

# Prácticas Innovadoras para una Alimentación Sostenible en la Producción Porcina

## *Innovative Practices for Sustainable Feed Production in Swine Production*

Montero-de-la-Cueva, José Vicente <sup>1\*</sup>; Caicedo-Aldaz, Julio Cesar <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila, Ecuador, Santo Domingo; <https://orcid.org/0000-0001-5376-8249>, [josemontero@tsachila.edu.ec](mailto:josemontero@tsachila.edu.ec)

<sup>2</sup> Universidad Cesar Vallejo, Ecuador, Santo Domingo; <https://orcid.org/0000-0002-6373-1981>, [jcaicedoal@ucvvirtual.edu.pe](mailto:jcaicedoal@ucvvirtual.edu.pe)

\* Autor Correspondencia

 <https://doi.org/10.70881/hnj/v1/n1/12>

**Cita:** Montero-de-la-Cueva, J. V., & Caicedo-Aldaz, J. C. (2023). Prácticas Innovadoras para una Alimentación Sostenible en la Producción Porcina. *Horizon Nexus Journal*, 1(1), 50-62. <https://doi.org/10.70881/hnj/v1/n1/12>.

**Recibido:** 27/11/2022

**Revisado:** 03/12/2022

**Aceptado:** 16/12/2022

**Publicado:** 31/01/2023



**Copyright:** © 2023 por los autores. Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la **Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional. (CC BY-NC)**.

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

**Resumen:** El estudio aborda la problemática de la sostenibilidad en la producción porcina, destacando la necesidad de alternativas que reduzcan el impacto ambiental y optimicen el uso de recursos. El objetivo es analizar prácticas innovadoras de alimentación que incluyan la personalización de dietas y el uso de ingredientes alternativos. Para ello, se utilizó un enfoque exploratorio basado en análisis documental de literatura científica reciente, priorizando estudios que aborden la eficiencia, sostenibilidad y rentabilidad de estos sistemas. Los resultados muestran que la alimentación de precisión y el uso de ingredientes como proteínas de insectos y subproductos industriales no solo reducen las emisiones de nitrógeno y fósforo, sino que también disminuyen los costos operativos y mejoran la eficiencia de conversión alimenticia. La discusión destaca que, aunque la adopción de estas tecnologías representa una inversión inicial considerable, el potencial de ahorro a largo plazo y los beneficios ambientales justifican su implementación, especialmente en un contexto de creciente demanda de sostenibilidad. En conclusión, estas prácticas ofrecen una vía viable hacia una producción porcina más responsable y económicamente rentable, aunque requieren apoyo institucional para facilitar su adopción a pequeña escala.

**Palabras clave:** alimentación de precisión; sostenibilidad; producción porcina; ingredientes alternativos; tecnología IoT.

**Abstract:** The study addresses the issue of sustainability in swine production, highlighting the need for alternatives that reduce environmental impact and optimize the use of resources. The objective is to analyze innovative feeding practices that include the customization of diets and the use of alternative ingredients. For this purpose, an exploratory approach based on documentary analysis of recent scientific literature was used, prioritizing studies that address the efficiency, sustainability and profitability of these systems. The results show that precision feeding and the use of ingredients such as insect proteins and industrial by-products not only reduce nitrogen and phosphorus emissions, but also reduce operating costs and improve feed conversion efficiency. The discussion highlights that, although the adoption of these technologies represents a considerable initial investment, the long-term savings potential and environmental benefits justify their implementation, especially in a context of increasing demand for sustainability. In conclusion, these practices offer a viable pathway to more responsible and economically profitable swine production, although they require institutional support to facilitate their adoption on a small scale.

**Keywords:** precision feeding; sustainability; swine production; alternative ingredients; IoT technology.

## 1. Introducción

La producción porcina enfrenta importantes desafíos en cuanto a la sostenibilidad, ya que se encuentra en un punto crítico donde la creciente demanda de productos cárnicos ejerce una presión significativa sobre los recursos naturales. Este sector ha sido asociado con emisiones elevadas de gases de efecto invernadero (GEI), un uso extensivo de agua y tierra, y una dependencia de fuentes de alimentos tradicionales que suelen ser intensivas en carbono y contribuyen a la deforestación, como la harina de soja (Llorens et al., 2024; Pomar et al., 2023). Además, las prácticas convencionales de alimentación, que emplean dietas generales para grupos enteros de animales, generan una cantidad considerable de residuos debido a que no se ajustan a las necesidades nutricionales individuales de cada cerdo, lo cual intensifica el impacto ambiental del sistema productivo.

Entre los factores que agravan el problema se encuentra la dependencia de ingredientes como el maíz y la soja, que no solo son costosos, sino que también tienen una alta huella ecológica. Además, la competencia por estos recursos con la alimentación humana y la producción de biocombustibles incrementa el riesgo de inseguridad alimentaria global (Gerber et al., 2013). La producción de estos ingredientes requiere grandes cantidades de agua y energía, además de implicar en muchos casos el cambio de uso de suelos, lo que repercute negativamente en la biodiversidad y exacerba el cambio climático (Barnworld, 2023). En este contexto, es evidente que las prácticas de alimentación actuales en la producción porcina necesitan una revisión profunda que permita la adopción de enfoques más sostenibles.

La implementación de prácticas innovadoras en la alimentación porcina se presenta como una respuesta viable y necesaria para afrontar estos desafíos. El uso de sistemas de alimentación de precisión, que permite adaptar la dieta a los requerimientos nutricionales individuales de cada cerdo, es una de las prácticas que más se destacan. Estudios recientes sugieren que este enfoque no solo reduce el desperdicio de alimento, sino que también disminuye considerablemente las emisiones de GEI y otros contaminantes como el amoníaco y los fosfatos, logrando así un menor impacto ambiental (Llorens et al., 2024). Además, la incorporación de ingredientes alternativos, como proteínas de insectos, algas, y proteínas de células individuales, ofrece una solución sostenible al reducir la dependencia de recursos limitados y minimizar el impacto sobre los ecosistemas (Pomar et al., 2023; Barnworld, 2023).

La viabilidad de estas prácticas se sustenta en los avances tecnológicos y la creciente disponibilidad de sistemas automatizados de alimentación e Internet de las Cosas (IoT), que permiten un monitoreo en tiempo real de las condiciones ambientales y de salud de los animales. Estos sistemas de alimentación de precisión están dotados de sensores y algoritmos que ajustan automáticamente las dietas en función de variables como el peso y la ingesta diaria de cada cerdo, lo que mejora la eficiencia del sistema y reduce el impacto ambiental de manera significativa (Barnworld, 2023). Además, la sustitución de ingredientes tradicionales por alternativas más sostenibles no solo promueve una menor huella de carbono, sino que también contribuye a la economía circular al aprovechar subproductos de la industria alimentaria y de biocombustibles (Llorens et al., 2024).

El objetivo de este artículo es revisar la literatura actual sobre prácticas innovadoras para una alimentación sostenible en la producción porcina, analizando sus beneficios y

limitaciones en términos de sostenibilidad ambiental, viabilidad económica y bienestar animal. Esta revisión busca identificar tendencias y prácticas emergentes que pueden contribuir a la creación de sistemas de producción porcina más eficientes y menos dependientes de recursos no renovables, y que, al mismo tiempo, sean capaces de responder a las crecientes demandas de la sociedad por sistemas productivos éticos y responsables (Gerber et al., 2013; Pomar et al., 2023).

En conclusión, la implementación de prácticas innovadoras en la alimentación porcina representa una estrategia viable y prometedora para mitigar los impactos ambientales asociados a la producción animal. Al emplear tecnologías de precisión y fuentes de alimentación alternativas, el sector porcino puede avanzar hacia un modelo de producción más sostenible y resiliente. Este enfoque no solo es esencial para reducir la carga ecológica de la producción, sino que también ofrece ventajas económicas al reducir los costos de alimentación y mejorar la eficiencia en el uso de recursos, lo que puede hacer que este modelo sea ampliamente replicable en diferentes contextos de producción (Barnworld, 2023; Pomar et al., 2023).

## 2. Materiales y Métodos

Este artículo adoptó un enfoque exploratorio mediante el análisis documental, con el objetivo de examinar, clasificar y sintetizar la literatura actual sobre prácticas innovadoras en la alimentación sostenible para la producción porcina. La metodología se organizó en tres etapas clave: selección de fuentes, análisis de contenido y síntesis de resultados.

La selección de fuentes se llevó a cabo mediante búsquedas sistemáticas en bases de datos académicas reconocidas, como Scopus y Web of Science, así como en informes y publicaciones de organizaciones relevantes en el ámbito de la producción animal y la sostenibilidad. Se definieron criterios de inclusión que privilegiaron la actualidad, calidad metodológica y relevancia de los estudios, priorizando aquellos artículos y documentos publicados en los últimos cinco años. Las palabras clave utilizadas fueron "alimentación sostenible", "producción porcina", "sistemas de precisión en alimentación" y "ingredientes alternativos para cerdos". Estas búsquedas se realizaron tanto en inglés como en español, con el fin de ampliar el espectro de información y obtener una perspectiva multidimensional del tema.

Una vez recopiladas las fuentes, se realizó un análisis de contenido sistemático para identificar y clasificar las prácticas innovadoras documentadas en la literatura. Este proceso incluyó una codificación temática, en la cual se agruparon los hallazgos en categorías clave, tales como "alimentación de precisión", "uso de ingredientes alternativos" y "tecnologías de monitoreo en tiempo real". Cada documento fue revisado en profundidad para extraer datos relevantes que permitieran un análisis comparativo de las prácticas y tecnologías propuestas, considerando tanto sus beneficios como sus limitaciones en términos de sostenibilidad ambiental, viabilidad económica y bienestar animal.

La información extraída y codificada fue sintetizada para construir una visión integral y estructurada de las tendencias emergentes y las prácticas más destacadas en alimentación sostenible para la producción porcina. La discusión de los resultados se

organizó en función de los objetivos del estudio, priorizando una perspectiva analítica y crítica que permitiera identificar tanto los avances logrados como las áreas que requieren investigación futura. Se empleó una estructura lógica y argumentativa que facilitara la comparación de resultados y el desarrollo de conclusiones basadas en evidencia.

A través de esta metodología, el artículo busca ofrecer una contribución significativa a la comprensión de las innovaciones en alimentación sostenible en el sector porcino, estableciendo una base sólida para futuras investigaciones que profundicen en la viabilidad y aplicación de estas prácticas en diferentes contextos productivos.

### **3. Resultados**

#### **3.1. Alimentación de Precisión en la Producción Porcina**

La implementación de la alimentación de precisión en la producción porcina es una estrategia emergente que se enfoca en adaptar la dieta de cada animal a sus necesidades nutricionales específicas. Esta metodología no solo busca optimizar el rendimiento y la salud de los cerdos, sino también reducir el impacto ambiental de las granjas porcinas.

La alimentación de precisión permite formular dietas que se ajusten exactamente a las necesidades nutricionales de cada cerdo, evitando el suministro de nutrientes en exceso que, de otro modo, serían excretados y contribuirían a la contaminación ambiental. Este enfoque se basa en el uso de tecnologías avanzadas de monitoreo y sistemas automatizados de alimentación que registran variables como la ingesta diaria y el peso de los animales (Pomar et al., 2024). A través de estos datos, se pueden hacer ajustes en tiempo real en la dieta de cada cerdo, maximizando la eficiencia en la conversión alimentaria y reduciendo el desperdicio de nutrientes. Los estudios indican que, mediante la alimentación de precisión, es posible reducir la excreción de nitrógeno hasta en un 40% y de fósforo en un 25%, lo cual minimiza significativamente la carga ambiental de estos sistemas productivos (Andretta et al., 2016).

Además de los beneficios ambientales, la alimentación de precisión permite mejorar el crecimiento y la salud de los cerdos mediante una administración controlada de nutrientes clave. Esta estrategia evita deficiencias o excesos nutricionales que pueden afectar la productividad y el bienestar animal. Al suministrar dietas personalizadas, se optimiza la ganancia de peso y la conversión alimenticia, logrando un mejor rendimiento con menor consumo de alimento. En estudios recientes, se ha observado que los cerdos alimentados mediante sistemas de precisión presentan un crecimiento más uniforme y requieren menos uso de aditivos y medicamentos, debido a que el control preciso de los nutrientes reduce el estrés y fortalece el sistema inmunológico (Llorens et al., 2024; Hickmann et al., 2021).

Un aspecto crítico de la alimentación de precisión es su capacidad para mitigar el impacto ambiental asociado a la producción porcina. La implementación de dietas adaptadas reduce la emisión de gases de efecto invernadero, ya que optimiza la utilización de proteínas y minimiza el exceso de nutrientes que los animales no pueden absorber, los cuales son excretados como nitrógeno y contribuyen a la contaminación

del suelo y el agua. Estudios de análisis de ciclo de vida han demostrado que la alimentación de precisión puede reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 10-15% y disminuir el uso de agua y tierra al reducir la necesidad de ingredientes como la soja y el maíz, que tienen una huella ambiental elevada (Méda et al., 2021). Esto convierte a la alimentación de precisión en una herramienta esencial para avanzar hacia prácticas agrícolas más sostenibles y responder a las demandas de reducción de impacto ambiental en la industria alimentaria.

### 3.2. Uso de Ingredientes Alternativos Sostenibles

El uso de ingredientes alternativos sostenibles en la alimentación porcina ha ganado relevancia en los últimos años debido a la necesidad de reducir el impacto ambiental y mitigar la dependencia de ingredientes tradicionales como la soja y el maíz, los cuales presentan desventajas en términos de sostenibilidad. Ingredientes como proteínas de insectos, algas y subproductos de la industria alimentaria ofrecen una solución viable al aportar nutrientes de calidad y reducir la huella ecológica de los sistemas de producción animal.

Los insectos, en particular las larvas de la mosca soldado negro (*Hermetia illucens*) y el gusano de la harina (*Tenebrio molitor*), representan una fuente proteica de alta calidad que puede reemplazar parcialmente la soja y el maíz en dietas porcinas. Estas especies de insectos son altamente eficientes en la conversión de residuos orgánicos en biomasa rica en proteínas y aminoácidos esenciales, lo que no solo reduce el desperdicio, sino que también contribuye a una economía circular sostenible (Yang & Hou, 2023; AltaBioscience, 2024). Según estimaciones, la sustitución de hasta un 10% de la proteína en dietas para cerdos con proteína de insectos es posible sin comprometer el rendimiento animal (European Parliament, 2024). En comparación con la producción de soja, los insectos requieren significativamente menos agua y tierra, y sus emisiones de gases de efecto invernadero son considerablemente más bajas, lo que reduce la huella de carbono general del sector (Bozzi & Sirtori, 2023).

Las algas, por su parte, ofrecen un perfil nutricional valioso debido a su contenido de proteínas y ácidos grasos omega-3, esenciales para la salud de los cerdos. Además, la producción de algas no requiere tierra arable y puede cultivarse en sistemas acuáticos cerrados, evitando el uso de agua dulce y reduciendo el impacto ambiental asociado a cultivos como el de la soja (Lestingi, 2024). Estos beneficios convierten a las algas en una fuente de proteína sostenible y viable para la alimentación animal, especialmente en contextos donde el acceso a recursos naturales es limitado.

Otra estrategia eficaz para promover la sostenibilidad en la alimentación porcina es la incorporación de subproductos de la industria alimentaria, como los granos de destilería secos con solubles (DDGS) y la pulpa de remolacha. Estos subproductos no solo ofrecen nutrientes esenciales a bajo costo, sino que también disminuyen la necesidad de cultivos adicionales, promoviendo una economía circular y reduciendo el volumen de desechos que requerirían tratamiento o disposición final (Farming Future Food, 2023; Meda et al., 2021). Estudios han demostrado que los cerdos pueden digerir y aprovechar adecuadamente estos subproductos sin detrimento en su crecimiento ni en la calidad de la carne, lo cual hace viable su uso a gran escala como fuente de proteínas en la producción porcina (Shurson & Urriola, 2022).

La efectividad de estos ingredientes alternativos se ha evaluado en términos de conversión alimenticia y tasas de crecimiento, con resultados prometedores que respaldan su uso en dietas para cerdos. Las dietas enriquecidas con proteínas de insectos y algas han mostrado ser comparables a las dietas convencionales de soja en términos de ganancia de peso y eficiencia de conversión, logrando además beneficios adicionales como una mejor salud digestiva y un menor impacto ambiental debido a la reducción de desechos nitrogenados y otros residuos contaminantes (Yang & Hou, 2023). Asimismo, algunos estudios sugieren que los ingredientes alternativos pueden mejorar la respuesta inmunológica de los animales y la calidad de la carne, lo que representa un valor añadido en términos de productividad y bienestar animal (Bozzi & Sirtori, 2023).

En síntesis, la adopción de ingredientes alternativos como las proteínas de insectos, algas y subproductos industriales representa una estrategia viable para hacer frente a los desafíos ambientales y de sostenibilidad de la producción porcina. La continua investigación en este campo permitirá optimizar el uso de estos ingredientes y ampliar su aplicación en la industria, fomentando un sistema alimentario más resiliente y menos dependiente de recursos no renovables.

### **3.3. Implementación de Tecnologías IoT y Sistemas Automatizados de Alimentación**

La implementación de tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) y sistemas automatizados en la alimentación porcina ha transformado significativamente la manera en que se gestiona la nutrición, salud y bienestar de los animales en granjas. Mediante el uso de sensores avanzados, cámaras y sistemas de control automático, los productores pueden monitorear en tiempo real las necesidades específicas de cada animal, optimizando tanto los costos como la eficiencia del proceso productivo.

El uso de sensores integrados en los comederos permite a los productores recopilar datos precisos sobre la ingesta diaria de alimento, el comportamiento de alimentación y el estado de salud de los cerdos. Estas tecnologías detectan variaciones en el patrón de consumo, que pueden ser indicativas de problemas de salud, permitiendo una intervención temprana y evitando el deterioro de la condición del animal (Neethirajan, 2023). Sensores como los de peso y cámaras monitorean el crecimiento y detectan comportamientos que podrían indicar estrés o enfermedad, proporcionando un diagnóstico preventivo que contribuye al bienestar animal (Barn World, 2023). Además, estos sistemas registran datos en tiempo real, lo cual facilita el análisis continuo y la identificación de patrones de crecimiento o posibles anomalías.

Los sistemas de alimentación automatizados han permitido una precisión sin precedentes en la administración de raciones de alimento, adaptando la cantidad de acuerdo con las necesidades nutricionales específicas de cada cerdo. Esta tecnología asegura que cada animal reciba la cantidad óptima de nutrientes, minimizando el desperdicio y reduciendo los costos de alimentación, que pueden representar hasta el 70% de los gastos operativos en la producción porcina (Barn World, 2023). Los sistemas automatizados ajustan las raciones en función de parámetros como el peso y la etapa de crecimiento, optimizando la conversión alimenticia y reduciendo significativamente el uso excesivo de recursos (AltaBioscience, 2024). Al eliminar la necesidad de ajustes

manuales, también se reduce la carga de trabajo y el error humano, lo que aporta eficiencia y consistencia en la administración del alimento.

La integración de IoT y análisis de datos permite a los productores no solo controlar el suministro de alimento, sino también evaluar el ambiente en el que se encuentran los cerdos. Parámetros como la temperatura, humedad y calidad del aire en las instalaciones son monitoreados para ajustar las condiciones según las necesidades del animal, promoviendo un entorno más saludable que optimiza su bienestar y productividad (Neethirajan, 2023). Este enfoque permite responder rápidamente a cambios en el comportamiento de los animales, que pueden reflejar niveles de estrés o incomodidad, lo cual, a largo plazo, impacta en su rendimiento y en la eficiencia del sistema de producción (Barn World, 2023; AltaBioscience, 2024). La integración de estos datos en sistemas de gestión más amplios permite a los productores tomar decisiones informadas que contribuyen a la sostenibilidad y resiliencia del sistema de producción.

Estas innovaciones en la alimentación automatizada y en la recolección de datos ofrecen no solo beneficios económicos, sino también una mejora sustancial en la calidad de vida de los animales. Al automatizar y personalizar la alimentación en función de las condiciones y características de cada cerdo, la industria porcina puede avanzar hacia prácticas más sostenibles y responsables que respondan a las demandas de bienestar animal y reducción del impacto ambiental.

### **3.4. Impacto Ambiental de las Prácticas de Alimentación Sostenible**

La adopción de prácticas de alimentación sostenible en la producción porcina permite reducir de manera significativa el impacto ambiental de este sector mediante la optimización en el uso de recursos y la reducción de emisiones contaminantes. En este contexto, técnicas como la alimentación de precisión y la evaluación del ciclo de vida (LCA) son esenciales para lograr una producción porcina más ecológica.

Una de las principales fuentes de contaminación en la producción porcina proviene de la excreción de nitrógeno y fósforo, los cuales contribuyen a la eutrofización de cuerpos de agua y al aumento de las emisiones de amoníaco. Mediante el uso de sistemas de alimentación de precisión, es posible personalizar las dietas de los cerdos para que se ajusten a sus necesidades nutricionales específicas, minimizando así el desperdicio de nutrientes no absorbidos (Meda et al., 2021). Los estudios han demostrado que la alimentación de precisión puede reducir hasta un 40% la excreción de nitrógeno y un 25% la de fósforo, disminuyendo de manera importante el impacto ambiental derivado de estos nutrientes (Llorens et al., 2024). Al alinear la ingesta con los requerimientos individuales de los cerdos, se maximiza la eficiencia de conversión y se minimiza el exceso de nutrientes en el ambiente.

El uso de ingredientes sostenibles y la aplicación de técnicas avanzadas en alimentación también contribuyen a reducir el consumo de recursos esenciales, como agua y energía, en la producción porcina. Al utilizar fuentes de proteína alternativas y optimizar las dietas, los sistemas de alimentación de precisión permiten una gestión más eficiente del recurso hídrico y energético. Esto es particularmente relevante en contextos de escasez de agua y aumento de los costos energéticos (Shurson & Urriola, 2022). Además, la implementación de ingredientes alternativos, como los derivados de subproductos de la

industria alimentaria, ayuda a disminuir la demanda de cultivos intensivos en agua y tierra, promoviendo una agricultura circular y menos dependiente de insumos con alto impacto ecológico (Neethirajan, 2023).

La evaluación del ciclo de vida (LCA) es una herramienta clave para medir la huella ecológica de las prácticas de alimentación en el sector porcino. Este método permite analizar el impacto ambiental de todo el ciclo de producción, desde la obtención de ingredientes hasta la gestión de residuos. En estudios realizados en sistemas de producción con alimentación de precisión, se ha observado una reducción de hasta un 16% en el potencial de acidificación y un 13% en el potencial de eutrofización cuando se comparan con sistemas convencionales de alimentación (NutriNews, 2023). Este tipo de análisis proporciona una perspectiva holística de los beneficios ambientales de las prácticas sostenibles, evidenciando su contribución a la reducción de la huella de carbono y a la minimización de otros efectos adversos en el medio ambiente.

La implementación de prácticas de alimentación sostenible en la producción porcina no solo favorece el entorno natural, sino que también presenta ventajas económicas al reducir los costos asociados con la gestión de nutrientes y la demanda de insumos. La optimización en el uso de recursos y la mitigación de la contaminación mediante técnicas avanzadas posicionan a la producción porcina como un sector capaz de responder a los desafíos de sostenibilidad global.

### **3.5. Viabilidad Económica y Rentabilidad de las Prácticas Innovadoras**

La viabilidad económica y la rentabilidad de las prácticas de alimentación innovadoras en la producción porcina son aspectos cruciales para la adopción de tecnologías avanzadas en la industria. Estas prácticas se centran en optimizar el uso de recursos alimentarios mediante la implementación de sistemas de precisión, los cuales han demostrado ser efectivos no solo en la reducción de costos operativos, sino también en mejorar la eficiencia de conversión alimenticia, lo que a su vez impacta positivamente en el rendimiento financiero de las explotaciones porcinas.

En la producción porcina, el alimento representa entre el 60% y el 75% de los costos totales, lo que convierte a la alimentación en el factor económico más importante a gestionar dentro de la industria (Alltech, 2023). Los sistemas de alimentación de precisión permiten ajustar las cantidades de alimento en función de las necesidades nutricionales exactas de cada animal. Al personalizar la dieta diaria, se evita el suministro de nutrientes en exceso, los cuales no solo representan un costo adicional, sino que también contribuyen a la acumulación de residuos que deben ser gestionados (Soto, 2023). Estudios han indicado que mediante la aplicación de tecnologías de precisión, los costos de alimentación pueden reducirse hasta en un 10%, lo que genera una importante mejora en la rentabilidad (Andretta et al., 2016).

Además, la minimización de desperdicios es un beneficio directo de estos sistemas de precisión, ya que se reduce la cantidad de alimento sobrante que queda sin consumir. Esto no solo ahorra costos, sino que también disminuye la huella ambiental al reducir la cantidad de desechos orgánicos y las emisiones de metano generadas por el alimento en descomposición. En términos de sostenibilidad económica, la reducción de desperdicios también minimiza los recursos necesarios para la disposición final de los

mismos, lo cual es especialmente relevante en granjas de gran escala donde los residuos pueden representar una problemática tanto económica como ambiental.

La eficiencia en la conversión alimenticia (F/G) es una métrica fundamental para evaluar la rentabilidad en la producción porcina, ya que se refiere a la cantidad de alimento que se requiere para que el animal gane una unidad de peso. La implementación de sistemas de precisión ha demostrado mejorar significativamente esta eficiencia, ya que permite ajustar la dieta de cada cerdo en función de sus necesidades individuales de crecimiento, estado de salud y características metabólicas. Al evitar el sobrealimentado o el subalimentado, los sistemas de precisión logran que los nutrientes se utilicen de manera óptima, lo que no solo mejora la salud y el crecimiento de los animales, sino que también maximiza el retorno sobre la inversión (Nutrinews, 2023).

Un aumento en la eficiencia de conversión alimenticia significa que los productores pueden alcanzar el peso de mercado de los animales en menos tiempo y con menos alimento, lo cual es económicamente ventajoso. La investigación sugiere que los sistemas de alimentación de precisión pueden mejorar la eficiencia en la retención de proteínas hasta en un 12.5%, lo que contribuye a la rentabilidad general de la producción (Andretta et al., 2016). Adicionalmente, la precisión en la alimentación permite que los productores ajusten la formulación de las dietas en respuesta a variaciones en los precios de los insumos, lo que puede generar ahorros significativos cuando los precios de ciertos ingredientes, como el maíz o la soja, son elevados.

La adopción de tecnologías avanzadas de alimentación enfrenta desafíos económicos y logísticos, especialmente para pequeños y medianos productores, quienes suelen tener menos capital disponible para inversiones en tecnología de precisión. La implementación de sistemas automatizados requiere una inversión inicial significativa en infraestructura y equipo especializado, además de costos asociados con la capacitación del personal para el manejo de las nuevas tecnologías (Frontiers, 2023). Aunque los grandes productores pueden absorber estos costos más fácilmente debido a economías de escala, para los pequeños productores la inversión inicial puede representar una barrera sustancial.

Sin embargo, el potencial de ahorro a largo plazo y el retorno de la inversión justifican la adopción de estas tecnologías, particularmente si se considera que el sistema genera ahorros operativos constantes y mejora la rentabilidad de la explotación (Soto, 2023). Las subvenciones gubernamentales y programas de financiamiento específicos para la modernización de la producción agrícola pueden jugar un rol importante en la promoción de la adopción de prácticas innovadoras en el sector porcino, facilitando el acceso a tecnologías de precisión para productores de diferentes tamaños.

Además, a medida que estas tecnologías se masifican, se espera que los costos de implementación se reduzcan, haciendo que la alimentación de precisión sea más accesible. La colaboración con proveedores de tecnología y el desarrollo de modelos de negocio basados en servicios (por ejemplo, leasing o sistemas de pago por uso) también pueden facilitar el acceso de los pequeños productores a estas innovaciones, promoviendo así una industria porcina más equitativa y eficiente en términos económicos.

La incorporación de prácticas de alimentación de precisión y otros enfoques innovadores en la producción porcina representa una oportunidad sólida para reducir costos, optimizar la eficiencia y aumentar la rentabilidad. Si bien los desafíos iniciales de adopción pueden ser considerables, los beneficios a largo plazo, tanto económicos como ambientales, destacan la importancia de estas tecnologías para el futuro de la producción porcina sostenible. A medida que los costos de tecnología disminuyen y los modelos de apoyo financiero se amplían, la adopción de estas prácticas probablemente se convertirá en un estándar de la industria, permitiendo a los productores responder a la demanda creciente de alimentos de manera eficiente y responsable.

#### 4. Discusión

La implementación de prácticas innovadoras y sostenibles en la alimentación porcina representa un avance significativo para enfrentar los desafíos económicos y ambientales inherentes a la producción animal intensiva. Los sistemas de alimentación de precisión y el uso de ingredientes alternativos han demostrado su capacidad para mejorar la eficiencia alimentaria, reducir costos y minimizar el impacto ambiental, lo cual es fundamental para el desarrollo sostenible del sector porcino. La adopción de estas tecnologías permite una mejor adecuación de las dietas a las necesidades específicas de cada animal, optimizando el uso de nutrientes y minimizando el desperdicio, lo que a su vez disminuye la excreción de contaminantes como el nitrógeno y el fósforo (Andretta et al., 2016; Meda et al., 2021). Este enfoque contribuye a la mitigación de problemas ambientales como la eutrofización y la emisión de gases de efecto invernadero, aspectos críticos en la producción intensiva de cerdos.

Desde un punto de vista económico, la reducción de costos en la alimentación es un beneficio directo de los sistemas de precisión, dado que el alimento representa hasta el 75% de los costos de producción en la industria porcina (Soto, 2023). La personalización de las raciones permite disminuir el consumo de nutrientes en exceso, lo que resulta en un ahorro de hasta el 10% en los costos de alimentación, sin afectar el crecimiento o la salud de los animales (Alltech, 2023). Además, el aumento de la eficiencia en la conversión alimenticia, logrado mediante la administración precisa de dietas adaptadas a las necesidades individuales de los cerdos, incrementa el retorno de inversión al reducir el tiempo necesario para alcanzar el peso de mercado y mejorar el rendimiento general del sistema productivo (Nutrinews, 2023). Estos resultados subrayan la viabilidad económica de las prácticas innovadoras en la alimentación porcina, posicionándolas como estrategias sostenibles y rentables en el largo plazo.

A pesar de los beneficios, la adopción de estas tecnologías enfrenta barreras, particularmente para pequeños productores, quienes pueden carecer del capital necesario para realizar la inversión inicial en sistemas de alimentación automatizados y sensores avanzados (Frontiers, 2023). Aunque la eficiencia y el ahorro operativo compensan la inversión en el tiempo, los costos iniciales de implementación y la necesidad de capacitación representan desafíos significativos para la adopción generalizada. Para superar estos obstáculos, es crucial el apoyo gubernamental mediante subvenciones y programas de financiación, que faciliten la modernización del sector y la incorporación de tecnologías de precisión en granjas de todos los tamaños (Soto, 2023).

El uso de ingredientes alternativos como proteínas de insectos, algas y subproductos de la industria alimentaria también ofrece una solución sostenible y económica frente a la dependencia de la soja y el maíz, cuyo cultivo tiene una alta huella ambiental. Estos ingredientes no solo presentan perfiles nutricionales adecuados para los cerdos, sino que también requieren menos agua y tierra para su producción, lo cual contribuye a la conservación de recursos naturales (Lestingi, 2024; Bozzi & Sirtori, 2023). Sin embargo, es necesario continuar investigando la digestibilidad y los posibles factores antinutricionales de estos ingredientes, a fin de maximizar su eficiencia en términos de crecimiento y conversión alimenticia. La diversificación de fuentes proteicas en la alimentación porcina es, sin duda, una estrategia viable para reducir la presión sobre los recursos y disminuir los costos de producción a través de una agricultura circular que aprovecha los subproductos de otras industrias (Meda et al., 2021).

Por otro lado, la implementación de la evaluación del ciclo de vida (LCA) en los sistemas de alimentación permite cuantificar y monitorear el impacto ambiental a lo largo de todas las etapas de producción. Estudios recientes han evidenciado que las dietas de precisión reducen considerablemente el potencial de acidificación y eutrofización, disminuyendo la huella de carbono del sector porcino (Llorens et al., 2024; Nutrinews, 2023). La LCA proporciona una visión integral del impacto ecológico, permitiendo a los productores identificar áreas de mejora y ajustar las prácticas para maximizar la sostenibilidad del sistema productivo. Este enfoque es especialmente relevante en un contexto de crecientes regulaciones ambientales y de una demanda social por prácticas agrícolas responsables.

En síntesis, la alimentación de precisión y el uso de ingredientes sostenibles representan avances prometedores para la industria porcina. La reducción de costos, junto con la mejora en la eficiencia alimentaria y la minimización del impacto ambiental, demuestra la importancia de estas prácticas en la transición hacia un modelo de producción más resiliente y sostenible. Sin embargo, la adopción de estas innovaciones debe ir acompañada de políticas de apoyo y de esfuerzos colaborativos entre investigadores, productores y legisladores, que permitan a la industria porcina enfrentar los desafíos de sostenibilidad sin comprometer su rentabilidad y competitividad.

## 5. Conclusiones

Las prácticas de alimentación sostenible e innovadora en la producción porcina, como la alimentación de precisión y el uso de ingredientes alternativos, han demostrado su eficacia para reducir los impactos ambientales y mejorar la rentabilidad en el sector. Estas estrategias permiten una adecuación precisa de las dietas a las necesidades específicas de cada animal, lo que optimiza el uso de nutrientes, disminuye los residuos y, en consecuencia, reduce la excreción de nitrógeno y fósforo, minimizando así los efectos nocivos sobre el medio ambiente. A través de la personalización de las dietas, los productores logran reducir el consumo de agua y energía, aprovechando al máximo los recursos y contribuyendo a la sostenibilidad de la producción porcina.

Desde un punto de vista económico, la implementación de tecnologías de precisión en la alimentación representa una ventaja competitiva significativa. La reducción de desperdicios y la mejora en la eficiencia de conversión alimenticia contribuyen a reducir

los costos operativos y a maximizar el retorno sobre la inversión, un beneficio clave en una industria caracterizada por sus elevados costos de alimentación. Si bien la adopción de estas tecnologías enfrenta retos, especialmente para los pequeños productores debido a los costos iniciales de inversión y la necesidad de capacitación, la tendencia hacia la masificación de estas tecnologías y la potencial disminución de sus costos suponen una oportunidad de crecimiento para el sector en su conjunto.

Además, la adopción de ingredientes alternativos sostenibles como las proteínas de insectos, algas y subproductos industriales diversifica las fuentes de nutrientes y contribuye a reducir la dependencia de insumos convencionales con alta huella ecológica, como la soja y el maíz. Estos ingredientes no solo tienen un perfil nutricional adecuado para la producción animal, sino que también permiten un aprovechamiento más responsable de los recursos naturales.

La evaluación del ciclo de vida se presenta como una herramienta indispensable para monitorear y cuantificar el impacto ambiental de estas prácticas sostenibles, proporcionando una perspectiva integral que facilita la toma de decisiones informada y basada en datos. A medida que crecen las demandas de sostenibilidad en el sector alimentario, la implementación de estas prácticas representa un avance hacia un sistema de producción más ético, eficiente y alineado con los objetivos globales de sostenibilidad.

En conclusión, la integración de prácticas de alimentación sostenible y tecnología de precisión en la producción porcina no solo beneficia a la industria al reducir costos y mejorar la eficiencia, sino que también contribuye de manera significativa a la protección del medio ambiente y a la sostenibilidad del sector. La transición hacia estas prácticas, respaldada por políticas de apoyo y modelos de negocio inclusivos, posiciona a la industria porcina para enfrentar con éxito los retos de un mercado cada vez más consciente y exigente en términos de sostenibilidad y responsabilidad ambiental.

### Referencias Bibliográficas

- Alltech. (2023). The economics of feed efficiency in pigs. *Alltech*. Retrieved from <https://www.alltech.com>
- AltaBioscience. (2024). Four alternative protein sources for animal feed. *AltaBioscience*. Retrieved from <https://altabioscience.com>
- Andretta, I., Pomar, C., Rivest, J., & Lovatto, P. A. (2016). Precision feeding in growing-finishing pigs. *Animal Production Science*, 56(9), 1353-1362. <https://doi.org/10.1071/AN15512>
- Barn World. (2023). The future of pig farming: Smart feeders and IoT. Barn World. Retrieved from <https://barnworld.com>
- Bozzi, R., & Sirtori, F. (2023). Soybean replacement by alternative protein sources in pig nutrition and its effect on meat quality. *Animals*, 13(3), 494. <https://doi.org/10.3390/ani13030494>
- European Parliament. (2024). EU looks into alternative protein sources for food and feed. *Pig333*. Retrieved from <https://pig333.com>

- Farming Future Food. (2023). Alternative feed sources for sustainable livestock production. *Farming Future Food*. Retrieved from <https://farmingfuturefood.com>
- Frontiers. (2023). Feeding strategies to reduce nutrient losses and improve sustainability in growing pigs. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. Retrieved from <https://www.frontiersin.org>
- Gerber, P. J., et al. (2013). Precision feeding as a tool to reduce the environmental footprint of pig production systems: a life-cycle assessment. *Journal of Animal Science*, 91(11), 5353–5361. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5733>
- Guamán-Rivera, S. A. (2022). Desarrollo de Políticas Agrarias y su Influencia en los Pequeños Agricultores Ecuatorianos. *Revista Científica Zambos*, 1(3), 15-28. <https://doi.org/10.69484/rcz/v1/n3/30>
- Hickmann, F. M. W., Andretta, I., Remus, A., Galli, G. M., & Kipper, M. (2021).  $\beta$ -Mannanase supplementation as an eco-friendly feed strategy to reduce the environmental impacts of pig and poultry feeding programs. *Frontiers in Veterinary Science*, 8, 1173. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.732253>
- Lestingi, A. (2024). Alternative and sustainable protein sources in pig diet: A review. *Animals*, 14(2), 310. <https://doi.org/10.3390/ani14020310>
- Llorens, B., Pomar, C., Goyette, B., Rajagopal, R., & Andretta, I. (2024). Precision feeding as a tool to reduce the environmental footprint of pig production systems: A life-cycle assessment. *Journal of Animal Science*, 102, 225. <https://doi.org/10.1093/jas/skae225>
- Meda, B., Garcia-Launay, F., Dusart, L., Ponchant, P., & Espagnol, S. (2021). Reducing environmental impacts of feed using multiobjective formulation: What benefits at the farm gate for pig and broiler production?. *Animal*, 15(1), 100024. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2020.100024>
- Neethirajan, S. (2023). AI in sustainable pig farming: IoT insights into stress and gait. *Agriculture*, 13(9), 1706. <https://doi.org/10.3390/agriculture13091706>
- NutriNews. (2023). Precision Feeding: A sustainable revolution in pig farming. *NutriNews*. Retrieved from <https://nutrinews.com>
- Pomar, C., Llorens, B., & Remus, A. (2024). Environmental benefits of precision feeding in pig production systems. *Animal Frontiers*, 12(6), 30-38. <https://doi.org/10.1093/af/vfz006>
- Shurson, G. C., & Urriola, P. E. (2022). Sustainable swine feeding programs require the convergence of multiple dimensions of circular agriculture and food systems with One Health. *Animal Frontiers*, 12(6), 30. <https://doi.org/10.1093/af/vfz006>
- Soto, J. (2023). The economics of feed efficiency in pigs. *Alltech*. Retrieved from <https://www.alltech.com>
- Yang, G., & Hou, X. (2023). Edible insects: A new sustainable nutritional resource worth promoting. *Foods*, 12(22), 4073. <https://doi.org/10.3390/foods12224073>

## CONFLICTO DE INTERESES

“Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses”.