

## EVALUACIÓN DEL ESTRÉS EN CERDOS MEDIANTE BIOMARCADORES: UNA REVISIÓN DE LAS TÉCNICAS DISPONIBLES <sup>a</sup>

### STRESS ASSESSMENT IN PIGS USING BIOMARKERS: A REVIEW OF AVAILABLE TECHNIQUES

Navarro-González A.D.<sup>1</sup>; Arredondo-Castro M.<sup>2</sup>; Valencia-Posadas M.<sup>2</sup>;  
Hernández-Marín J.A.<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>*Maestría en Producción Pecuaria. División Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca. Universidad de Guanajuato.*

<sup>2</sup>*Departamento de Veterinaria y Zootecnia. División Ciencias de la Vida. Campus Irapuato-Salamanca. Universidad de Guanajuato.*

\* E-mail: jahmarin@ugto.mx\*

Fecha de envío: 15 junio de 2025

Fecha de publicación: 20, septiembre, 2025

#### Resumen:

La creciente demanda global de carne de cerdo ha llevado a un aumento de su producción, lo que ha puesto de manifiesto la necesidad de garantizar el bienestar animal, particularmente ante factores estresantes que afectan la productividad y calidad del producto final. El presente estudio tuvo como objetivo analizar y describir los principales biomarcadores fisiológicos, hormonales y conductuales utilizados para evaluar el estrés en cerdos. El estudio se llevó a cabo mediante una revisión sistemática de literatura en las bases de datos PubMed, ScienceDirect y Google Académico, entre abril y mayo de 2025, abarcando publicaciones entre 2015 y 2025. Se utilizaron criterios de inclusión específicos para seleccionar investigaciones centradas exclusivamente en cerdos, en cualquier etapa productiva y que reportaron biomarcadores cuantificables. Se identificaron 1,939 artículos, de los cuales 31 cumplieron con todos los criterios y fueron analizados a profundidad. Los tipos de estrés más estudiados fueron el transporte, el manejo y el destete. Se identificaron 42 biomarcadores, siendo el cortisol el más empleado, seguido por glucosa, lactato y cambios de comportamiento. Las muestras más utilizadas fueron sangre, saliva y pelo, con una tendencia creciente hacia métodos no invasivos como la recolección de saliva por su bajo impacto en el bienestar animal. Los resultados evidencian que el cortisol es un indicador confiable de la activación del eje hipotálamo-hipófisis-adrenal (HPA) en respuesta al estrés. Se concluye que la correcta elección del biomarcador y del método de recolección depende del tipo de estrés evaluado y del contexto experimental, lo que permite optimizar estrategias de manejo que minimicen el estrés, mejoren el bienestar animal y, por ende, incrementen la rentabilidad en la producción porcina.

**Palabras clave:** Biomarcadores, estrés, cerdos, cortisol, bienestar animal.

---

<sup>a</sup> Revisión de literatura.

## Abstract:

The growing global demand for pork has led to an increase in its production, highlighting the need to ensure animal welfare, particularly in the face of stressors that affect the productivity and quality of the final product. The present study aimed to analyze and describe the main physiological, hormonal, and behavioral biomarkers used to assess stress in pigs. The study was conducted through a systematic literature review in the PubMed, ScienceDirect, and Google Scholar databases between April and May 2025, covering publications from 2015 to 2025. Specific inclusion criteria were used to select research focused exclusively on pigs, at any productive stage, and that reported quantifiable biomarkers. A total of 1,939 articles were identified, of which 31 met all criteria and were analyzed in depth. The most studied types of stress were transportation, handling, and weaning. Forty-two biomarkers were identified, with cortisol being the most commonly used, followed by glucose, lactate, and behavioral changes. The most frequently used samples were blood, saliva, and hair, with a growing trend toward noninvasive methods such as saliva collection due to its low impact on animal welfare. The results show that cortisol is a reliable indicator of hypothalamic-pituitary-adrenal (HPA) axis activation in response to stress. It is concluded that the correct choice of biomarker and collection method depends on the type of stress evaluated and the experimental context, allowing for the optimization of management strategies that minimize stress, improve animal welfare, and, consequently, increase profitability in pig production.

**Keywords:** Biomarkers, stress, pigs, cortisol, animal welfare.

## INTRODUCCIÓN

Una de las principales fuentes de proteínas para la dieta humana, a nivel mundial, es la carne de cerdo, debido a la demanda, su producción ha ido en continuo crecimiento (Gutiérrez et al., 2024). Entre los años de 2014 y 2023, la existencia de ganado porcino a nivel mundial alcanzó un total de 14 mil millones de cabezas, las cuales se destinaron a satisfacer la demanda de carne de cerdo, dentro de este contexto, China se consolidó como el líder indiscutible con 4,832,960,707 cabezas, seguido de Brasil con 737,173,600 cabezas. México por su parte, se posicionó en el octavo lugar a nivel mundial con un total de 179,041,233 cabezas. Respecto a la producción de carne de cerdo, China también lideró con 535 millones de toneladas (ton), mientras que Alemania desplazó a Brasil al tercer lugar, superándolo por una diferencia de nueve millones de ton, por su parte, México alcanzó una producción total de 15,378,081.69 ton durante el mismo período (FAO, 2023).

En años más recientes, específicamente entre 2020 y 2023, México registró una producción total de 6,843,945.19 toneladas de carne de cerdo, posicionándose en tercer lugar, por detrás de la carne de ave y bovino. Los principales estados

productores de carne de cerdo son Jalisco, Sonora, Puebla, Veracruz y Yucatán, reconocidos como los mayores productores a nivel nacional. Por su parte, el estado de Guanajuato se ubica en sexto lugar con una producción total de 541,790.18 toneladas (SIAP, 2023).

Se prevé para el año 2030 que la demanda de carne de cerdo aumente un 7%, lo que equivaldría a 131 millones de toneladas (Gutiérrez et al., 2024). Sin embargo, este aumento en la demanda enfrenta diversos desafíos, siendo uno de los principales el estrés que experimenta esta especie, y el cual impacta directamente en la rentabilidad de la producción. El estrés es una respuesta fisiológica destinada a mantener la homeostasis del cuerpo cuando un individuo experimenta los efectos de un factor estresante, el cual puede ser ambiental (humedad y temperaturas extremas), fisiológico o social (destete) (Guevara et al., 2022). El estrés es asociado con una disminución de los parámetros de rendimiento, como ingesta de alimento, aumento de peso diario y peso corporal, en verracos se ha dicho que disminuye el volumen de eyaculado y la calidad del semen, en hembras se reduce el número de lechones por camada, causa la presencia de celos irregulares, intervalos más largos entre el destete y el celo, así como tasas de fertilidad bajas, lo que disminuye la productividad e impacta directamente en la rentabilidad económica (Papatsiros et al., 2024).

Existe un acuerdo de que el transporte es un evento que incluye factores de estrés psicológico y físico multifacéticos, que generan efectos perjudiciales en la salud y el bienestar de los animales de granja, los animales se ven expuestos a un sinnúmero de factores estresantes, como la separación del entorno familiar, la carga y descarga de camiones, el ayuno, cambios ambientales, ruido, vibraciones, generando un aumento en los niveles de cortisol, frecuencia cardíaca y la supresión de la respuesta inmunitaria son algunos efectos fisiológicos que no solo afectan el bienestar animal, sino que tienen un impacto negativo en la calidad de la carne, al aumentar la incidencia de carne pálida, suave y exudativa (PSE) (Whirthgen et al., 2017).

La identificación del estrés en la granja es un requisito previo para instaurar estrategias con el objetivo de aumentar el bienestar animal (Prims et al., 2024), no existe un procedimiento para determinar con precisión el grado de bienestar y el

nivel de estrés de un animal, sin embargo., existen hormonas, cambios fisiológicos y comportamentales que son indicadores que reflejan las respuestas fisiopatológicas que se desencadenan en un organismo cuando sufre de estrés y que permiten a través de su cuantificación establecer cuanto estrés experimentó un individuo en una determinada situación. Estudios previos han recopilado datos sobre biomarcadores evaluados para establecer el grado de estrés en animales de producción; sin embargo, es necesario efectuar una compilación de indicadores hormonales, fisiológicos y comportamentales evaluados actualmente en la especie porcina, con el objetivo de implementar estrategias, ante la creciente demanda pública de que se respete el bienestar animal en las prácticas de producción, lo que obliga a identificar y validar biomarcadores objetivos para un seguimiento normalizado de la salud y el bienestar de los cerdos (Martínez-Miro et al.,2016). Por lo anterior el objetivo del presente trabajo fue analizar y describir los principales biomarcadores fisiológicos, hormonales y conductuales utilizados para la evaluación del estrés en la especie porcina.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

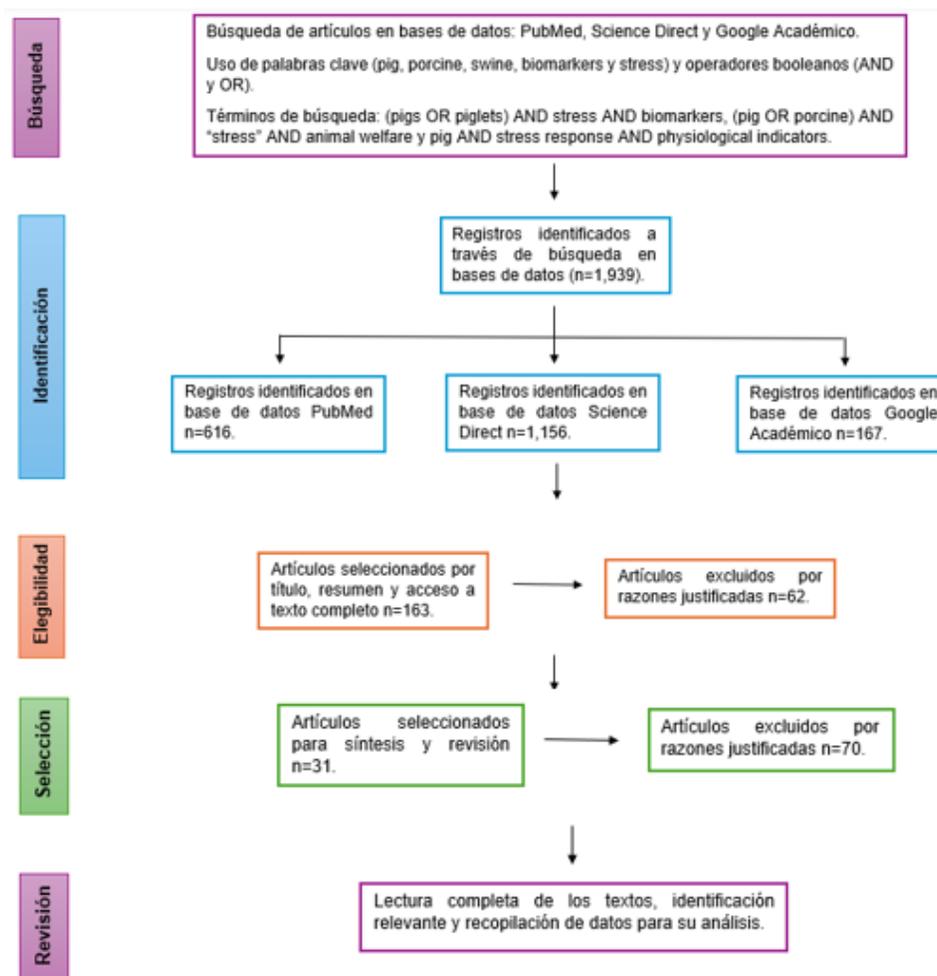
La recopilación de información científica se realizó mediante el empleo de tres bases de datos, PubMed, ScienceDirect y Google Académico, se ingresaron palabras clave y se utilizaron los operadores booleanos AND y OR, los términos de búsqueda fueron los siguientes: (pigs OR piglets) AND stress AND biomarkers, (pig OR porcine) AND “stress” AND animal welfare y pig AND stress response AND physiological indicators.

La selección de artículos se basó en estudios sobre cerdos de ambos sexos, en cualquier etapa productiva, que incluyeran al menos un biomarcador fisiológico, hormonal o comportamental, fueran cuantificables, publicados en inglés entre 2015 y 2025, de acceso completo y con títulos que incluyeran al menos dos palabras clave como stress, biomarkers, pig, porcine o swine. Se excluyeron estudios en otras especies, sin biomarcadores, sin acceso completo, fuera del rango temporal, en otros idiomas o de tipo revisión.

La revisión fue realizada por un único evaluador, siguiendo un proceso sistemático. Se analizaron títulos y resúmenes, excluyendo duplicados (12 identificados) y artículos no pertinentes. Los estudios seleccionados fueron revisados completamente entre el 1 de abril y el 1 de mayo de 2025, extrayendo información clave. La gestión de referencias se hizo manualmente según el estilo APA (7ª edición), sin software especializado.

## RESULTADOS

Durante el proceso de búsqueda en las bases de datos se identificó un total de 1,939 artículos, de los cuales 101 publicaciones se seleccionaron al cumplir con los criterios de inclusión y exclusión, de estos, se identificaron 12 artículos duplicados y únicamente 31 artículos fueron revisados en su totalidad (Figura 1).



**Figura 1.** Diagrama de flujo de selección de estudios (Elaboración propia).

**Figure 1.** Study selection flowchart (Own elaboration).

Los estudios seleccionados incluyeron unidades experimentales en distintas etapas fisiológicas, de acuerdo con la clasificación establecida por los autores, los cerdos fueron agrupados en cuatro categorías: lechones, cerdos en crecimiento, cerdos en fase de engorde y cerdos de abasto, 13% de los estudios (4) se enfocaron en cerdos de engorde, el resto de los artículos mostró un interés equilibrado en las demás etapas fisiológicas, con nueve estudios (29%) en cada una de las siguientes categorías: lechones, cerdos en crecimiento y cerdos de abasto.

De los 31 artículos revisados, el 74.1% (23) utilizaron cerdos de ambos sexos, mientras que el 12.9% se centraron en exclusivamente hembras y el 12.9% restante en machos. se identificaron 11 tipos diferentes de estrés evaluados los más estudiados fueron el estrés por transporte (7 artículos, 22.5%) y el estrés por manejo (7 artículos 22.5%), seguidos por el estrés por destete (6 artículos, 19.3%). Otros tipos de estrés que fueron evaluados con menor frecuencia corresponden al estrés por calor (2 artículos, 6.4%), confinamiento (2 artículo, 6.4%), grado de estrés al proveer enriquecimiento ambiental (2 artículo, 6.4%), estrés por mordedura de cola (1 artículo, 3.2%), por enfermedad (1 artículo, 3.2%), inmunocastración (1 artículo, 3.2%), sacrificio (1 artículo, 3.2%) y cambio de vivienda (1 artículo, 3.2%).

Un total de 42 biomarcadores fueron empleados para evaluar el grado de estrés en los estudios analizados, entre los más frecuentemente evaluados se encuentra el cortisol, cuantificado en 27 artículos, seguido de glucosa (8 artículos), lactato (6 artículos), y cambios en el comportamiento (5 artículos), también se destaca la haptoglobina y alfa amilasa, ambas cuantificadas en 5 artículos. A continuación, el Cuadro 1 clasifica estos biomarcadores en tres categorías: hormonales, fisiológicos y conductuales.

Para la cuantificación de cortisol, las muestras biológicas más utilizadas fueron sangre (19 artículos, 61.3%) y saliva (16 artículos, 51.6%), es importante señalar que en cinco de estos estudios se optó por emplear ambas muestras de manera complementaria, así mismo, en otros cinco artículos se recurrió al análisis de cortisol en pelo. En cuanto a los métodos utilizados para la recolección de muestras de sangre, se identificaron dos: la obtención durante la etapa de desangrado durante la matanza (11 artículos), y la venopunción en animales vivos (8 artículos). Considerando el tipo de procedimiento, los métodos de recolección de muestras

biológicas pueden clasificarse en invasivos y no invasivos, en los artículos analizados, se observó una mayor preferencia por estrategias no invasivas, como el uso de saliva, recolectada al colocar un algodón en la boca del cerdo para que lo muerda e impregne de saliva, el rasurado para obtener muestras de pelo, y la obtención de sangre durante la etapa del desangrado, si bien esta última puede considerarse como invasiva, es un método alternativo que no genera estrés adicional en animales ya destinados a la matanza. Para ofrecer una visión general de los biomarcadores más utilizados, el Cuadro 2 presenta los indicadores empleados en los cinco artículos más recientes, publicados entre 2023 y 2024.

**Cuadro 1.** Biomarcadores evaluados para determinar grado de estrés en cerdos.

**Table 1.** Biomarkers evaluated to determine the degree of stress in pigs.

<b>Biomarcador hormonal</b>	<b>Biomarcador fisiológico</b>	<b>Biomarcador conductual</b>
Cortisol	Glucosa	Vocalizaciones
Hormona adrenocorticotrópica	Lactato	Comportamientos
Insulina	Creatina quinasa	Cantidad de lesiones
Glucagón	Lactato deshidrogenasa	Prueba de miedo
Oxitocina	AST	
Prolactina	ALT	
Adrenalina	Haptoglobina	
Noradrenalina	Proteína C reactiva	
Corticosterona	Albúmina	
Proteínas de unión al IGF	Temperatura corporal	
Factor de necrosis	Temperatura del tracto gastrointestinal	
Proteínas de unión a lipopolisacáridos	Recuento de células sanguíneas	
	Ácidos grasos no esterificados	
	Nitrógeno ureico	
	Frecuencia respiratoria	
	Frecuencia cardíaca	
	Química sanguínea	
	Hemograma	
	Adenosina desaminasa	
	Alfa amilasa	
	Esterasa total	
	Butirilcolinesterasa	
	Cromagranina A	
	Amiloide A sérico	



## Cuadro 1. Biomarcadores evaluados para determinar grado de estrés en cerdos.

**Table 1.** Biomarkers evaluated to determine the degree of stress in pigs.

Objetivo del estudio	Biomarcadores	Muestra biológica	Etapas productiva	Sexo <sup>1</sup>	Resultados	Autores
Demostrar que el contacto humano positivo genera resistencia al estrés en lechones destetados.	Comportamiento. Cortisol. Haptoglobina. Inmunoglobulina A.	Sangre por venopunción.	Lechones de 22 días de edad.	M y H	Los cerdos manejados positivamente durante la lactancia tuvieron mayor resistencia 0 -120 minutos después de destete.	Tomás et al. (2024)
Estudiar cómo dos condiciones diferentes de manipulación durante la carga hasta el sacrificio afecta en los niveles de biomarcadores salivales.	Cortisol. Oxitocina. Haptoglobina. Creatina quinasa.	Saliva.	Cerdos de engorde de 5-6 meses de edad.	M y H	Se observan cambios en todos los biomarcadores salivales para diferentes condiciones de manipulación.	Botía et al. (2024)
Evaluar el nivel de estrés y la calidad de la carne en cerdos no heridos y no ambulatorios (NANI) en el matadero.	Temperatura corporal. Hemograma. Química sanguínea. Albúmina. Glucosa. Lactato. deshidrogenasa. Lactato.	Sangre durante el desangrado.	Cerdos para abasto.	M	Se identificó un aumento de la temperatura y cambios más significativos en el hemograma de cerdos NANI que en cerdos no NANI, hubo una respuesta más intensa por restaurar la homeostasis y por tanto mayor anomalías en la carne.	Ogawa et al. (2024)
Evaluar el efecto de un híbrido de cerdo combinado con una estrategia de destete "specific-free-free" (SSF) sobre la resistencia al estrés post-destete.	Cortisol. Presencia de lesiones. Comportamiento.	Saliva.	Lechones.	M y H	El destete SSF redujo el comportamiento agresivo, presencia de lesiones, en cerdos híbridos la presencia de comportamiento anormal aumentó con el tiempo, se identificó concentraciones de cortisol más bajas en el destete SSF.	Winters et al. (2023)
Evaluar los efectos del tratamiento de acupuntura del oído sobre el estrés del transporte en cerdos.	Cortisol. Adrenalina. Noradrenalina. Glucosa. Amiloide A. Ácidos grasos no esterificados.	Sangre por venopunción.	Cerdos en crecimiento.	M	El tratamiento con acupuntura suprime la actividad del eje hipotálamo-hipófisis-adrenal (HPA), reduciendo el estrés del transporte, pero no suprime la actividad catecolaminérgica.	Ijiri et al. (2023)

<sup>1</sup> Sexo: M=Macho, H= hembra

## DISCUSIÓN

Se puede inferir que la razón por la cual la mayoría de artículos se centran en evaluar el estrés en lechones y en cerdos para abasto radica en que los eventos que ocurren en estas fases están más relacionados con el estrés o bien porque son etapas clave en el rendimiento productivo, el transporte es una de las principales preocupaciones relacionadas con el bienestar animal en la producción porcina, las respuestas fisiológicas al estrés y las alteraciones conductuales que se desencadenan por el manejo (carga y descarga) y la operación del vehículo (vibraciones, velocidad) impactan significativamente en la calidad y el rendimiento de la canal (Silva et al., 2025). El destete es un evento abrupto que se realiza a una edad bastante temprana, los lechones se retiran del cuidado materno, se mezclan y se trasladan a un nuevo entorno, en donde se les ofrece un alimento sólido, esta serie de eventos provoca la activación del eje hipotálamo-hipófisis-adrenal (HPA) y, en consecuencia, un aumento agudo de los niveles de cortisol, indicativo de estrés fisiológico y psicológico, que puede ocasionar una reducción en la ingesta de alimento y ganancia de peso (Kerschaver et al., 2023). Por lo anterior, existe un interés particular en estudiar el estrés durante estas etapas, ya que son puntos determinantes del ciclo productivo, para lograr una mayor rentabilidad.

La preferencia por incluir ambos sexos radica en la intención de evaluar la respuesta al estrés de manera integral, al considerar tanto a hembras como a machos expuestos a una misma situación, además, las etapas fisiológicas en las que se realiza la evaluación suelen coincidir con fases en las que ambos sexos conviven, como es el caso de la fase de lechones, donde las camadas están conformadas por individuos de ambos sexos.

El biomarcador más cuantificado fue el cortisol, evaluado en 27 de los 31 artículos examinados, la razón, es una hormona liberada al torrente sanguíneo en condiciones de estrés, cuando es activado el eje HPA, el cortisol tiene la función junto con las catecolaminas de promover una mayor disposición de glucosa en sangre como fuente de energía para que el organismo pueda hacer frente al estrés, actualmente el cortisol es posiblemente el biomarcador más utilizado para detectar el estrés en cerdos (Cerón et al., 2022), pues es considerado un marcador representativo del estrés (Lee et al., 2023).

La detección de biomarcadores implica cierto grado de invasividad lo que puede causar reacciones de incomodidad estrés y miedo, alterando la comodidad y el comportamiento de los animales y probablemente la precisión de las mediciones, por lo tanto, existe una tendencia a utilizar saliva como muestra biológica, desplazando a la sangre. La saliva es fácil y barato de recolectarla, no compromete el bienestar animal y no se requiere de capacitación del personal para realizarlo, la muestra es recolectada de manera sencilla porque los cerdos mastican voluntariamente los dispositivos (algodón o esponja) gracias al comportamiento curiosos del cerdo, sin embargo., se ha demostrado que los análisis se ven afectados por la contaminación de la muestra (heces y tierra), de igual forma los resultados se ven influidos por el tipo de dispositivo de recolección seleccionado y se ha observado discordancia entre el cortisol salival y sérico (Ornelas et al., 2023). Otro método no invasivo es la recolección de pelo, empleado para la cuantificación de concentraciones de cortisol, no obstante, a diferencia de la saliva, este es utilizado para evaluar el estrés a largo plazo (crónico), pues el cortisol del torrente sanguíneo se incorpora al cabello por difusión pasiva desde los vasos sanguíneos de las papilas pilosas (Otten et al., 2022), por lo que se usó se limita a estudios que tengan interés en determinar la presencia de un estrés crónico.

Si bien los métodos no invasivos son opciones viables, ya que son menos estresantes para el animal y por tanto deseables desde una perspectiva de bienestar, los métodos invasivos, como la extracción de sangre mediante venopunción siguen siendo ampliamente utilizados y valorados estudios científicos por su alta precisión, costo relativamente bajo y practicidad (Guevara et al., 2022).

## CONCLUSIÓN

El cortisol se consolidó como el biomarcador más utilizado para evaluar el estrés en cerdos, ya que refleja la activación del eje HPA ante factores estresantes, su empleo fue recurrente en la gran mayoría de los artículos analizados y en todas las etapas productivas del cerdo, por lo que se posiciona como el principal indicador de estrés. La elección del tipo de biomarcador y el método de recolección depende del enfoque del investigador, ya que se condiciona por la hipótesis que pretende probar, el tipo de estrés que quiere evaluar, así como los recursos económicos disponibles.

Evaluar el estrés en cerdos es fundamental para garantizar el bienestar animal a lo largo del ciclo productivo del cerdo, conocer la variedad de biomarcadores disponibles, así como los métodos de recolección, permite a los investigadores seleccionar el indicador y el método más adecuado para su investigación, lo que facilita el desarrollo estrategias efectivas para identificar y cuantificar el nivel de estrés en diferentes contextos, lo que a su vez, permite identificar las prácticas de manejo que generan estrés en los animales, con esta información, sería posible crear alternativas de manejo que reduzcan dicho estrés y preserven el bienestar animal, lo que a su vez contribuye a optimizar la rentabilidad productiva.

## LITERATURA CITADA

- Aguilar, M. Escribano, D. Subiela, S. Miro, S. Cerón, J. Tecles, F. (2018). Changes in alpha-amylase activity, concentration and isoforms in pigs after an experimental acute stress model: an exploratory study. *BMC Veterinary Research*. 14:256. <https://doi.org/10.1186/s12917-018-1581-2>
- Arjona, M. Escribano, D. Mateo, S. Aguilar, M. Rubio, C. Tecles, F. Cerón, J. Subiela, S. (2020). Changes in oxytocin concentrations in saliva of pigs after a transport and during lairage at slaughterhouse. *Research in Veterinary Science*. 133. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2020.08.015>
- Atallah, E. Rossi, P. Filipe, J. Costa, E. Mazzola, S. Minero, M. Pecile, A. Motta, A. Barbieri, S. (2025). Assessing salivary cortisol and testosterone as non-invasive biomarkers for GnRH immunocastration efficiency in heavy pigs. *BMC Veterinary Research*. 21:253. <https://doi.org/10.1186/s12917-025-04708-w>
- Botia, M. Escribano, D. Bustillo, A. Martínez, M. Fuentes, P. Caparros, F. Gómez, J. Avellaneda, A. Cerón, J. Rubio, C, Subiela, S. Arjona, M. Tecles, F. 2024. Comparison of the Effect of Two Different Handling Conditions at Slaughter in Saliva Analytes in Pigs. *Metabolites*. 14:4. <https://doi.org/10.3390/metabo14040234>
- Bustillo, A. Aguilar, M. Rubio, C. Botia, M. Ceron, J. Arjona, M. Subiela, S. Escribano, D. Tecles, F. (2022). Evaluation of the Effect of Sampling Time on Biomarkers of Stress, Immune System, Redox Status and Other Biochemistry Analytes in Saliva of Finishing Pigs. *Animals*. 12: 16. <https://doi.org/10.3390/ani12162127>
- Casal, N. Manteca, X. Escribano, D. Cerón, J. Fabrega, E. (2017). Effect of environmental enrichment and herbal compound supplementation on physiological stress indicators (chromogranin A, cortisol and tumour necrosis factor- $\alpha$ ) in growing pigs. *Animal*. 11:7. <https://doi.org/10.1017/S1751731116002561>

- Cerón, J. Aguilar, M. Escribano, D. Miro, S. Martínez, M. Bustillo, A. Martínez, L. Rubio, C. Prieto, A. Tecles, F. (2022). Basics for the potential use of saliva to evaluate stress, inflammation, immune system, and redox homeostasis in pigs. *BMC Veterinary Research*. 28:18. 10.1186/s12917-022-03176-w
- Cobanovic, N. Stankovic, S. Dimitrijevic, M. Suvajdzic, B. Grkovic, N. Vasilev, D. Karabasil, N. 2020. Identifying Physiological Stress Biomarkers for Prediction of Pork Quality Variation. *Animals*. 10:4. <https://doi.org/10.3390/ani10040614>
- Costa, F. Costa, O. Di Castro, I. Gregory, N. Di Campos, M. Leal, G. Tavernari, F. (2019). Ease of Handling and Physiological Parameters of Stress, Carcasses, and Pork Quality of Pigs Handled in Different Group Sizes. *Animals*. 9:10. <https://doi.org/10.3390/ani9100798>
- De la Lama, G. Poza, R. Rafferty, N. Mitchel, M. Barreiro, P. Villaroel, M. (2021). Long-Distance Transport of Finisher Pigs in the Iberian Peninsula: Effects of Season on Thermal and Enthalpy Conditions, Welfare Indicators and Meat pH. *Animals*. 11:8. <https://doi.org/10.3390/ani11082410>
- Escribano, D. Lun, H. Chong, Q. Llonch, L. Manteca, X. Llonch, P. (2019). Salivary biomarkers to monitor stress due to aggression after weaning in piglets. *Research in Veterinary Science*. 123. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2019.01.014>
- Golihgtly. H. Brown, J. Bergeron, R. Zvonimir, P. Roy, R. Seddon, Y. Sullivan, T. (2021). Physiological response of weaned piglets to two transport durations observed in a Canadian commercial setting. *Journal of Animal Science*. 99:12. <https://doi.org/10.1093/jas/skab311>
- Gomis, J. Rubio, C. Conesa, C. Salaverri, J. Ceron, J. Tortosa, D. Pablo, M. (2020). Effects of Dietary Supplementation of Garlic and Oregano Essential Oil on Biomarkers of Oxidative Status, Stress and Inflammation in Postweaning Piglets. *Animals*. 10:11. <https://doi.org/10.3390/ani10112093>
- Guevara, R. Pastor, J. Manteca, X. Tedo, G. Llonch, P. 2022. Systematic review of animal-based indicators to measure thermal, social, and immune-related stress in pigs. *PLOS one*. 5:17. 10.1371/journal.pone.0266524
- Gutiérrez, M. Castañeda, F. Montoya, N. Campos, A. Tenorio, G. Velázquez, L. Rivas, C. (2024). Environmental impacts of medium-scale pig farming at technical and economic optimum production weight in Mexico. *Science of the total environment*. 174240. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174240>
- Ijiri, M. Akioka, K. Kitano, T. Miura, H. Ono, H. Terashima, R. Fujimoto, Y. Matsuo, T. Yamato, O. Kawaguchi, H. (2023). Acupuncture Treatment Improves Transport Stress in Microminipigs Through the Acupoint in Ears. *In vivo*. 37:5.
- Kerschaver, C. Turpin, D. Michiels, J. Pluske, J. (2023). Reducing Weaning Stress in Piglets by Pre-Weaning Socialization and Gradual Separation from the Sow: A Review. *Animals*. 15:13.
- Kim, K. Kim. K, Kim. K, Kim, D. Seol, K. Lee, S. Chae, B. Kim, Y. (2017). The effect of optimal space allowance on growth performance and physiological

responses of pigs at different stages of growth. *Animal*. 11:3. <https://doi.org/10.1017/S1751731116001841>

Lee, J. Kang, D. Shim, K. (2023). Effect of lairage time prior to slaughter on stress in pigs: a path analysis. *Porcine Health Management*. 9:55. <https://doi.org/10.1186/s40813-023-00350-w>

Martínez, M. Ornelas, M. Amarie, R. Manzanilla, E. Subiela, S. Tecles, F. Escribano, D. Bulnes, A. Cerón, J. Arjona, Prieta, A. (2023). Changes in salivary biomarkers of stress, inflammation, redox status, and muscle damage due to *Streptococcus suis* infection in pigs. *BMC Veterinary Research*. 19:100. <https://doi.org/10.1186/s12917-023-03650-z>

Martínez-Miro, S. Tecles, F. Ramon, M. Escribano, D. Hernández, F. Madrid, J. Orengo, J. Subiela, S. Manteca, X. Cerón, J. (2016). Causes, consequences and biomarkers of stress in swine: an update. *BMC Veterinary Research*. 19:12.

Mayorga, E. Horts, E. Goetz, B. Jimenez, S. Abeyta, M. Al-Qaisi, M. Lei, S. Rhoads, R. Selsby, J. Baumgard, L. (2021). Rapamycin administration during an acute heat stress challenge in growing pigs. *Journal of Animal Science*. 5:99.

McAfee, J. Kattesh, H. Lindemann, M. Voy, B. Kojima, C. Sanchez, N. Carroll, J. Gillespies, B. (2019). Saxtonm A. Effect of omega-3 polyunsaturated fatty acid (n-3 PUFA) supplementation to lactating sows on growth and indicators of stress in the postweaned pig. *Journal of Animal Science*. 23:97.

Nicolazo, T. Merlot, E. Costa, C. Clourad, C. Lebret, A. Chevance, C. Normand, V. Jeusselin, J. Boulbria, G. (2024). Exposure to natural stray currents of low voltage affects the behaviour and some stress biomarkers of weaned piglets. *Livestock Science*. 105555. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2024.105555>

Ogawa, N. Silva, G. Borbon, A. Flaibann, K. Silva, C. Rocha, L. Bridi, A. (2024). Animal Welfare Assessment and Meat Quality through Assessment of Stress Biomarkers in Fattening Pigs with and without Visible Damage during Slaughter. *Animals*. 14:5. <https://doi.org/10.3390/ani14050700>

Ornelas, M. Martinez, M. Martinez, L. Ceron, J. Bustillo, A. Rubio, C. Manzanilla, E. (2023). Analysing biomarkers in oral fluid from pigs: influence of collection strategy and age of the pig. *Porcine Health Manag*. 30:9. [10.1186/s40813-023-00333-x](https://doi.org/10.1186/s40813-023-00333-x)

Otten, W. Heimburge, S. Tuchscherer, A. Kanitz, E. (2022). The age of hair matters – the incorporation of cortisol by external contamination is enhanced in distal hair segments of pigs and cattle. *Animal*. 4. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100495>

Papatsiros, V. Maragkakis, G. Papakonstantinpu, G. (2024). Stress Biomarkers in Pigs: Current Insights and Clinical Application. *Veterinary Science*. 10:11.

Pastorelli, G. Serra, V. Turin, L. Redaelli, V. Luzi, F. Barbieri, S. (2022). Tranquillizing Effect of *Passiflora incarnata* Extract: Outcome on Behavioral and Physiological Indicators in Weaning Pigs with Intact Tails. *Animals*. 12. <https://doi.org/10.3390/ani12020203>

- Prims, S. Ginneken, C. Ostade, X. Casteleyn, C. (2024). Welfare Assessment in Pigs Using the Salivary Proteome. *Animals*. 5:14.
- Ramell, A. Arroyo, L. Peña. R. Pato, R. Saco, Y. Fraile, L. Bendixen, E. Bassols, A. (2016). Biochemical and proteomic analyses of the physiological response induced by individual housing in gilts provide new potential stress markers. *BMC Veterinary Research*. 25:12.
- Rey, A. Cara, A. Calvo, L. Puig, P. Hechavarria, T. (2002). Changes in Plasma Fatty Acids, Free Amino Acids, Antioxidant Defense, and Physiological Stress by Oleuropein Supplementation in Pigs Prior to Slaughter. *Antioxidants*. 9:1. <https://doi.org/10.3390/antiox9010056>
- Silva, A. Machado, N. Filho, J. Gadelha, C. Marques, J. Leite, P. Sousa, C. Correa.W. Araujo, M. Sousa, M. Mendes, T. Silva, M. (2025). Effect of Transportation Time on Weaner Pigs' Welfare and Productive Losses in a Semi-Arid Region. *Veterinary Sciences*. 1:12.
- Sommavilla, R. Faucitano, L. Gonyou, H. Seddon, Y. Bergeron, R. Widowski, T. Crowe, T. Connor, L. Scheeren, M. Goumon, S. Brown, J. (2017). Season, Transport Duration and Trailer Compartment Effects on Blood Stress Indicators in Pigs: Relationship to Environmental, Behavioral and Other Physiological Factors, and Pork Quality Traits. *Animals*. 7:8. <https://doi.org/10.3390/ani7020008>
- Tomas, K. Savaglia, J. Plush, K. D'Souza, D. Butler, K. Hemsworth, P. Tilbrook, A. 2024. Maternal contact and positive human interactions during lactation impact on pig stress resilience post-weaning. *Applied Animal Behaviour Science*. 106326. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2024.106326>
- Valent, D. Arroyo, L. Peña, R. Yu, K. Carreras, R. Mainau, E. Velarde, A. Bassols, A. (2017). Effects on pig immunophysiology, PBMC proteome and brain neurotransmitters caused by group mixing stress and human animal relationship. *PLOS one*. 12:5.
- Valrso, A. Martínez, M. Arjona, M. Cerón, J. (2022). Novel saliva biomarkers for stress and infection in pigs: Changes in oxytocin and procalcitonin in pigs with tail-biting lesions. *Research in Veterinary Science*. 153. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2022.10.013>
- Wiechers, D. Brunner, S. Herbrandt, S. Kemper, N. Fels, M. (2021). Analysis of Hair Cortisol as an Indicator of Chronic Stress in Pigs in Two Different Farrowing Systems. *Frontiers in Veterinary Science*. 8. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.605078>
- Winters, J. Kjeldager, C. Foldager, L. Tecles, F. Pedersen, L. (2023). Stress responses in pigs postweaning: Effect of heavier hybrid and weaning intact litters. *Applied Animal Behaviour Science*. 106106. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2023.106106>
- Wirthgen, E. Kunze, M. Goumon, S. Walz, C. Hoflich, C. Spitsck, M. Brenmoehl, J. Kanitz, E. Stabenow, B. Faucitano, L. 2017. Interference of stress with the somatotrophic axis in pigs – lights on new biomarkers. *Science Reports*. 21:7. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11521-5>.