis</i> ; <i>S. faecium</i> ; <i>S. gallolyticus</i> ; <i>S. infantarius</i> ; <i>S. intermedius</i> ; <i>S. salivarius</i> subsp. <i>thermophilus</i>	(Azizpour et al., 2009; Pollmann et al., 1980; Sharma Bajagai et al., 2016; Yirga, 2015)
<i>Aspergillus</i>	<i>A. oryzae</i> ; <i>A. niger</i>	(Sharma Bajagai et al., 2016; Yirga, 2015)

<sup>1</sup> Las comúnmente llamadas bacterias ácido-lácticas comprenden las *Lactobacillus spp.*, *Bifidobacterium spp.*, *Lactococcus spp.*, *Lactosphaera spp.*, *Leuconostoc spp.*, *Melissococcus spp.*, *Oenococcus spp.*, *Pediococcus spp.*, *Streptococcus spp.* y *Enterococcus spp.* (F. Yang et al., 2015).

<sup>2</sup> Algunos microbiólogos consideran a *S. boulardii* como una subespecie o variedad de *S. cerevisiae*.

## Microencapsulación de probióticos

La microencapsulación es un procedimiento en el que las células probióticas se colocan en una matriz o membrana encapsulante que protege las células de la destrucción por influencias ambientales dañinas y permite una liberación controlada bajo ciertas condiciones (Desai y Park 2005). La microencapsulación de probióticos protege contra el pH bajo, las sales biliares y otros elementos que se encuentran durante el tránsito gastrointestinal (Choudhury et al., 2021). Una

microcápsula está formada por una membrana esférica, delgada, robusta, semipermeable o no permeable que encierra un núcleo sólido y líquido con un diámetro que va desde unas pocas micras hasta 1 mm. Los materiales de encapsulación son ampliamente aceptados como componentes seguros para su uso en aplicaciones alimentarias (Choudhury et al., 2021). Los polímeros alimentarios de alta calidad, como el quitosano, el alginato, la goma xantana, la carboximetilcelulosa, la carragenina, el almidón, la gelatina y la pectina, se utilizan con frecuencia en microencapsulación.

Existen numerosos métodos o procesos para encapsular probióticos para su uso en aplicaciones alimentarias o producción de biomasa. Entre estos procesos están: secado por aspersión, extrusión, emulsión, etc.

### ***Secado por aspersión***

El secado por aspersión es un método para encapsular material activo dentro de una matriz protectora hecha de un polímero o masa fundida. Aunque se han desarrollado numerosas formas de microencapsular componentes alimentarios, el secado por aspersión es la tecnología más utilizada en el negocio alimentario debido a su bajo costo y a su equipo fácilmente disponible. La microencapsulación por secado por aspersión se ha utilizado eficazmente en el negocio alimentario durante décadas (Kakuda et al., 2023). La microencapsulación aséptica se está volviendo más popular ya que muchos materiales biodegradables no pueden esterilizarse con calor y la irradiación de rayos gamma puede dañar el medicamento encapsulado y destruir el polímero (Kakuda et al., 2023). Sin embargo, el secado por aspersión tradicional dificulta la preparación aséptica de microesferas.

### ***Extrusión***

La extrusión es el proceso más básico y ampliamente utilizado para producir cápsulas de probióticos con hidrocoloides. La técnica implica preparar una solución hidrocoloide, agregar el ingrediente probiótico a la solución y hacer gotear la suspensión celular a través de una máquina pulverizadora con boquilla en forma de gotas que se dejan caer libremente en una solución endurecedora (Sultana et al., 2022).

### ***Emulsión***

El principio de la técnica de emulsión se basa en la conexión entre las fases discontinua y continua. Se han utilizado varios materiales de soporte, incluidos alginato, quitosano y gelatina, para encapsular probióticos utilizando el enfoque de emulsión. Sin embargo, las técnicas estándar basadas en emulsión tienen ciertos desafíos clave, como la dificultad para eliminar un solvente orgánico, restricciones en las instalaciones de producción, inestabilidad y coalescencia de las gotas de emulsión durante el endurecimiento, etc. Este evento resultó en la conversión eficiente de gotas de emulsión en microesferas endurecidas. Como disolventes dispersos en este procedimiento, se utilizaron disolventes orgánicos de éster halogenado como cloroacetato de metilo y cloroacetato de etilo (Choudhury et al., 2021).

En el proceso de fabricación del alimento para cerdos el punto crítico de aplicación sería después del proceso de paletizado y enfriado en donde el producto ya está prácticamente terminado, se adicionaría mediante aspersión y se homogenizaría en el postengrase.

## Beneficios Productivos de los Probióticos en la Porcicultura

### Etapas de Gestación y Lactancia

La aplicación de probióticos en cerdas durante las etapas de gestación y lactancia ayuda a mejorar la salud animal y da como resultado un mejor rendimiento reproductivo y una mayor cantidad de lechones por camada (Betancur et al., 2021). La administración de probióticos en cerdas gestantes y lactantes ha producido buenos resultados en varios ensayos realizados. En la mayoría de los estudios se ha utilizado una concentración normal de  $10^8$  a  $10^9$  UFC/g administrada durante aproximadamente cuatro meses, desde la terminación de la gestación hasta el principio de la lactancia. En general, en la mayoría de los estudios analizados, los animales recibieron entre 2 y 3 kg de alimento por día, y el porcentaje de inclusión de probióticos en el alimento fue variado, desde 0,1% hasta 0,2%. Las diferencias observadas en los métodos utilizados en los estudios pueden explicar las diferencias descubiertas en sus respectivos resultados. Sin embargo, se pueden observar algunas estadísticas esenciales, como la concentración mínima de probióticos necesarios. Como se indicó anteriormente, la mayoría de los estudios decidieron administrar preparaciones que contenían  $10^8$  a  $10^9$  UFC/g y todos tuvieron resultados positivos, incluso aquellos estudios en los que se eligieron mayores concentraciones también tuvieron efectos positivos.

En el estudio realizado por Domingos et al. (2021), los investigadores utilizaron una concentración de  $2 \times 10^{10}$  UFC/g de *Saccharomyces Cerevisiae* var. *Boulardii* CNCM I-1079 y les dieron a los animales varias cantidades en cada etapa, sin controlar la cantidad consumida en el período de destete. Del mismo modo, los investigadores Y. Li et al. (2019) utilizaron en su

estudio una concentración de  $5 \times 10^9$  UFC/mL de *Lactobacillus delbrueckii*, aunque las dosis en este estudio no fueron proporcionadas por los autores. En otro estudio, Q. Zhang et al. (2020), alimentaron a los animales hasta que alcanzaron su consumo máximo de alimento ( $4 \times 10^8$  UFC/kg de *Bacillus subtilis* PB6), se obtuvieron excelentes resultados con respecto al rendimiento reproductivo de las cerdas. Se encontró que agregar  $4 \times 10^8$  UFC/kg de *B. subtilis* PB6 al alimento de las cerdas durante la última etapa de la gestación y la lactancia podría acortar los intervalos entre partos de los lechones, mejorar el rendimiento del crecimiento de los lechones lactantes y mejorar la salud intestinal de las cerdas durante la última etapa de la gestación. Sin embargo, el incremento en la concentración no resultó rentable desde un punto de vista económico, especialmente para los pequeños porcicultores, ya que se pueden obtener beneficios con concentraciones más bajas y el aumento de la concentración de probióticos puede resultar en un alimento más caro sin obtener mayores beneficios. Una opción viable podría ser una concentración más baja de probióticos en una dosis diaria más grande de alimento.

En sus respectivos estudios, Domingos et al. (2021) y Peng et al. (2020) investigaron los efectos probióticos de *Saccharomyces cerevisiae* en cerdos, descubriendo que el uso de probióticos durante la gestación de las cerdas mejora la producción de calostro y leche y aumenta la concentración de ácidos grasos (totales, saturados, monoinsaturados, poliinsaturados e insaturados) en la leche, mejorando su valor nutricional.

La suplementación probiótica con una mezcla de *Lactobacillus acidophilus* y *Bacillus subtilis* utilizada por los investigadores Jeong et al. (2015), arrojó como resultados un aumento de la ingesta diaria de alimento, así como también una disminución en las emisiones de gases fecales, relacionando estos resultados con una mayor tasa de crecimiento y aumento de peso en los lechones. Esta suplementación se realizó desde el día 86 al 109 de gestación, así como

durante las 4 semanas antes del parto y hasta el día 21 de lactancia. De acuerdo con esta investigación los resultados en el estudio se atribuyeron al uso de una combinación de probióticos, lo cual resultó ser más eficiente que el uso de cepas aisladas, como las usadas por Yirga (2015)

Del mismo modo, Hu et al. (2021) utilizaron una combinación de probióticos en cerdas durante la lactancia con una dosis típica de  $10^9$  CFU/g, pero el período del estudio fue más corto que en investigaciones anteriores, de solo 11 días. Se descubrió que el uso de *B. subtilis* y *Bacillus licheniformis* reducía la producción de gas fecal tóxico (hidróxido de amonio) y brindaba protección contra *E. coli*. El rendimiento del crecimiento de los lechones lactantes aumentó mediante la suplementación de la dieta de la cerda. Aunque la cantidad de dosis/día no fue proporcionada por Hu et al. (2021) tanto sus resultados como los de Jeong et al. (2015) fueron similares. La combinación de probióticos puede mejorar la eficacia de la suplementación, reducir el tiempo necesario para obtener resultados clínicos satisfactorios y ahorrar dinero.

Con relación al desempeño reproductivo en cerdos, los investigadores Domingos et al. (2021), Laskowska et al. (2019) y Ma et al. (2018) reportaron mejoras en este aspecto debido al uso de probióticos, encontrando reducciones en la tasa de mortandad y demostrando que el uso de probióticos aumenta el peso de los lechones recién nacidos. En el estudio realizado por Q. Zhang et al. (2020) se demostró que el uso de *B. subtilis* dio como resultado una mayor supervivencia de los lechones que habían nacido con bajo peso, superando las complicaciones que estos habían tenido durante la gestación.

Al mismo tiempo, la suplementación probiótica puede aumentar la producción de inmunoglobulinas tales como la inmunoglobulina G (IgG) (Satora et al., 2020). En el estudio realizado por los investigadores Tsukahara et al. (2018) y Laskowska et al. (2019) encontraron

un aumento en la producción de IgG en el calostro y la leche después de usar combinaciones de probióticos que incluían bacterias del ácido láctico al final de la gestación. Ambos estudios reportaron una disminución de la diarrea en las cerdas y sus camadas. Además, se encontró un aumento en los niveles de inmunoglobulina A (IgA), IL-10 e IL-4 en la leche, así como una disminución en la mortalidad porcina (Laskowska et al., 2019). En estas mismas investigaciones también se halló un aumento en la producción de citocinas adicionales como IL-2, TNF-  $\alpha$  e IFN-  $\gamma$ , lo que indica que la formulación probiótica administrada en los estudios tuvo un impacto inmunomodulador. La IgA en la leche puede limitar la unión de patógenos a los enterocitos y es un recurso defensivo importante para los lechones recién nacidos que carecen de un sistema GALT (tejido linfoide asociado al intestino) completamente establecido. (Langel et al., 2020; Laskowska et al., 2019).

Las cerdas en etapas de gestación y lactancia que han sido tratadas con una combinación de ciertos probióticos tales como *Enterococcus faecium*, *Lactobacillus rhamnosus* y *Lactobacillus fermentum*, y *Bacillus mesentericus*, *Clostridium butyricum* y *E. faecalis*, en concentraciones de entre  $10^6$  y  $10^9$  UFC/g llegan a producir leche y calostro con mayor cantidad de IgG, generado que la camada alimentada por estas cerdas obtengan una mayor ganancia de peso con respecto a los lechones que no reciben este tipo de alimentación (Satora et al., 2020; Tsukahara et al., 2018). Los investigadores Peng et al. (2020) obtuvieron resultados similares mediante la suplementación probiótica con *S. cerevisiae* ( $10^{10}$  UFC/g).

Liu et al. (2020) demostraron un aumento del contenido total de proteínas en sangre de cerdas, incluida la fracción de inmunoglobulinas, después de un tratamiento nutricional con *Pediococcus acidilactici* ( $2,40 \times 10^9$  UFC/kg de alimento). Además, las concentraciones de alanina aminotransferasa (ALT) y haptoglobina fueron más bajas que en el grupo de control. Una

concentración baja de la haptoglobina puede indicar anemia debido a que es un marcador de hemólisis (Minović et al., 2017). Por otro lado, los niveles altos de ALT (alanina aminotransferasa) en el plasma sanguíneo pueden indicar la presencia de infecciones virales o daño hepático en cerdos (Hlatini & Chimonyo, 2016; H. Liu et al., 2020) o la presencia de infecciones virales (Xing et al., 2018).

Por lo tanto, un indicador crucial de la salud del animal es mantener los niveles equilibrados de haptoglobina en el suero. Como hay un aumento significativo en la concentración de haptoglobina en el suero de cerdos que han sufrido daño tisular, infecciones, inflamación o incluso estrés, Liu et al. (2020) concluyeron que la reducción en las concentraciones de haptoglobina es un parámetro importante en animales suplementados con probióticos. Peng et al. (2020) encontraron una disminución en los niveles de transaminasas en el plasma sanguíneo, lo que indica que la función hepática de las cerdas tratadas con probiótico *S. cerevisiae* mejoró.

### **Etapas de Lechones Destetados**

El destete está relacionado con las ventajas económicas de las granjas porcinas y se considera una de las etapas más importantes en la producción porcina. La rápida separación del lechón de la madre acarrea problemas intestinales e inmunológicos, pérdida de peso y complicaciones por diarrea causada por *E. coli* enterotoxigénica (Liao & Nyachoti, 2017; Tang et al., 2022). Los probióticos pueden ayudar en esta etapa evitando enfermedades, reequilibrando la microbiota después de una inoculación con bacterias beneficiosas y aumentando la inmunidad (Barba-Vidal et al., 2019). Los lechones destetados experimentan estrés psicológico como

resultado de cambios en la nutrición y el entorno (Ross et al., 2010; F. Yang et al., 2015), haciéndolos más susceptibles al desarrollo de enfermedades y afectando severamente el crecimiento del animal (Luise et al., 2021).

Como resultado, la administración de probióticos en este período puede ser una estrategia valiosa para mejorar los índices de salud animal. La concentración promedio de microorganismos en las adiciones de probióticos utilizadas en los estudios realizados en esta etapa fue la que más varió (de  $10^9$  CFU/mL a  $5 \times 10^9$  CFU/mL de suplemento probiótico y de  $1,2 \times 10^9$  CFU/kg a  $5 \times 10^{10}$  CFU/kg de alimento), y no se pudo establecer ningún estándar en cuanto a concentración probiótica (He et al., 2019; Y. Li et al., 2019; Nguyen et al., 2018; Peeters et al., 2018; S. Wang et al., 2019). Además, la dosis diaria administrada no fue indicada en la mayoría de los estudios realizados.

En general, los estudios recientes solo describen la proporción de probióticos que contiene la comida (normalmente 2-4%), sin indicar la dosis suministrada. La mayor parte del trabajo en la investigación con cerdas se centró en examinar los factores de salud relacionados con la dieta, la calidad de la leche y la tasa de mortalidad de los lechones. Sin embargo, los indicadores de salud también se investigan en el grupo de lechones destetados tempranamente. La mayoría de las investigaciones parecen centrarse en la capacidad antibacteriana de los probióticos contra las infecciones. A continuación, se explican los hallazgos más importantes encontrados en la suplementación probiótica en esta etapa del ciclo de producción porcícola.

En el estudio realizado por los investigadores Y. Yang et al. (2020) y Tian et al. (2020) se emplearon cepas probióticas de *Lactobacillus plantarum* y *Lactobacillus reuteri*, respectivamente en cerdos destetados a los 21 días. Los investigadores encontraron que la suplementación ayudaba a mejorar el peso de los lechones debido al aumento en la producción

de enzimas digestivas, aumentado a su vez la conversión alimenticia. Los investigadores Y. Yang et al. (2020), utilizaron durante 42 días una concentración de suplementación probiótica de  $10^7$  UFC/g, mientras que en el estudio realizado por Tian et al. (2021) se utilizó una concentración de  $5 \times 10^{10}$  UFC/kg durante 175 días. Cabe anotar que en ninguna de las dos investigaciones los autores especifican la dosis diaria. Los resultados encontrados con estas distintas concentraciones fueron prometedores, más sin embargo los datos de estos estudios no concluyen que estos hallazgos sean resultado solo de las concentraciones sino también de algunos factores indirectos tales como la genética de los cerdos utilizados en estos estudios o también de la metodología con la que fueron diseñados.

Dávila-Ramírez et al. (2020) y Zhu et al. (2017) emplearon la levadura *S. cerevisiae* en dosis de cultivo de 0,3 % en lechones destetados de 14 días durante un periodo de 96 días. Al terminar el estudio los investigadores obtuvieron efectos positivos en cuanto al aumento de peso, la concentración de proteínas en la sangre, la calidad de la carne, la microbiota y morfología intestinal. Se descubrió también una disminución del pH y aumento de la actividad IgA y de la inmunidad de las mucosas con una reducción considerable de *E. coli*. Estos hallazgos respaldan el uso de *S. cerevisiae* en el alimento para lechones, lo que indica que puede emplearse como un promotor de crecimiento (Pang et al., 2022).

Por otro lado, Jørgensen et al. (2016) realizaron una investigación en varias etapas de la producción porcina, utilizando la combinación de *B. subtilis* y *B. licheniformis* en cerdos de 28 a 42 días y de 42 a 70 días, descubriendo que la esta combinación de probióticos aumentaba el peso, la digestibilidad y la tasa de conversión. Aunque la suplementación probiótica en este caso pareció tener mayor éxito en cerdos entre los 42 a 120 días de edad.

Según Nguyen et al. (2018), la suplementación probiótica con *B. licheniformis* y *B. subtilis* al 0,3 % y *B. coagulans* y *C. butyricum* durante 42 días en lechones destetados de 28 días de edad mejoraron la ganancia de peso, la digestibilidad nutricional, redujeron las emisiones de gases peligrosos y redujeron el recuento de *E. coli*. Igualmente, el uso de *B. subtilis*, en el ciclo de pro la producción porcícola mostró impactos positivos debido a su capacidad para colonizar el tracto gastrointestinal (Q. Zhang et al., 2020).

Dowarah, Kumar Verma, et al. (2017) observaron en su investigación un incremento de la albúmina y globulina en la sangre de los cerdos tratados, así como la oxidación de lípidos y una reducción del pH. En esta investigación se realizó la suplementación probiótica con *P. acidilactici* en una concentración de  $10^9$  UFC/g a cerdos de 28 día. En un estudio llevado a cabo por S. Wang et al. (2019) se observó una disminución de los niveles séricos de IL-6 e IFN- $\gamma$ , una mejor ganancia media diaria de peso e inhibición del crecimiento de patógenos después de administrar *P. acidilactici* en combinación con *L. fermentum* a la concentración estándar durante 28 días.

Se ha descubierto que otro efecto de los probióticos es su factor antimicrobiano en lechones destetados de 28 días. Y. Yang et al. (2020) y Hanczakowska et al. (2016) descubrieron un aumento en las tasas de supervivencia de los cerdos debido al impacto que tuvo en el *E. coli* la suplementación probiótica con *Lactobacillus plantarum* y *E. faecium*. Según He et al. (2019), la utilización de *Lactobacillus johnsonii* a una concentración de  $10^9$  UFC/mL (en solución salina estéril) con cerdos en fase de destete puede tener un impacto en *S. enterica infantis*, reduciendo la mortalidad. Usando *Lactobacillus delbrueckii*, R. Li et al. (2019) encontraron que la suplementación con probióticos impulsó la respuesta inmune, mejoró la morfología intestinal, promovió el crecimiento y alivió la diarrea en cerdos destetados a los 21 días de edad. Los

investigadores Naqid et al. (2015) potenciaron las respuestas inmunitarias humorales contra el patógeno *S. Typhimurium* mediante la suplementación probiótica con *Lactobacillus plantarum*.

Por lo tanto, los resultados sugieren que la suplementación probiotica puede ser un método para prevenir la colonización gastrointestinal por patógenos en cerdos en esta etapa del ciclo productivo. En comparación con otras etapas del crecimiento del cerdo, la etapa de destete es la que muestra los efectos más positivos concernientes a la suplementación con probióticos. Además, los efectos clínicos de la colonización temprana con probióticos pueden tener un buen impacto en la salud del animal durante todo el ciclo de producción, lo que puede ser una ventaja del uso temprano de probióticos (Peeters et al., 2018; Y. Yang et al., 2020; Zhu et al., 2017).

### **Etapa de Engorde o Finalización**

En esta última fase del ciclo productivo, los cerdos tienen un TGI completamente desarrollado y una mayor capacidad inmunológica, lo que resulta en una mayor resistencia a las enfermedades (F. Yang et al., 2015). Debido a que el cerdo adulto ya tiene un microbioma, el impacto de los probióticos es menor que cuando se usan en lechones de destete. En la etapa de engorde o finalización los probióticos son utilizados para mejorar la calidad final de la carne, así como su rigidez y color, disminuir los contaminantes en las heces y aumentar el rendimiento de conversión (Barba-Vidal et al., 2019). También hay diferencias entre los estudios realizados en esta fase del ciclo productivo lo que hace difícil hallar una tendencia o estándar en la dosificación y administración del suplemento probiótico debido a que las concentraciones empleadas, así como la dosis diaria administrada a cada animal, varían mucho. Durante la etapa

de engorde o finalización se controlan las variables relacionadas al desarrollo del cerdo, tales como el aumento de peso.

En algunos estudios como el realizado por Yirga (2015) se han utilizado combinaciones de probióticos para medir su efecto en esta fase productiva. A su vez los investigadores Rybarczyk et al. (2020) realizaron una suplementación probiótica con una combinación de tres cepas (*S. cerevisiae*, *Lactobacillus casei* y *L. plantarum*) a cerdos a partir del día 78 de vida y encontraron una mejor ganancia de peso, un aumento significativo en el recuento de BAL en la microbiota y una disminución de la cantidad de *Enterobacteriaceae*. En el estudio realizado por Accogli et al. (2018) se obtuvieron resultados favorables tanto en el aumento de peso como en la calidad de la carne al combinar siete cepas (*Streptococcus thermophiles*, *Bifidobacterium animalis*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus helveticus*, *L. paracasei*, *L. plantarum*, *Lactobacillus brevis*). En un estudio más reciente realizado por (Kwak et al., 2021) se observó una reducción de bacterias patógenas usando una combinación de seis cepas (*L. plantarum*, *L. fermentum*, *L. salivarius*, *Leuconostoc paramesenteroides*, *B. subtilis*, *B. licheniformis*), lo que resultó en una mejor conversión alimenticia, ganancia de peso y aumento de la expresión de los genes del sistema inmunitario, en particular la concentración de citocinas, un posible biomarcador para examinar la respuesta inmunitaria del huésped contra las infecciones bacterianas. A pesar de los hallazgos positivos, es importante señalar que los estudios variaron significativamente en sus fisiologías, como la concentración empleada, la dosis diaria y el período de suplementación.

Van Der Peet-Schwering et al. (2020) realizó suplementación probiótica con una mezcla de *B. subtilis* junto con *Bacillus amyloliquefaciens* en cerdos de 102 días con resultados favorables en cuanto a la ganancia promedio diaria de peso y descubrieron solo hallazgos

relacionados con la actividad contra el patógeno *Lawsonia intracellularis*. De igual manera, pero con mejores resultados, los investigadores Hao et al. (2020) emplearon *B. subtilis* y *Pediococcus pentosaceus* en cerdos de entre 39-63 días de edad, obteniendo una mayor ganancia promedio diaria de peso con respecto a Van Der Peet-Schwering et al. (2020). Las concentraciones aplicadas por Hao et al. (2020) fueron de  $3,6 \times 10^8$  UFC/g de *B. subtilis* y  $2,5 \times 10^8$  UFC /g de *Pediococcus pentosaceus*. Los resultados obtenidos fueron un aumento de la tasa de crecimiento y ganancia de peso, y mejor calidad final de la carne. Además, el pH y el contenido de nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ) en las heces disminuyeron como resultado de esta suplementación probiótica, lo que indica que este contaminante está menos presente en el estiércol (Barba-Vidal et al., 2019). Las diferencias entre estos dos estudios se pueden deber a la acción de los diferentes probióticos utilizados en la suplementación, además de la interacción con los huéspedes (ez et al., 2019).

Los investigadores Dowarah, Verma, et al. (2017) llevaron a cabo un estudio en donde examinaron el uso de *P. acidilactici* y *L. acidophilus* a  $10^9$  UFC/g durante 180 días con cerdos en fase de finalización. Esta suplementación probiótica se mezcló con el alimento base y se administró a los cerdos a una dosis de 200 g por día. Debido al supuesto impacto probiótico sinérgico con la microbiota intestinal, el *P. acidilactici* exhibió más eficacia contra *E. coli* y mejoró la salud intestinal de los cerdos. Además, ambas cepas mostraron una buena morfología intestinal, mayor aumento de peso, menor contenido de  $\text{NH}_3\text{-N}$  en las heces y menor pH, lo que probablemente estaba relacionado con la formación de ácidos grasos de cadena corta, que son metabolitos probióticos (Sharma Bajagai et al., 2016). La suplementación probiótica con *P. acidilactici* superó al *L. acidophilus* en términos de producción fecal de ácido láctico y

resistencia a la diarrea, lo que sugiere que este probiótico tiene una mayor especificidad de especie huésped (Dowarah, Verma, et al., 2017).

Joysowal et al. (2021) también investigaron el uso de *P. acidilactici* y *L. acidophilus* a  $2 \times 10^9$  UFC/g durante 90 días y descubrieron que la suplementación probiótica mejoró el aumento de peso. Además, los investigadores utilizaron una dosis de probiótico de 200 g/día/cerdo junto con una dieta normal. El *P. acidilactici*, en comparación con *L. acidophilus*, demostró una mejor conversión alimenticia, retención de nitrógeno, digestibilidad de proteínas crudas y concentraciones más bajas de triglicéridos y colesterol en sangre. Debido a su origen porcino, la suplementación con probiótico *P. acidilactici* probablemente tuvo un mayor impacto. Esto puede conducir a interacciones más favorables con el TGI en cerdos.

### **Cepas Probióticas Más Utilizadas en la Producción Porcina.**

Los antibióticos se utilizan con frecuencia como aditivos alimentarios no nutritivos en muchas partes del mundo. El uso de los antibióticos ha ayudado a que la porcicultura a nivel mundial se haya desarrollado enormemente, reduciendo las incidencias clínicas de las enfermedades y mejorando la conversión alimenticia (Pereira et al., 2022). Desafortunadamente, el uso prolongado de antibióticos fomenta la proliferación y propagación de bacterias y patógenas resistentes a los medicamentos, que pueden propagarse tanto en animales como en humanos (Rhouma et al., 2017). Además, el uso prolongado de antibióticos puede causar disbiosis intestinal y socavar la salud intestinal del cerdo (Albernaz-Gonçalves et al., 2022).

Debido a esto, muchos países han restringido o incluso prohibido la inclusión de antibióticos como promotores de crecimiento en la porcicultura (Chattopadhyay, 2014;

Waluszewski et al., 2021), restringiendo su uso a la atención de enfermedades particulares. Según los autores Arsène et al. (2021) es necesario reemplazar los antibióticos por otros aditivos alimenticios que cumplan la misma la misma función, entre estos aditivos se pueden encontrar los ácidos orgánicos, las enzimas, los probióticos, siendo estos últimos los que más relevancia han llegado a tener en los últimos años. Los probióticos se han definido como microorganismos vivos que promueven efectos beneficiosos para la salud del huésped cuando se ingieren en un número adecuado (Markowiak & Ślizewska, 2018; Sharifi-Rad et al., 2020). Sus beneficios se centran en mantener la integridad intestinal, estabilizar la microbiota intestinal, combatir las bacterias patógenas, mejorar la inmunidad y la salud en general, así como reducir los síntomas de diarrea y mejorar el crecimiento (Ahasan et al., 2015; Pereira et al., 2022; Shi et al., 2016). Las bacterias del ácido láctico (BAL), que incluyen *Bifidobacterium spp.*, *Lactobacillus spp.*, *Pediococcus spp.* y *Enterococcus spp.*, se utilizan con mayor frecuencia como probióticos en la producción porcina debido a sus notables efectos beneficiosos, incluida la reducción del número de especies potencialmente patógenas de *Enterobacteriaceae* (La Fata et al., 2018; Rao, 2007). Se descubrió previamente que las cepas de BAL tailandesas *Lactobacillus plantarum* 22F y 25F y la cepa acidiláctica 72N de *Pediococcus* eran buenas candidatas para la suplementación probiótica en granjas porcícolas (Pupa et al., 2021). No obstante, la utilización de probióticos en la porcicultura sigue siendo un desafío, especialmente debido a la necesidad de almacenamiento, así como a la estabilidad en la plataforma de entrega y durante el procesamiento. Además, su capacidad para mejorar el rendimiento de los sistemas de producción porcina a gran escala requiere una mayor investigación.

Para que los probióticos sean estables y efectivos es necesario que puedan llegar hasta el TGI y colonicen los sitios de acción deseados (de Lange et al., 2010). La microencapsulación de

aditivos alimentarios es uno de los métodos más utilizados para llegar hasta el TGI debido a su recubrimiento que puede soportar los ácidos gástricos. Los probióticos se han envasado en pequeñas microcápsulas utilizando el método de secado por aspersion para proteger las células probióticas de ambientes perjudiciales. Este método se puede aplicar y escalar fácilmente para que las BAL se distribuyan homogéneamente en el producto final dentro de microcápsulas de diámetro pequeño uniforme (Guimarães et al., 2013; Lefter et al., 2023; Serna-Cock & Vallejo-Castillo, 2013). El alginato se ha utilizado recientemente para formar microcápsulas probióticas ya que se disuelve en el intestino liberando los probióticos (Lefter et al., 2023). El recubrimiento doble con quitosano también puede mejorar la supervivencia de los probióticos durante el almacenamiento y tránsito intestinal (Erdélyi et al., 2022). A pesar de estos avances, aún no hay pruebas sólidas que hagan una comparación entre la eficacia de los probióticos y los antibióticos en términos de mejorar el rendimiento de los cerdos y los parámetros microbiológicos. La microbiota intestinal depende de la exposición a bacterias que pueden colonizar el intestino. Como resultado, la suplementación de BAL en lechones recién nacidos puede controlar la formación de la microflora intestinal y, por lo tanto, mejorar la salud de los cerdos (Schokker et al., 2014; F. Yang et al., 2015).

Los probióticos se distinguen por su cepa, que contiene la familia, la especie, la subespecie (si corresponde) y un identificador de cepa alfanumérico. *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Saccharomyces*, *Streptococcus*, *Enterococcus* y *Bacillus* son las especies principales de microorganismos más comúnmente utilizados en productos probióticos (Y. Zhang et al., 2023). En la tabla 2 se recopilan las recientes investigaciones y resultados obtenidos mediante la aplicación de probióticos en las diferentes etapas de vida del cerdo.

**Tabla 2.***Cepas probióticas más utilizados en porcicultura.*

Etapa	Especies Probióticas	Probiótico	Concentración probiótica	Dosificación	Duración	Beneficios	Referencia
Gestación y lactancia	Raza autóctona × Yorkshire	<i>B. licheniformis</i> y <i>B. subtilis</i>	$1,0 \times 10^9$ UFC/g / $1,0 \times 10^9$ UFC/g	0,1% o 0,2% de probióticos. Dosificación no suministrada	11 días	Disminuye las emisiones de amoniaco y la emisión de gases fecales nocivos. Aumenta la protección contra patógenos.	Hu et al. (2021)
	Raza autóctona × Yorkshire	<i>S. cerevisiae</i>	$1,0 \times 10^{13}$ UFC/g	Gestantes: dos veces al día (3 kg/día); lactantes: 4 veces al día (iniciando en 2 kg/día)	108 días	No se obtienen cambios significativos en el peso al nacer, la glucosa y la urea plasmática. Reduce la mortalidad en lechones recién nacidos. Aumenta la ingesta diaria de alimento y la cantidad de lechones vivos al nacer. Disminuye la fosfatasa Alcalina y la Alanina Aminotransferasa.	Peng et al. (2020)
	Polaco Blanco Grande × polaco Landrace	<i>E. faecium</i> , <i>L. fermentum</i> , <i>L. rhamnosus</i>	$10^9$ UFC/g	10 g de la preparación probiótica por kg. Dosificación no suministrada.	147 días	Aumenta la ganancia de peso, el número de glóbulos blancos y mejora la respuesta inmune.	Satora et al. (2020)
	Raza autóctona × Yorkshire	<i>B. subtilis</i> PB6	$4,0 \times 10^{11}$ UFC/g	En lechones: 1 kg/día hasta su consumo máximo de alimento, 0,2% de probiótico. Dosificación no proporcionada en gestantes.	Desde el día 90 de gestación hasta el día 21 de lactancia	Se obtienen cambios significativos en la microbiota intestinal y en el peso al nacer. Aumenta la tasa de crecimiento, el cortisol plasmático, la cantidad de lechones vivos al nacer y tamaño de la camada.	Zhang et al. (2020)

Etapa	Especies	Probiótico	Concentración probiótica	Dosificación	Duración	Beneficios	Referencia
	Línea genética comercial (Topigs Norsvin®)	<i>S. cerevisiae</i> var. <i>boulardii</i>	$2 \times 10^{10}$ UFC/g	Fase preparto: 2 kg/día (dos veces al día) Posparto: 2 kg el día 1 y llegando a 8 kg/día el día 7	Desde el día 90 de gestación hasta el día 24 de lactancia	Aumenta la ganancia de peso, tasa de crecimiento, producción de leche, la cantidad de lechones vivos al nacer, peso al nacer, la ingesta de alimento. Disminuye el estrés por calor.	Domingos et al. (2021)
	Yorkshire, Landrace y Duroc	<i>L. Plantarium</i>	$1,2 \times 10^{12}$ UFC/g	Dosificación no proporcionada en gestantes.	6 semanas (42 días)	Aumenta la ganancia de peso, la tasa de crecimiento. Se obtienen cambios significativos en la protección contra patógenos y en la digestibilidad del nitrógeno.	Y. Yang et al. (2020)
Gestación y lactancia	Polaco Blanco Grande × Polaco Landrace	Bokashi® ( <i>S. cerevisiae</i> , <i>L. plantarium</i> , <i>L. casei</i> , <i>E. faecalis</i> , <i>E. faecium</i> , <i>Bifidobacterium bifidum</i> , <i>Bifidobacterium pseudolongum</i> , <i>B. subtilis</i> , <i>B. cereus</i> var. <i>toyoi</i> , <i>B. licheniformis</i> , <i>C. butyricum</i> )	<i>S. cerevisiae</i> ( $5 \times 10^4$ UFC/g), <i>L. casei</i> ( $5 \times 10^8$ UFC/g), <i>L. plantarium</i> ( $5 \times 10^8$ UFC/g), <i>E. faecalis</i> ( $2,5 \times 10^6$ UFC/g), <i>E. faecium</i> ( $5 \times 10^9$ UFC/g), <i>B. bifidum</i> ( $5 \times 10^8$ UFC/g), <i>B. pseudolongum</i> ( $5 \times 10^8$ UFC/g), <i>B. licheniformis</i> ( $4 \times 10^9$ UFC/g), <i>B. cereus</i> var. <i>toyoi</i> ( $4 \times 10^9$ UFC/g), <i>B. subtilis</i> ( $4 \times 10^{11}$ UFC/g), <i>C. butyricum</i> ( $1 \times 10^8$ UFC/g)	10 kg/tonelada de alimento; tasa de inclusión no proporcionada	Desde el día 90 de gestación hasta el día 28 de lactancia.	Aumenta la protección contra patógenos, la cantidad de lechones vivos al nacer, Mejora la respuesta inmune y expresión de genes relacionados con el sistema inmunológico, peso al nacer. Disminuye la mortalidad, la diarrea. No se obtienen cambios significativos en la ingesta de alimento.	Laskowska et al. (2019)
	Landrace × Blanco grande	BIO-TRES PZ ( <i>Bacillus mesentericus</i> ,	<i>B. mesentericus</i> ( $1 \times 10^6$ UFC/g), <i>C. butyricum</i> ( $1 \times$	Se administraron por vía oral 15 g/día del	Desde el día 28 de preparto	Se obtienen cambios significativos en la resistencia enfermedades y el rendimiento reproductivo.	Tsukahara et al. (2018)

Etapa	Especies	Probiótico	Concentración probiótica	Dosificación	Duración	Beneficios	Referencia
		<i>E. faecalis C. butyricum)</i>	10 <sup>6</sup> UFC/g) y <i>E. faecalis</i> (1 × 10 <sup>8</sup> UFC/g)	probiótico 2 veces al día.	hasta el día 7 de postparto	Mejora la expresión de genes relacionados con el sistema inmunológico, la ganancia de peso y producción de leche. Disminuye la diarrea.	
Gestación y lactancia	Grande Blanco × Yorkshire	<i>P. acidilactici</i>	2,40 × 10 <sup>12</sup> UFC/g	Desde la gestación hasta el parto: 3 kg/día de dieta; lactancia: 2 kg/día, dos veces al día	Desde el día 90 de gestación hasta el día 28 de lactancia.	Mejora la respuesta inmune y expresión de genes relacionados con el sistema inmunológico (citocinas). Aumenta la proteína en sangre, peso de la camada, la cantidad de lechones vivos al nacer, peso al nacer, y el rendimiento reproductivo. Disminuye la diarrea, la haptoglobina y la alanina aminotransferasa. Se obtienen cambios significativos en la microbiota intestinal.	Liu et al. (2020)
	Raza autóctona × Yorkshire	<i>L. acidophilus</i> y <i>B. subtilis</i>	1,2 × 10 <sup>7</sup> UFC/g, 1,15 × 10 <sup>6</sup> UFC/g	Periodo de gestación: 2,5 kg/día; 0,1% o 0,2% de probióticos	Desde el día 86 hasta el día 109 de gestación y desde el día 110 de gestación hasta el destete.	Mejora ganancia de peso, la tasa de crecimiento. Disminuye la emisión fecal de gases nocivos. No se obtienen cambios significativos en la mortalidad	Jeong et al. (2015)

Etapa	Especies	Probiótico	Concentración probiótica	Dosificación	Duración	Beneficios	Referencia
Lechones destetados	Raza autóctona × Desi	<i>P. acidilactici</i>	$2 \times 10^9$ UFC/g	200 g/día/cerdo	180 días	Aumenta la albumina y la globulina. Disminuye el potencial de hidrogeno (pH) y la oxidación de lípidos.	Dowarah et al. (2017)
	Landrace × Yorkshire × Duroc	<i>S. cerevisiae</i>	No especificado en UFC	0,2% y 0,3% de probiótico; dosificación no proporcionada	96 días	Aumenta la ganancia de peso, la tasa de conversión, el peso corporal final, la proteína total en sangre y mejora la calidad de la carne. No se obtienen cambios significativos en la albumina, la globulina y el pH.	Dávila-Ramírez et al. (2020)
	Duroc × Landrace × Blanco Grande	<i>P. acidilactici y fermentum</i>	$9,1 \times 10^8$ UFC/g y $5,25 \times 10^8$ UFC/g	Alimentación: 4 veces al día (4% de probiótico).	28 días	Disminuye la expresión de genes relacionados con el sistema inmunológico (citocinas inflamatorias). Aumenta la ganancia de peso y la tasa de conversión.	S. Wang et al. (2019)
	No evaluado	<i>C. butyricum</i>	$2 \times 10^6$ UFC/g y $5 \times 10^5$ UFC/g	Dosificación de inclusión no proporcionada	42 días	No se obtienen cambios significativos en la protección contra patógenos, la respuesta serológica, y la excreción fecal.	Peeters et al. (2018)
	Landrace × Blanco grande	<i>L. johnsonii</i>	$10^9$ UFC/mL	10 ml/día	7–18 días	Aumenta la tasa de conversión. Mejora la protección contra patógenos.	He et al. (2019)
	Landrace × Yorkshire × Duroc	Mezcla de probióticos ( <i>L. plantarum</i> CJLP243, <i>L. fermentum</i> LF21, <i>L. salivarius</i> E4101, <i>Leuconostoc paramesenteroides</i> KJP421, <i>B. licheniformis</i> CJMPB283),	<i>L. plantarum</i> ( $10^{11}$ UFC/g), <i>L. fermentum</i> , <i>L. salivarius</i> , <i>L. paramesenteroide</i> s, <i>B. subtilis</i> y <i>B. licheniformis</i> ( $10^9$ UFC/g)	2 g/kg de probióticos.	42 días	Aumenta la ganancia de peso y mejora la expresión de genes relacionados con el sistema inmunológico (citocinas).	(Kwak et al., 2021)

<i>B. subtilis</i> CJMPB957							
Etapa	Especies	Probiótico	Concentración probiótica	Dosificación	Duración	Beneficios	Referencia
<b>Lechones destetados</b>	Duroc × Yorkshire × Landrace	Mezcla de probióticos ( <i>C. butyricum</i> , <i>B. licheniformis</i> , <i>B. coagulans</i> , <i>B. subtilis</i> )	<i>B. coagulans</i> ( $1 \times 10^{15}$ UFC/g), <i>B. licheniformis</i> ( $5 \times 10^{14}$ UFC/g), <i>B. subtilis</i> ( $1 \times 10^{15}$ UFC/g), <i>C. butyricum</i> ( $1 \times 10^{14}$ UFC/g)	0,1%, 0,2% y 0,3% de mezcla probiótica.	42 días	Aumenta la tasa de conversión, la protección contra patógenos y la digestibilidad del nitrógeno. Disminuye la cantidad de amoníaco fecal	Nguyen et al. (2018)
	Duroc × Landrace × Yorkshir	<i>S. cerevisiae</i>	No especificado en UFC	3 dietas: Dieta 1: 3 g/kg –1 de levadura viva. Dieta 2: 2,66 g/kg –1 de levadura entera muerta por calor. Dieta 3: 3 g/kg –1 de polvos de levadura superfina.	3 semanas	Mejora la expresión de genes antioxidantes, la morfología intestinal y la protección contra patógenos. Disminuye el pH.	ZHU et al. (2017)
	Landrace polaca × cerdas Polish Large White apareadas con verracos Duroc × Pietrain	<i>E. faecium</i>	$3,5 \times 10^{11}$ UFC/g	Tasa de inclusión de probiótico no proporcionada	Días desde el 7 al 21 y del 22 al 70	Aumenta la ganancia de peso, y mejora la protección contra patógenos. No se obtienen cambios significativos en la cantidad de ácidos grasos volátiles.	Hanczakowska et al. (2016)
	No evaluado	<i>L. reuteri</i>	$10^7$ UFC/g	Dosificación no proporcionada	21 días	Aumenta la relación de eficiencia de proteínas. Se obtiene un cambio significativo la tasa de conversión y en la protección contra patógenos. Disminuye la mortalidad.	Yang et al. (2015)

Etapa	Especies	Probiótico	Concentración probiótica	Dosificación	Duración	Beneficios	Referencia
<b>Lechones destetados</b>	Duroc × Landrace × Yorkshire	<i>L. reuteri</i>	$5 \times 10^{13}$ UFC/g	Dosificación no proporcionada.	175 días	Aumenta la tasa de conversión, la ganancia de peso y la glutamina. No hay cambio significativo en el color de la carne y en la proteína total en la sangre.	Tian et al. (2021)
	Duroc × raza autóctona × Yorkshire grande	<i>L. delbrueckii</i>	$5 \times 10^9$ UFC/mL	Dosificación no proporcionada	49 días	Aumenta la tasa de conversión, la ganancia de peso. Mejora la morfología intestinal y la expresión de genes antioxidantes.	Li et al. (2019)
<b>Crecimiento - finalización</b>	Landrace × Grande blanco × Pietrain	<i>B. licheniformis</i> y <i>B. subtilis</i>	$4 \times 10^{14}$ UFC/g	1 kg/tonelada de alimento. Dosificación no proporcionada	De 120 a 182 días	Aumenta la tasa de conversión y de crecimiento.	Jørgensen et al. (2016)
	No evaluado	Mezcla de probióticos ( <i>L. casei</i> , <i>L. plantarum</i> y <i>S. cerevisiae</i> )	<i>S. cerevisiae</i> ( $3,3 \times 10^5$ UFC/mL), <i>L. casei</i> y <i>L. plantarum</i> ( $1,95 \times 10^7$ UFC/mL)	Dieta 1: 0,3%; Dieta 2: 0,5%; más detalles no proporcionados	Información no disponible	No hay cambios significativos en el pH y en la microbiota intestinal.	Rybarczyk et al. (2020)
	Duroc × Landrace × Blanco Grande	<i>P. pentosaceus</i> ZJUAF-4 y <i>B. subtilis</i> ZJU12	$3,6 \times 10^8$ UFC/g, $2,5 \times 10^8$ UFC/g	5% y 10% de probióticos; más detalles no proporcionados	35–39 días	Aumenta la ganancia de peso, la tasa de conversión y regula los triglicéridos. Disminuye el pH y la cantidad de amoníaco fecal.	Hao et al. (2020)
	Jabalí blanco grande × York × cerda Landrace holandesa	Mezcla de probióticos ( <i>B. subtilis</i> y <i>B. amyloliquefaciens</i> )	$6 \times 10^{11}$ UFC/g	Dieta probióticos: 400 mg/kg	102 días	Aumenta la protección contra patógenos y la tasa de conversión.	van der Peet-Schwering et al. (2020)
	Hampshire × local	<i>L. acidophilus</i> NCDC 15 y <i>P. acidilactici</i> FT28	$1-2 \times 10^9$ UFC/g	200 g/día/cerdo; más detalles no proporcionados	90 días	Aumenta la tasa de conversión y la calidad de la carne. No se obtuvieron cambios significativos en la albumina y en la proteína total en la sangre. Disminuye los triglicéridos y el colesterol.	Joysowal et al. (2018)

Etapa	Especies	Probiótico	Concentración probiótica	Dosificación	Duración	Beneficios	Referencia
Crecimiento - finalización	Local × Landrace	<i>L. acidophilus</i> o <i>P. acidilactici</i>	10 <sup>9</sup> UFC/g	200 g/cerdo/día; más detalles no proporcionados	44 días	Aumenta la tasa de conversión, la protección contra patógenos PCP, la microbiota intestinal Disminuye el pH ↓ Se obtienen cambios significativos en la morfología intestinal.	Dowarah, Verma, et al. (2017)
	Raza autóctona × Yorkshire × Talento	Mezcla de probióticos ( <i>L. brevis</i> , <i>B. animalis</i> , <i>L. acidophilus</i> , <i>L. paracasei</i> , <i>L. helveticus</i> , <i>L. plantarum</i> , <i>S. thermophile</i> )	No especificado en UFC	100 mg/kg; más detalles no dados	12 semanas	Aumentan las glucoproteínas, la tasa de conversión, la calidad de la carne y mejora la expresión de genes relacionados con el sistema inmunológico.	Accogli et al. (2018)
	Yorkshire × Landrace × Duroc	<i>C. butyricum</i> , <i>B. coagulans</i> , <i>B. licheniformis</i> y <i>B. subtilis</i>	<i>B. coagulans</i> (1 × 10 <sup>9</sup> UFC g <sup>-1</sup> ), <i>B. licheniformis</i> (5 × 10 <sup>8</sup> UFC g <sup>-1</sup> ), <i>B. subtilis</i> (1 × 10 <sup>9</sup> UFC g <sup>-1</sup> ), <i>C. butyricum</i> (1 × 10 <sup>8</sup> UFC/g)	0,1 y 0,2 g/kg de mezcla probiótica; más detalles no proporcionados	16 semanas	Aumenta la tasa de conversión, la tasa de crecimiento, la protección contra patógenos.	Balasubramanian et al. (2018)
	Yorkshire × Landrace × Duroc	<i>B. licheniformis</i> , <i>B. subtilis</i> y <i>S. cerevisiae</i>	<i>B. subtilis</i> (1,5 × 10 <sup>9</sup> UFC/g), <i>B. licheniformis</i> (1,5 × 10 <sup>9</sup> UFC/g), <i>S. cerevisiae</i> (1,5 × 10 <sup>9</sup> UFC/g)	Dieta 1: 0,05% probióticos; dieta 2: 0,10% probióticos; más detalles no proporcionados	42 días	Aumenta la tasa de conversión, la tasa de alimento/ganancia. Disminuye la emisión fecal de gases nocivos.	H. Wang et al. (2021)

## **Beneficios de los Probióticos en la Salud Porcina**

En algunos estudios se ha hallado que los probióticos no solo mejoran la inmunidad y la resistencia a las enfermedades en los cerdos, sino que también mantienen el equilibrio de la microbiota intestinal, reduciendo la gravedad y el riesgo de enfermedades en los animales. La adición de probióticos durante el proceso de cría de cerdos reduce efectivamente el uso de antibióticos, mejorando el rendimiento de la producción porcina, la respuesta a enfermedades y otros numerosos problemas (Pereira et al., 2022). A continuación, se describen los principales beneficios del uso de probióticos en la salud porcina.

### **Probióticos en el Tratamiento de Enfermedades Respiratorias Porcinas**

Las enfermedades respiratorias de los cerdos están muy extendidas actualmente en la porcicultura. La mezcla de uno o más virus y bacterias se conoce como Síndrome de Enfermedad Respiratoria Porcina (PRDC), que es el término utilizado para describir las enfermedades respiratorias (Opriessnig et al., 2011). Los principales patógenos de los cerdos incluyen el virus del síndrome respiratorio y reproductivo porcino (PRRSV), el virus de la influenza porcina (SIV), el virus de la pseudorrabia (PRV), el circovirus porcino tipo 2 (PCV2), el virus de la diarrea epidémica porcina (PEDV), y también bacterias como *Mycoplasma hyopneumoniae*, *Streptococcus*, *Actino-bacillus Pleuropneumoniae*, *Haemophilus parasuis* y *Bocherichia bronchialsepticae* (Ruggeri et al., 2020). La forma principal en que los probióticos actúan para evitar y curar las enfermedades respiratorias porcinas es potenciando la resistencia natural de los lechones a las infecciones.

Como portadores de bacterias vivas, los probióticos (como *Bacillus subtilis* y bacterias del ácido láctico) son cruciales en la prevención y el tratamiento de enfermedades. La replicasa (Rep) y la proteína de la cápside (Cap) son dos proteínas importantes codificadas por el ADN del PCV. Mientras que Cap es la única proteína estructural de las PCV e incluye numerosos epítomos de antígenos, Rep está implicada en la reproducción genómica viral (Ji et al., 2022). Por ejemplo, en un estudio realizado por los investigadores S. Zhang et al. (2020) se demostró que los lechones que recibieron la administración oral de *Bacillus subtilis* habían inducido una fuerte respuesta inmune humoral al aumentar los niveles de inmunoglobulina A (IgA) e inmunoglobulina G (IgG) específicas de PCV2 mediante el uso de una cepa recombinante que expresa la proteína Cap del virus PCV2.

El principal culpable de la neumonía porcina, que provoca síntomas como tos y sibilancias en los cerdos, es la *Mycoplasma hyopneumoniae* (Mhp). Usando las proteínas P97 y P46 de *Mycoplasma pneumoniae* como proteínas inmunogénicas, se creó un *Bacillus subtilis* recombinante y los cerdos se vacunaron usando esta cepa a través de un aerosol nasal. Los hallazgos demostraron un aumento sustancial posterior a la inmunización en la inmunoglobulina A secretora (sIgA) en hisopos nasales e IgG en sangre de cerdo (Y. Wang, Wang, et al., 2019). La cantidad de anticuerpos IgG e IgA en la sangre es un marcador crucial para evaluar la función inmunológica. Al mismo tiempo, la sIgA se considera un escudo inmunitario en la superficie de la mucosa digestiva, lo que dificulta la penetración de patógenos al evitar que se adhieran a las células epiteliales intestinales (Pietrzak et al., 2020).

El sistema inmunológico de los cerdos puede producir más anticuerpos mediante el uso de probióticos como vectores para expresar proteínas inmunogénicas particulares, lo que aumentará sus defensas. Los probióticos también evitan que las bacterias proliferen y se

multipliquen. Según los estudios, la coinfección de PRRSV y *Salmonella cholerae* en lechones aumenta la colonización de *Salmonella* en las vías respiratorias y los signos de neumonía.

Zuckermann et al. (2022) hallaron en este estudio que la colonización de *Salmonella* en las vías respiratorias al igual que la infección por PRRSV al suplementar con *Bacillus subtilis* la dieta de los cerdos.

### **Probióticos en el Tratamiento de Enfermedades del Sistema Digestivo Porcino**

Una de las enfermedades más prevalentes en la porcicultura es enfermedad del tracto digestivo, aunque la enfermedad no mata a los animales, afecta su tasa de crecimiento, lo que a su vez afecta los ingresos de los poricultores. Como resultado, muchas granjas hacen grandes esfuerzos en prevenir y tratar las enfermedades del sistema digestivo. El tracto digestivo es donde los nutrientes son digeridos y absorbidos por el cerdo. Los problemas ocasionados en el sistema digestivo del cerdo disminuyen la efectividad en la digestión y la absorción de los alimentos, generando retraso en el aumento de peso lo que resultará en una disminución de los ingresos de los poricultores. Si las enfermedades del sistema digestivo no se abordan con prontitud, lo más probable es que se dañe la mucosa gástrica de los lechones, se disminuya la inmunidad y aumente el peligro de otras enfermedades en los cerdos (Pluske et al., 2018).

Se ha demostrado en estudios que los probióticos disminuyen la gravedad de la diarrea y mejoran la salud porcina. La diarrea post-destete (DPD) en cerdos se ha relacionado con *Escherichia coli* productora de enterotoxinas (ETEC) (Luppi et al., 2016). La suplementación probiótica con *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus casei*, *Bifidobacterium thermophilus* y *Enterococcus faecalis*, reduce la diarrea causada por ETEC F18+ (Sun et al., 2021). Según el

estudio realizado por Du et al. (2019), la administración oral de *Bacillus subtilis* WS-1 a  $1.5 \times 10^{10}$  UFC redujo significativamente la diarrea y la mortalidad en lechones causada por *E. coli*, y el estudio también descubrió que WS-1 codifica una variedad de proteínas funcionales, como lipopéptidos, que pueden conferir propiedades antibacterianas a WS-1 (Du et al., 2019). Los cerdos recién nacidos en el grupo de tratamiento recibieron 2 mL de leche descremada estéril suspendida con *Lactobacillus rhamnosus* viable ( $5 \times 10^8$  UFC/mL), lo que redujo la frecuencia de la diarrea mientras aumentaba el peso al destete y la ganancia de peso diaria promedio (Y. Wang, Gong, et al., 2019). Los metabolitos prebióticos también tienen la capacidad de detener la replicación de patógenos. El PEDV se ha relacionado con una mayor mortalidad y enfermedades en lechones debido a que es un virus enteropatógeno que causa diarrea en los cerdos. Los polisacáridos extracelulares (LPE) son uno de los componentes principales de los metabolitos de *Lactobacillus plantarum*, que aumentan la transcripción del factor de necrosis tumoral (TNF-) y los niveles de apoptosis, inhibiendo la replicación de PEDV al regular el mecanismo de apoptosis e induciendo la apoptosis temprana de las células dañadas (S. Huang et al., 2021).

Los probióticos también mejoran las defensas intestinales alterando las bacterias del TGI. En la investigación realizada por X. Wang et al. (2021) se encontró que la inclusión de una combinación de BLS (*Bacillus licheniformis* y *Bacillus subtilis*) en las dietas de los lechones aumentó la prevalencia relativa de *Bacteroides* y *Lactococcus* al tiempo que disminuyó la abundancia de *Brucella* y *Clostridium*. Según una investigación de Rist et al. (2014), el *Clostridium* puede aumentar el riesgo de diarrea y está estrechamente relacionado con la fermentación de proteínas. Además, en este mismo estudio, la combinación de BLS elevó los niveles de citocinas y TLR-4 en el íleon y los intestinos. Estos resultados indican que las mezclas

de BLS pueden influir en la composición de las bacterias intestinales y mejorar la salud intestinal.

Los factores antinutricionales, como el fitato y la proteína antigénica de soja, se disuelven mediante la fermentación dentro del tracto gastrointestinal para aumentar la digestibilidad del alimento. Además, el alimento fermentado puede influir en las bacterias simbióticas intestinales, desencadenar una reacción inmunitaria y ser valioso para la salud del cerdo. Por ejemplo, dar trigo fermentado por *Lactobacillus reuteri* a los lechones destetados puede mejorar su salud intestinal y reducir la frecuencia de diarrea (Le et al., 2016). Además, la investigación realizada por Cheng et al. (2019) ha demostrado que la harina de soja fermentada hecha con butirato de *Lactobacillus* y *Clostridium* aumentó los niveles de inmunoglobulina en la sangre de los cerdos y disminuyó la diarrea en los lechones destetados.

### **Antibióticos Vs Probióticos**

Actualmente, los investigadores están realizando importantes esfuerzos para explicar las ventajas de los probióticos en la cría intensiva de cerdos. Desde un punto de vista microbiológico, el uso de probióticos ha resultado en mejoras significativas en los parámetros de salud y bienestar animal, con ventajas tanto en la reducción de microorganismos específicos nocivos durante la reproducción como en la presencia de algunos patógenos transmitidos por los alimentos que se sabe que proliferan a lo largo de la cadena de procesamiento. En el área de la alimentación animal, la resistencia a los antibióticos y la prevalencia de residuos de medicamentos en los alimentos de origen animal siguen siendo preocupaciones importantes. Como resultado, se ha expandido el uso de probióticos en la alimentación del ganado para una

producción segura y como posible sustituto de los antibióticos (Carlson & Fangman, 2018; Q. Li et al., 2019; Liao & Nyachoti, 2017).

Los probióticos están destinados a favorecer los tipos benignos sobre los indeseables, a diferencia de los antibióticos, que no distinguen entre bacterias beneficiosas y peligrosas (Liao & Nyachoti, 2017). Un probiótico efectivo debe ser resistente al ácido gástrico, las sales biliares y las enzimas pancreáticas, así como tener la capacidad de unirse a la mucosa intestinal y colonizarla (Dubreuil, 2017). Según la Asociación Científica Internacional de Probióticos y Prebióticos los subproductos metabólicos, los microorganismos muertos o los productos basados en microorganismos no viables no están incluidos en las características de los probióticos, pero deben tenerse en cuenta, ya que varios estudios han demostrado que las bacterias muertas y los componentes moleculares de las bacterias tienen propiedades probióticas (Plaza-Díaz et al., 2019).

El microorganismo probiótico debe ser capaz de colonizar el tracto gastrointestinal (TGI), tener un bajo requerimiento de nutrientes, eliminar patógenos entéricos y sus metabolitos, tener una tasa de crecimiento rápida, particularmente a gran escala en condiciones comerciales, y sobrevivir en los alimentos y después del proceso de fabricación manteniendo la viabilidad y la actividad. Un probiótico en el TGI debería estimular el desarrollo de una microbiota intestinal sana, en particular de bacterias beneficiosas, prevenir la colonización de patógenos entéricos, aumentar la capacidad digestiva, reducir el pH y mejorar la inmunidad de la mucosa del cerdo, o mejorar la maduración y la integridad del tejido intestinal para optimizar la salud del cerdo (de Lange et al., 2010). La colonización de las poblaciones de microorganismos intestinales es la primera etapa, considerando los modos de acción de los probióticos. Las bacterias probióticas pueden diseminarse desde el sistema digestivo a otros lugares digestivos ingresando al epitelio y

absorbiendo bacterias directamente desde la luz intestinal a través de las células dendríticas (CD). La bacteria puede ser transportada a otras regiones por la circulación de células inmunes a través del torrente sanguíneo una vez dentro de las CD o macrófagos (Martín et al., 2004). La regulación inmune es causada por la interacción de probióticos y CD (D'Amelio & Sassi, 2018). El segundo paso implica que las bacterias se adhieran a las superficies intestinales del huésped a través de proteínas transmembrana (integrinas y cadherinas) y componentes de la matriz extracelular (colágeno, fibronectina, laminina o elastina), lo que mejora la eliminación de patógenos (Plaza-Díaz et al., 2019).

Los métodos de acción de los probióticos incluyen la exclusión o rechazo competitivo de patógenos, la formación de bacteriocinas, actividades enzimáticas y la creación de ácidos grasos volátiles. La exclusión competitiva ocurre cuando una especie de bacteria lucha con más fuerza por los sitios receptores en el intestino que otras especies (Plaza-Díaz et al., 2019). Los microorganismos probióticos producen bacteriocinas que son sustancias que pueden inhibir bacterias grampositivas y gramnegativas, también modulan la respuesta inmunitaria del huésped, contribuyen a la integridad de la barrera de la pared intestinal, además tienen la capacidad de prevenir o reducir la adhesión de patógenos por exclusión competitiva (Dubreuil, 2017).

La creación de bacteriocinas y ácidos grasos (por ejemplo, ácido propiónico, ácido acético), generados por los probióticos, también contribuye a la inhibición y proliferación de agentes patógenos debido a sus propiedades antimicrobianas (Bermúdez-Brito et al., 2015). En cuanto a la actividad enzimática de los probióticos, se sabe que pueden crear enzimas digestivas esenciales que ayudan al desarrollo animal, particularmente al aumentar la digestibilidad, la eficiencia alimenticia y el aumento de peso. (Domingos et al., 2021; Hao et al., 2020; Peng et al., 2020). Los probióticos interactúan con los ácidos biliares en la luz gastrointestinal de las

personas al provocar la síntesis de una enzima llamada hidrolasa de sales biliares, lo que altera el metabolismo de los ácidos biliares afectando la absorción de colesterol. (Pavlović et al., 2012).

El modo de acción de los probióticos en los cerdos puede ser a través de la modulación de la flora intestinal, lo que da como resultado una disminución de las enfermedades y un mejor rendimiento del crecimiento (Yirga, 2015). Los probióticos han ganado popularidad en los últimos años debido a su uso potencial como una opción a los antibióticos en dosis bajas, la seguridad, la viabilidad en el tracto gastrointestinal y la falta de impacto perjudicial en el sabor de los alimentos (Suez et al., 2019; Trukhachev et al., 2021).

Los probióticos se utilizan durante todo el ciclo productivo en la porcicultura (desde lechones destetados hasta cerdos en crecimiento o finalización) (Barba-Vidal et al., 2019). Los investigadores Huang et al. (2004) demostraron en cerdos que la suplementación con lactobacilos en la dieta mejoraba el rendimiento y alteraba los niveles de *Escherichia coli* en la microbiota intestinal después del destete. Para la crianza porcina se requiere un TGI saludable y un plan de combate a las enfermedades inducidas por enteropatógenos, lo que redundará en una mejor digestión y consumo nutricional (Liao & Nyachoti, 2017).

En la figura 7 se observan los principales beneficios del uso de probióticos en cerdos. En general, después de la suplementación con probióticos, la cantidad de cepas probióticas presentes en el estómago del cerdo aumenta constantemente, lo que genera una mayor rivalidad por el espacio y los recursos con otros microorganismos, lo que puede disminuir la prevalencia de patógenos en el intestino. Esta disminución en la prevalencia de patógenos en el TGI se puede deber también a la capacidad que tienen los probióticos para producir moléculas antimicrobianas con bacteriocinas y ácidos orgánicos. Los probióticos también tienen la capacidad de producir enzimas digestivas y vitaminas mejorando el estado nutricional del cerdo. Debido a que

estimulan el sistema inmunológico sin causar enfermedades, los probióticos también tienen efectos inmunomoduladores (Pereira et al., 2022).

### Figura 7.

*Principales beneficios de la suplementación probiótica en cerdos.*



Fuente: Autor

## Potencial Uso de los Probióticos en la Porcicultura Nacional

### Producción Porcina en Colombia.

La porcicultura es una ganadería caracterizada por sus cortos períodos de gestación, la cantidad de alimento que necesita el ganado porcino, su alta capacidad de cambio de nutrientes, su rápida reproducción y su constante comercialización. Aunque hay muchas razas de cerdos diferentes, las más explotadas en Colombia son Yorkshire, Duroc, Hampshire y Landrace. Las granjas intensivas de hoy utilizan las tecnologías más recientes para criar cerdos de manera tecnológica. Las granjas de cría y las granjas de engorde son las dos categorías de granjas porcinas, que se separan en función de dónde irá el cerdo. La ceba, la preceba y el engorde son las tres etapas que se suceden en el desarrollo de los cerdos. Las granjas de reproducción supervisan los procesos de cría con el objetivo de criar lechones sanos que estén bien nutridos, con una alta genética y con un peso adecuado para el engorde. Conseguir suficientes lechones es un factor clave para determinar la eficacia del proceso de engorde (Carrero González, 2005).

Los principales recursos en la producción porcina son la infraestructura (unidades de cría, unidades de gestación, unidades de crecimiento, etc.), los cerdos de cría (hembras de alta genética y machos reproductores), el alimento concentrado para los cerdos, vacunas y medicamentos veterinarios, herramientas y equipos (colmillos, decollars, etc.) utilizados para alimentación, acicalamiento y limpieza, desinfección, atención al parto, vacunación, desparasitación, inseminación, etc. (Carrero González, 2005). Para producir carne de cerdo con las máximas características de carne magra, excelente contenido nutricional e inocuidad para el consumo humano, se requiere de una gestión técnica. Debido al enorme riesgo que representa

para la salud humana la venta de carne de baja calidad, la producción artesanal de cerdos ha ido quedando en el pasado.

A partir de cómo ha ido avanzando el trabajo que realiza la asociación de porcicultores, la porcicultura en Colombia se perfila como uno de los actores del crecimiento comercial de la agricultura colombiana (PorciNews, 2022). En los últimos años, el sector porcino se ha expandido en relación con su producción. Según datos de Porkcolombia, al cierre de 2017 se produjeron 371.337 toneladas de carne de cerdo y en 2018 se produjeron 410.281 toneladas. La producción de carne de cerdo aumentó en los años siguientes, como en 2019, cuando alcanzó un pico de 446.627 toneladas, y en 2020, cuando alcanzó las 468.429 toneladas. En términos de producción a finales de 2021, Porkcolombia produjo 491.233 toneladas, un aumento del 4,8% respecto al año anterior. A fines de mayo de 2022, la industria ya había producido 203.940 toneladas de carne de cerdo (PorkColombia, 2020).

La economía colombiana se ha duplicado o triplicado en los últimos diez años, convirtiéndola en una de las regiones de más rápido crecimiento en el mundo. Sin embargo, un área de la agricultura que se ha visto afectada por la inflación es la crianza de cerdos. Según cifras de PorkColombia (2022) el crecimiento nominal ha subido un 47% mientras que el crecimiento real ha aumentado un 25% para la producción de carne de cerdo, indicando que esta se ha visto impactada por los fenómenos inflacionarios que comenzaron a desarrollarse en el año 2022.

## Suplementación Probiótica en la Producción Porcícola Nacional

Los estudios realizados a nivel nacional sobre la suplementación en la alimentación porcícola han sido escasos, aunque se han encontrado resultados relevantes. El estudio realizado por Londoño Pérez & Parra Suescún (2015) investigó el efecto de los probióticos en el rendimiento del crecimiento y la respuesta inmunitaria de los lechones. El objetivo del estudio fue encontrar cambios en los metabolitos plasmáticos en lechones destetados que recibieron varias cepas de probióticos. Ochenta lechones (destetados a los 21 días) fueron alimentados con dos dietas: alimento comercial con antibióticos y dieta comercial sin antibióticos (con probiótico adicional *L. casei*, *L. acidophilus* o *E. faecium*) en agua. Se tomaron muestras de sangre a los 15, 30 y 45 días después del destete para detectar alteraciones de los metabolitos plasmáticos.

A diferencia de los animales tratados con antibióticos, hubo un aumento ( $P < 0,05$ ) de los niveles plasmáticos de calcio, fosfato, fosfatasa alcalina y glucosa, así como una reducción de la creatinina, los triglicéridos y la ALT (alanina aminotransferasa). Se concluyó que los probióticos (especialmente *E. faecium*) se pueden usar en lugar de AGP en las dietas para cerdos porque mejoran el estado de los órganos digestivos y funcionan como promotores naturales del crecimiento al mejorar el estado metabólico del animal con alteraciones beneficiosas. Los resultados mostraron que los probióticos mejoraron el rendimiento del crecimiento y la respuesta inmunitaria en los lechones, lo que sugiere que los probióticos pueden ser una alternativa eficaz a los antibióticos en la producción porcina (Londoño Pérez & Parra Suescún, 2015).

En la investigación realizada por Pareja Arcila et al. (2020), se estudió el efecto de los probióticos encapsulados en la etapa de precebo en un grupo de 111 lechones alimentados con cuatro dietas diferentes. Las dietas D1 y D2 incluyeron combinaciones de probióticos encapsulados en una matriz termorresistente; las dietas D3 y D4 contenían antibióticos

promotores del crecimiento y sulfato de cobre, respectivamente. Se investigó el desempeño productivo y financiero utilizando una simulación de Monte Carlo y algoritmos de asociación y clasificación de aprendizaje automático (ML), descubriendo variaciones sustanciales ( $p < 0,01$ ) en la conversión alimenticia entre dietas y una probabilidad de obtener conversiones por dieta de hasta 66% por debajo de 1,5 con la dieta D2 y un peso al destete entre 4 y 6 kg, produciendo incrementos del margen bruto de hasta un 13-14% con la dieta (D1-D2) respecto a la antibioticoterapia (D3). El microbioma de 38 cerdos se investigó en tres momentos separados durante el experimento, lo que reveló cambios en las comunidades microbianas intestinales entre animales lactantes, tratamientos adicionales y la fase de crecimiento (Pareja Arcila et al., 2020).

Al utilizar la entropía de Shannon, una de las dietas con aditivos probióticos presentó mayor diversidad de bacterias alfa ( $p < 0,05$ ) en comparación con la dieta D4; al utilizar el índice Chao 1, la misma dieta D2 tuvo mayor riqueza ( $p < 0,05$ ) en comparación con las otras dietas; y al utilizar el índice de Simpson, la dieta con antibióticos tuvo mayor probabilidad (66,6%) de disminuir la diversidad bacteriana en comparación con las otras dietas. Los microbiomas se clasificaron según la dieta y la conversión, con distintos taxones bacterianos (178) y una dieta con predominio de probióticos a medida que mejoraba la conversión (D1) (Pareja Arcila et al., 2020).

Los investigadores colombianos Jurado-Gómez et al. (2013) evaluaron los efectos del *Lactobacillus plantarum* en cerdos in vivo como sustituto de antibióticos. Cincuenta cerdos fueron tomados para este estudio y se dividieron en cinco grupos de tratamiento ( $n=10$ ): T<sub>0</sub>: no tenía probióticos; T<sub>1</sub>: tenía *L. plantarum* 1 H1; T<sub>2</sub>: tenía *L. plantarum* 1 H2; T<sub>3</sub>: tenía probióticos comerciales; y T<sub>4</sub>: no tenía probióticos comerciales. Se utilizó una mezcla de inóculo con 10 g/L de azúcar blanca, 15 g/L de leche de soja, 150 g/L de suero de leche y 15 g/L de salvado de trigo.

Se examinó la capacidad de refrigeración y temperatura ambiente de la mezcla. Se evaluó el inóculo de probióticos en cuanto a aumento de peso, supervivencia y aparición de diarrea. En los tratamientos T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub> no hubo episodios de diarrea, se obtuvieron mayores ganancias de peso vivo y concentraciones más altas de IgA y neutrófilos polimorfonucleares. En T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub>, los niveles de colesterol total y el nitrógeno ureico en la sangre (BUN) fueron más bajos. Jurado- Gámez et al. (2013) concluye que el tratamiento con probiótico *L. plantarum* 1 tuvo un impacto favorable en el bienestar, la supervivencia y la ganancia de peso de los lechones.

## Conclusiones

La suplementación con probióticos se puede utilizar en cualquier etapa de la cría de cerdos y se ha demostrado que es eficaz para evitar, controlar y tratar las infecciones, además de afectar favorablemente la respuesta inmunitaria, la función intestinal y la tasa de crecimiento. Sin embargo, de acuerdo con los hallazgos de esta investigación, se puede inferir que las ventajas del uso de probióticos varían en cada paso del ciclo de vida del cerdo y que los porcicultores que participan en sistemas de explotación pecuaria pueden encontrarlos útiles al tomar decisiones. Es relevante dar énfasis que la suplementación probiótica en las cerdas mejora la gestación, el parto y la lactancia. Hay un impacto positivo en la mucosa intestinal, los parámetros inmunohistológicos y los efectos antipatógenos durante las primeras etapas de desarrollo. Finalmente, hay un aumento en el desarrollo de los cerdos y la calidad de la carne, y una disminución de los contaminantes ambientales en los cerdos en crecimiento y finalización. Por lo tanto, las numerosas ventajas observadas con la administración de probióticos en cerdos son aceptables, los hallazgos en esta área darán como resultado numerosos cambios en la nutrición de los cerdos, lo que refleja un aumento en la capacidad de producción. No es posible concluir que estos efectos beneficiosos se deban únicamente a la suplementación con probióticos porque la mayoría de las publicaciones no describen adecuadamente las metodologías utilizadas, lo que limita las conclusiones en términos de concentración de la suplementación con probióticos.

En general, el uso de probióticos en la alimentación porcina en Colombia puede ser una forma rentable y sostenible de mejorar la salud y el rendimiento de los cerdos, al mismo tiempo que reduce la necesidad de antibióticos y otros medicamentos. Además, los probióticos pueden ayudar a reforzar el sistema inmunológico de los cerdos, lo que puede ayudar a reducir la incidencia de enfermedades infecciosas. Esto puede ser particularmente importante en los

sistemas intensivos de producción porcina, donde los animales se alojan muy cerca unos de otros y pueden tener un mayor riesgo de contraer enfermedades.

## Recomendaciones

Algunos de los resultados encontrados en las investigaciones recopiladas son muy ambiguas y no determinan que los probióticos sean directamente responsables de los resultados favorables tanto en el desempeño de la crianza de cerdos como el mejoramiento de la salud de estos. Se recomienda para nuevas investigaciones de suplementación probiótica en cerdos poder describir más detalladamente la metodología, cantidades y concentraciones de probióticos dosificadas para lograr una mejor interpretación de los resultados y lograr un avance en los tratamientos posteriores logrando identificar las maneras correctas de lograr óptimos resultados.

Entre las oportunidades de investigación observadas resalta la necesidad de estudiar el efecto de microencapsulación de probióticos siendo este un tema investigativo reciente y que ha llamado bastante el interés en la alimentación humana, también puede tener el potencial de aplicación en animales y sobre todo en la ganadería porcina.

## Referencias bibliográficas

- 3tres3. (2023, February 16). *Colombia: Indicadores generales del sector porcicultor en 2022 - Noticias - 3tres3 LATAM, la página del Cerdo*. Colombia: Indicadores Generales Del Sector Porcicultor En 2022 - Noticias - 3tres3 LATAM, La Página Del Cerdo.  
[https://www.3tres3.com/latam/ultima-hora/colombia-indicadores-generales-del-sector-porcicultor-en-2022\\_14938/](https://www.3tres3.com/latam/ultima-hora/colombia-indicadores-generales-del-sector-porcicultor-en-2022_14938/)
- ABi, A. B. industries. (2023). *Research Swine Reproduction & Growing Cycle / Animal Biotech Industries, Inc.* Research Swine Reproduction & Growing Cycle.  
<https://www.animalbiotech.com/research-swine/research-swine-reproduction-and-growing-cycle/>
- Accogli, G., Crovace, A. M., Mastrodonato, M., Rossi, G., Francioso, E. G., & Desantis, S. (2018). Probiotic supplementation affects the glycan composition of mucins secreted by Brunner's glands of the pig duodenum. *Annals of Anatomy*, 218, 236–242.  
<https://doi.org/10.1016/j.aanat.2018.03.008>
- Ahasan, A. S. M. L., Agazzi, A., Invernizzi, G., Bontempo, V., & Savoini, G. (2015). The beneficial role of probiotics in monogastric animal nutrition and health. *JOURNAL OF DAIRY, VETERINARY & ANIMAL RESEARCH*, 2(4), 1–20.  
<https://doi.org/10.15406/JDVAR.2015.02.00041>
- Albernaz-Gonçalves, R., Antillón, G. O., & Hötzel, M. J. (2022). Linking Animal Welfare and Antibiotic Use in Pig Farming—A Review. *Animals : An Open Access Journal from MDPI*, 12(2), 216. <https://doi.org/10.3390/ANI12020216>

- Arora, M., Sharma, S., & Baldi, A. (2013). Comparative Insight of Regulatory Guidelines for Probiotics in USA, India and Malaysia: A Critical Review. *International Journal of Biotechnology for Wellness Industries*, 2, 51–64.
- Arsène, M. M. J., Davares, A. K. L., Andreevna, S. L., Vladimirovich, E. A., Carime, B. Z., Marouf, R., & Khelifi, I. (2021). The use of probiotics in animal feeding for safe production and as potential alternatives to antibiotics. *Veterinary World*, 14(2), 319.  
<https://doi.org/10.14202/VETWORLD.2021.319-328>
- Azizi, A. F. N., Uemura, R., Omori, M., Sueyoshi, M., & Yasuda, M. (2022). Effects of Probiotics on Growth and Immunity of Piglets. *Animals: An Open Access Journal from MDPI*, 12(14). <https://doi.org/10.3390/ANI12141786>
- Azizpour, K., Bahrambeygi, S., & Mahmoodpour, S. (2009). History and basic of probiotics. *Research Journal of Biological Sciences*, 4(4), 409–426.
- Balasubramanian, B., Lee, S. I., & Kim, I.-H. (2018). Inclusion of dietary multi-species probiotic on growth performance, nutrient digestibility, meat quality traits, faecal microbiota, and diarrhea score in growing-finishing pigs. *Italian Journal of Animal Science*, 17(1), 100–106.  
<https://doi.org/10.1080/1828051X.2017.1340097>
- Barba-Vidal, E., Martín-Orúe, S. M., & Castillejos, L. (2019). Practical aspects of the use of probiotics in pig production: A review. *Livestock Science*, 223, 84–96.  
<https://doi.org/10.1016/J.LIVSCI.2019.02.017>
- Bermúdez-Brito, M., Muñoz-Quezada, S., Gómez-Llorente, C., Matencio, E., Romero, F., & Gil, A. (2015). *Lactobacillus paracasei* CNCM I-4034 and its culture supernatant modulate Salmonella-induced inflammation in a novel transwell co-culture of human intestinal-like

dendritic and Caco-2 cells. *BMC Microbiology*, *15*(1), 1–15.

<https://doi.org/10.1186/S12866-015-0408-6>

Betancur, C., Martínez, Y., Tellez-Isaias, G., Castillo, R., & Ding, X. (2021). Effect of Oral Administration with *Lactobacillus plantarum* CAM6 Strain on Sows during Gestation-Lactation and the Derived Impact on Their Progeny Performance. *Mediators of Inflammation*, *2021*. <https://doi.org/10.1155/2021/6615960>

Bhandari, S. K., Opapeju, F. O., Krause, D. O., & Nyachoti, C. M. (2010). Dietary protein level and probiotic supplementation effects on piglet response to *Escherichia coli* K88 challenge: Performance and gut microbial population. *Livestock Science*, *133*(1–3), 185–188. <https://doi.org/10.1016/J.LIVSCI.2010.06.060>

Billa, E., Koullas, D. P., Monties, B., & Koukios, E. G. (1997). Structure and composition of sweet sorghum stalk components. *Industrial Crops and Products*, *6*(3–4), 297–302. [https://doi.org/10.1016/S0926-6690\(97\)00031-9](https://doi.org/10.1016/S0926-6690(97)00031-9)

Borbón Gómez, J. J. (2019). *Relación entre la alimentación y la ganancia de peso en el pre-cebo porcino bajo un modelo de regresión lineal en una producción porcina*. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/77116/75073612.2019.pdf?isAllowed=y&sequence=1>

Cabrera, M. R., Bramel-Cox, P. J., Hines, R. H., Hancock, J. D., & Behnke, K. C. (1993). Sorghum genotype and particle size affect growth performance, nutrient digestibility, and stomach morphology in finishing pigs. *Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports*, *10*, 134–139. <https://doi.org/10.4148/2378-5977.6387>

- Cardelle-Cobas, A., Coy-Girón, L., Cepeda, A., Nebot, C., Cardelle-Cobas, A., Coy-Girón, L., Cepeda, A., & Nebot, C. (2022). *Swine Production: Probiotics as an Alternative to the Use of Antibiotics*. <https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.108308>
- Carlson, M. S., & Fangman, T. J. (2018). *Swine antibiotics and feed additives: food safety considerations*. <https://mospace.umsystem.edu/xmlui/handle/10355/69183>
- Carrero González, H. (2005). *Manual de producción porcícola* (C. Espinosa & G. Cataño, Eds.; SENA). SENA.  
[https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/4270/porcinos\\_2005.pdf;jsessionid=C4693ACF7FC55204CCE5875B3A212514?sequence=1](https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/4270/porcinos_2005.pdf;jsessionid=C4693ACF7FC55204CCE5875B3A212514?sequence=1)
- Chang, S. Y., Belal, S. A., Kang, D. R., Choi, Y. Il, Kim, Y. H., Choe, H. S., Heo, J. Y., & Shim, K. S. (2018). Influence of Probiotics-Friendly Pig Production on Meat Quality and Physicochemical Characteristics. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 38(2), 403. <https://doi.org/10.5851/KOSFA.2018.38.2.403>
- Chattopadhyay, M. K. (2014). Use of antibiotics as feed additives: A burning question. *Frontiers in Microbiology*, 5(JULY), 334. <https://doi.org/10.3389/FMICB.2014.00334/BIBTEX>
- Cheng, Y. H., Su, L. W., Horng, Y. B., & Yu, Y. H. (2019). Effects of soybean meal fermented by *Lactobacillus* species and *Clostridium butyricum* on growth performance, diarrhea incidence, and fecal bacteria in weaning piglets. *Annals of Animal Science*.  
<https://doi.org/10.2478/AOAS-2019-0042>
- Cho, J. H., Zhao, P. Y., & Kim, I. H. (2011). Probiotics as a dietary additive for pigs: A review. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 10(16), 2127–2134.  
<https://doi.org/10.3923/JAVAA.2011.2127.2134>

- Choudhury, N., Meghwal, M., & Das, K. (2021). Microencapsulation: An overview on concepts, methods, properties and applications in foods. *Food Frontiers*, 2(4), 426–442.  
<https://doi.org/10.1002/fft2.94>
- Cinque, B., La Torre, C., Melchiorre, E., Marchesani, G., Zoccali, G., Palumbo, P., Di Marzio, L., Masci, A., Mosca, L., Mastromarino, P., Giuliani, M., & Cifone, M. G. (2011). *Use of Probiotics for Dermal Applications*. 221–241. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-20838-6\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-642-20838-6_9)
- D'Amelio, P., & Sassi, F. (2018). Gut Microbiota, Immune System, and Bone. *Calcified Tissue International*, 102(4), 415–425. <https://doi.org/10.1007/S00223-017-0331-Y>
- Daudelin, J. F., Lessard, M., Beaudoin, F., Nadeau, É., Bissonnette, N., Boutin, Y., Brousseau, J. P., Lauzon, K., & Fairbrother, J. (2011). Administration of probiotics influences F4 (K88)-positive enterotoxigenic *Escherichia coli* attachment and intestinal cytokine expression in weaned pigs. *Veterinary Research*, 42(1). <https://doi.org/10.1186/1297-9716-42-69>
- Dávila-Ramírez, J. L., Carvajal-Nolazco, M. R., López-Millanes, M. J., González-Ríos, H., Celaya-Michel, H., Sosa-Castañeda, J., Barrales-Heredia, S. M., Moreno-Salazar, S. F., & Barrera-Silva, M. A. (2020). Effect of yeast culture (*Saccharomyces cerevisiae*) supplementation on growth performance, blood metabolites, carcass traits, quality, and sensorial traits of meat from pigs under heat stress. *Animal Feed Science and Technology*, 267, 114573. <https://doi.org/10.1016/J.ANIFEEDSCI.2020.114573>
- de Lange, C. F. M., Pluske, J., Gong, J., & Nyachoti, C. M. (2010). Strategic use of feed ingredients and feed additives to stimulate gut health and development in young pigs. *Livestock Science*, 134(1–3), 124–134. <https://doi.org/10.1016/J.LIVSCI.2010.06.117>
- DeRouche, J. M., Dritz, S. S., DGoodband, R., Nelssen, J. L., & Tokach, M. D. (2007). *General Nutrition Principles for Swine*. <https://bookstore.ksre.ksu.edu/pubs/mf2298.pdf>

- Domingos, R. L., Silva, B. A. N., Bravo de Laguna, F., Araujo, W. A. G., Gonçalves, M. F., Rebordões, F. I. G., Evangelista, R. P., de Alkmim, T. C. C., Miranda, H. A. F., Cardoso, H. M. C., Cardoso, L. A., Habit, S. R., & da Motta, S. A. B. (2021). *Saccharomyces Cerevisiae* var. *Boulardii* CNCM I-1079 during late gestation and lactation improves voluntary feed intake, milk production and litter performance of mixed-parity sows in a tropical humid climate. *Animal Feed Science and Technology*, 272.  
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114785>
- Dowarah, R., Kumar Verma, A., Agarwal, N., & Singh, P. (2017). Efficacy of species-specific probiotic *Pediococcus acidilactici* FT28 on blood biochemical profile, carcass traits and physicochemical properties of meat in fattening pigs. *Research in Veterinary Science*, 117(2018), 60–64. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2017.11.011>
- Dowarah, R., Verma, A., Agarwal, N., Patel, B., & Singh, P. (2017). Effect of swine based probiotic on performance, diarrhea scores, intestinal microbiota and gut health of grower-finisher crossbred pigs. *Livestock Science*, 195(2017), 74–79.  
<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.11.006>
- Du, Y., Xu, Z., Yu, G., Liu, W., Zhou, Q., Yang, D., Li, J., Chen, L., Zhang, Y., Xue, C., & Cao, Y. (2019). A newly isolated bacillus subtilis strain named WS-1 inhibited diarrhea and death caused by pathogenic *Escherichia coli* in newborn piglets. *Frontiers in Microbiology*, 10(JUN), 1248. <https://doi.org/10.3389/FMICB.2019.01248/BIBTEX>
- Dubreuil, J. D. (2017). Enterotoxigenic *Escherichia coli* and probiotics in swine: what the bleep do we know? *Bioscience of Microbiota, Food and Health*, 36(3), 75–90.  
<https://doi.org/10.12938/BMFH.16-030>

Eisemann, J. H., & Argenzio, R. A. (1999). Effects of diet and housing density on growth and stomach morphology in pigs. *Journal of Animal Science*, 77(10), 2709–2714.

<https://doi.org/10.2527/1999.77102709X>

Engormix. (2017, March 1). *Sistema de Molienda con Molino a Martillos - Engormix*. Sistema de Molienda Con Molino a Martillos.

<https://www.engormix.com/balanceados/articulos/sistema-molienda-con-molino-t40415.htm>

Engormix. (2020). *Molinos a Rodillo alimentos balanceados*.

[https://www.engormix.com/california-pellet-mill-cpm/molinos-rodillo-alimentos-balanceados-sh14051\\_pr27506.htm](https://www.engormix.com/california-pellet-mill-cpm/molinos-rodillo-alimentos-balanceados-sh14051_pr27506.htm)

Erdélyi, L., Fenyvesi, F., Gál, B., Haimhoffer, Á., Vasvári, G., Budai, I., Remenyik, J., Bereczki, I., Fehér, P., Ujhelyi, Z., Bácskay, I., Vecsernyés, M., Kovács, R., & Váradi, J. (2022).

Investigation of the Role and Effectiveness of Chitosan Coating on Probiotic Microcapsules. *Polymers*, 14(9). <https://doi.org/10.3390/POLYM14091664>

Faccin, J. E. G., Laskoski, F., Hernig, L. F., Kummer, R., Lima, G. F. R., Orlando, U. A. D., Goncalves, M. A. D., Mellagi, A. P. G., Ulguim, R. R., & Bortolozzo, F. P. (2020). Impact of increasing weaning age on pig performance and belly nosing prevalence in a commercial multisite production system. *Journal of Animal Science*, 98(4).

<https://doi.org/10.1093/JAS/SKAA031>

FAO. (2002). *Probiotics in food - Health and nutritional properties and guidelines for evaluation*. WHO - FAO. <https://www.fao.org/3/a0512e/a0512e.pdf>

FDA. (2019). *Production Cycle of Swine*. [https://www.wifss.ucdavis.edu/wp-content/uploads/2015/FDA/feed/animalclass\\_swine\\_FINAL.pdf](https://www.wifss.ucdavis.edu/wp-content/uploads/2015/FDA/feed/animalclass_swine_FINAL.pdf)

FeedPelletizer. (2021). *Pig Feed Pellet Size, Pig Feed Particle Size*.

<https://www.feedpelletizer.com/application/pig-feed-pellet-size.html>

Fuller, R. (1992). *Probiotics: the scientific basis*. Springer Netherlands.

<https://doi.org/10.1007/978-94-011-2364-8>

Gebhardt, J. T., Paulk, C. B., Tokach, M. D., Derouchey, J. M., Goodband, R. D., Woodworth, J.

C., De Jong, J. A., Coble, K. F., Stark, C. R., Jones, C. K., & Dritz, S. S. (2018). Effect of roller mill configuration on growth performance of nursery and finishing pigs and milling characteristics. *Journal of Animal Science*, *96*(6), 2278.

<https://doi.org/10.1093/JAS/SKY147>

George Kerry, R., Patra, J. K., Gouda, S., Park, Y., Shin, H. S., & Das, G. (2018). Benefaction of probiotics for human health: A review. *Journal of Food and Drug Analysis*, *26*(3), 927–939.

<https://doi.org/10.1016/J.JFDA.2018.01.002>

Giraldo-Carmona, J., Narváez-Solarte, W., Díaz-López, E., Zootechnista, M. V., & Veterinarias,

C. (2015). Probióticos en cerdos: resultados contradictorios. *Revista Biosalud*, *14*(1), 81–90.

<https://doi.org/10.17151/biosa.2015.14.1.9>

González Salazar, L. F. (2015). *Implementación de probióticos y prebióticos en la dieta de lechones en fase de precebo* [Tesis]. Corporación Universitaria Lasallista.

Guimarães, R. R., Vendramini, A. L. do A., Santos, A. C. dos, Leite, S. G. F., & Miguel, M. A.

L. (2013). Development of probiotic beads similar to fish eggs. *Journal of Functional Foods*, *5*(2), 968–973. <https://doi.org/10.1016/J.JFF.2013.01.002>

Han, L., Azad, M. A. K., Huang, P., Wang, W., Zhang, W., Blachier, F., & Kong, X. (2022).

Maternal Supplementation With Different Probiotic Mixture From Late Pregnancy to Day 21 Postpartum: Consequences for Litter Size, Plasma and Colostrum Parameters, and Fecal

Microbiota and Metabolites in Sows. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 85.

<https://doi.org/10.3389/FVETS.2022.726276/BIBTEX>

Hancock, J. D., & K.C. Behnke. (2000). Use of Ingredient and Diet Processing Technologies (Grinding, Mixing, Pelleting, and Extruding) to Produce Quality Feeds for Pigs. In A. J. Lewis & L. L. Southern (Eds.), *Swine Nutrition* (Second, pp. 489–518). CRC Press.

<https://doi.org/10.1201/9781420041842-28>

Hanczakowska, E., Świątkiewicz, M., Natonek-Wiśniewska, M., & Okoń, K. (2016). Medium chain fatty acids (MCFA) and/or probiotic *Enterococcus faecium* as a feed supplement for piglets. *Livestock Science*, 192(2016), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.08.002>

Hao, L., Su, W., Zhang, Y., Wang, C., Xu, B., Jiang, Z., Wang, F., Wang, Y., & Lu, Z. (2020). Effects of supplementing with fermented mixed feed on the performance and meat quality in finishing pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 266, 114501.

<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114501>

Harush, A., Quinn, E., Trostanetsky, A., Rapaport, A., Kostyukovsky, M., & Gottlieb, D. (2021). Integrated Pest Management for Stored Grain: Potential Natural Biological Control by a Parasitoid Wasp Community. *Insects*, 12(11). <https://doi.org/10.3390/INSECTS12111038>

He, T., Zhu, Y.-H., Yu, J., Xia, B., Liu, X., Yang, G.-Y., Su, J.-H., Guo, L., Wang, M.-L., & Wang, J.-F. (2019). *Lactobacillus johnsonii* L531 reduces pathogen load and helps maintain short-chain fatty acid levels in the intestines of pigs challenged with *Salmonella enterica* Infantis. *Veterinary Microbiology*, 230(2019), 187–194.

<https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2019.02.003>

- Hlatini, V. A., & Chimonyo, M. (2016). Nutritionally-related blood metabolites and liver enzymes in growing pigs fed on *Acacia tortilis* treated with polyethylene glycol. *Livestock Science*, *187*, 158–161. <https://doi.org/10.1016/J.LIVSCI.2016.03.011>
- Hu, J., Kim, Y. H., & Kim, I. H. (2021). Effects of two bacillus strains probiotic supplement on reproduction performance, nutrient digestibility, blood profile, fecal score, excreta odor contents and fecal microflora in lactation sows, and growth performance in sucking piglets. *Livestock Science*, *244*, 104293. <https://doi.org/10.1016/J.LIVSCI.2020.104293>
- Huang, C., Qiao, S., Li, D., Piao, X., & Ren, J. (2004). Effects of Lactobacilli on the Performance, Diarrhea Incidence, VFA Concentration and Gastrointestinal Microbial Flora of Weaning Pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, *17*(3), 401–409. <https://doi.org/10.5713/AJAS.2004.401>
- Huang, S., Yu, Q., Xie, L., Ran, L., Wang, K., Yang, Y., Gan, L., & Song, Z. (2021). Inhibitory effects of *Lactobacillus plantarum* metabolites on porcine epidemic diarrhea virus replication. *Research in Veterinary Science*, *139*, 32–42. <https://doi.org/10.1016/J.RVSC.2021.07.002>
- Ibrahim, H. A. M., Zhu, Y., Wu, C., Lu, C., Ezekwe, M. O., Liao, S. F., & Haung, K. (2012). Selenium-enriched probiotics improves murine male fertility compromised by high fat diet. *Biological Trace Element Research*, *147*(1–3), 251–260. <https://doi.org/10.1007/S12011-011-9308-2>
- Jeong, J., Kim, J., Lee, S., & Kim, I. (2015). Evaluation of *Bacillus subtilis* and *Lactobacillus acidophilus* probiotic supplementation on reproductive performance and noxious gas emission in sows. *Anim. Sci*, *15*(3), 699–709. <https://doi.org/10.1515/aoas-2015-0018>

- Ji, W., Zhang, X., Niu, G., Chen, S., Li, X., Yang, L., Zhang, L., & Ren, L. (2022). Expression and immunogenicity analysis of the capsid proteins of porcine circovirus types 2 to 4. *International Journal of Biological Macromolecules*, *218*, 828–838. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2022.07.204>
- Jo, Y. Y., Choi, M. J., Chung, W. L., Hong, J. S., Lim, J. S., & Kim, Y. Y. (2021). Effects of feed form and particle size on growth performance, nutrient digestibility, carcass characteristics, and gastric health in growing-finishing pigs. *Animal Bioscience*, *34*(6), 1061. <https://doi.org/10.5713/AB.20.0777>
- Jørgensen, J. N., Sánchez Laguna, J., Millán, C., Casabuena, O., & Gracia, M. I. (2016). Effects of a Bacillus-based probiotic and dietary energy content on the performance and nutrient digestibility of wean to finish pigs. *Animal Feed Science and Technology*, *221*, 54–61. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.08.008>
- Joysowal, M., Saikia, B. N., Dowarah, R., Tamuly, S., Kalita, D., & Dev Choudhury, K. B. (2018). Effect of probiotic *Pediococcus acidilactici* FT28 on growth performance, nutrient digestibility, health status, meat quality, and intestinal morphology in growing pigs. *Veterinary World*, *11*(12), 1669–1676. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2018.1669-1676>
- Joysowal, M., Saikia, B. N., Tamuly, S., & Kalita, D. (2021). Comparative effect of probiotics (swine and dairy origin) on growth performance, nutrient digestibility, blood biochemical profile, immune status and faecal microbial count of earlyweaned grower-finisher crossbred pigs. *Indian Journal of Animal Research*, *55*(11), 1308–1314. <https://doi.org/10.18805/IJAR.B-4137>

- Jurado Gámez, H., Ramírez T., C., & Martínez, B. , J. (2013). Evaluación in vivo de *Lactobacillus plantarum* como alternativa al uso de antibióticos en lechones. *Revista MVZ Córdoba*, 18(supl), 3648–3657. <https://doi.org/10.21897/RMVZ.131>
- Kakuda, L., Jaramillo, Y., Niño-Arias, F. C., de Souza, M. F., Conceição, E. C., Alves, V. F., de Almeida, O. G. G., De Martinis, E. C. P., & Oliveira, W. P. (2023). Process Development for the Spray-Drying of Probiotic Bacteria and Evaluation of the Product Quality. *Journal of Visualized Experiments : JoVE*, 2023(194). <https://doi.org/10.3791/65192>
- Kenkel, P. (2022). Economics of grain storage. In *Storage of Cereal Grains and their Products* (3rd ed., pp. 687–696). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812758-2.00005-2>
- Kenny, M., Smidt, H., Mengheri, E., & Miller, B. (2011). Probiotics – do they have a role in the pig industry? *Animal*, 5(3), 462–470. <https://doi.org/10.1017/S175173111000193X>
- Koch, K. (2002). *Hammermills and roller mills*. <https://bookstore.ksre.ksu.edu/pubs/mf2048.pdf>
- Kwak, M.-J., Tan, P. L., Kyoung Oh, J., Chae, K. S., Kim, J., Kim, S. H., Eun, J.-S., Chee, S. W., Kang, D.-K., Kim, S. H., & Whang, K.-Y. (2021). The effects of multispecies probiotic formulations on growth performance, hepatic metabolism, intestinal integrity and fecal microbiota in growing-finishing pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 274, 114833. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114833>
- La Fata, G., Weber, P., & Mohajeri, M. H. (2018). Probiotics and the Gut Immune System: Indirect Regulation. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 10(1), 11–21. <https://doi.org/10.1007/S12602-017-9322-6>

- Lancheros, J. P., Espinosa, C. D., & Stein, H. H. (2020). *Effects of particle size reduction, pelleting, and extrusion on the nutritional value of ingredients and diets fed to pigs: A review*. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114603>
- Langel, S. N., Wang, Q., Vlasova, A. N., & Saif, L. J. (2020). Host Factors Affecting Generation of Immunity Against Porcine Epidemic Diarrhea Virus in Pregnant and Lactating Swine and Passive Protection of Neonates. *Pathogens (Basel, Switzerland)*, 9(2).  
<https://doi.org/10.3390/PATHOGENS9020130>
- Langford, T., Mckinney, M., Carr, C., & Scheffler, J. M. (2019). Common Hazards to Consider during Manufacturing of Feeds for Swine 1. *IFAS Extension - University of Florida*.  
<https://doi.org/10.32473/edis-an357-2019>
- Laskowska, E., Jarosz, Ł., & Grądzki, Z. (2019). Effect of Multi-Microbial Probiotic Formulation Bokashi on Pro- and Anti-Inflammatory Cytokines Profile in the Serum, Colostrum and Milk of Sows, and in a Culture of Polymorphonuclear Cells Isolated from Colostrum. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 11(1), 220–232.  
<https://doi.org/10.1007/S12602-017-9380-9/TABLES/4>
- Lázaro D., C., Carcelén C., F., Torres A., M., & Ara G., M. (2005). Efecto de probióticos en el alimento de marranas sobre los parámetros productivos de lechones. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Perú*, 16(2), 97–102.  
[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1609-91172005000200001&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1609-91172005000200001&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Le Bon, M., Davies, H. E., Glynn, C., Thompson, C., Madden, M., Wiseman, J., Dodd, C. E. R., Hurdidge, L., Payne, G., Le Treut, Y., Craigon, J., Töttemeyer, S., & Mellits, K. H. (2010).

- Influence of probiotics on gut health in the weaned pig. *Livestock Science*, 133(1–3), 179–181. <https://doi.org/10.1016/J.LIVSCI.2010.06.058>
- Le, M. H. A., Galle, S., Yang, Y., Landero, J. L., Beltranena, E., Gänzle, M. G., & Zijlstra, R. T. (2016). Effects of feeding fermented wheat with *Lactobacillus reuteri* on gut morphology, intestinal fermentation, nutrient digestibility, and growth performance in weaned pigs. *Journal of Animal Science*, 94(11), 4677–4687. <https://doi.org/10.2527/JAS.2016-0693>
- Lefter, N. A., Hăbeanu, M., Gheorghe, A., Dumitru, M., Gal, C., & Vlaicu, P. A. (2023). Effects of Microencapsulated Probiotics on Performance, Organ Development, Diarrhoea Incidences, Blood Parameters, Intestinal Histomorphology and Microflora in Weaning Piglets. *Agriculture (Switzerland)*, 13(1). <https://doi.org/10.3390/agriculture13010039>
- Lekagul, A., Tangcharoensathien, V., Mills, A., Rushton, J., & Yeung, S. (2020). How antibiotics are used in pig farming: a mixed-methods study of pig farmers, feed mills and veterinarians in Thailand. *BMJ Global Health*, 5(2), 1918. <https://doi.org/10.1136/BMJGH-2019-001918>
- Li, Q., Yin, J., Li, Z., Li, Z., Du, Y., Guo, W., Bellefleur, M., Wang, S., & Shi, H. (2019). Serotype distribution, antimicrobial susceptibility, antimicrobial resistance genes and virulence genes of *Salmonella* isolated from a pig slaughterhouse in Yangzhou, China. *AMB Express*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/S13568-019-0936-9>
- Li, R., Wang, J., Liu, L., Zhang, R., Hao, X., Han, Q., Wang, J., & Yuan, W. (2019). Direct detection of *Actinobacillus pleuropneumoniae* in swine lungs and tonsils by real-time recombinase polymerase amplification assay. *Molecular and Cellular Probes*, 45, 14–18. <https://doi.org/10.1016/J.MCP.2019.03.007>

- Li, Y., Hou, S., Chen, J., Peng, W., Wen, W., Chen, F., & Huang, X. (2019). Oral administration of *Lactobacillus delbrueckii* during the suckling period improves intestinal integrity after weaning in piglets. *Journal of Functional Foods*, 63(2019).  
<https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103591>
- Liao, S. F., & Nyachoti, M. (2017). Using probiotics to improve swine gut health and nutrient utilization. *Animal Nutrition*, 3(4), 331. <https://doi.org/10.1016/J.ANINU.2017.06.007>
- Liu, H., Wang, S., Zhang, D., Wang, J., Zhang, W., Wang, Y., & Ji, H. (2020). Effects of dietary supplementation with *Pediococcus acidilactici* ZPA017 on reproductive performance, fecal microbial flora and serum indices in sows during late gestation and lactation. *Asian-Australas J Anim Sci*, 33(1), 120–126. <https://doi.org/10.5713/ajas.18.0764>
- Liu, Y., Espinosa, C. D., Abelilla, J. J., Casas, G. A., Lagos, L. V., Lee, S. A., Kwon, W. B., Mathai, J. K., Navarro, D. M. D. L., Jaworski, N. W., & Stein, H. H. (2018). Non-antibiotic feed additives in diets for pigs: A review. *Animal Nutrition (Zhongguo Xu Mu Shou Yi Xue Hui)*, 4(2), 113–125. <https://doi.org/10.1016/J.ANINU.2018.01.007>
- Luise, D., Spinelli, E., Correa, F., Nicodemo, A., Bosi, P., & Trevisi, P. (2021). The effect of a single, early-life administration of a probiotic on piglet growth performance and faecal microbiota until weaning. *https://Doi.Org/10.1080/1828051X.2021.1952909*, 20(1), 1372–1385. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2021.1952909>
- Luppi, A., Gibellini, M., Gin, T., Vangroenweghe, F., Vandenbroucke, V., Bauerfeind, R., Bonilauri, P., Labarque, G., & Hidalgo, Á. (2016). Prevalence of virulence factors in enterotoxigenic *Escherichia coli* isolated from pigs with post-weaning diarrhoea in Europe. *Porcine Health Management*, 2(1), 1–6. <https://doi.org/10.1186/S40813-016-0039-9/TABLES/4>

- Lv, C. H., Wang, T., Regmi, N., Chen, X., Huang, K., & Liao, S. F. (2015). Effects of dietary supplementation of selenium-enriched probiotics on production performance and intestinal microbiota of weanling piglets raised under high ambient temperature. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, *99*(6), 1161–1171. <https://doi.org/10.1111/JPN.12326>
- Lyu, F., Thomas, M., Hendriks, W. H., & van der Poel, A. F. B. (2020). Size reduction in feed technology and methods for determining, expressing, and predicting particle size: A review. *Animal Feed Science and Technology*, *261*.  
<https://doi.org/10.1016/J.ANIFEEDSCI.2019.114347>
- Ma, Z., Wu, H., Zhang, K., Xu, X., Wang, C., Zhu, W., & Wu, W. (2018). Long-term low dissolved oxygen accelerates the removal of antibiotics and antibiotic resistance genes in swine wastewater treatment. *Chemical Engineering Journal*, *334*, 630–637.  
<https://doi.org/10.1016/J.CEJ.2017.10.051>
- Markowiak, P., & Ślizewska, K. (2018). The role of probiotics, prebiotics and synbiotics in animal nutrition. *Gut Pathogens*, *10*(1), 1–20. <https://doi.org/10.1186/S13099-018-0250-0/METRICS>
- Martín, R., Langa, S., Reviriego, C., Jiménez, E., Marín, M. L., Olivares, M., Boza, J., Jiménez, J., Fernández, L., Xaus, J., & Rodríguez, J. M. (2004). The commensal microflora of human milk: new perspectives for food bacteriotherapy and probiotics. *Trends in Food Science & Technology*, *15*(3–4), 121–127. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2003.09.010>
- McElhiney, R. R., & Association., A. F. I. (1994). *Feed manufacturing technology IV*. American Feed Industry Association.
- Méndez-Palacios, N., Méndez-Mendoza, M., Vázquez-Flores, F., Castro-Colombres, J. G., & Ramírez-Bribiesca, J. E. (2018). Productive and economic parameters of pigs supplemented

- from weaning to finishing with prebiotic and probiotic feed additives. *Animal Science Journal = Nihon Chikusan Gakkaiho*, 89(7), 994. <https://doi.org/10.1111/ASJ.13008>
- Meng, Q. W., Yan, L., Ao, X., Zhou, T. X., Wang, J. P., Lee, J. H., & Kim, I. H. (2010). Influence of probiotics in different energy and nutrient density diets on growth performance, nutrient digestibility, meat quality, and blood characteristics in growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science*, 88(10), 3320–3326. <https://doi.org/10.2527/JAS.2009-2308>
- Minagricultura, M. de A. y D. R. (2021). *Cadena Cárnica Porcina*. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Porcina/Documentos/2021-03-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Minović, I., Eisenga, M. F., Riphagen, I. J., Van Den Berg, E., Kootstra-Ros, J., Frenay, A. R. S., Van Goor, H., Rimbach, G., Esatbeyoglu, T., Levy, A. P., Ajm Gaillard, C., Geleijnse, J. M., Eggersdorfer, M. L., Navis, G. J., Kema, I. P., & Bakker, S. J. L. (2017). Circulating Haptoglobin and Metabolic Syndrome in Renal Transplant Recipients. *Scientific Reports*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/S41598-017-14302-2>
- 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*. <https://doi.org/10.18502/keg.v5i2.6267>
- Naqid, I. A., Owen, J. P., Maddison, B. C., Gardner, D. S., Foster, N., Tchórzewska, M. A., Ragione, R. M. La, & Gough, K. C. (2015). Prebiotic and probiotic agents enhance antibody-based immune responses to Salmonella Typhimurium infection in pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 201, 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.12.005>

- Nguyen, D. H., Nyachoti, C. M., & Kim, I. H. (2018). Evaluation of effect of probiotics mixture supplementation on growth performance, nutrient digestibility, faecal bacterial enumeration, and noxious gas emission in weaning pigs. *Italian Journal of Animal Science*, *18*(1), 466–473. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2018.1537726>
- Opriessnig, T., Giménez-Lirola, L. G., & Halbur, P. G. (2011). Polymicrobial respiratory disease in pigs. *Animal Health Research Reviews*, *12*(2), 133–148. <https://doi.org/10.1017/S1466252311000120>
- Pan, C., Zhao, Y., Liao, S. F., Chen, F., Qin, S., Wu, X., Zhou, H., & Huang, K. (2011). Effect of selenium-enriched probiotics on laying performance, egg quality, egg selenium content, and egg glutathione peroxidase activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *59*(21), 11424–11431. <https://doi.org/10.1021/JF202014K>
- Pang, Y., Zhang, H., Wen, H., Wan, H., Wu, H., Chen, Y., Li, S., Zhang, L., Sun, X., Li, B., & Liu, X. (2022). Yeast Probiotic and Yeast Products in Enhancing Livestock Feeds Utilization and Performance: An Overview. *Journal of Fungi 2022*, *Vol. 8*, Page 1191, *8*(11), 1191. <https://doi.org/10.3390/JOF8111191>
- Pareja Arcila, J. C., Ramirez Garcia, R., Veloza Agudelo, L. C., & Naranjo Ramirez, J. F. (2020). *Efecto del uso de aditivos probióticos encapsulados sobre la conversión alimenticia y su asociación con cambios en la microbiota intestinal de lechones* [Tesis, Universidad CES]. <https://repository.ces.edu.co/handle/10946/5171>
- Pavlović, N., Stankov, K., & Mikov, M. (2012). Probiotics--interactions with bile acids and impact on cholesterol metabolism. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, *168*(7), 1880–1895. <https://doi.org/10.1007/S12010-012-9904-4>

- Peeters, L., Mostin, L., Wattiau, P., Boyen, F., Dewulf, J., & Maes, D. (2018). Efficacy of *Clostridium butyricum* as probiotic feed additive against experimental *Salmonella* Typhimurium infection in pigs. *Livestock Science*, *221*(2019), 82–85.  
<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.12.019>
- Peng, X., Yan, C., Hu, L., Huang, Y., Fang, Z., Lin, Y., Xu, S., Feng, B., Li, J., Zhuo, Y., Wu, D., & Che, L. (2020). Live yeast supplementation during late gestation and lactation affects reproductive performance, colostrum and milk composition, blood biochemical and immunological parameters of sows. *Animal Nutrition*, *6*(3), 288–292.  
<https://doi.org/10.1016/J.ANINU.2020.03.001>
- Pereira, W. A., Franco, S. M., Reis, I. L., Mendonça, C. M. N., Piazzentin, A. C. M., Azevedo, P. O. S., Tse, M. L. P., De Martinis, E. C. P., Gierus, M., & Oliveira, R. P. S. (2022). Beneficial effects of probiotics on the pig production cycle: An overview of clinical impacts and performance. *Veterinary Microbiology*, *269*, 109431.  
<https://doi.org/10.1016/J.VETMIC.2022.109431>
- Pietrzak, B., Tomela, K., Olejnik-Schmidt, A., Mackiewicz, A., & Schmidt, M. (2020). Secretory IgA in Intestinal Mucosal Secretions as an Adaptive Barrier against Microbial Cells. *International Journal of Molecular Sciences*, *21*(23), 1–15.  
<https://doi.org/10.3390/IJMS21239254>
- Plaza-Diaz, J., Ruiz-Ojeda, F. J., Gil-Campos, M., & Gil, A. (2019). Mechanisms of Action of Probiotics. *Advances in Nutrition (Bethesda, Md.)*, *10*(suppl\_1), S49–S66.  
<https://doi.org/10.1093/ADVANCES/NMY063>
- Pluske, J. R., Turpin, D. L., & Kim, J. C. (2018). Gastrointestinal tract (gut) health in the young pig. *Animal Nutrition*, *4*(2), 187. <https://doi.org/10.1016/J.ANINU.2017.12.004>

- Pokharel, S., Shrestha, P., & Adhikari, B. (2020). Antimicrobial use in food animals and human health: time to implement 'One Health' approach. *Antimicrobial Resistance and Infection Control*, 9(1), 1–5. <https://doi.org/10.1186/S13756-020-00847-X/METRICS>
- Pollmann, D. S., Danielson, D. M., & Peo, E. R. (1980). Effects of Microbial Feed Additives on Performance of Starter and Growing-finishing Pigs. *Journal of Animal Science*, 51(3), 577–581. <https://doi.org/10.2527/JAS1980.513577X>
- PorciNews. (2022, July 20). *¿Cómo viene desarrollándose la porcicultura colombiana?* <https://porcinews.com/como-viene-desarrollandose-la-porcicultura-colombiana/>
- PorkColombia. (2020). Revista Digital PorkColombia. *Revista Digital PorkColombia*, 1–40. <https://porkcolombia.co/wp-content/uploads/2020/10/ED-255-PORKCOLOMBIA-DIGITAL-261020.pdf>
- PorkColombia. (2021). ECONOMÍA PORCÍCOLA. *Economía Porcícola*, 1–60. <https://www.porkcolombia.co/wp-content/uploads/2021/03/ED-257-PORKCOLOMBIA-DIGITAL-1.pdf>
- PorkNews - LATAM. (2020). Las cifras que inquietan a los poricultores Colombianos. *Las Cifras Que Inquietan a Los Poricultores Colombianos*. <https://porcinews.com/cifras-inquietan-porcicultores-colombianos/>
- Prenafeta-Boldú, F. X., Fernández, B., Viñas, M., Lizardo, R., Brufau, J., Owusu-Asiedu, A., Walsh, M. C., & Awati, A. (2017). Effect of *Bacillus* spp. direct-fed microbial on slurry characteristics and gaseous emissions in growing pigs fed with high fibre-based diets. *Animal*, 11(2), 209–218. <https://doi.org/10.1017/S1751731116001415>
- Pupa, P., Apiwatsiri, P., Sirichokchatchawan, W., Pirarat, N., Maison, T., Koontanatechanon, A., & Prapasarakul, N. (2021). Use of *Lactobacillus plantarum* (strains 22F and 25F) and

- Pediococcus acidilactici* (strain 72N) as replacements for antibiotic-growth promotants in pigs. *Scientific Reports*, *11*(1), 12028. <https://doi.org/10.1038/S41598-021-91427-5>
- Rao, S. O. (2007). *Effects of dietary supplementation of lactobacillus-based probiotics on growth and gut environment of nursery pigs* [Thesis, Texas Tech University]. <https://ttu-ir.tdl.org/handle/2346/17879>
- Rhouma, M., Fairbrother, J. M., Beaudry, F., & Letellier, A. (2017). Post weaning diarrhea in pigs: risk factors and non-colistin-based control strategies. *Acta Veterinaria Scandinavica* *2017 59:1*, *59*(1), 1–19. <https://doi.org/10.1186/S13028-017-0299-7>
- Rist, V. T. S., Weiss, E., Sauer, N., Mosenthin, R., & Eklund, M. (2014). Effect of dietary protein supply originating from soybean meal or casein on the intestinal microbiota of piglets. *Anaerobe*, *25*, 72–79. <https://doi.org/10.1016/J.ANAEROBE.2013.10.003>
- Rivera-Espinoza, Y., & Gallardo-Navarro, Y. (2010). Non-dairy probiotic products. *Food Microbiology*, *27*(1), 1–11. <https://doi.org/10.1016/J.FM.2008.06.008>
- Rojas, O. J., & Stein, H. H. (2017). Processing of ingredients and diets and effects on nutritional value for pigs. *Journal of Animal Science and Biotechnology* *2017 8:1*, *8*(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/S40104-017-0177-1>
- Ross, G. R., Gusils, C., Oliszewski, R., Colombo de Holgado, S., & González, S. N. (2010). Effects of probiotic administration in swine. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, *109*(6), 545–549. <https://doi.org/10.1016/J.JBIOSEC.2009.11.007>
- Ruggeri, J., Salogni, C., Giovannini, S., Vitale, N., Boniotti, M. B., Corradi, A., Pozzi, P., Pasquali, P., & Alborali, G. L. (2020). Association Between Infectious Agents and Lesions in Post-Weaned Piglets and Fattening Heavy Pigs With Porcine Respiratory Disease

Complex (PRDC). *Frontiers in Veterinary Science*, 7, 636.

<https://doi.org/10.3389/FVETS.2020.00636/BIBTEX>

Rybarczyk, A., Bogusławska-Wąs, E., & Łupkowska, A. (2020). Effect of EM® probiotic on gut microbiota, growth performance, carcass and meat quality of pigs. *Livestock Science*, 241, 104206. <https://doi.org/10.1016/J.LIVSCI.2020.104206>

Rybarczyk, A., Bogusławska-Wąs, E., & Pilarczyk, B. (2021). Carcass and Pork Quality and Gut Environment of Pigs Fed a Diet Supplemented with the Bokashi Probiotic. *Animals : An Open Access Journal from MDPI*, 11(12). <https://doi.org/10.3390/ANI11123590>

Saensukjaroenphon, M., Evans, C. E., Paulk, C. B., Gebhardt, J. T., Woodworth, J. C., Stark, C. R., Bergstrom, J. R., & Jones, C. K. (2020). Impact of storage conditions and premix type on fat-soluble vitamin stability. *Translational Animal Science*, 4(3), 1–10.

<https://doi.org/10.1093/TAS/TXAA143>

Saladrigas-García, M., Solà-Oriol, D., López-Verg, S., D'Angelo, M., Collado, M. C., Nielsen, B., Faldyna, M., Prez, J. F., & Martín-Orúe, S. M. (2022). Potential effect of two *Bacillus* probiotic strains on performance and fecal microbiota of breeding sows and their piglets. *Journal of Animal Science*, 100(6). <https://doi.org/10.1093/JAS/SKAC163>

Satora, M., Rząsa, A., Rypuła, K., & Płoneczka-janeczko, K. (2020). Field evaluation of the influence of garlic extract and probiotic cultures on sows and growing pigs. *Medycyna Weterynaryjna*, 76(09), 6447–2021. <https://doi.org/10.21521/mw.6447>

Scharek-Tedin, L., Kreuzer-Redmer, S., Twardziok, S. O., Siepert, B., Klopffleisch, R., Tedin, K., Zentek, J., & Pieper, R. (2015). Probiotic Treatment Decreases the Number of CD14-Expressing Cells in Porcine Milk Which Correlates with Several Intestinal Immune

Parameters in the Piglets. *Frontiers in Immunology*, 6(MAR).

<https://doi.org/10.3389/FIMMU.2015.00108>

Schokker, D., Zhang, J., Zhang, L. L., Vastenhouw, S. A., Heilig, H. G. H. J., Smidt, H., Rebel, J. M. J., & Smits, M. A. (2014). Early-life environmental variation affects intestinal microbiota and immune development in new-born piglets. *PLoS One*, 9(6).

<https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0100040>

Scopus. (2022, November 14). *Scopus - Probiotics AND Swine*. Probiotics AND Swine.

<https://www-scopus-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/results/results.uri?sort=plf-f&src=s&st1=Probiotics+AND+Swine&sid=170db0e7b5ac8a7b4e54612623ee9b9d&sot=b&sdt=b&sl=35&s=TITLE-ABS-KEY%28Probiotics+AND+Swine%29&origin=searchbasic&editSaveSearch=&yearFrom=Before+1960&yearTo=Present>

Serna-Cock, L., & Vallejo-Castillo, V. (2013). Probiotic encapsulation. *African Journal of Microbiology Research*, 7(40), 4743–4753. <https://doi.org/10.5897/AJMR2013.5718>

Sharifi-Rad, J., Rodrigues, C. F., Stojanović-Radić, Z., Dimitrijević, M., Aleksić, A., Neffe-Skocińska, K., Zielińska, D., Kołożyn-Krajewska, D., Salehi, B., Prabu, S. M., Schutz, F., Docea, A. O., Martins, N., & Calina, D. (2020). Probiotics: Versatile Bioactive Components in Promoting Human Health. *Medicina*, 56(9), 1–30.

<https://doi.org/10.3390/MEDICINA56090433>

Sharma Bajagai, Y., Dart, P. J., & Bryden, W. L. (2016). *Probiotics in animal nutrition: production, impacts and regulation*. <https://www.researchgate.net/publication/305703031>

- Shi, L. H., Balakrishnan, K., Thiagarajah, K., Mohd Ismail, N. I., & Yin, O. S. (2016). Beneficial Properties of Probiotics. *Tropical Life Sciences Research*, 27(2), 73.  
<https://doi.org/10.21315/TLSR2016.27.2.6>
- Shim, S. (2005). *Effects of prebiotics, probiotics and synbiotics in the diet of young pigs* [Thesis]. Wageningen Universiteit.
- Stark, C., & Saensukjaroenphon, M. (2014). *MF3393 Testing Mixer Performance*.  
<https://bookstore.ksre.ksu.edu/pubs/MF3393.pdf>
- Su, W., Gong, T., Jiang, Z., Lu, Z., & Wang, Y. (2022). The Role of Probiotics in Alleviating Postweaning Diarrhea in Piglets From the Perspective of Intestinal Barriers. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 12. <https://doi.org/10.3389/FCIMB.2022.883107>
- Suez, J., Zmora, N., Segal, E., & Elinav, E. (2019). The pros, cons, and many unknowns of probiotics. *Nature Medicine*, 25(5), 716–729. <https://doi.org/10.1038/S41591-019-0439-X>
- Sultana, M., Chan, E. S., Pushpamalar, J., & Choo, W. S. (2022). Advances in extrusion-dripping encapsulation of probiotics and omega-3 rich oils. *Trends in Food Science & Technology*, 123, 69–86. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2022.03.006>
- Sun, Y., Duarte, M. E., & Kim, S. W. (2021). Dietary inclusion of multispecies probiotics to reduce the severity of post-weaning diarrhea caused by *Escherichia coli* F18+ in pigs. *Animal Nutrition (Zhongguo Xu Mu Shou Yi Xue Hui)*, 7(2), 326–333.  
<https://doi.org/10.1016/J.ANINU.2020.08.012>
- Tang, X., Xiong, K., Fang, R., & Li, M. (2022). Weaning stress and intestinal health of piglets: A review. *Frontiers in Immunology*, 13, 7173.  
<https://doi.org/10.3389/FIMMU.2022.1042778/BIBTEX>

- Tian, Z., Cui, Y., Lu, H., Wang, G., & Ma, X. (2021). Effect of long-term dietary probiotic *Lactobacillus reuteri* 1 or antibiotics on meat quality, muscular amino acids and fatty acids in pigs. *Meat Science*, *171*, 108234. <https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2020.108234>
- Tripathi, M. K., & Giri, S. K. (2014). Probiotic functional foods: Survival of probiotics during processing and storage. *Journal of Functional Foods*, *9*(1), 225–241. <https://doi.org/10.1016/J.JFF.2014.04.030>
- Trukhachev, V. I., Chmykhalo, V. K., Belanova, A. A., Beseda, D. K., Chikindas, M. L., Bren, A. B., Ermakov, A. M., Donnik, I. M., Belousova, M. M., & Zolotukhin, P. V. (2021). Probiotic biomarkers and models upside down: From humans to animals. *Veterinary Microbiology*, *261*. <https://doi.org/10.1016/J.VETMIC.2021.109156>
- Tsukahara, T., Inatomi, T., Otomaru, K., Amatatsu, M., Romero-Pérez, G. A., & Inoue, R. (2018). Probiotic supplementation improves reproductive performance of unvaccinated farmed sows infected with porcine epidemic diarrhea virus. *Animal Science Journal*, *89*(8), 1144–1151. <https://doi.org/10.1111/ASJ.13040>
- Valeriano, V. D. V., Balolong, M. P., & Kang, D.-K. (2017). Probiotic roles of *Lactobacillus* sp. in swine: insights from gut microbiota. *Journal of Applied Microbiology*, *122*(3), 554–567. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jam.13364>
- Van Der Peet-Schwering, C. M. C., Verheijen, R., Jørgensen, L., & Raff, L. (2020). Effects of a mixture of *Bacillus amyloliquefaciens* and *Bacillus subtilis* on the performance of growing-finishing pigs. *Animal Feed Science and Technology*, *261*(2020), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114409>
- Vázquez Pérez, J. E. (2013). *Uso de Probióticos en la Alimentación con Suero de Leche en Cerdos al Destete* [Tesis]. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

- Velázquez-Meza, M. E., Galarde-López, M., Carrillo-Quiróz, B., & Alpuche-Aranda, C. M. (2022). Antimicrobial resistance: One Health approach. *Veterinary World*, *15*(3), 743. <https://doi.org/10.14202/VETWORLD.2022.743-749>
- Waluszewski, A., Cinti, A., & Perna, A. (2021). Antibiotics in pig meat production: restrictions as the odd case and overuse as normality? Experiences from Sweden and Italy. *Humanities and Social Sciences Communications 2021 8:1*, *8*(1), 1–12. <https://doi.org/10.1057/s41599-021-00852-4>
- Wang, H., Ha, B. D., & Kim, I. H. (2021). Effects of probiotics complex supplementation in low nutrient density diet on growth performance, nutrient digestibility, faecal microbial, and faecal noxious gas emission in growing pigs. *Italian Journal of Animal Science*, *20*(1), 163–170. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2020.1801358>
- Wang, K., Zhu, Q., Kong, X., Song, M., Azad, M. A. K., Xiong, L., Zheng, Y., & He, Q. (2020). Dietary Probiotics or Synbiotics Supplementation During Gestation, Lactation, and Nursery Periods Modifies Colonic Microbiota, Antioxidant Capacity, and Immune Function in Weaned Piglets. *Frontiers in Veterinary Science*, *7*, 597832. <https://doi.org/10.3389/FVETS.2020.597832/FULL>
- Wang, S., Yao, B., Gao, H., Zang, J., Tao, S., Zhang, S., Huang, S., He, B., & Wang, J. (2019). Combined supplementation of *Lactobacillus fermentum* and *Pediococcus acidilactici* promoted growth performance, alleviated inflammation, and modulated intestinal microbiota in weaned pigs. *BMC Veterinary Research*, *15*(1). <https://doi.org/10.1186/S12917-019-1991-9>
- Wang, X., Tian, Z., Azad, M. A. K., Zhang, W., Blachier, F., Wang, Z., & Kong, X. (2021). Dietary supplementation with *Bacillus* mixture modifies the intestinal ecosystem of weaned

piglets in an overall beneficial way. *Journal of Applied Microbiology*, 130(1), 233–246.

<https://doi.org/10.1111/JAM.14782>

Wang, Y., Gong, L., Wu, Y. ping, Cui, Z. wen, Wang, Y. qiang, Huang, Y., Zhang, X. ping, & Li, W. fen. (2019). Oral administration of *Lactobacillus rhamnosus* GG to newborn piglets augments gut barrier function in pre-weaning piglets. *Journal of Zhejiang University. Science. B*, 20(2), 180–192. <https://doi.org/10.1631/JZUS.B1800022>

Wang, Y., Wang, J., Zhou, M., Liu, P., Zhang, E., Li, Y., Lin, J., Feng, Z., & Yang, Q. (2019). Mucosal and systemic immune responses induced by intranasal immunization of recombinant *Bacillus subtilis* expressing the P97R1, P46 antigens of *Mycoplasma hyopneumoniae*. *Bioscience Reports*, 39(10). <https://doi.org/10.1042/BSR20191126>

Wondra, K. J., Hancock, J. D., Behnke, K. C., Hines, R. H., & Stark, C. R. (1995). Effects of particle size and pelleting on growth performance, nutrient digestibility, and stomach morphology in finishing pigs. *Journal of Animal Science*, 73(3), 757–763. <https://doi.org/10.2527/1995.733757X>

Wondra, K. J., Hancock, J. D., Behnke, K. C., & Stark, C. R. (1995). Effects of mill type and particle size uniformity on growth performance, nutrient digestibility, and stomach morphology in finishing pigs. *Journal of Animal Science*, 73(9), 2564–2573. <https://doi.org/10.2527/1995.7392564X>

Wondra, K. J., Hancock, J. D., Kennedy, G. A., Behnke, K. C., & Wondra, K. R. (1995). Effects of reducing particle size of corn in lactation diets on energy and nitrogen metabolism in second-parity sows. *Journal of Animal Science*, 73(2), 427–432. <https://doi.org/10.2527/1995.732427X>

- Wondra, K. J., Hancock, J. D., Kennedy, G. A., Hines, R. H., & Behnke, K. C. (1995). Reducing particle size of corn in lactation diets from 1,200 to 400 micrometers improves sow and litter performance. *Journal of Animal Science*, *73*(2), 421–426.  
<https://doi.org/10.2527/1995.732421X>
- Xing, Y. F., Zhou, D. Q., He, J. S., Wei, C. S., Zhong, W. C., Han, Z. Y., Peng, D. T., Shao, M. M., Sham, T. T., Mok, D. K. W., Chan, C. O., & Tong, G. D. (2018). Clinical and histopathological features of chronic hepatitis B virus infected patients with high HBV-DNA viral load and normal alanine aminotransferase level: A multicentre-based study in China. *PLoS One*, *13*(9). <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0203220>
- Yang, F., Hou, C., Zeng, X., & Qiao, S. (2015). The use of lactic Acid bacteria as a probiotic in Swine diets. *Pathogens (Basel, Switzerland)*, *4*(1), 34–45.  
<https://doi.org/10.3390/PATHOGENS4010034>
- Yang, Y., Galle, S., Le, M. H. A., Zijlstra, R. T., & Gänzle, M. G. (2015). Feed fermentation with reuteran- and levan-producing *Lactobacillus reuteri* reduces colonization of weanling pigs by enterotoxigenic *Escherichia coli*. *Applied and Environmental Microbiology*, *81*(17), 5743–5752. <https://doi.org/10.1128/AEM.01525-15>
- Yang, Y., Park, J. H., & Kim, I. H. (2020). Effects of probiotics containing (*Lactobacillus plantarum*) and chlortetracycline on growth performance, nutrient digestibility, fecal microflora, diarrhea score and fecal gas emission in weanling pigs. *Livestock Science*, *241*, 104186. <https://doi.org/10.1016/J.LIVSCI.2020.104186>
- Yirga, H. (2015). The Use of Probiotics in Animal Nutrition. *Journal of Probiotics & Health*, *3*, 1–10.

- Young, S. [NCR]. (2017). *Agriculture and Agri-Food Canada*. Agriculture and Agri-Food Canada.
- Zhang, Q., Li, J., Cao, M., Li, Y., Zhuo, Y., Fang, Z., Che, L., Xu, S., Feng, B., Lin, Y., Jiang, X., Zhao, X., & Wu, D. (2020). Dietary supplementation of *Bacillus subtilis* PB6 improves sow reproductive performance and reduces piglet birth intervals. *Animal Nutrition*, 6(3), 278–287. <https://doi.org/10.1016/J.ANINU.2020.04.002>
- Zhang, S., Mou, C., Cao, Y., Zhang, E., & Yang, Q. (2020). Immune response in piglets orally immunized with recombinant *Bacillus subtilis* expressing the capsid protein of porcine circovirus type 2. *Cell Communication and Signaling*, 18(1), 1–14. <https://doi.org/10.1186/S12964-020-0514-4/FIGURES/5>
- Zhang, Y., Zhang, Y., Liu, F., Mao, Y., Zhang, Y., Zeng, H., Ren, S., Guo, L., Chen, Z., Hrabchenko, N., Wu, J., & Yu, J. (2023). Mechanisms and applications of probiotics in prevention and treatment of swine diseases. *Porcine Health Management* 2023 9:1, 9(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/S40813-022-00295-6>
- Zhao, X., Guo, Y., Guo, S., & Tan, J. (2013). Effects of *Clostridium butyricum* and *Enterococcus faecium* on growth performance, lipid metabolism, and cecal microbiota of broiler chickens. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97(14), 6477–6488. <https://doi.org/10.1007/S00253-013-4970-2>
- Zhu, C., Wang, L., Wei, S. yong, Chen, Z., Ma, X. yong, Zheng, C. tian, & Jiang, Z. yong. (2017). Effect of yeast *Saccharomyces cerevisiae* supplementation on serum antioxidant capacity, mucosal sIgA secretions and gut microbial populations in weaned piglets. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(9), 2029–2037. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61581-2](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61581-2)

Zimmermann, J. A., Fusari, M. L., Rossler, E., Blajman, J. E., Romero-Scharpen, A., Astesana, D. M., Olivero, C. R., Berisvil, A. P., Signorini, M. L., Zbrun, M. V., Frizzo, L. S., & Soto, L. P. (2016). Effects of probiotics in swines growth performance: A meta-analysis of randomised controlled trials. *Animal Feed Science and Technology*, *219*, 280–293.  
<https://doi.org/10.1016/J.ANIFEEDSCI.2016.06.021>

Zuckermann, F. A., Husmann, R., Chen, W. Y., Roady, P., Pfeiff, J., Leistikow, K. R., Duersteler, M., Son, S., King, M. R., & Augspurger, N. R. (2022). Bacillus-Based Direct-Fed Microbial Reduces the Pathogenic Synergy of a Coinfection with *Salmonella enterica* Serovar Choleraesuis and Porcine Reproductive and Respiratory Syndrome Virus. *Infection and Immunity*, *90*(4). <https://doi.org/10.1128/IAI.00574-21>