

Emerging technologies revolutionizing the pork industry: A boost in the Peruvian pork sector

Lady Elizabeth Rodríguez Silva¹; Areli Natalia Zeña Villanueva¹ Romi Rubi Zuñiga Abregu¹

¹Universidad Tecnológica del Perú, Chimbote, Perú, U20213448@utp.edu.pe, U20249777@utp.edu.pe, C26350@utp.edu.pe

The objective of this research was to evaluate the influence of the use of emerging technologies in the improvement of pig farming in Peru by 2024. A non-experimental methodological design was used with a qualitative approach and a descriptive scope, using the deductive method and statistical data search techniques and online documentary review. The main results indicated that genomic selection and genetic editing increased production efficiency and genetic quality of pigs by 15-20% in countries such as the European Union and the United States. In addition, technologies based on artificial intelligence, such as FertiBoar and phenotyping, improved reproductive efficiency in Brazil by 18% and reduced operating costs by 10-12%. Likewise, the use of dry and wet scrubbers achieved emission reductions of up to 90% in the European Union, improving animal and environmental welfare. Automation in the evaluation of animal aplomb and behavior allowed a more efficient selection of breeding animals in the United States. The findings suggested that the adoption of these technologies in Peru could have significantly improved the competitiveness of pig farming, optimizing production and meeting quality and sustainability standards. The implementation of these innovations could have reduced production costs by up to 15-20% and improved genetic quality, facilitating entry into international markets that value sustainability and efficiency.

Keywords-- Export, benchmarking, food technology

Tecnologías emergentes que revolucionan la industria porcina: Un impulso en el sector porcino peruano

Lady Elizabeth Rodríguez Silva¹; Areli Natalia Zeña Villanueva¹; Romi Rubi Zuñiga Abregu¹

¹Universidad Tecnológica del Peru, Chimbote, Perú, U20213448@utp.edu.pe, U20249777@utp.edu.pe

¹Universidad Tecnológica del Peru, Chimbote, Perú, C26350@utp.edu.pe

Este estudio tuvo como propósito evaluar la influencia del uso de tecnologías emergentes en la mejora de la porcicultura en el Perú para el año 2024. Se empleó un diseño metodológico no experimental con un enfoque cualitativo y un alcance descriptivo, utilizando el método deductivo y técnicas de búsqueda de datos estadísticos y revisión documentaria online. Los principales resultados indicaron que la selección genómica y la edición genética incrementaron la eficiencia en producción y calidad genética de los cerdos en un 15-20% en países como la Unión Europea y Estados Unidos. Además, tecnologías basadas en inteligencia artificial, como FertiBoar y el fenotipado, mejoraron la eficiencia reproductiva en Brasil en un 18% y redujeron costos operativos en un 10-12%. Asimismo, el uso de depuradores en seco y húmedos logró reducciones de emisiones de hasta el 90% en la Unión Europea, mejorando el bienestar animal y ambiental. La automatización en la evaluación de aplomos y comportamiento animal permitió una selección más eficiente de animales reproductores en Estados Unidos. Las conclusiones sugirieron que la adopción de estas tecnologías en Perú podría haber mejorado significativamente la competitividad de la porcicultura, optimizando la producción y cumpliendo con estándares de calidad y sostenibilidad. La implementación de estas innovaciones podría haber reducido los costos de producción hasta en un 15-20% y mejorado la calidad genética, facilitando la incursión en mercados internacionales que valoran la sostenibilidad y la eficiencia.

Palabras clave—Exportación, evaluación comparativa, tecnología alimentaria.

I. INTRODUCCIÓN

La industria porcina a nivel global ha experimentado una transformación significativa en las últimas décadas, impulsada por la adopción de tecnologías emergentes que han revolucionado los procesos productivos, mejorado la eficiencia y fortalecido la competitividad en los mercados internacionales. Sin embargo, en el Perú, este sector enfrenta una serie de desafíos que han limitado su capacidad para competir en el escenario global. A pesar de contar con un potencial significativo, la porcicultura peruana se ha quedado rezagada en la implementación de tecnologías clave que son esenciales para cumplir con los estándares de exportación y satisfacer la creciente demanda internacional de productos porcinos de alta calidad [1]. Esta situación ha impactado no solo la productividad del sector, sino también su capacidad para garantizar la seguridad alimentaria y acceder a mercados globales más exigentes.

La evolución de la estructura comercial agrícola ha influido directamente en la seguridad alimentaria, especialmente en la exportación de productos porcinos. Países

líderes en este sector, como China, han desarrollado tecnologías de trazabilidad y control de calidad que aseguran el cumplimiento de las normas sanitarias internacionales. Este enfoque les ha permitido mantener su competitividad en el mercado global, al tiempo que reduce los riesgos asociados a enfermedades porcinas que podrían afectar tanto al mercado interno como al de exportación [2]. Asimismo, países como España han impulsado su industria porcina mediante la adopción de tecnologías emergentes optimizando todo el proceso productivo, desde la mejora de la genética y la alimentación de los cerdos, hasta la gestión de residuos y la trazabilidad del producto final [3]. En este contexto [4] y [5] argumentan que la inversión en tecnología conduce a un crecimiento acelerado del sector. La porcicultura de precisión, que emplea tecnología avanzada para mejorar el bienestar animal y la productividad, ha sido clave en el éxito de países exportadores que han adoptado estas innovaciones. Además, [6] se destaca, a nivel internacional la industria porcina ha experimentado importantes transformaciones en las últimas décadas, motivadas por la demanda global, los avances tecnológicos y el aumento de la concienciación sobre el bienestar animal y la sostenibilidad. Por ello, no solo se examinan las cifras de exportación, sino también el impacto de la implementación de tecnologías emergentes como la inteligencia artificial (IA), el Internet de las Cosas (IoT) y la automatización en la producción y distribución de carne de cerdo.

España, por ejemplo, mantiene su liderazgo en las exportaciones dentro de la Unión Europea en 2023, a pesar de una ligera disminución en volumen, gracias a una estrategia que prioriza el valor sobre la cantidad. Esta estrategia está respaldada por tecnologías avanzadas que optimizan la cadena de suministro y mejoran la trazabilidad del producto [7]. Por otro lado, entre 2018 y 2022, Brasil, México y Chile han mostrado diferentes tendencias en sus exportaciones de carne de cerdo. Brasil lidera con un crecimiento constante del 8.5% anual, alcanzando 1.7 mil millones de dólares (USD) en 2022, gracias a su expansión en mercados asiáticos y la adopción de tecnologías emergentes. México, con un crecimiento anual del 10%, ha diversificado sus destinos de exportación hacia Estados Unidos, Japón y Corea del Sur, alcanzando 1.4 mil

millones de dólares (USD) en 2022. Chile, aunque con un crecimiento más modesto del 5% anual, ha incrementado sus exportaciones a 0.75 mil millones de dólares (USD), enfocándose en mercados asiáticos y adoptando nuevas tecnologías para mejorar su sector porcino [8].

En contraste en Perú, la falta de innovaciones tecnológicas y las barreras existentes han ocasionado que, a

pesar del aumento en la producción nacional, esta siga siendo insuficiente para acceder a los mercados internacionales. Esta carencia tecnológica no solo limita la posibilidad de exportación, sino que frena el desarrollo económico del país, especialmente en regiones rurales donde la porcicultura es una actividad económica clave [9]. Frente a este escenario [10] destaca la influencia de las políticas agrícolas de un país en las dinámicas de exportación, especialmente en mercados clave como China. Asimismo, [11] Aborda la importancia de las políticas nacionales y su impacto en la eficiencia del comercio internacional de carne de cerdo, destacando la relevancia de estrategias indirectas para maximizar los recursos en la exportación. Por ello, la falta de inversión en tecnologías emergentes, la escasa infraestructura logística y las barreras regulatorias son algunos de los principales obstáculos que han impedido que el sector alcance su máximo potencial.

Un ejemplo claro de la aplicación de tecnologías emergentes en el sector porcino es el desarrollo de métodos avanzados para la detección de virus respiratorios porcinos, como el MALDI-TOF MS. Estas innovaciones no solo permiten una mejor salud animal, sino que fortalecen la competitividad de los productos porcinos en mercados internacionales, garantizando la calidad y seguridad de los productos a exportar [12]. Además, [13] argumentan que la adopción de prácticas sostenibles y el uso eficiente del agua en las granjas porcinas son actividades clave para reducir la huella hídrica y lograr la sostenibilidad de la industria, lo que a su vez impacta positivamente en las exportaciones.

La teoría de la Cuarta Revolución Industrial [14] proporciona un marco conceptual para entender cómo las tecnologías emergentes están transformando las industrias a nivel global, incluida la porcicultura. La integración de tecnologías avanzadas, como la automatización, la digitalización y la inteligencia artificial, está redefiniendo los procesos productivos y mejorando la eficiencia en múltiples sectores. Estas tecnologías tienen el potencial de transformar los procesos productivos, incrementar la eficiencia y fortalecer la competitividad de las empresas a nivel mundial. En la porcicultura, la digitalización facilita la gestión eficiente de las granjas mediante plataformas de gestión de datos, optimizando recursos y minimizando desperdicios. Por ello, la adopción de tecnologías emergentes es crucial para mantener la competitividad en un entorno global cada vez más exigente. Estas tecnologías incrementan el rendimiento de las operaciones y mejoran la calidad de los productos finales, lo que, en la industria porcina, se traduce en una mayor producción de carne de calidad. Esto abre nuevas oportunidades en mercados internacionales con alta demanda de productos cárnicos de excelencia.

Referente a la exportación, esta se define como el proceso de envío de bienes o servicios de un país a otro, siendo esencial para la expansión internacional de las empresas. Permite acceder a nuevos mercados, ampliar la base de clientes y establecer una marca reconocida internacionalmente [15]. las estrategias de distribución global han evolucionado significativamente, transformando las pequeñas y medianas

empresas agrícolas, incluidas las dedicadas a la producción porcina, permitiéndoles penetrar en mercados internacionales mediante estrategias de distribución más efectivas [16]. Por su parte [17] sugiere que la innovación en las estrategias de distribución global es fundamental para mantener y expandir la cuota de mercado, destacando la necesidad de inversión en infraestructuras logísticas de vanguardia para mejorar la eficiencia tanto en el transporte como en la conservación de la carne destinada a la exportación.

Estas estrategias son esenciales para que la carne de cerdo llegue a los consumidores en condiciones óptimas, cumpliendo con los estándares de calidad. Por ejemplo, [18] menciona que países como Estados Unidos han adoptado tecnologías para monitorear el uso indirecto de la tierra y la producción de etanol a partir de maíz, uno de los principales alimentos de los cerdos, lo que afecta la disponibilidad de productos cárnicos para exportación. Esta medida refleja un esfuerzo por optimizar los recursos agrícolas y energéticos en favor de la sostenibilidad. Este enfoque no solo mejora la eficiencia en la producción porcina, sino que también asegura el cumplimiento con los estándares ambientales de sostenibilidad exigidos por los mercados internacionales. Asimismo, [2] destaca que, para asegurar la calidad de sus productos, China ha implementado tecnologías de seguimiento y control de calidad, que garantizan el cumplimiento de las normas sanitarias internacionales. Este enfoque le permite mantener su competitividad en el mercado global, reduciendo a la vez los riesgos asociados a enfermedades porcinas que podrían afectar tanto el mercado interno como el de exportación.

En Australia se emplea tecnología avanzada para determinar la composición química de la carne de cerdo en la industria procesadora. Esta tecnología asegura que el contenido de grasa y proteínas de los productos exportados cumplen con los estándares internacionales de calidad. Este tipo de innovación mejora la calidad del producto final, asimismo, optimiza los procesos de producción, lo que resulta en mayores ingresos por exportaciones y una mejor reputación en los mercados internacionales [19].

Por su parte Vietnam, [20] ha invertido en tecnologías de enfriamiento y almacenamiento para garantizar la frescura de su carne porcina en la exportación. Estas tecnologías son cruciales para mantener la calidad de la carne en los largos trayectos hacia los mercados internacionales, especialmente hacia los países que demandan productos porcinos de alta calidad.

De acuerdo con [21], explica la relevancia de la trazabilidad y el bienestar animal como criterios que los consumidores internacionales consideran al comprar productos porcinos. Por ello, países como Alemania y Dinamarca han adoptado sistemas que permiten rastrear el origen de la carne y asegurar que los animales sean criados bajo estándares de bienestar animal. Esta tecnología incrementa la confianza de los consumidores y facilita el acceso a mercados más estrictos, como los de la Unión Europea. Además, [22] y [23] destacan que países como Rusia y Ucrania están adoptando sistemas de

control de calidad y métodos de bioseguridad para evitar la propagación de enfermedades porcinas. Estos sistemas son esenciales para prevenir la contaminación y garantizar que los productos sean adecuados para la exportación y consumo. Además, la implementación de tecnologías avanzadas de enfriamiento y conservación, como menciona [24] ayuda a mantener la calidad de los productos porcinos durante su transporte a mercados lejanos.

La integración de estas teorías permite comprender los desafíos y oportunidades del sector, proporcionando un enfoque integral para la investigación.

Haciendo énfasis de lo mencionado, el presente artículo, destaca el papel crucial de las tecnologías emergentes en el sector porcino a nivel global y cómo estas pueden impulsar significativamente la industria porcina en Perú.

Por ello, se estableció como objetivo general, evaluar la influencia del uso de tecnologías emergentes en la mejora de la porcicultura en el Perú. Al respecto, es relevante identificar las tecnologías emergentes que benefician la crianza del cerdo en el periodo del 2020 hasta el 2024. Asimismo, detallar la exportación de cerdos en los países que presentan mayor índice desde 2020 al 2024. Finalmente, analizar la evolución de las tecnologías emergentes en las crianzas de cerdo desde 2020 al 2024.

Advierten que el no aprovechamiento de los avances tecnológicos disponibles significa un estancamiento empresarial que podría empeorar si no se actúa pronto. Por lo tanto, es importante identificar ¿Cómo influye el uso de tecnologías emergentes en la exportación del sector porcino en Perú?

II. METODOLOGÍA

El diseño metodológico de esta investigación es no experimental, ya que se basa en la observación y análisis de acciones que ocurren de manera natural, sin intervención directa por parte del investigador. Este enfoque permite estudiar los fenómenos en su contexto real, lo que facilita una comprensión más profunda y detallada de los procesos analizados [25].

El estudio se rige bajo un enfoque cualitativo, el cual es adecuado para explorar la producción de carne de cerdo en el Perú y a nivel global. Este enfoque permite obtener resultados interpretativos y profundos, centrándose en la comprensión de los fenómenos desde una perspectiva contextual y descriptiva [26]. Además, los estudios cualitativos, al ser interpretativos y comprensivos, brindan la posibilidad de identificar matices y detalles que podrían pasar desapercibidos en un análisis puramente cuantitativo [27]. Esto resulta especialmente relevante en investigaciones que buscan entender procesos complejos, como la adopción de tecnologías emergentes en la porcicultura.

En cuanto al alcance, esta investigación es de tipo descriptivo, ya que busca demostrar, mediante datos y análisis, los diferentes resultados obtenidos en relación con la influencia de las tecnologías emergentes en la producción de carne de cerdo [28]. Este alcance permite presentar una visión

detallada y estructurada del fenómeno estudiado, lo que facilita la identificación de patrones y tendencias relevantes.

El método utilizado en este estudio es el deductivo, el cual se basa en un conjunto de reglas y procedimientos que permiten derivar conclusiones a partir de premisas establecidas [29]. Este método es particularmente útil para comprender los procesos que se desarrollan en la investigación, ya que parte de principios generales para llegar a conclusiones específicas [30]. En este caso, el método deductivo permite analizar cómo las tecnologías emergentes influyen en la producción porcina, partiendo de teorías y conceptos generales para aplicarlos al contexto peruano.

Para la recopilación de datos, se utilizó la técnica de revisión documental online, la cual consiste en la búsqueda y análisis de información en diversas fuentes confiables, como artículos científicos, revistas especializadas, informes estadísticos y portales de porcicultura. Esta técnica permite acceder a datos específicos y precisos, que son fundamentales para comprobar o fundamentar lo planteado en la pregunta de investigación. Los instrumentos empleados incluyeron fichas de redacción para la búsqueda y organización de artículos, así como cuadros estadísticos descriptivos que facilitaron el análisis de los datos recopilados. Estos instrumentos fueron seleccionados por su capacidad para proporcionar información confiable y relevante, lo que permitió avalar la influencia de las tecnologías emergentes en la producción de carne de cerdo [30].

Cabe destacar que la elección de técnicas de investigación adecuadas es fundamental para garantizar la validez y confiabilidad de los resultados. En este sentido, conocer y aplicar diferentes técnicas permite al investigador seleccionar el método más apropiado para realizar el trabajo de campo de manera efectiva [31]. En esta investigación, se optó por una búsqueda documental exhaustiva, que permitió recopilar y analizar información de diversas fuentes, asegurando una base sólida para el análisis.

Finalmente, el tipo de muestra utilizado fue probabilística-aleatoria, lo que significa que todos los elementos de la población tuvieron la misma probabilidad de ser seleccionados. La población de estudio estuvo conformada por artículos, estudios y revistas especializadas en porcicultura disponibles en línea. Esta población incluyó documentos referentes a la exportación de carne de cerdo, revistas porcicultoras y portales dedicados a la crianza porcina. La selección aleatoria de la muestra garantizó que los datos analizados fueran representativos y libres de sesgos, lo que contribuyó a la validez de los resultados obtenidos.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este análisis resalta la importancia de las tecnologías emergentes en la capacidad de estos países para mantenerse competitivos en un mercado global dinámico. La integración de IA, IoT, y automatización no solo ha permitido mejorar la eficiencia y la trazabilidad, sino que también ha jugado un papel crucial en la adaptación a las cambiantes demandas del mercado y las regulaciones internacionales.

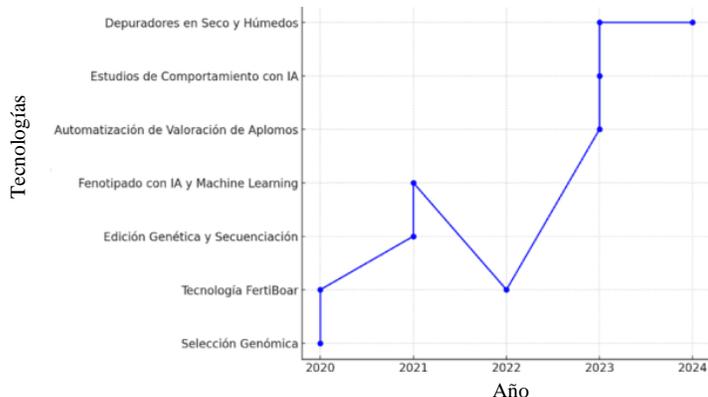


Fig. 1 Tecnologías aplicadas a la crianza de cerdo.

TABLA I
TECNOLOGÍAS EMERGENTES QUE BENEFICIAN LA CRIANZA DEL CERDO (2020-2024)

AÑO	TECNOLOGÍA	DESCRIPCIÓN	BENEFICIOS
2020	Selección Genómica	Uso intensivo de datos comerciales y programas de mejora genética para aumentar la calidad y cantidad de lechones, mejorar el crecimiento y valor de la canal.	Aumenta la rentabilidad de los productores y el progreso genético.
2020	Tecnología FertiBoar	Permite la selección temprana de machos basándose en su calidad seminal mediante ecografías testiculares y análisis automatizado por inteligencia artificial.	Mejora la calidad de dosis seminales y reduce costos de cuarentenas.
2021	Edición Genética y Secuenciación	Aplicación de tecnologías avanzadas como la edición genética y la secuenciación total del genoma para mejorar los caracteres de rusticidad y resistencia en cerdos.	Acelera el progreso genético y mejora caracteres difíciles de medir como la rusticidad.
2021	Fenotipado con IA y Machine Learning	Implementación de cámaras y algoritmos para evaluar automáticamente aplomos, comportamientos y otros caracteres fenotípicos, lo que permite una valoración objetiva y masiva.	Aumenta la precisión y objetividad de la selección de reproductores.
2022	Tecnología FertiBoar	Expansión y aplicación en granjas de machos para mejorar la	Aumenta la predictibilidad y la calidad de la

		predicción de calidad seminal, apoyando la producción con menor reemplazo de machos jóvenes y mejor calidad de dosis de semen.	producción de semen en granjas comerciales.
2023	Automatización de Valoración de Aplomos	Tecnología basada en imágenes y Machine Learning para evaluar aplomos de manera automatizada en granjas elite, reduciendo la subjetividad humana y mejorando la precisión de los datos de selección.	Mejora la selección fenotípica y reduce las bajas por problemas de aplomos.
2023	Estudios de Comportamiento con IA	Uso de cámaras para registrar el comportamiento de los cerdos en tiempo real, analizando reposo, actividad, y acceso a comederos y bebederos, identificando nuevos caracteres susceptibles de mejora genética.	Mejora el soporte técnico y la selección genética basada en comportamiento animal.
2023	Depuradores en Seco y Húmedos (Scrubber seco y húmedo)	Sistemas de control ambiental para reducir niveles de amoníaco, metano y partículas en suspensión dentro y fuera de las naves porcinas, conectados y monitorizados por sensores inteligentes.	Reduce las emisiones contaminantes, mejora la salud y bienestar de los cerdos, y optimiza la calidad del aire.
2024	Depuradores en Seco y Húmedos	Continuación del uso de scrubbers con ajustes avanzados para aumentar la eficiencia energética y reducir aún más las emisiones.	Mejora continua en la sostenibilidad de las granjas porcinas.

Fuente: (LIFE MEGA, 2023)

En la tabla I, que aborda la dimensión de las tecnologías emergentes aplicadas a la porcicultura durante el período 2020-2024, se evidencia una transformación significativa en la crianza de cerdos. Estas innovaciones han revolucionado el sector, centrándose en dos aspectos clave: la mejora genética y el control ambiental. En 2020, tecnologías como la selección genómica y el sistema FertiBoar marcaron un hito al mejorar la calidad y la eficiencia reproductiva de los cerdos, añadiendo un valor estimado de 3,45€ adicionales por cerdo enviado a matadero. Este avance no solo incrementó la rentabilidad para los productores, sino que también sentó las bases para una producción más sostenible y eficiente. Para 2023, la implementación de tecnologías como la automatización en la valoración de aplomos y el uso de inteligencia artificial (IA) para analizar el comportamiento de los cerdos permitió una selección más precisa y redujo los problemas asociados con la subjetividad humana. Estas herramientas han demostrado ser fundamentales para optimizar la toma de decisiones en las granjas, asegurando que los animales seleccionados cumplan con los estándares de calidad deseados. Además, la introducción de depuradores en seco y húmedos en el mismo año destacó por su capacidad para reducir las emisiones de

amoníaco y partículas en suspensión entre un 70% y un 90%, mejorando significativamente la calidad del aire y el bienestar animal. Estas innovaciones no solo benefician a los animales, sino que también contribuyen a un entorno de trabajo más seguro y saludable para los operarios. En 2024, la continuidad en el uso de estos depuradores avanzados promete consolidar un modelo de producción más eficiente y respetuoso con el medio ambiente. Estas tecnologías han demostrado ser clave para fomentar la sostenibilidad en las granjas porcinas, reduciendo el impacto ambiental y alineándose con las demandas globales de prácticas más ecológicas.

Entre los principales hallazgos identificados, se destaca que en regiones como la Unión Europea (UE) y Estados Unidos, la selección genómica y la edición genética han sido fundamentales para mejorar la calidad genética de los cerdos. Según [14], la digitalización y la automatización han permitido optimizar la calidad genética mediante un control más preciso de características como la resistencia a enfermedades y la eficiencia reproductiva. Estas herramientas avanzadas, como la selección genómica y la edición genética, permiten identificar y seleccionar genes favorables con una precisión sin precedentes, lo que ha llevado a un aumento del 15-20% en la producción de carne de alta calidad en Europa [35]. Este incremento no solo beneficia a los productores al mejorar la rentabilidad, sino que también ofrece a los consumidores productos de mayor calidad y valor nutritivo. Además, estas tecnologías han reducido la dependencia de tratamientos médicos y antibióticos, contribuyendo a prácticas más sostenibles y saludables. Estos avances coinciden con las observaciones de [19], quien resalta la importancia de reducir la subjetividad en la selección genética. Antes de la implementación de estas tecnologías, la selección genética dependía en gran medida del juicio humano, lo que podía llevar a errores y variabilidad en los resultados. Sin embargo, con la digitalización y la automatización, es posible aplicar criterios más objetivos y consistentes, asegurando una mejora continua y uniforme en las características deseadas de los animales.

En el caso de Perú, aunque aún no se han adoptado estas tecnologías avanzadas, su implementación podría marcar un hito crucial en el camino hacia la exportación. La adopción de herramientas de digitalización y automatización permitiría mejorar significativamente la competitividad del sector porcino peruano. Estas innovaciones no solo aumentarían la eficiencia y la calidad de la producción, sino que también posicionarían a Perú como un competidor fuerte en el mercado global. Por ejemplo, la implementación de la selección genómica y la edición genética podría mejorar la calidad genética de los cerdos, aumentando su resistencia a enfermedades y su eficiencia reproductiva. Estas mejoras no solo contribuirían a una producción más robusta y sostenible, sino que también ayudarían a cumplir con los estrictos estándares internacionales de calidad. Además, la digitalización y la automatización en el manejo y monitoreo de las granjas permitirían un control más preciso y eficiente de los procesos productivos. Esto no solo reduciría los costos

operativos, sino que también mejoraría la calidad del producto final, lo que es esencial para acceder a mercados internacionales exigentes. La implementación de estas tecnologías también facilitaría la trazabilidad de los productos, un aspecto crítico para garantizar la seguridad alimentaria y cumplir con las normativas de exportación.

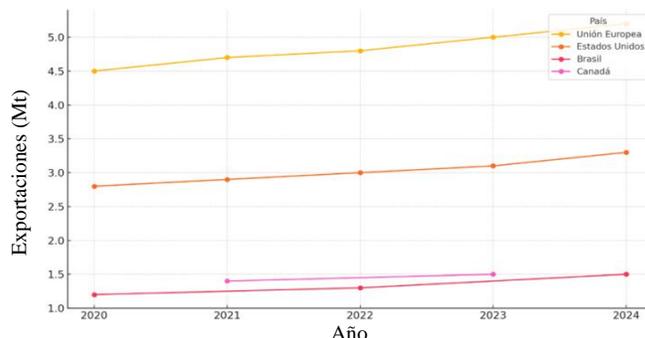


Fig. 2 Exportaciones de carne de cerdo.

TABLA II
EXPORTACIONES DE CARNE DE CERDO (2020-2024)

Año	País	Exportaciones toneladas de mercancía (Mt)	Notas combinadas
2020	Unión Europea	4.5	Lideró exportaciones debido a su gran capacidad de producción y diversificación de mercados en Asia y América Latina. La UE mantuvo su liderazgo como exportador principal.
2020	Estados Unidos	2.8	Se mantuvo como el segundo exportador, destacando por su eficiencia en la producción y costos competitivos, con una ligera caída debido a restricciones en algunos mercados.
2020	Brasil	1.2	Creció como exportador clave gracias a su bajo costo de producción y expansión en mercados emergentes como Asia.
2021	Unión Europea	4.7	Aumentó ligeramente sus exportaciones, enfrentando desafíos por la disminución de demanda en China. Continuó liderando, aunque con cambios en la demanda asiática.
2021	Estados Unidos	2.9	Mejoró su posición con un aumento de envíos a México y Japón. EE. UU. aumentó sus exportaciones hacia mercados como México y Japón, diversificando sus destinos.
2021	Canadá	1.4	Creció gracias a la apertura de nuevos mercados y tratados comerciales con Asia, mejorando su posición principalmente en Japón y Corea del Sur.
2022	Unión Europea	4.8	Continuó como principal exportador con el 40.7% del total, consolidando su presencia en mercados asiáticos.
2022	Estados Unidos	3.0	Aumentó su participación debido a la alta demanda en Japón y México, aunque con un decrecimiento en comparación al año anterior.

2022	Brasil	1.3	Ocupó el cuarto lugar, aumentando envíos a Asia y América Latina, aprovechando la reducción de la producción en China.
2023	Unión Europea	5.0	Creció por la recuperación de la producción interna y mayor competitividad en precios, consolidando su liderazgo global.
2023	Estados Unidos	3.1	Incrementó sus exportaciones gracias a una producción eficiente y reducción de costos de alimentación, con un enfoque en calidad y trazabilidad.
2023	Canadá	1.5	Aumentó su cuota de mercado en Japón y Corea del Sur, compitiendo con EE. UU.
2024	Unión Europea	5.2	Se espera un crecimiento del 3% debido a la mayor producción y competitividad de precios, con un aumento significativo de exportaciones a EE. UU. y Asia.
2024	Estados Unidos	3.3	Proyecta un aumento del 7.7%, liderado por la mayor demanda en América Latina y Asia, destacando la competitividad en mercados con alta exigencia de calidad.
2024	Brasil	1.5	Se espera un crecimiento del 5.4% consolidando su posición en mercados como Filipinas y Hong Kong, con una estructura de costos muy competitiva y adaptabilidad a nuevos mercados.

Fuente: (USDA, 2024)

La Tabla 2, que aborda la dimensión de exportación de carne de cerdo entre 2020 y 2024, muestra un crecimiento notable en las exportaciones mundiales, con la Unión Europea (UE), Estados Unidos y Brasil liderando el mercado. En 2020, la Unión Europea exportó 4.5 millones de toneladas de carne de cerdo, consolidándose como el principal exportador gracias a su capacidad de producción y su diversificación en mercados clave como Asia y América Latina. Estados Unidos, por su parte, ocupó el segundo lugar con 2.8 millones de toneladas, destacándose por su eficiencia productiva y su adaptabilidad a las demandas del mercado. Brasil, con 1.2 millones de toneladas, se posicionó como un actor relevante, beneficiándose de su bajo costo de producción y su expansión en mercados emergentes. Para 2023, las exportaciones de la Unión Europea aumentaron a 5.0 millones de toneladas, mientras que Estados Unidos y Brasil alcanzaron 3.1 millones y 1.5 millones de toneladas, respectivamente. Este crecimiento refleja una mayor competitividad y una demanda creciente en mercados clave, lo que subraya la importancia de adoptar tecnologías emergentes para mantener y mejorar la posición en el mercado internacional. En este contexto, países líderes han implementado tecnologías como la selección genómica y la edición genética, las cuales han sido fundamentales para mejorar la genética de los animales y optimizar la producción. Como señala [14], la digitalización y la automatización permiten un control más preciso de características deseadas, como la resistencia a enfermedades y la eficiencia reproductiva, lo que ha llevado a un aumento del 15-20% en la producción de carne de alta calidad en Europa [35].

Mantener una posición sólida en los mercados internacionales no solo requiere una producción eficiente, sino también infraestructuras productivas robustas, tecnologías avanzadas de gestión ambiental y sistemas logísticos que faciliten el comercio. Un ejemplo destacado es el de la Unión Europea, que ha implementado tecnologías de depuración (scrubbers) para reducir las emisiones de amoníaco y metano hasta en un 90% [7]. Este tipo de innovaciones no solo permite cumplir con regulaciones ambientales estrictas, sino que también mejora la sostenibilidad de la producción porcina. Para Perú, la adopción de tecnologías similares podría reducir sus emisiones entre un 70% y un 85%, siguiendo el ejemplo de las normativas europeas y contribuyendo a una producción más limpia y sostenible. La integración de estas tecnologías avanzadas no solo optimiza los procesos productivos, sino que también mejora la calidad de los productos y asegura el cumplimiento de las normas internacionales. En el caso de Perú, la adopción de innovaciones como la selección genómica, la edición genética y los sistemas de depuración podría transformar su sector porcino, mejorando su competitividad y permitiéndole posicionarse mejor en el mercado global de exportación de carne de cerdo. Estas tecnologías no solo aumentarían la eficiencia y la calidad de la producción, sino que también abrirían nuevas oportunidades en mercados exigentes, donde la trazabilidad, la sostenibilidad y el bienestar animal son factores clave. referente a la dimensión de exportación, entre 2020 y 2024, las exportaciones mundiales de carne de cerdo experimentaron un notable crecimiento, con la Unión Europea, Estados Unidos y Brasil liderando el mercado. En 2020, la Unión Europea exportó 4.5 millones de toneladas, destacándose por su capacidad de producción y diversificación en mercados como Asia y América Latina. Estados Unidos, con 2.8 millones de toneladas, se mantuvo en la segunda posición gracias a su eficiencia y adaptabilidad. Brasil exportó 1.2 millones de toneladas, beneficiándose de su bajo costo de producción y expansión en mercados emergentes.

En 2023, las exportaciones de la Unión Europea aumentaron a 5.0 millones de toneladas, Estados Unidos a 3.1 millones de toneladas y Brasil a 1.5 millones de toneladas, reflejando una mayor competitividad y demanda en mercados clave. Estos datos destacan la creciente importancia de las exportaciones de carne de cerdo y subrayan la necesidad de que Perú adopte tecnologías emergentes para mejorar su competitividad en el mercado internacional. En países avanzados, la selección genómica y la edición genética han sido fundamentales para mejorar la genética de los animales, como lo subraya [14] la digitalización y la automatización permiten un control más preciso de características deseadas, como la resistencia a enfermedades y la eficiencia reproductiva, logrando un aumento del 15-20% en la producción de carne de alta calidad en Europa [35]. Mantener una sólida posición en los mercados internacionales requiere infraestructuras productivas robustas, tecnologías avanzadas de gestión ambiental e infraestructuras logísticas que faciliten el comercio. La Unión Europea destaca en su experiencia la

importancia de reducir las emisiones de combustión mediante el uso de tecnología de depuración (scrubbers), capaz de eliminar hasta el 90% del amoníaco y metano [7]. Este tipo de tecnología es crucial para adaptarse a regulaciones ambientales estrictas y confirma la relevancia de la gestión ambiental para Perú. Con tecnologías similares, el país podría reducir sus emisiones entre un 70% y un 85%, siguiendo el ejemplo de las normativas europeas. Se enfatiza que la integración de estas tecnologías avanzadas no solo optimiza los procesos productivos, sino que también mejora la calidad de los productos y asegura el cumplimiento con las normas internacionales. Perú, al adoptar estas innovaciones, podrá mejorar su competitividad y posicionarse mejor en el mercado global de exportación de carne de cerdo.

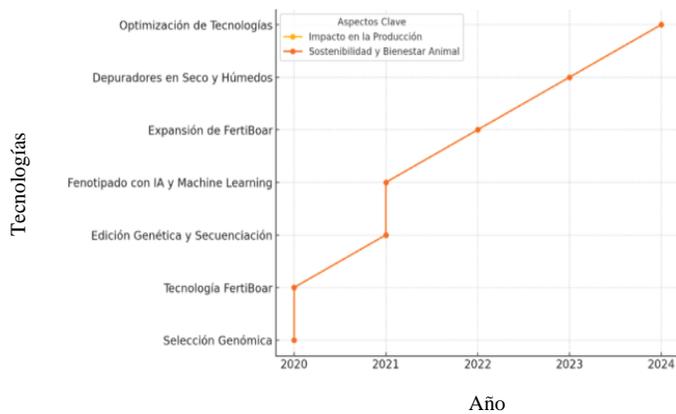


Fig. 3 Evolución de las tecnologías emergentes y su beneficio en la crianza de cerdo.

TABLA III
EVOLUCIÓN DE LA TECNOLOGÍA EMERGENTE Y SU BENEFICIO EN LA CRIANZA DE CERDO (2020-2024)

Año	Tecnología	Innovación	Beneficios	
			Impacto en la producción	Sostenibilidad y bienestar animal
2020	Selección Genómica	Uso de datos comerciales y programas de mejora genética para incrementar la calidad y cantidad de lechones.	Aumenta la rentabilidad de los productores y el progreso genético de las poblaciones porcinas.	Mejora la eficiencia reproductiva sin incrementar el uso de recursos.
2020	Tecnología FertiBoar	Selección temprana de machos mediante ecografías y análisis de IA para predecir la calidad seminal.	Reduce los costos de cuarentenas y aumenta la calidad de las dosis de semen.	Reduce la necesidad de reemplazo de machos, disminuyendo el estrés y el uso de recursos.
2021	Edición	Aplicación de	Acelera el	Optimiza la

	Genética y Secuenciación	edición genética y secuenciación del genoma para mejorar caracteres de crecimiento y rusticidad.	progreso genético y mejora caracteres difíciles de abordar genéticamente.	adaptación de los cerdos a las condiciones de cría, mejorando su bienestar.
2021	Fenotipado con IA y Machine Learning	Cámaras y algoritmos para evaluar aplomos, comportamientos y otros caracteres fenotípicos.	Elimina la subjetividad humana en la selección y mejora la precisión en la selección de reproductores.	Mejora la selección de animales con mejores características de comportamiento y salud.
2022	Expansión de FertiBoar	Ampliación del uso de FertiBoar en granjas para optimizar la predicción de calidad seminal.	Aumenta la predictibilidad y calidad en la producción de semen, reduciendo costos.	Mejora la eficiencia reproductiva y reduce la necesidad de reintroducción de nuevos machos.
2023	Depuradores en Seco y Húmedos	Control ambiental con scrubbers para reducir emisiones de amoníaco, metano y partículas.	Reduce las emisiones contaminantes, mejorando la calidad del aire en las granjas.	Mejora la salud y bienestar animal al reducir la exposición a contaminantes.
2024	Optimización de Tecnologías	Continuación y optimización de tecnologías con ajustes para mayor eficiencia energética	Impulsa una producción más eficiente y rentable con menor impacto ambiental.	Consolida un modelo de producción sostenible, alineado con estándares de bienestar animal.

Fuente: (Grupo Agrinews, 2023)

En la Tabla 3, referente a la dimensión de tecnologías emergentes y su beneficio en la crianza de cerdos entre 2020 y 2024, se observa que la adopción de tecnologías genéticas, como la selección genómica y la edición genética, permitió un rápido progreso en la mejora de las características de los cerdos. Estas innovaciones aumentaron la rentabilidad sin incrementar los recursos utilizados, lo que representa un avance significativo para el sector. Por ejemplo, en 2020, la introducción de la tecnología FertiBoar optimizó la selección temprana de machos con alta calidad seminal, reduciendo costos operativos y mejorando la eficiencia reproductiva. Además, el uso de inteligencia artificial (IA) y machine learning facilitó una selección más objetiva y precisa de los reproductores, lo que mejoró la calidad genética del ganado.

En 2023, se introdujeron innovaciones en el control ambiental, como los depuradores en seco y húmedos, que transformaron la gestión ambiental en las granjas porcinas.

Estas tecnologías redujeron drásticamente las emisiones de amoníaco, metano y partículas, mejorando no solo la calidad del aire, sino también la salud y el bienestar de los cerdos y los trabajadores. Para 2024, la tendencia hacia la optimización de estas tecnologías continuó, aumentando la eficiencia energética y reduciendo aún más el impacto ambiental, lo que consolidó un modelo de producción más sostenible.

Estos avances están en línea con lo expresado por [1] y [3], quienes destacan que la porcicultura ha experimentado un crecimiento significativo impulsado por tecnologías emergentes que optimizan la producción, mejoran la eficiencia reproductiva y reducen el impacto ambiental. Esto se sustenta en lo mencionado por [7] y [8], quienes afirman que países líderes en la exportación de productos porcinos, como la Unión Europea, Estados Unidos y Brasil, han logrado una competitividad sobresaliente gracias a estas innovaciones tecnológicas, lo que les ha permitido acceder a mercados globales de alto valor. Por su parte, [28] señala que tecnologías como los scrubbers han demostrado reducir significativamente las emisiones de amoníaco y metano, lo que es vital para cumplir con las regulaciones ambientales estrictas. En esta misma línea, [30] menciona que, en la Unión Europea, los sistemas de depuración de emisiones han logrado eliminar hasta un 90% de estos contaminantes. Por ello, su implementación en Perú podría lograr una reducción del 70-85%, alineando la producción nacional con las exigencias ambientales de los mercados internacionales.

IV. CONCLUSIÓN

Los principales países en producción porcina, como los de la Unión Europea y Brasil, han demostrado que herramientas como la edición genética y los sistemas de control de emisiones elevan la eficiencia hasta un 18% en reproducción y recortan costos equivalentes a 10% - 12%. Estos casos subrayan cómo la innovación no solo mejora atributos clave en los animales como salud y rendimiento, sino que también abre puertas a mercados internacionales. Destaca, por ejemplo, el uso de tecnologías de depuración, que han disminuido en un 90% contaminantes como el amoníaco, un logro que refuerza la importancia de adoptar prácticas sostenibles para competir globalmente.

Referente al sector porcino peruano, integrar estas innovaciones significaría un avance trascendental: mayor calidad de carne, certificaciones internacionales y acceso a nichos de mercado de alto valor. No obstante, este progreso exige inversión en infraestructura, formación técnica y adaptación a realidades locales. Implementar sistemas como los scrubbers, por ejemplo, podría reducir emisiones entre 70% y 85%, posicionando al país como un actor sostenible y atrayendo capitales alineados con la responsabilidad ambiental.

Herramientas como la inteligencia artificial (IA) y el monitoreo automatizado aplicadas con éxito en Brasil ofrecen a Perú la oportunidad de minimizar pérdidas productivas y perfeccionar la genética porcina. Estas soluciones han

reducido en un 8% las complicaciones físicas en los animales, asegurando su bienestar y elevando la calidad del producto. Tal enfoque no solo impulsaría la competitividad, sino que garantizaría el cumplimiento de normativas globales, un requisito indispensable para ingresar a mercados con estándares rigurosos, como Europa.

La adopción de tecnologías emergentes es un paso ineludible para que Perú consolide su rol en la industria porcina internacional. La combinación de avances genéticos, gestión ambiental y digitalización permitiría reducir costos, incrementar eficiencia y acceder a mercados potenciales. Para lograrlo, es clave fomentar alianzas entre el Estado, empresas y centros de investigación. Este cambio en una apuesta estratégica que trasciende lo económico: fortalece la reputación del sector y sienta las bases para un crecimiento sostenido en el futuro.

AGRADECIMIENTO/RECONOCIMIENTO

Expresamos nuestro más profundo agradecimiento al Coordinador de Investigación, Julio Luis Chauca Huete, por su invaluable tiempo y dedicación. Extendemos también nuestra gratitud a nuestras docentes del Taller de Investigación, Rivas Mendoza Milagros y Romi Rubí Zuñiga Abregu, por su constante apoyo y orientación. Finalmente, queremos reconocer a la Universidad Tecnológica del Perú por su respaldo con los materiales educativos y la alta calidad implementada en cada clase, lo cual ha sido fundamental para el desarrollo de este trabajo.

LIMITACIONES

Esta investigación presenta limitaciones que deben ser reconocidos. En primer lugar, se realizó un análisis cualitativo de información secundaria obtenida de artículos científicos y revistas especializadas en porcicultura. Asimismo, la falta de acceso a bases de datos pagadas y las restricciones en la disponibilidad de información sobre innovaciones recientes dificultaron la obtención de datos completos sobre tecnologías emergentes en algunos países de referencia. Además, el tiempo limitado para la búsqueda de información restringió la posibilidad de explorar todas las fuentes relevantes, lo que afectó la capacidad de realizar un análisis más amplio y detallado sobre la adaptación y aplicación de estas tecnologías en Perú.

REFERENCIAS

- [1] 3tres3. (2023). Porcicultura mundial: Segunda actualización de estimaciones del USDA. 3tres3. https://www.3tres3.com/latam/ultima-hora/porcicultura-mundial-segunda-actualizacion-de-estimaciones-del-usda_16645/
- [2] Wang, C.-M. (2022). Securing participation in global pork production networks: Biosecurity, multispecies entanglements, and the politics of domestication practices. *Journal of Cultural Economy*, 15(2), 200-215. <https://doi.org/10.1080/17530350.2021.2018346>
- [3] Portal Veterinaria. (2023). Ocho ejemplos de innovación tecnológica aplicada al porcino. Recuperado de <https://www.portalveterinaria.com/porcino/actualidad/38491/ocho-ejemplos-de-innovacion-tecnologica-aplicada-al-porcino.html>
- [4] Yu, X., Zhang, J., An, W., Yang, M., Xie, L., Shu, J., Xue, C., Zheng, Q., Lin, H., & Han, G. (2024). Establishment and application of triple-

- qPCR for HEV, PEDV and PDCoV in pork and its products. *Science and Technology of Food Industry*, 45(2), 210-219. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023020164>
- [5] Zhang, X., Song, S., Zeng, R., Chen, W., Mo, H., Wang, Z., & Shuai, J. (2023). A MALDI-TOF MS system for simultaneous detection of six RNA viruses causing porcine respiratory diseases. *Acta Microbiologica Sinica*, 63(9), 3653-3666. <https://doi.org/10.13343/j.cnki.wsx.20230044>
- [6] PorciNews. (2023). Porcicultura de precisión: Una tecnología al servicio del bienestar animal. PorciNews. <https://porcinews.com/porcicultura-de-precision-una-tecnologia-al-servicio-del-bienestar-anim/>
- [7] OEC. (2024). Pig meat export data by country: Spain, Brazil, Mexico, and Chile. OEC World. <https://oec.world/es/profile/bilateral-product/pig-meat/reporter/esp>
- [8] Porcicultura (2024, octubre 11). México y China le dejan ingresos a la porcicultura estadounidense por casi 900 MDD. <https://www.porcicultura.com/destacado/mexico-y-china-le-dejan-ingresos-a-la-porcicultura-estadounidense-por-casi-900-mdd>
- [9] Weiner, A., Paprocka, I., Gołbiowska, A., & Kwiatek, K. (2018). Application of real-time PCR to identify ruminant DNA in raw animal products. *Medycyna Weterynaryjna*, 74(4), 272-275. <https://doi.org/10.21521/mw.6061>
- [10] He, X., Carriquiry, M., Elobeid, A., Hayes, D., Li, M., & Zhang, W. (2022). China's corn and biofuel policies and agricultural trade: Projections from an international agricultural commodity market model. *Agribusiness*, 38(4), 970-989. <https://doi.org/10.1002/agr.21764>
- [11] Song, S., Qiu, H., Chen, W., Mo, H., Jin, C., Zeng, R., Wang, W., et al. (2023). Establishment and application of a multi-target detection method for porcine respiratory viruses based on MALDI-TOF MS. *Acta Microbiologica Sinica*, 63(7), 2713-2727. <https://doi.org/10.13343/j.cnki.wsx.20220781>
- [12] He, X., Carriquiry, M., Elobeid, A., Hayes, D., Li, M., & Zhang, W. (2022). China's corn and biofuel policies and agricultural trade: Projections from an international agricultural commodity market model. *Agribusiness*, 38(4), 970-989. <https://doi.org/10.1002/agr.21764>
- [13] Ji, X., Xie, D., Zhuo, L., Liu, Y., Feng, B., & Wu, P. (2022). Water Footprints, Intra-National Virtual Water Flows, and Associated Sustainability Related to Pork Production and Consumption: A Case for China. *Water Resources Research*, 58(1). <https://doi.org/10.1029/2021WR029809>
- [14] Schwab, K. (2016). The Fourth Industrial Revolution. World Economic Forum.
- [15] Kotler, P., & Keller, K. L. (2016). *Marketing Management* (15th ed.). Pearson.
- [16] Karpova, O., & Boroda, O. (2023). Determinants of export potential of an agricultural organization (The pig breeding industry in Russia as an example). En *Digital Challenges: What Is the Response of the Economy?*, 511-526. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85181264310&partnerID=40&md5=644d2bdc7be83505c18280df408599ba>
- [17] See, M.T. (2024). — Invited Review — Current status and future trends for pork production in the United States of America and Canada. *Animal Bioscience*, 37(4), 775-785. <https://doi.org/10.5713/ab.24.0055>
- [18] Wallington, T. J., Anderson, J. E., Mueller, S. A., Kolinski Morris, E., Winkler, S. L., Ginder, J. M., & Nielsen, O. J. (2012). Corn ethanol production, food exports, and indirect land use change. *Environmental Science and Technology*, 46(11), 6379-6384. <https://doi.org/10.1021/es300233m>
- [19] Watkins, P., Stockham, K., Stewart, S., & Gardner, G. (2021). Contemporary chemical lean determination used in the Australian meat processing industry: A method comparison. *Meat Science*, 171, 108289. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108289>
- [20] Wu, L. (2022). Rabbit meat trade of major countries: Regional pattern and driving forces. *World Rabbit Science*, 30(1), 69-82. <https://doi.org/10.4995/WRS.2022.13390>
- [21] Xu, L., Yang, X., Wu, L., Chen, X., Chen, L., & Tsai, F.-S. (2019). Consumers' willingness to pay for food with information on animal welfare, lean meat essence detection, and traceability. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(19), 3616. <https://doi.org/10.3390/ijerph16193616>
- [22] Yavorskaya, L. V. (2020). Archaeozoological research of the settlement Zhemchuzhina-1 and economic issues of south-east Crimea in the Golden Horde period. *Povolzhskaya Arkheologiya*, 2(32), 170-180. <https://doi.org/10.24852/PA2020.2.32.170.180>
- [23] Zhou, M., Wang, J., & Ji, H. (2023). Virtual Land and Water Flows and Driving Factors Related to Livestock Products Trade in China. *Land*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/land12081493>
- [24] Zhuang, J., Xu, S., Li, Y., Xiong, L., Liu, K., & Zhong, Z. (2022). Supply and Demand Forecasting Model of Multi-Agricultural Products Based on Deep Learning. *Smart Agriculture*, 4(2), 174-182. <https://doi.org/10.12133/j.smartag.SA202203013>
- [25] Marengo, M. (2003). *Fundamentos de metodología científica* (5ª ed.). Atlas
- [26] Campos, F. (2007). *Metodología de la investigación educativa*. Fondo de Cultura Económica.
- [27] Sánchez, M. (2019). *Investigación social: Técnicas y procedimientos para recopilar datos*. Editorial Universitaria.
- [28] Ramos, J. (2020). *Enfoques cualitativos en la investigación social*. Ediciones Académicas.
- [29] Tamayo, M. (2008). *El proceso de investigación científica*. <https://virtual.urbe.edu/tesispub/0097455/cap03.pdf>
- [30] Maya, L. (2014). *Metodología aplicada a las ciencias sociales*. Editorial Siglo XXI.
- [31] Meneses, R., & Rodríguez, P. (2011). *Investigación cualitativa: Métodos y aplicaciones*. Editorial Trillas.
- [32] LIFE MEGA Project. (2023). *LIFE MEGA Project: Improving environmental performance of pig farming*. LIFE MEGA. <https://lifemega.unimi.it/es>
- [33] USDA Foreign Agricultural Service. (2024.). *Search results for pig export*. USDA. <https://fas.usda.gov/search?keyword=pig+export>
- [34] Grupo Agrinews. (2023, marzo). *Revista porciNews - Marzo 2023*. Issuu. https://issuu.com/grupoagrinews/docs/revista_porcinews_marzo_2023
- [35] Porcicultura (2024, octubre 11). México y China le dejan ingresos a la porcicultura estadounidense por casi 900 MDD. <https://www.porcicultura.com/destacado/mexico-y-china-le-dejan-ingresos-a-la-porcicultura-estadounidense-por-casi-900-mdd>