

Tecnologías para la productividad de las granjas porcinas.

Juárez De Paz, I.¹ , Ponce-Noguez J. B.^{2*} ,
Álvarez-Sánchez G. F.¹ , López-López, M.I.^{3*}

¹ Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

² Facultad Maya de Estudios Agropecuarios, Universidad Autónoma de Chiapas.

³ Asociación de Certificación de Sector Agropecuario Alimentario AC.

Fecha de envío: 26/Abril/2025

Resumen:

En la producción porcina, las Buenas Prácticas Pecuarias (BPP) son fundamentales para asegurar la calidad e inocuidad de los productos, mejorando la eficiencia y reduciendo impactos negativos en el medio ambiente. Para asegurar la trazabilidad de los animales, se emplean diversos métodos de identificación, como tatuajes, incisiones o muescas, que permiten un seguimiento individual y permanente. En cuanto al manejo de excretas, existen diferentes sistemas de pisos, como los sólidos, que facilitan la recolección diaria de residuos para su compostaje, los pisos ranurados, que permiten almacenar los desechos en fosas de tiempo variable, y el sistema de cama profunda, que transforma los residuos en composta de calidad. Además, los sistemas de ventilación, tanto naturales como mecánicos, son fundamentales para regular la temperatura y prevenir el estrés térmico, asegurando así el bienestar de los

animales. El uso de biodigestores también contribuye a la sostenibilidad, ya que reduce la contaminación ambiental y genera biogás a partir de residuos orgánicos. En cuanto a la reproducción, la criopreservación del semen porcino mejora la capacidad reproductiva del verraco, aunque es crucial controlar las temperaturas de conservación para evitar daños a los espermatozoides. Implementar las Buenas Prácticas Pecuarias (BPP), junto con tecnologías de manejo de residuos y biotecnología en la producción porcina, optimizan la gestión de residuos y promueven un proceso de producción más eficiente. Además, permiten a las empresas cumplir con los estándares nacionales e internacionales, mejorando su competitividad y garantizando prácticas responsables con el medio ambiente.

Palabras clave: Nuevas tecnologías, Cerdos, Crianza de cerdos, Desarrollo pecuario.

Introducción

Las Buenas Prácticas Pecuarias (BPP) se definen como el conjunto de procedimientos actividades, condiciones y controles que se aplican en las unidades de producción de animales y en los establecimientos Tipo Inspección Federal, con el objeto de disminuir los peligros asociados a agentes físicos, químicos o biológicos, así como los riesgos zoonosarios en los bienes de origen animal para consumo animal; sin perjuicio de otras disposiciones legales aplicables en materia de Salud Pública. La implementación de las BPP busca mejorar la calidad de los productos alimenticios mediante un eficiente manejo de los animales dando por lo tanto un producto inocuo. La necesidad de asegurar la mejora continua de los productos a lo largo de toda

la cadena productiva ha provocado un interés creciente de las gerencias por la aplicación de los sistemas de calidad. En los últimos años, este interés se ha centrado en los impactos que generan dichos sistemas, los cuales se reflejan en al menos cuatro indicadores clave: eficiencia en el uso de la tecnología, niveles de producción, ventas y exportaciones. En el caso de las empresas cárnicas en México, la adopción de certificaciones y metodologías de calidad ha generado resultados positivos, evidenciados en el crecimiento de la producción y de las exportaciones (Huerta et al., 2016; Ley Federal de Sanidad Animal, 2007, Artículo 4).

Debido al incremento en la demanda de carne de cerdo en el mercado internacional y a la relativa



facilidad de crianza del animal, la porcicultura ha tenido un fuerte crecimiento en México en los últimos años. Su producción se ha elevado hasta constituirse en una importante fuente de divisas, paralelo a ese crecimiento, han surgido problemas ambientales relacionados con el mal manejo de sus desechos. La producción intensiva de carne de cerdo ha provocado impactos severos en el ambiente por la acumulación de desechos sólidos sin tratar y por la contaminación de diferentes cuerpos de agua donde son descargadas sus aguas residuales (Cervantes et al., 2007).

Un instrumento importante para mejorar el desempeño ambiental de las empresas y/o procesos son las producciones más limpias (PML). Durante los últimos 25 años, la aplicación del enfoque PML ha demostrado resultados positivos en la mitigación de daños ambientales y la creación de beneficios económicos y sociales definida como la aplicación continua de una estrategia integrada de prevención de la contaminación ambiental, a los procesos productivos, productos y servicios, con el fin lograr un uso más eficiente de los recursos naturales y de ese modo aumentar la eficiencia ecológica, minimizar los desechos, así como los riesgos a la salud, seguridad humana y al medio ambiente. Se trata de una estrategia dirigida hacia las causas antes que a los efectos. En cuanto a los procesos productivos, se trata de conservar las materias primas, insumos, agua y energía, reducir y/o sustituir materiales tóxicos, junto con la reducción de los impactos ambientales generados por el mal manejo de la porquinaza. Por el lado de los productos,

involucra disminuir los impactos negativos en el ciclo de vida, desde la extracción de materias primas para su elaboración, hasta su disposición final, a través de un diseño apropiado de productos (Varela, 2010; Cádenas et al., 2019). Por consiguiente, el uso de la biotecnología, la cual se definió como cualquier aplicación tecnológica que utiliza sistemas biológicos, organismos vivos o derivados para hacer o modificar productos o procesos para un uso específico. Ha desarrollado una serie de nuevos métodos científicos con grandes beneficios, especialmente en biomedicina y veterinaria. En la producción animal, esta tecnología amplía el potencial de células y organismos mediante modificaciones selectivas, mejorando el desempeño, sobre todo a través del uso de microorganismos naturales o recombinantes que optimizan la digestión y eficiencia alimenticia. En reproducción animal, las biotecnologías ganaderas buscan intensificar el mejoramiento genético y la multiplicación de razas superiores mediante técnicas moleculares que permiten la selección temprana de individuos, la rápida introducción de genes beneficiosos, la identificación del sexo embrionario y la evaluación de la eficiencia reproductiva, incluyendo herramientas avanzadas como la producción de embriones in vitro y la clonación por transferencia nuclear (Uffo, 2011).

Desarrollo

1. Bases de datos utilizadas.

La revisión se realizó durante enero-marzo del 2025 y el presente trabajo refleja la revisión de información utilizando los motores de búsqueda



de información de artículos científicos Google académico, DOJA, Scopus, y PubMed y los motores de búsqueda académicos de Scielo, Redalyc y Dialnet, entre otros. Estos motores se enfocan en resultados académicos, como artículos científicos, tesis, libros y resúmenes, asegurando la calidad y relevancia de la información.

2. Sistemas de identificación

Uno de los principales requisitos en la trazabilidad de animales y sus subproductos es la implementación de un sistema de identificación animal. Existe una serie de tecnologías actualmente en aplicación o desarrollo para la identificación animal y sus productos, como consecuencia de la necesidad de instaurar un sistema de identificación individual y permanente que asegure la trazabilidad de los animales. En el caso de porcinos, los sistemas más empleados han sido las muescas e incisiones en la oreja y los tatuajes, debido a que no es posible utilizar técnicas basadas en la alteración del color del pelo, como el marcado por corrosión o por frío. Sin embargo, estas técnicas presentan limitaciones, ya que no siempre garantizan una identificación precisa, lo que ha motivado el desarrollo de dispositivos externos como crotales, collares, marcas caudales y brazaletes, que inicialmente se usaban como complemento. El crotal, con número de identificación impreso, y el tatuaje, aplicado en el pabellón auricular justo después del nacimiento, son actualmente los métodos oficiales en la identificación porcina, aunque este último, a pesar de su bajo costo, requiere experiencia para su correcta aplicación

y puede presentar dificultades de lectura por la deformación de los números conforme el animal crece. Además de estos métodos tradicionales, se han incorporado tecnologías más avanzadas como chips electrónicos, también existen los métodos biométricos tales como la huella nasal, imágenes digitales de retina e iris y la huella genética de ADN (DNA fingerprinting). Los implantes de chips electrónicos han sido rechazados por las autoridades en EE.UU., debido al riesgo de que estos sistemas puedan migrar y entrar a la cadena de alimento. Por otro lado, el marcaje con fuego está prohibido en países del Reino Unido, debido a las fuertes medidas de protección y cuidados del bienestar animal (Felmer et al., 2006; Santamarina y Babot, 2007; Santamarina et al., 2008).

La necesidad de disponer de métodos de identificación animal que faciliten la trazabilidad de sus productos y que puedan ser usados globalmente despertó el interés por la identificación electrónica (IDE) mediante dispositivos pasivos de radiofrecuencia que utilizan radiaciones electromagnéticas no ionizantes. Estos sistemas están constituidos por dispositivos electrónicos pasivos de pequeño tamaño llamados transponders que son sondeados a distancia por unidades de lectura llamadas transceivers o lectores. En la especie porcina la identificación electrónica aportaría una serie de ventajas: mejorar el manejo general y la economía productiva de la explotación, reduciendo los costes por mano de obra, mejorar la calidad del producto final, mejorar el control en matadero y transferir información de más calidad, permitiendo la obtención automática de



los datos y evitando posibles errores humanos (Felmer et al., 2006; Santamarina et al., 2008).

3. Pisos

Los pisos que son manejados en las unidades de producción de porcinos son variados, entre ellos se tienen los pisos sólidos, los cuales permiten la recolecta de excretas día a día fácilmente para posteriormente ser trasladadas al área de compostaje; los pisos ranurados son fosas que permiten almacenar en tiempo variable todos los residuos, estos pisos de las fosas tienen una pendiente del 1% y son inundadas por una película de agua sobre el área de la fosa, y su descarga se realiza de acuerdo a necesidades del manejo de la cama, estas aguas residuales son trasladadas para su respectivo tratamiento y separación de excretas sólidas y están pasan a formar parte del compostaje; y, el sistema cama profunda el cual es un sistema de manejo de excretas, la técnica consiste en esparcir residuos vegetales en toda el área de la cama, de tal manera que las excretas y orinas se mezclen con la cama de 0.5 metros a la altura de estos residuos vegetales y aplicando volteo a la cama, más la aplicación del inoculante se consigue tener de manera progresiva un compost, la cantidad de volteo de la cama depende de la edad del cerdo, desde la semana 14 (50 Kg) hasta la finalización de la etapa de engorde en la semana 24 (105 Kg) se voltea la cama de 2 a 3 veces por semana iniciando el proceso de descomposición de la materia orgánica, una buena calidad de compostaje toma aproximadamente 3 meses, luego este compostaje es retirado para dar el acabado final y luego comercializar (Quizhpe y

Wiesner, 2013).

En el área de maternidad hay dos tipos de zonas, una que ocupa la jaula donde está la cerda (central) y otras a los laterales donde se disponen los lechones. Lo más utilizado es piso emparrillado total, este debe ser de mayor resistencia en la parte central. Como alternativa se utiliza piso de concreto en el tercio anterior del piso y piso emparrillado en el resto. En el espacio de lechones se coloca emparrillado plástico y se coloca una fuente de calor con o sin nido o escamoteador. Una opción extra es elevar unos 4 a 5 cm el piso central de la jaula, donde se tumba la cerda, para facilitar el acceso de los lechones a la línea mamaria inferior y dificultar el ingreso de estos al espacio de la cerda en los primeros días posparto, evitando el aplastamiento. El espacio dispuesto para los lechones, alrededor de la jaula, puede variar en base a la edad de destete, contemplándose entre 40 y 65 cm de ancho, Los tabiques separadores constan de placas de (plástico o mampostería) o rejas que alcancen una altura de 45 a 55 cm suficiente para que no salten los lechones (Principi et al., 2021).

4. Ventilación

Los porcinos son animales que tienen dificultades para eliminar el calor corporal debido a que poseen pocas glándulas sudoríparas, por lo que dependen principalmente de la respiración y del contacto con superficies frías para regular su temperatura. Sin embargo, para garantizar su confort en todo momento, es fundamental adecuar sistemas de ventilación en las granjas. Estos sistemas permiten mantener una

temperatura ambiental adecuada, ya que los cambios bruscos pueden afectar gravemente su desempeño productivo e incluso provocar el Síndrome de Estrés por Calor, que compromete sus sistemas orgánicos. La ventilación adecuada impacta de forma positiva tanto en el bienestar animal como en la rentabilidad de la granja, ya que su objetivo principal es promover el movimiento y la renovación constante del aire, lo cual permite evacuar gases nocivos como el Dióxido de Carbono (CO₂) y el amoníaco (NH₃), eliminar malos olores, polvo, y mantener controladas la temperatura y la humedad ambiental (Biovet, 2021; Cuéllar, 2021).

Existen tres tipos principales de sistemas de ventilación en producción porcina: natural, mecánico o mixto, cuya elección depende del nivel tecnológico de la explotación, el potencial genético de los animales y el manejo operativo de la granja. Estos sistemas deben diseñarse cuidadosamente con entradas y salidas estratégicas que aseguren una circulación eficiente del aire y una adecuada disipación del calor. Una ventilación deficiente puede generar altas concentraciones de contaminantes que afectan el comportamiento y salud de los cerdos, induciendo inactividad, conductas agresivas, lesiones cutáneas y bursitis por contacto prolongado con superficies duras. En este contexto, la eficiencia del sistema de ventilación es clave, ya que determina el control efectivo de la temperatura, la calidad del aire y, en última instancia, el bienestar animal y la rentabilidad de la unidad de producción (Biovet, 2021; Cuéllar, 2021; Chantziaras et al., 2020; Vitali et al., 2021).

La ventilación natural fue uno de los primeros métodos utilizados al confinar animales en naves, abriendo puertas y ventanas para reducir la humedad y el calor. Este sistema depende de factores ambientales como la temperatura exterior, la velocidad del viento y la convección térmica, por lo que su eficacia varía según las condiciones climáticas de la región. Es especialmente importante ubicar adecuadamente el galpón, considerando la orientación, los vientos predominantes, la presencia de árboles y el relieve del terreno, ya que estos elementos influyen directamente en la magnitud y distribución del flujo de aire al interior. Para mejorar su funcionamiento, pueden incorporarse cortinas móviles, que se abren o cierran según la temperatura ambiental, y ventiladores auxiliares para favorecer el ingreso y la circulación del aire (Jacobson, 2004; Principi et al., 2021; Vitali et al., 2021; Zangaro, 2018).

Entre las variantes de este sistema se encuentra la ventilación natural estática, que utiliza la diferencia de temperatura entre el aire interior y exterior para generar movimiento a través de aberturas en techos y paredes. También se emplean configuraciones como los túneles de viento, estructuras de bajo costo orientadas en dirección de los vientos predominantes. Sin embargo, su principal desventaja es la falta de control, lo que puede afectar la calidad del aire y la temperatura interna. Por lo general, esta ventilación es más adecuada para cerdos en etapas de crecimiento, ya que toleran mejor las variaciones térmicas, mientras que en etapas más sensibles como maternidad y destete, se



recomienda el uso de ventilación mecánica por su capacidad de mantener condiciones ambientales más estables y controladas (Biovet, 2021; Cuéllar, 2021; Chantziaras et al., 2020; Jacobson, 2004; Vitali et al., 2021; Zangaro, 2018).

La ventilación artificial o forzada en granjas porcinas utiliza equipos mecánicos como ventiladores y extractores para generar un flujo de aire constante y controlado dentro de las instalaciones. Este sistema se clasifica según el tipo de presión que ejerce: negativa, positiva y neutra. La presión negativa, la más común y eficiente, utiliza ventiladores de escape para extraer el aire interior y generar un vacío parcial que facilita la entrada controlada de aire fresco, siempre que la nave esté herméticamente cerrada. La presión positiva impulsa el aire exterior hacia el interior y permite su salida por aberturas pasivas; sin embargo, su uso es limitado actualmente debido a los problemas de control de humedad y deterioro de estructuras. En la presión neutra, los ventiladores introducen y expulsan aire simultáneamente, buscando un equilibrio en el flujo, y se puede complementar con mezcladores para evitar corrientes frías, especialmente en invierno. El diseño de estos sistemas considera tres componentes esenciales: ventiladores, aberturas y controles, que deben ajustarse a las condiciones climáticas, la edad y la densidad de los animales. Para mantener el confort térmico, la tasa de flujo de aire recomendada es de 800 a 1,000 pies cúbicos por minuto, y se sugiere utilizar ventiladores de una sola velocidad que garanticen un intercambio de aire constante y eficiente (Biovet, 2021; Cuéllar,

2021; Jacobson, 2004; Zangaro, 2018).

En un estudio realizado por Li Rong et al. (2015), señalan que el Sistema Híbrido de ventilación (HBV) determinó que la ventilación híbrida podría proporcionar condiciones térmicas interiores apropiadas en invierno si el sistema de calefacción está diseñado correctamente. Con el 25 % de la capacidad calorífica repartida sobre el sólido piso, alrededor de 20.0 °C, aunque la temperatura es ligeramente más baja en algunos corrales debajo de las aberturas del techo. Sin embargo, Vitali et al. (2021) encontraron como hallazgos que, los cerdos que se encontraban en instalaciones con ventiladores mecánicos mostraron lesiones tales como cola inferior en comparación con la ventilación natural y una mayor proporción de cerdos con la posición de la cola hacia arriba, siendo el resultado de la conducta de morderse la cola, el cual se considera actualmente un indicador de estrés, teniendo un efecto negativo en el estado emotivo de los cerdos, siendo un comportamiento anormal, se ha encontrado que su ocurrencia es fuertemente dependiente por diversos factores ambientales.

De acuerdo con los resultados reportados en el estudio de Vitali et al. (2021), cuando las temperaturas entre la ventilación natural y la ventilación mecánica son desafiantes, cuanto mayor es la velocidad del aire en las naves, incluso si no es capaz de disminuir la temperatura interior, podría haber contribuido a una reducción en la percepción del calor a nivel de los cerdos, así como a una reducción en la concentración de CO₂, influyendo así en el comportamiento de los cerdos y contribuyendo

a mejorar su bienestar. En climas cálidos, los sistemas de ventilación mecánica pueden no ser suficientes para mitigar el estrés por calor en los cerdos, y se deben proponer otras soluciones (por ejemplo, sistemas de enfriamiento o rociadores de agua) para evitar consecuencias en el bienestar de los cerdos.

Es necesario el correcto empleo de los sistemas de ventilación, puesto que, todas las temperaturas que están por encima o por debajo de la zona termoneutral del animal pueden influir en el rendimiento de crecimiento general de los cerdos, incluida la ganancia diaria promedio y la tasa de conversión alimenticia de los cerdos en crecimiento y finalización (Chantziaras et al., 2020; Vitali et al., 2021).

5. Climatización

Las necesidades térmicas de los cerdos varían según su edad, por lo que es fundamental controlar la temperatura y evitar cambios bruscos que puedan generar problemas infecciosos o, en el peor de los casos, la muerte. Existen distintos sistemas de climatización empleados en la producción porcina. Los sistemas de calefacción más utilizados son, *pantalla de gas para ambientes grupales* y *sistemas focales* para lechones de maternidad. En zonas muy frías se pueden calefaccionar algunas dependencias con *radiadores* o *tubos delta de aluminio* de difusión de calor, también se pueden requerir sistemas de enfriamiento o refrigeración, en granjas o instalaciones más pequeñas existe la alternativa del aire acondicionado (Principi et al., 2021).

Otro sistema de calefacción es el infrarrojo, que ofrece dos alternativas principales, mediante

pantallas de gas y con resistencia eléctrica; la calefacción por agua caliente, a través de lecho térmico con serpentín a haz de tubos por los cuales circula el agua. Este sistema ofrece también, a su vez, dos alternativas a través del suelo; y área, a través de tubos disipadores de calor (tubo delta) y la calefacción por lecho térmico con resistencia eléctrica. La calefacción por infrarrojo, por la simplicidad de su instalación inicial, sigue estando presente en muchas de las explotaciones. Uno de los problemas que se presenta en la práctica, sobre todo en las explotaciones con ventilación estática, es que, con el fin de mantener las temperaturas elevadas que los lechones demandan, se reduce el nivel de ventilación, originando un incremento en la concentración de gases (amoníaco y sulfhídrico), aumentando los problemas respiratorios en los lechones (Moreno y Buxadé, 1999).

6. Biodigestor

Ante el constante incremento en los costos de los insumos, muchos propietarios de pequeñas granjas buscan alternativas viables para reducir sus gastos de operación y, al mismo tiempo, mejorar las condiciones de salud e higiene en sus unidades de producción. En este contexto, la generación de biogás y electricidad mediante procesos de biodigestión representa una opción atractiva y sostenible. La digestión anaerobia es una tecnología de tratamiento de residuos orgánicos que no solo resuelve el problema del manejo de excretas y residuos agrícolas, sino que también permite reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y aprovechar el potencial



energético de estos materiales (Venegas et al., 2015).

La descomposición del estiércol animal ocasiona consecuencias ambientales graves por la producción de gases como el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O), estos gases se liberan a través de la fermentación, así como la nitrificación y desnitrificación produciendo contaminación de los recursos del suelo y agua. Un digestor de desechos orgánicos o biodigestor es un contenedor hermético e impermeable, en la que se depositan desechos orgánicos (estiércol o material vegetal) en determinada dilución de agua por un periodo de 35 a 45 días aproximadamente, para que a través de la fermentación anaerobia se libere la energía química contenida en la materia orgánica, la cual se convierte en biogás, además, se disminuya el potencial contaminante de los excrementos. Mediante la implementación de un biodigestor se busca mitigar el impacto económico, social y ambiental generado por los residuos orgánicos que producen los cerdos (Gómez et al., 2017; Lorente, 2010; Osejos-Merino et al., 2018).

La biodigestión es un proceso de biodegradación en el que los residuos sólidos orgánicos son transformados parcialmente en biogás, una mezcla combustible compuesta principalmente por CH_4 , dióxido de carbono (CO_2) y trazas de otros gases como sulfuro de hidrógeno (H_2S) y amoníaco (NH_3). Este proceso ocurre en condiciones anaerobias, ya que los microorganismos que intervienen son sensibles al oxígeno, y se desarrolla en cuatro etapas: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis. El agua juega un papel clave,

no solo al facilitar el crecimiento microbiano, sino también como medio de transporte para los sustratos y productos del proceso. Puede llevarse a cabo mediante dos métodos: en vía seca, con un contenido de sólidos entre el 20 % a 40 %, o en vía húmeda, con lodos que contienen entre el 10 % al 15 % de sólidos. La elección del tipo de proceso depende de las características del residuo y de la infraestructura disponible. Además del biogás, que tiene un contenido mínimo de 45 % de CH_4 , considerado un combustible limpio y renovable, la digestión anaerobia genera un subproducto conocido como digestato o efluente, que conserva los nutrientes de la biomasa original y puede ser utilizado como fertilizante en la agricultura, cerrando así el ciclo de aprovechamiento de los residuos (Vega et al., 2020; Castro et al., 2020). Los residuos generados en las unidades de producción porcina pueden ser tratados mediante diversas tecnologías, como la composta, las lagunas de oxidación y la digestión anaerobia. Esta última se ha destacado como una alternativa eficiente, ya que permite la recuperación simultánea de nutrientes, en forma de fertilizante, y de energía, al utilizar biodigestores, los nutrientes presentes en las excretas se transforman en un bioabono líquido de aplicación directa en cultivos, lo que disminuye el uso de fertilizantes químicos y la contaminación asociada a estos (Peñañiel et al., 2021).

Este proceso contribuye a la disminución de la contaminación ambiental y ofrece una alternativa viable para el manejo sostenible de residuos orgánicos, especialmente de fuentes locales y

regionales tradicionalmente subutilizadas, como las excretas líquidas de cerdo. Existen diferentes tipos de biodigestores, prefabricados, pero el más utilizado es el de forma cilíndrica el cual tiene una tubería de entrada por donde ingresa la materia orgánica mezclada con agua, y una tubería de salida en la cual existe una descarga de un material con baja carga contaminante (Soria et al., 2001; Venegas et al., 2015).

Un estudio realizado por Venegas et al. (2015) señala que el costo de los biodigestores utilizados en la actividad pecuaria varía según el material, el tamaño y el diseño, considerando modelos tipo laguna y motogeneradores con capacidades de 10 kW, 30 kW y 60 kW. La cobertura de energía eléctrica difería entre granjas, dependiendo de la capacidad del biodigestor, el manejo del motogenerador, las horas de operación y el consumo energético. Se concluyó que las granjas pueden alcanzar la autosuficiencia energética e incluso diversificar sus operaciones. Asimismo, Venegas et al. (2017) indicaron que existe una relación directa entre el tamaño de la granja y su rentabilidad: a mayor tamaño, mejores indicadores financieros. Los cinco tamaños de granja propuestos en el estudio presentaron resultados financieros favorables, y en los casos de granjas con 2 000, 3 000 y 5 000 cerdos, la cantidad de biogás producido permitiría incluso operar un motogenerador adicional. En conjunto, los resultados sugieren que el uso de biodigestores en granjas porcinas es rentable desde una perspectiva económica, social y ambiental.

La instalación de biodigestores ofrece importantes beneficios económicos, siendo

una tecnología utilizada a nivel mundial, especialmente en regiones sin acceso a reservas significativas de combustibles fósiles. El biocombustible se destaca en la generación eléctrica, cuya conversión de energía está contenida en el biogás se hace a través de un motogenerador alimentado por el biogás. La electricidad generada puede alimentar las instalaciones de la explotación agrícola o venderse a la red eléctrica general, el uso directo como gas, solución mixta, empleando parte del biogás para generar electricidad y otra parte utilizada de forma directa. Esta es una forma de producir energía que no es contaminante ni en el proceso de su producción ni en su combustión, contrario a lo que sucede con los combustibles fósiles. En este contexto, el beneficio del uso de biogás en granjas porcinas es el ahorro en el pago de energía eléctrica, lo cual impacta positivamente en la eficiencia de los costos de producción. Un aspecto fundamental en las granjas es que además de biogás y energía eléctrica, estas pueden producir biofertilizante de muy buena calidad lo que conlleva a mejorar la rentabilidad de las unidades de producción. La comercialización de biofertilizante aún no es eficiente pero de acuerdo a varios productores, este se cotiza en el mercado a un precio de entre \$500 y \$1000 pesos por tonelada en la zona centro de México (Osejos-Merino et al., 2018; Soria et al., 2001; Venegas et al., 2015).

7. Conservación de semen

La criopreservación espermática es una biotecnología de gran trascendencia ya que tiene un papel relevante en la conservación y difusión



de recursos genéticos. Su aplicación en conjunto con otras biotecnologías reproductivas, como la inseminación artificial (IA), ha permitido promover el mejoramiento genético de los animales mediante la selección de mejores características. La dilución y conservación del semen porcino en refrigeración es una práctica que brinda a la industria porcina la posibilidad de aprovechar al máximo la capacidad reproductiva del verraco, para ello los diluyentes en donde se conserva el material seminal, deben proporcionar los nutrientes necesarios para el mantenimiento metabólico de la célula espermática (glucosa), la protección frente al shock térmico por frío (BSA), controlar el pH del medio, la presión osmótica (NaCl, KCl) y los antibióticos para la inhibición del desarrollo microbiano. En el caso del semen congelado, su conservación podría ser permanente, permitiendo el intercambio de material genético a larga distancia y durante un período muy largo, además, este período de tiempo puede ser crucial para efectuar un control sanitario o genético del semen antes de su uso. La congelación permite la creación de bancos de semen; de interés evidente en el caso de la preservación de razas en peligro de extinción y de grandes posibilidades para la conservación de líneas o extirpes de especial interés. Esto es importante desde el punto de vista comercial para asegurar la conservación de líneas genéticas valiosas ante posibles situaciones desfavorables (Araya-Zúñiga et al., 2025; Carreño et al., 2022; Cuenca y Avellaneda, 2017; Williams, 2013). El semen del verraco puede ser preservado *in vitro* en forma líquida (refrigerada) o congelada; sin embargo, el uso de semen congelado

sigue siendo muy limitado debido a su baja fertilidad, resultado de la alta sensibilidad del espermatozoide porcino al frío. Durante el proceso de congelación-descongelación, se produce una reducción significativa en la proporción de espermatozoides que conservan la integridad de su membrana, ultraestructura y composición bioquímica, siendo este tipo celular particularmente susceptible en comparación con otras especies. Estas alteraciones pueden observarse mediante microscopía óptica y, para un análisis más detallado, mediante microscopía electrónica. Por estas razones, el método más común y eficaz de conservación es en forma líquida refrigerada. Actualmente, alrededor del 99% de las inseminaciones artificiales en el mundo se realizan con semen conservado entre 15 y 20 °C, por un periodo de uno a cinco días, utilizando diluyentes que ayudan a preservar las características funcionales de las células espermáticas y mantienen la fertilidad del eyaculado. La temperatura óptima de conservación es de 17 °C, ya que variaciones térmicas de tan solo 1 a 2 °C pueden afectar negativamente la calidad del semen. Temperaturas por debajo de los 14 °C provocan alteraciones en la membrana del espermatozoide, reduciendo su capacidad fecundante, mientras que temperaturas superiores a los 20 °C disminuyen notablemente su vida útil (Cuenca y Avellaneda, 2017; Williams, 2013).

Una de las principales limitaciones del proceso de criopreservación es la falta de estandarización metodológica desde la colecta del semen hasta el descongelado de la pajilla en los diferentes centros de investigación. Esto



incide en la repetibilidad de la técnica y provoca la disminución en la eficiencia de los procesos de congelación espermática. Asimismo, la gran desventaja de la inseminación artificial con semen refrigerado (IAR) respecto a la inseminación artificial con semen congelado (IAC) es la limitación de la conservación de las dosis, siendo que en la primera se pueden mantener de 2 a 8 días. Esto lleva a que los centros de inseminación deban ofrecer una producción y reparto de dosis refrigeradas muy agilizado; logrando un menor rendimiento en la utilización de los animales más selectos, debido a una limitación en el transporte de las dosis a grandes distancias, y una pérdida de un 10 a un 30% de dosis seminales por caducidad (Araya-Zúñiga et al., 2025; Carreño et al., 2022; Williams, 2013).

Los diluyentes para la conservación del semen porcino se clasifican según su duración en corto y largo plazo. Los de corto plazo permiten conservar el semen entre 1 y 3 días y se caracterizan por su bajo costo, eficiencia en la inseminación y menor concentración espermática, aunque con una tasa de motilidad reducida. Entre los más utilizados están el DICIP, D16 y BTS, este último reconocido a nivel mundial por mantener la viabilidad espermática a 17°C durante 5 días y lograr tasas de preñez superiores al 80%. Los diluyentes a largo plazo permiten conservar el semen por más de 4 días y son esenciales cuando la distancia entre el sitio de producción y el de inseminación es considerable. Estos requieren mayor control en la dilución, prevención de contaminación bacteriana y refrigeración a

15-17°C. Entre los más empleados están Kiev y BTS, que preservan la capacidad fertilizante de los espermatozoides por varios días. Otros diluyentes, como MR-A, ZORVPA y Reading, han mostrado buenos resultados en la calidad espermática, pero su uso no se ha masificado. En los últimos años han surgido nuevos productos como A-cromax, X-Cell, Androhep Plus, Vital, SpermAid y Mulberry III, ampliando las opciones para la conservación eficiente del semen porcino (Cuenca y Avellaneda, 2017).

Conclusiones

Las Buenas Prácticas Pecuarias (BPP) son fundamentales para garantizar la calidad e inocuidad de los productos alimenticios desde el inicio de la cadena productiva. Estas prácticas no solo se enfocan en el bienestar de los animales, sino también en la protección del medio ambiente y la mejora continua a través de la implementación de sistemas de calidad. Un diseño adecuado de estos sistemas es crucial para mantener un ambiente saludable y confortable para los animales, lo que favorece tanto su bienestar como el rendimiento productivo. Además, todos estos enfoques buscan optimizar la gestión de residuos, promoviendo un proceso de producción más eficiente y sostenible. La certificación en BPP ha demostrado ser altamente beneficiosa para las empresas cárnicas de México, incrementando la producción y las exportaciones.

La implementación de tecnologías de manejo de residuos, control ambiental y biotecnología



contribuye a una mayor eficiencia, sostenibilidad y bienestar animal, con beneficios económicos y ecológicos. Estas innovaciones permiten a las empresas cumplir con los estándares nacionales e internacionales, mejorando su competitividad en los mercados globales, mientras aseguran prácticas responsables y respetuosas con el medio ambiente.

Conflicto de Intereses

Los autores del presente artículo declaran que no existe ningún tipo de conflicto de intereses, ni ninguna relación económica, personal, política, interés financiero, ni académico que pueda influir en el juicio de los mismos.

Referencias

- Araya-Zúñiga, I., Sevilla, F., González, J.A., Matamoros K., y Valverde, A. (2025). La criopreservación del germoplasma de especies ganaderas: Un paso hacia la sostenibilidad. *Agronomía Mesoamericana*, 36, 61375. DOI: <https://doi.org/10.15517/am.2025.61375>
- Biovet, S.A. (22 de julio de 2021). Ventilación en granjas porcinas. Veterinaria Digital. <https://www.veterinariadigital.com/articulos/ventilacion-en-granjas-porcinas/>
- Cárdenas Giler, E. V., Maldonado Erazo, J.M., Valdez Silva, R.A., Sarduy-Pereira, L. B., y Diéguez-Santana, K. (2019). La producción más limpia en el sector porcino una experiencia desde la Amazonía ecuatoriana. *Anales Científicos*, 80(1), 76-91.
- Carreño Arteaga, M.A., Zambrano, J. J., y Carreño Arteaga, N. P. (2022). El uso del aloe vera y la glucosa como elementos protectores para la conservación del semen porcino. *Pol. Con. (Edición Núm. 70)*, 7(11), 1940-1956.
- Castro Rivera, R., Solís Oba1, M.M., Chicatto Gasperín, V., y Solís Oba, A. (2020). PRODUCCIÓN DE BIOGÁS MEDIANTE CODIGESTIÓN DE ESTIÉRCOL BOVINO Y RESIDUOS DE COSECHA DE TOMATE (*Solanum lycopersicum L.*). *Rev. Int. Contam. Ambie.* 36(3), 529-539.
- Cervantes, F. J., Saldívar-Cabrales, J., y Francisco Yescas, J. (2007). Estrategias para el aprovechamiento de desechos porcinos en la agricultura. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 3 (1), 3-12.
- Chantziaras, I., De Meyer, D., Vrielinck, L., Van Limbergen, T., Pineiro, C., Dewulf, J., Kyriazakis, I., & Maes, D. (2020). Environment-, health-, performance- and welfare-related parameters in pig barns with natural and mechanical ventilation. *Preventive Veterinary Medicine*, 183, 1-10.
- Cuéllar Sáenz, J.A. (21 de septiembre de 2021). Sistemas de ventilación en granja: ¿Qué debemos saber? Veterinaria Digital. Recuperado de <https://www.veterinariadigital.com/articulos/sistemas-de-ventilacion-en-granja-que-debemos-saber/>

- Cuenca Condoy, M., y Avellaneda Cevallos, J. (2017). Diluyentes utilizados en inseminación artificial porcina. *Revista electrónica de Veterinaria*, 18(9), 1-11.
- Felmer, R., Chávez, R., Catrileo, A., y Rojas, C. (2006). Tecnologías actuales y emergentes para la identificación animal y su aplicación en la trazabilidad animal. *Arch. Med. Vet*, 38(3), 197-206.
- Huerta Dueñas, M., Sandoval Godoy, S. A., y Preciado Rodríguez, J. M. (2016). Sistemas de calidad y desempeño empresarial: estudio de caso en empresas cárnicas en una región del noroeste de México. *Ingeniería Industrial*, 34, 97-117.
- Jacobson, L. D. (2004). Mechanical Ventilation for Pig Housing. The pig site. Recuperado el 05 de junio de 2022, de <https://www.thepigsite.com/articles/mechanical-ventilation-for-pig-housing>
- Ley Federal de Sanidad Animal [L.F.S.A.]. Art. 4. 25 de julio de 2007 (Estados Unidos Mexicanos).
- Li Rong, Pedersen, E.F., & Guoqiang Zhang. (2015). Application of hybrid ventilation system in a pig house- Study of Winter case. Conference of International Building Performance Simulation Association, Hyderabad, India: 863-869.
- Lorente Saiz, A. (2010). Ganadería y Cambio Climático: Una Influencia Recíproca. *GeoGraphos: Revista digital sobre Geopolítica, Geografía y Ciencias Sociales*, 1(3), 1-22.
- Moreno, R., y Buxadé, C. (1999). Instalaciones para lechones y cerdos de cebo. *Mundo Ganadero*. 37-45.
- Osejos-Merino, M. A., Jaramillo-Véliz, J. J., Merino-Conforme, M. V., Quimis-Gómez, A. J., y Alcívar-Cobeña, J. L. (2018). Producción de biogás con estiércol de cerdo a partir de un biodigestor en la Granja EMAVIMA Jipijapa – Ecuador. *Revista científica Dominio de las Ciencias*, 4(1), 709-733.
- Peñafiel Arcos, P.A., Collahuaso, E., Pérez-Martínez, A., y Diéguez-Santana, K. (2021). Caracterización del Funcionamiento de un Biodigestor Tubular Alimentado con Estiércol Porcino en la Amazonia Ecuatoriana. *Ingenio Magno*, 12(1), 6-24.
- Principi, G., Valette, E., y Macario, T. (2021). Sistemas de producción. Instalaciones y medio ambiente. En Manual de producción porcina, Cadena de valor de la producción sustentable en Argentina. (Macario, T., Valette, E., Williams, S., Principi, G.M., Fages, S. M., Reyes, R.D., Barrales, H. S. Eds). Facultad de Ciencias Veterinarias, Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).
- Quizhpe Tigrero, M. A., y Wiesner Falconí, I. V. (2013). Aplicación de las Técnicas para Producción Más Limpia en Granja Porcina. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/24472>
- Santamarina C., y Babot D. (2007). La identificación del ganado porcino como herramienta para la gestión y



- trazabilidad de la producción. *Revista Computadorizada de Producción Porcina*, 14 (1), 13-21.
- Santamarina, C., Averós, X., Gosálvez, M. B., Gosálvez, L. F., y Babot, D. (2008). Comparación de diferentes identificadores para el seguimiento de la trazabilidad individual de cerdo Ibérico en cebo extensivo y en sacrificio. I Congreso de la Asociación Nacional de Veterinarios de Porcino, 1-5.
- Soria Fregoso, M.J., Ferrera Cerrato, R., Etchevers Barra, J., y Alcántar, G. (2001). Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo. *Terra Latinoamericana*, 19(4), 353-362.
- Uffo, O. (2011). Producción Animal y Biotecnologías Pecuarias: Nuevos Retos. *Revista Salud Animal*, 33(1), 8-14.
- Vega, L.T., Vega, D.A., y Poveda, F.A. (2020). Evaluación de un digestado como fertilizante orgánico. *Idesia*, 38(3), 87-96.
- Varela Rojas, I. (2010). Producción más Limpia en Granjas Porcinas. En Manual para el productor Tecnologías sostenibles para el manejo de remanentes en granjas porcinas. (Urbina Bravo, A., Avendaño Mena, J., José G. Castillo Araya., Fournier Z, A. M., Mojica Betancur, F. J., Varela Rojas, I., Padilla Pérez, M. Eds). Ministerio de agricultura y ganadería, Servicio Nacional de Salud Animal.
- Venegas Venegas, J.A., Perales Salvador, A., y del Valle Sánchez, M. (2015). Energía renovable una opción de competitividad en granjas porcinas en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1, 503-509.
- Venegas Venegas, J.A., Espejel García, A., Pérez Fernández, A., Castellanos Suárez, J. A., y Sedano Castro, G. (2017). Potencial de energía eléctrica y factibilidad financiera para biodigestor-motogenerador en granjas porcinas de Puebla. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícola*, 8(3), 735-740.
- Vitali, M., Santolini, E., Bovo, M., Tassinari, P., Torreggiani, D., y Trevisi, P. (2021). Behavior and Welfare of Undocked Heavy Pigs Raised in Buildings with Different Ventilation Systems. *Animals*, 11(8), 1-20.
- Williams, S. (2013). Conservación de semen porcino: desafíos y perspectivas. *Revista Bras.Reprod. Anim., Belo Horizonte*, 37(2), 207-212.
- Zangaro, C. (2018). Basic types of ventilation in swine barns. Michigan State University Extension. Recuperado el 05 de junio de 2022, de <https://www.canr.msu.edu/news/basic-types-of-ventilation-in-swine-barns>