

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISION REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS MEDICO VETERINARIAS



El estrés calórico y su efecto en el verraco

Por:

Jesús Francisco Holguín Ortiz

MONOGRAFÍA

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Torreón, Coahuila, México
Diciembre 2023

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISION REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS MEDICO VETERINARIO

El estrés calórico y su efecto en el verraco

Por:

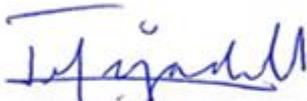
Jesús Francisco Holguín Ortiz

MONOGRAFÍA

Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito para
obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Aprobado por:



Dra. Luz María Tejada Ugarte
Presidente



MC. Aracely Zuñiga Serrano
Vocal



MC. José Luis Francisco Sandoval Elias
Vocal



MC. Luis Roberto Zúñiga Gaxiola
Vocal suplente

MC. José Luis Francisco Sandoval Elias

Coordinador de la División Regional de Ciencia Animal



Torreón, Coahuila, México
Diciembre 2023

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISION REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS MEDICO VETERINARIO

El estrés calórico y su efecto en el verraco

Por:

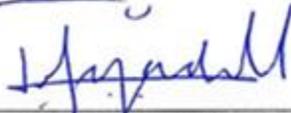
Jesús Francisco Holguín Ortiz

MONOGRAFÍA

Presentado como requisito parcial para obtener el título de

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

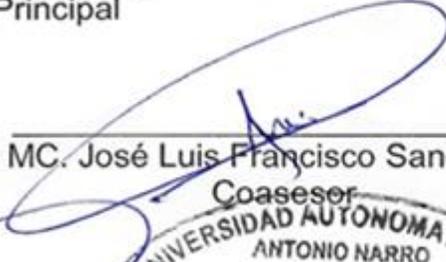
Aprobada por el comité de asesoría:



Dra. Luz María Tejada Ugarte
Asesor Principal



MC. Aracely Zúñiga Serrano
Coasesor



MC. José Luis Francisco Sandoval Elías
Coasesor



M C. José Luis Francisco Sandoval Elías
Coordinador de la División Regional
de Ciencia Animal



Torreón, Coahuila, México
Diciembre 2023

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecerme e iluminar mi camino, por no dejarme rendir y siempre escucharme, por haber puesto las personas correctas para ser mi soporte y compañía durante el periodo de mi profesión.

A MI MAMÁ

La Sra. Velia Patricia Holguín Ortiz, gracias por ser mi apoyo incondicional en el trayecto de mi carrera; por confiar en mí, creer y ayudarme a realizar mi sueño, en concluir mis estudios, por nunca dejarme solo y estar apoyándome cuando más lo necesitaba, ESTO ES POR TI.

Mamá: Gracias por nunca dudar de mí, por siempre dar todo de ti para poder lograr y realizar esta meta, poder sentir tu apoyo aún a distancia por tenerte siempre cerca, sin ti esto no sería posible

A MI HERMANA

Dulce Alicia Holguín Ortiz Gracias por siempre ser mi compañera de vida, y siempre brindarme tu apoyo en mis decisiones

A MIS DOCENTES

Gracias por brindarme sus conocimientos pude concluir con éxito este gran logro en mi vida, por formarme como un profesionalista y tener mi título como Médico

Veterinario Zootecnista. A la Universidad por brindarme sus instalaciones y ser parte de mi gran formación.

A MI FAMILIA

Gracias por apoyarme en cada decisión y proyecto, gracias familia por creer en mí, enseñarme a valorar todo lo que tengo, porque han fomentado en mí el deseo de superación y el triunfo de la vida, espero contar siempre con su valioso e incondicional apoyo.

En conclusión, quiero agradecer a todas las personas que han contribuido de alguna forma en la realización de mi formación como Médico Veterinario Zootecnista.

DEDICATORIA

A mi mamá, hermana y familia, especialmente a mi mama que sin ella no lo hubiera logrado, su bendición a diario a lo largo de mi vida, por eso le doy mi trabajo en ofrenda, por su paciencia amor, en general se lo dedico a todas las personas que estuvieron a mi lado apoyándome y dándome esa fuerza para lograr mi objetivo.

INDICE

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	iii
INDICE	iv
3.INDICE DE FIGURAS	v
4.RESUMEN	vi
5.INTRODUCCION	vi
6. ESTRÉS CALORICO Y SU EFECTO EN EL VERRACO	2
6.1 El estrés calórico en el verraco	5
6.2 Efecto del estrés calórico sobre la espermatogénesis del verraco	6
6.3 Estrés oxidativo y su efecto en la fertilidad.	7
6.4 Efecto del estrés calórico sobre la fertilidad del verraco	8
6.5 Importancia de implementar alternativas para disminuir los efectos del estrés calórico	11
7. CONCLUSIONES	13
8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	14

3.INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Récord de temperatura en una importante porqueriza de Australia (1970-2020) (Huynh et al., 2005).....	5
Figura 2 impactos asociados a las condiciones estivales en la producción porcina. (Liu, F. et al. 2021).....	7
Figura 3 fallas reproductivas en cerdas gestantes significativamente. (Liu, F. et al. 2021).....	9
Figura 4 Volúmenes de compra de porcino fresco en Australia entre 2015 y 2019. (Liu, F. et al. 2021).....	11

4.RESUMEN

Uno de los principales problemas en la producción porcina afectando directa o indirecta mente al animal es el estrés calórico el cual ocasiona una cantidad de problemas tanto a nivel digestivo como reproductivo, la producción porcina a lo largo de los años se a encontrado en una creciente de mercado a nivel mundial tanto en la unión europea como en algunas otras partes del mundo, esto beneficiando a la economía mundial. El bien estar animal nos beneficia en las explotaciones para así sacar el mayor rendimiento de los cerdos ya que se presentan algunos problemas en los cuales existen perdidas significativas a la explotación, Es por eso que es importante contar con las instalaciones adecuadas, herramientas, personal, etc. La presente investigación nos habla de los problemas que puedan surgir a nivel reproductivo en el verraco cuando se somete a un nivel de estrés elevado ya sea por interacción del ser humano o del medio ambiente. La exposición de los verracos a altas temperaturas puede tener efectos negativos a nivel testicular disminuyendo la calidad del semen, Además de esta situación, se puede observar una disminución en la libido y un gran numero de problemas a demás de los antes mencionados. Existen varias alternativas que nos pueden ayudar a mantener la temperatura adecuada para nuestros verracos evitando grandes problemas, al contar con una ventilación adecuada en el establecimiento existe un meyor fludo de aire el cual mantendrá la temperatura baja en la nave así como puede ser un establecimiento con clima controlado manteniendo la misma temperatura las 24 hrs del dia esto puede beneficiar en las explotaciones porcinas que padecen con gran frecuencia con este importante problema.

Palabras clave: Fertilidad, Estrés oxidativo, Espermatogénesis, Producción porcina, Reproducción

5.INTRODUCCION

La producción porcina es importante contribuyente en la economía mundial, pero principalmente en la Unión Europea (UE). En 2018, el sector de la carne de porcino aportó el 9 % de la producción pecuaria total de la UE y el 35 % del total de la UE producción de carne. La UE está el segundo mayor productor mundial de carne de cerdo después de China y el mayor exportador de carne de cerdo y productos porcinos. En el futuro, un gran desafío al que se enfrentará el sector de producción porcina para reducir el impacto negativo del medio ambiente y su efecto en la producción animal. Uno más, al poder satisfacer necesidades de bienestar animal y la alta demanda de alimento mundial bajo un esquema rentable para el sector bajo los efectos directos y las consecuencias indirectas del calentamiento global.

En comparación con los rumiantes, los cerdos han recibido mucha menos atención en lo que respecta a los impactos del cambio climático (Escarcha et al., 2018; Mikovits et al., 2019). Esto probablemente se deba a que se considera que los rumiantes son más vulnerables a las condiciones medioambientales climáticas (directa o indirectamente), mientras que la mayoría los cerdos originarios de latitudes medias se alojan en instalaciones cerradas donde la temperatura está, en teoría, bien controlada. Los alojamientos para cerdos están predominantemente equipados con sistemas de ventilación mecánica, sin dispositivos de tratamiento de aire dedicados para proporcionar alivio de calor (Vitt et al., 2017). Debido a lo anterior, las alternativas de ventilación por sí solas son insuficientes para la eliminación de calor de los animales durante los meses de verano, las temperaturas

del aire interior con frecuencia superan el límite superior de la zona termoneutral con efectos perjudiciales sobre el rendimiento del cerdo. Las altas temperaturas durante las olas de calor del verano y en animales en ciertas etapas fisiológicas como cerdas lactantes y cerdos en finalización son perjudiciales.

6. ESTRÉS CALORICO Y SU EFECTO EN EL VERRACO

Los cerdos son endotermos y tienen que mantener una temperatura corporal central relativamente constante en diferentes condiciones climáticas. El estrés por calor es causado por una acumulación de energía en el cuerpo debido a una falta de equilibrio entre la producción y pérdida de calor. En el área de temperatura termoneutral, la termogénesis (HP) generalmente se divide en tres componentes: (i) HP en estado de ayuno, (ii) HP asociada con la actividad física y (iii) HP asociada con el consumo de alimentos y sus efectos de HP. Como ejemplo de efectos metabólicos (llamado efecto térmico de los alimentos) tenemos que un cerdo con un peso de crecimiento de 60kg, estos tres componentes representan aproximadamente el 60%, 15% y 25% respectivamente del total de HP (Le Bellego *et al.*, 1999). El HP en ayunas es una función de la composición química del animal (que implica el peso relativo de las partes del cuerpo metabólicamente activas, como las vísceras frente a la carne magra) (van Milgen *et al.*, 1998).

El calor se puede perder del cuerpo por dos procesos físicos: pérdida de calor latente y sensible. El tipo de calor sensible se pierde o gana por radiación, conducción y convección, esto dependerá del gradiente de temperatura entre la superficie del físico del animal y su entorno. En los cerdos, el calor latente se pierde principalmente por la evaporación del agua del tracto respiratorio durante el jadeo.

Los cerdos tienen pocas glándulas sudoríparas en actividad (Renaudeau et al., 2006). Por lo anterior, la capacidad de pérdida de calor por evaporación resulta ser limitada y no eficiente para esta especie. Por ello, son una especie vulnerable a temperaturas altas, específicamente cuando el animal no cuenta con un alojamiento adecuado con acceso a revolcaderos o dispositivos de baño.

El estrés por calor térmico (HS) es clasificado en dos categorías principales: crónico y agudo. El crónico se manifiesta cuando existe temperatura ambiente elevada durante semanas que aparentemente puede favorecer la aclimatación total o parcial al ambiente. Hay muchas manifestaciones fisiológicas de HS crónico, (Baumgard y Rhoads, 2013). Cuando la temperatura ambiental sobrepasa el límite superior del área termoneutral, comienza a aumentar la temperatura corporal por la discapacidad fisiológica de la especie para controlar el exceso de temperatura. Existe una baja en la cantidad de consumo de alimento, debido al proceso de adaptación para la limitación de HP metabólica. Esta restricción de ingesta de nutrientes da como consecuencia una disminución en el rendimiento de la producción, la salud y el bienestar, lo que será más marcado si persisten las altas temperaturas. (Nienaber et al., 1999); para los vientres en periodo de lactancia hay reducción en la producción de leche (Messias de Bragança et al., 1998; Vilas Boas Ribeiro et al., 2018).

El umbral de temperatura en la cual comienza la disminución del rendimiento depende de las características propias como por ejemplo el genotipo o la etapa fisiológica del animal; pero se determina en relación a las condiciones proporcionadas al animal como el alojamiento, crianza, instalaciones, y factores

ambientales como temperatura y humedad (Renaudeau et al., 2012). Durante el periodo de preñez pueden existir cambios en la capacidad de la crianza resultante para manifestar sus atributos genéticos (Johnson y Baumgard, 2018). Específicamente, el estrés por calor en el periodo antes del nacimiento modifica el reparto de energía de la deposición magra y grasa, lo que se refleja en canales más gordas en el beneficio (Johnson et al., 2015; Serviento et al., 2020).

El agudo se caracteriza por una exposición a la temperatura ambiente anormal en un período de tiempo corto, es decir, en verano durante las olas de calor. Es así como se detecta HS aguda.

Durante la primera exposición de 24–48 h a HS, respuestas primarias observadas en cerdos incluye una reducción en la ingesta de alimento y una incapacidad profunda para perder calor por medio de funciones cardiovasculares que promueven la vasodilatación periférica (Collin et al., 2001; Renaudeau et al., 2010). Al disminuir el suministro de nutrientes y oxígeno modifica la conformación intestinal, como consecuencia hay deterioro de la absorción de nutrientes e inflamación de por lo menos tres a seis días después de exposición al HS agudo (Abuajamieh et al., 2018). La ausencia de compensación el consumo de alimento durante la recuperación provoca crecimiento retardado y pérdidas económicas (Renaudeau, 2020).

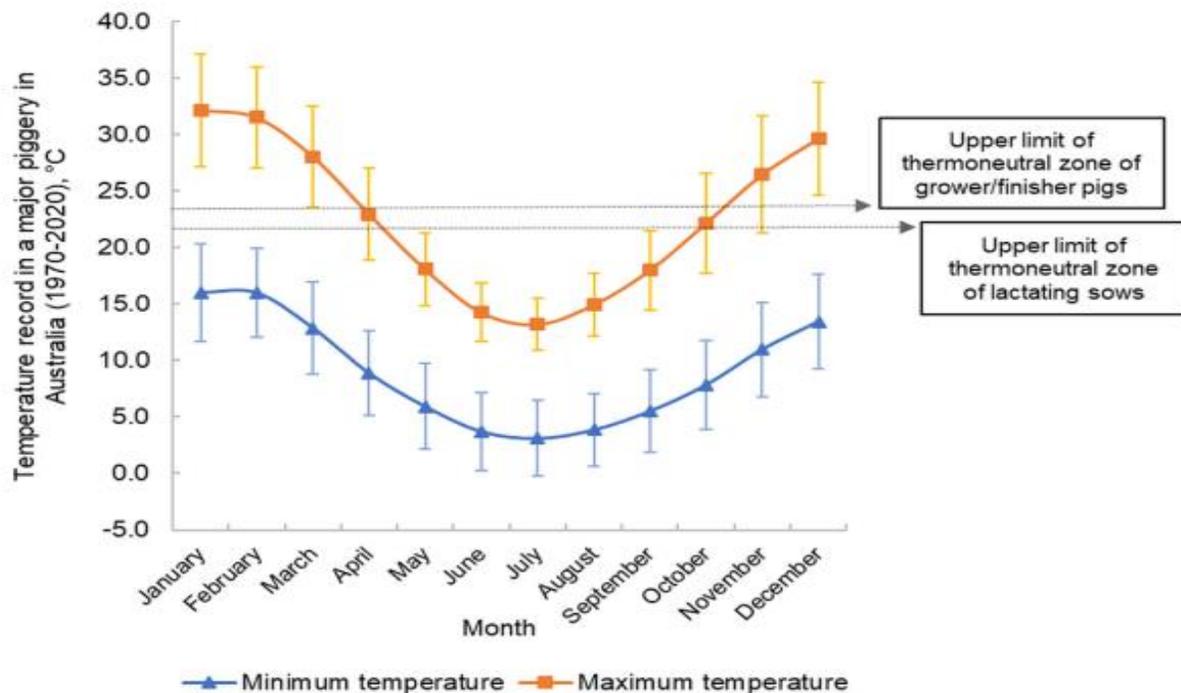


Figura 1 Récord de temperatura en una importante porqueriza de Australia (1970-2020) (Huynh et al., 2005)

6.1 El estrés calórico en el verraco

Es el incremento en la temperatura corporal, consecuencia de la exposición a temperaturas ambientales extremas sobrepasando el rango de temperatura fisiológica de los verracos (Sui et al., 2022). Algunas causas de elevación de temperatura ambiental más comunes en cerdos son el confinamiento y hacinamiento.

El estrés por calor (EC) en el verraco compromete parámetros de crecimiento y reproductivos. El jadeo y la inapetencia son los principales signos (Servanto et al., 2023).

6.2 Efecto del estrés calórico sobre la espermatogénesis del verraco

Durante la espermatogénesis, las espermatogonias, los espermatocitos y las células germinales en las que residen las espermatidas experimentan procesos complejos de proliferación y maduración, que finalmente producen espermatozoides funcionales (Roosen-Runge, 1977). Este proceso ocurre en el epitelio seminífero, una estructura compleja compuesta por 4 a 8 capas de células germinales y células de soporte que se extienden radialmente entre la membrana basal del túbulo seminífero y la luz. El proceso de diferenciación madurativa comienza en las partes más periféricas de los túbulos seminíferos y culmina en la luz (Caires *et al.*, 2008).

La exposición a altas temperaturas altera la espermatogénesis, provocando un aumento de la temperatura testicular, perjudicando así la capacidad del sistema termorregulador, lo que resulta en una reducción de la calidad del semen en cerdos, toros, ratones y humanos (Yin *et al.*, 1997; Paul *et al.*, 2008; Morell J.M.2020); lo anterior debido a que las células Sertoli se ven afectadas por estrés calórico, dichas células sufrirán muerte por apoptosis (Espinosa-Cervantes y Córdova-Izquierdo, A. 2018).

Investigaciones recientes aportan que el estrés calórico en el escroto de algunas especies promueve el estrés oxidativo causando la destrucción de células germinales (Li *et al.* 2013).

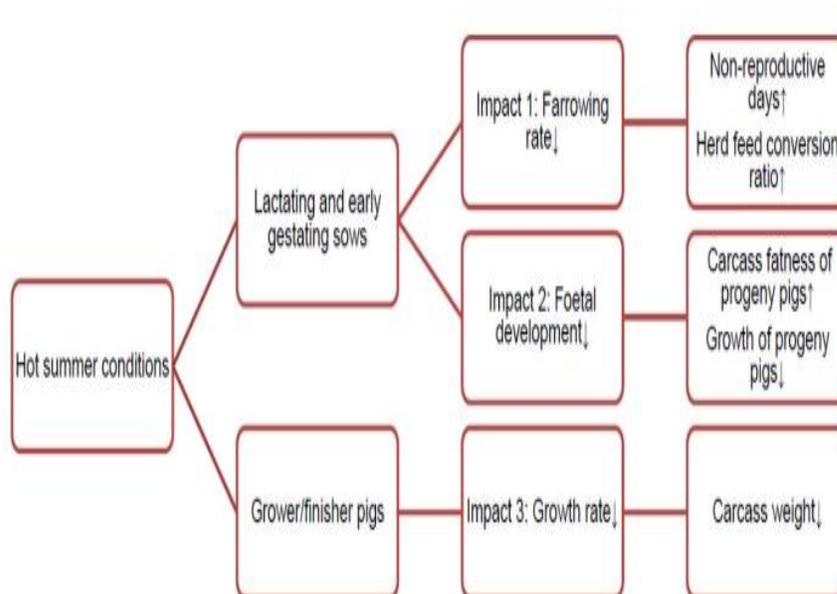


Figura 2 impactos asociados a las condiciones estivales en la producción porcina. (Liu, F. et al. 2021)

6.3 Estrés oxidativo y su efecto en la fertilidad.

El estrés oxidativo puede provocar infertilidad por medio de dos mecanismos: en primer término, los lípidos y las proteínas de la membrana del espermatozoide se dañan, lo que reduce la motilidad de los espermatozoides y su capacidad para fusionarse con los ovocitos; en segundo término, daña el contenido genético (ADN) de los espermatozoides, lo que ralentiza la motilidad temprana de los espermatozoides. desarrollo embrionario, aumenta la incidencia de abortos espontáneos y reduce la fertilidad del ganado. (Aitken et al. 1998; Aitken y De Luliis, 2010; Tremellen, 2008).

El estrés por calor provoca una disminución inicial en las concentraciones de testosterona circulante que dura dos semanas, pero las concentraciones se recuperan (Hansen, 2009), posiblemente debido a efectos negativos sobre la secreción de esteroides adrenocorticales (Juniewicz & Johnson, 1981).

La eficiencia espermogénica se reduce aproximadamente en un 50% en verracos estresados que producen grandes cantidades de esperma anormal.

Otros estudios han demostrado que la motilidad masal en verracos expuestos al estrés calórico se reduce hasta un 65.8% cuando son expuestos a temperaturas por encima de 34.5 C° durante 8 horas, mientras que los cerdos sin exposición exhiben una motilidad cercana al 84%.

Los factores medioambientales como la temperatura ambiental o el clima influyen en gran parte de las características seminales. Las temperaturas más elevadas en determinadas épocas del año pueden incidir negativamente en el proceso de espermatogénesis en cerdos, situación también descrita en ratones, con disminución de células germinales en los testículos debido a la apoptosis de las células de Sertoli. Asimismo, las diferencias relacionadas con la estacionalidad están relacionadas con las propiedades metabólicas de los espermatozoides y la actividad de las enzimas antioxidantes en el tracto reproductivo del verraco.

6.4 Efecto del estrés calórico sobre la fertilidad del verraco

La exposición de los verracos a altas temperaturas puede afectar negativamente la producción de semen; el límite superior es aproximadamente de 29 a 30°C. Incluso la exposición a 30°C durante 3 días puede provocar el síndrome de sufrimiento testicular, que se manifiesta por una reducción del número de espermatozoides viables, una disminución de la motilidad, la aglutinación y un aumento del porcentaje de células anormales, lo que reduce gravemente la fertilidad.

Los estudios han demostrado que la exposición a altas temperaturas tiene un efecto inhibitor sobre la maduración de los espermatozoides y la biosíntesis de

andrógenos a nivel testicular, lo que resulta en una disminución real de la fertilidad dentro de los 15 días; puede restablecerse hasta 60 días después de la exposición inicial (esto se debe al ciclo del espermatozoide dura 64 días). Además de esta condición, también se puede observar una disminución de la libido.

La sensibilidad de los espermatozoides a los efectos del estrés por calor puede deberse a que la meiosis implica cambios estructurales y bioquímicos muy significativos.

F. Liu, W. Zhao, H.H. Le et al.

Animal 16 (2022) 100349

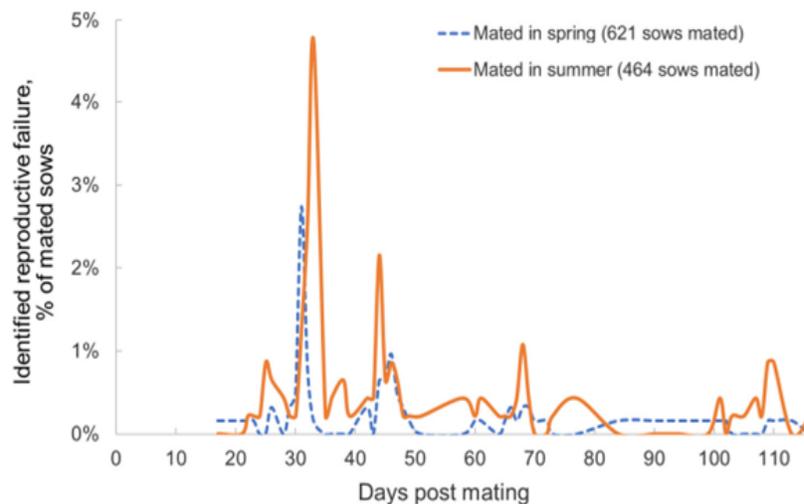


Figura 3 fallas reproductivas en cerdas gestantes significativamente. (Liu, F. et al. 2021)

La exposición prolongada a altas temperaturas tiene poco efecto sobre la calidad del semen. Los verracos pueden adaptarse rápidamente a la temperatura ambiente, lo que favorece la regulación total de la temperatura testicular, asegurando así la espermatogénesis normal (Henaó et al., 2004). La mejor temperatura ambiente para una buena eyaculación es de 20°C. A altas temperaturas superiores a 35 °C, y para

exposiciones cortas de 16 h, el volumen de semen del verraco se reduce debido a la alteración de la espermatogénesis y la capacidad fertilizadora del semen se reduce (Cameron, 1989). Los verracos jóvenes menores de un año tienen una mejor tolerancia al estrés por calor; esta resistencia se debilita gradualmente con la edad. Hung y colaboradores (2010) observaron que los verracos lograron una producción de semen más temprana y mayor durante las estaciones más calurosas. Durante la estación cálida, los verracos alcanzan su máximo rendimiento a los 33 meses de edad, lo que dura 1 mes; durante la estación fría, cuando las temperaturas son más frías, este rendimiento máximo puede durar hasta 48 meses. No hay evidencia clara de que los climas tropicales cálidos a largo plazo tengan un impacto en las características del espermatozoides entre los criadores de cerdos. El aumento de la temperatura testicular provoca cambios en determinadas fases del ciclo de las células epiteliales seminíferas, por lo que este cambio climático se limita a afectar a determinados tipos celulares, entre los que no se incluyen los espermatozoides epididimarios, lo que explica el medio necesario para la primera espermatogénesis. Eyaculación anormal después del estrés por calor (Chemineau, 1993); como lo comprobó Wettermann et al. (1976) en sus investigaciones donde los cerdos sometidos a estrés por calor prolongado mostraron un aumento de la temperatura corporal, la frecuencia respiratoria y un empeoramiento de las propiedades del semen durante las primeras semanas, pero a partir de la sexta semana, la temperatura, las propiedades respiratorias y del semen regresaron a valores casi normales, lo que indica un estrés prolongado altamente adaptable a altas temperaturas al actuar. Weitze, (2000), también encontró que las propiedades del semen se deterioraban a las pocas semanas de estrés por calor.

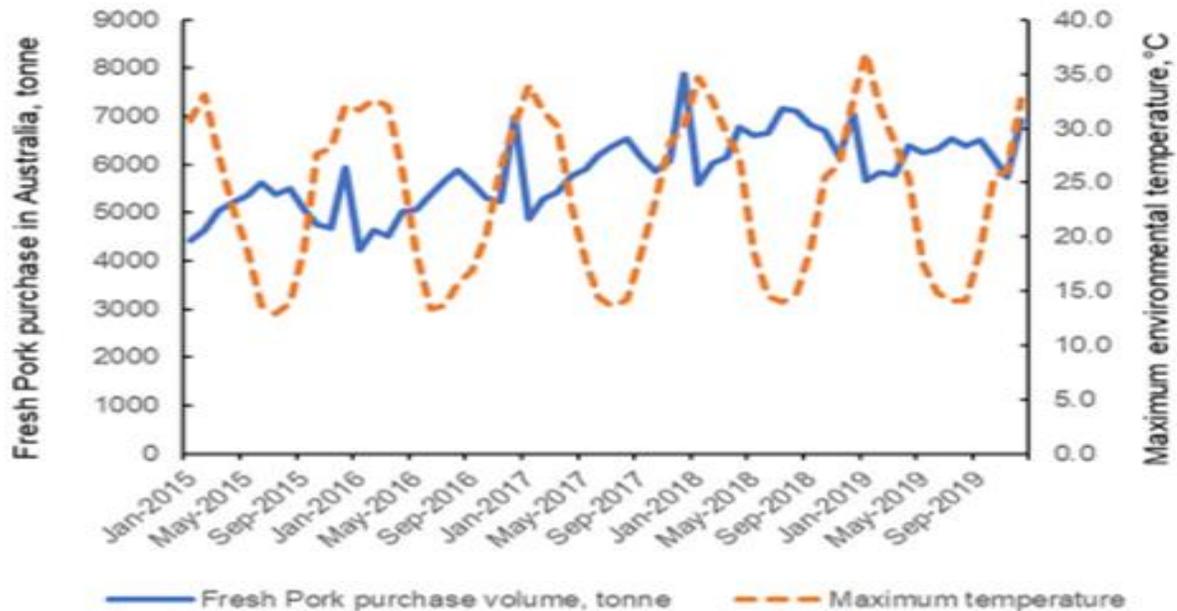


Figura 4 Volúmenes de compra de porcino fresco en Australia entre 2015 y 2019. (Liu, F. et al. 2021)

6.5 Importancia de implementar alternativas para disminuir los efectos del estrés calórico

Los verracos son más susceptibles al stress calórico comparado con otros animales domésticos, esto implica la necesidad de implementar estrategias sobre todo en zonas donde las temporadas de calor medioambiental del verano y del efecto del cambio climático que provoca que dichas temporadas sean más frecuentes e intensas en calor (Cottrell et al., 2015).

Otro enfoque es proporcionar condiciones óptimas de ventilación y alimentación para evitar el hacinamiento en los recintos manteniendo estas áreas frescas, como aireadores húmedos, rociadores, estanques y pisos de concreto.

El diseño del espacio para sementales de seis metros libres de obstáculos y piso de cemento. Se propone el uso de cama de paja, disponer de un tercio del área

enrejillado y dos tercios de piso de concreto. Sin dejar atrás el manejo adecuado de la ventilación con el manejo de las cortinas.

La climatización del área de alojamiento se puede realizar mediante sistemas de evaporación a baja presión (paredes mojadas) o sobrepresión (refrigeración), pero siempre procurando que la velocidad de inyección de aire dispersado no supere los 0,7 m/s. En climas húmedos y cálidos, se recomienda el aire acondicionado debido a su mayor efecto refrescante que los sistemas evaporativos, mientras que el aire acondicionado es más recomendado durante períodos cálidos y en climas secos.

En cuanto a la iluminación, es importante contar con buena luz natural complementada con luz artificial, la iluminación fluorescente es mejor que la incandescente ya que evita sombras y distribuye mejor la luz. La luz debe caer al nivel del verraco.

Es necesario asegurar el abastecimiento adecuado de agua dulce, especialmente durante las épocas más calurosas. Es necesario asegurarse de que el bebedero esté funcionando correctamente y, lo más importante, que tenga la presión adecuada según la etapa de producción (1.4 L/min para cerdos de hasta 30 kg, 1.7 L para cerdos de 30 a 70 kg y 2 L/min para cerdos mayores a 70 kg incluyendo reproductores).

7. CONCLUSIONES

El efecto del estrés en la reproducción del verraco depende del tiempo en el cual hay exposición al estrés por calor, la predisposición genética al estrés. El impacto del estrés en la reproducción también se ve afectado por la duración de las respuestas a diferentes estresores. El estrés crónico se refleja en la baja calidad seminal, disminución de libido y por ende la fertilidad del verraco. Es importante implementar alternativas físicas como el uso de tecnología aplicable, uso de rociadores, alternativas nutricionales, como uso de antioxidantes, y alternativas genéticas, al seleccionar animales que tengan mejor tolerancia al calor.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Abuajamieh, M., Kvidera, S.K., Mayorga, E.J., Kaiser, A., Lei, S., Seibert, J.T., Horst, E.A., Fernandez, M.V.S., Ross, J.W., Selsby, J.T., Keating, A.F., Rhoads, R.P., Baumgard, L. H., 2018. The effect of recovery from heat stress on circulating bioenergetics and inflammatory biomarkers. *Journal of Animal Science* 96, 4599–4610.

Baumgard, L.H., Rhoads, R.P., 2013. Effects of heat stress on postabsorptive metabolism and energetics. *Annual Review of Animal Biosciences* 1, 311–337.

Caires, K. C., Schmidt, J. A., Oliver, A. P., De Ávila, J., y McLean, D. J. (2008). Endocrine regulation of the establishment of spermatogenesis in pigs. *Reproduction in domestic animals*, 43, 280-287.

Calatayud-Márquez, D. y Quintero-Moreno, A. (2021). Características seminales de verracos alojados en ambiente controlado ubicado en trópico cálido. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 32(4).

Cottrell, JJ, Liu, F., Hung, AT, DiGiacomo, K., Chauhan, SS, Leury, BJ, Y Dunshea, FR (2015). Estrategias nutricionales para aliviar el estrés por calor en cerdos. *Ciencias de la producción animal*, 55 (12), 1391-1402. Velásquez Vergara, C. R. (2014). Factores que influyen en la calidad y principales características seminales del verraco.

Collin, A., Lebreton, Y., Fillaut, M., Vincent, A., Thomas, F., Herpin, P., 2001. Effects of exposure to high temperature and feeding level on regional blood flow and oxidative capacity of tissues of piglets. *Experimental Physiology* 86, 83–91.

Dominguez Otoy, R. A. (2018). Estrategias para reducir el estrés calórico y su efecto sobre características seminales en verracos jóvenes.

Einarsson, S., Brandt, Y., Lundeheim, N., Y Madej, A. (2008). Stress and its influence on reproduction in pigs: a review. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 50(1), 1-8.

Espinosa-Cervantes, R., y Córdova-Izquierdo, A. (2018). Efecto del estrés calórico y el estrés oxidativo en la función espermática de los mamíferos. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*, 12(1), 27.

Escarcha, J.F., Lassa, J.A., Zander, K.K., 2018. Livestock under climate change: a systematic review of impacts and adaptation. Climate 6. FEAC, 2020. Feed and food statistical yearbook 2020. FEAC, Bruxelles, Belgium. Fialho, F.B., Milgen, J.V., Noblet, J., Quiniou, N., 2004. Modelling the effect of heat stress on food intake, heat production and growth in pigs. *Animal Science* 79, 135–148.

Huynh, T.T.T., Aarnink, A.J.A., Verstegen, M.W.A., Gerrits, W.J.J., Heetkamp, M.J.W., Kemp, B., Canh, T.T., 2005. Effects of increasing temperatures on physiological changes in pigs at different relative humidities. *Journal of Animal Science* 83, 1385–1396.

Johnson, J.S., Baumgard, L.H., 2018. PHYSIOLOGY SYMPOSIUM: Postnatal consequences of in utero heat stress in pigs^{1,2}. *Journal of Animal Science* 97, 962–971.

Johnson, J.S., Sanz Fernandez, M.V., Patience, J.F., Ross, J.W., Gabler, N.K., Lucy, M.C., Safranski, T.J., Rhoads, R.P., Baumgard, L.H., 2015. Effects of in utero heat

stress on postnatal body composition in pigs: II. Finishing phase1. *Journal of Animal Science* 93, 82–92

Liu, F., Zhao, W., Le, H. H., Cottrell, J. J., Green, M. P., Leury, B. J., ... Y Bell, A. W. (2022). What have we learned about the effects of heat stress on the pig industry?. *animal*, 16, 100349.

Le Bellego, L., van Milgen, J., Rademacher, M., Van Cauwenberghe, S., Noblet, J., 1999. Effect of low protein diets on energy utilization in growing pigs. *Journal of Animal Science* 77 (Suppl. 1), 196–197.

Morrell, J. M. (2020). Heat stress and bull fertility. *Theriogenology*, 153, 62-67.

Mayorga, E.J., Kvidera, S.K., Horst, E.A., Al-Qaisi, M., Dickson, M.J., Seibert, J.T., Lei, S., Keating, A.F., Ross, J.W., Rhoads, R.P., Rambo, Z.J., Wilson, M.E., Baumgard, L.H., 2018. Effects of zinc amino acid complex on biomarkers of gut integrity and metabolism during and following heat stress or feed restriction in pigs. *Journal of Animal Science* 96, 4173–4185.

Messias de Bragança, M., Mounier, A.M., Prunier, A., 1998. Does feed restriction mimic the effects of increased ambient temperature in lactating sows? *Journal of Animal Science* 76, 2017–2024.

Nienaber, J.A., Hahn, G.L., Eigenberg, R.A., 1999. Quantifying livestock responses for heat stress management: a review. *International Journal of Biometeorology* 42, 183–188.

Noblet, J., Karege, C., Dubois, S., van Milgen, J., 1999. Metabolic utilization of energy and maintenance requirements in growing pigs: effects of sex and genotype. *Journal of Animal Science* 77, 1208–1216.

Nienaber, J.A., Hahn, G.L., Eigenberg, R.A., Korthals, R.L., Yen, J.T., Harris, D.L., 1997. Genetic and heat stress interaction effects on finishing swine (eds. RW Bottcher and SJ Hoff). American Society of Agricultural Engineers, Bloomington, Minnesota, pp. 1017–1023.

Pallás, R. T., Y Romero, C. A. (2006). Condiciones ambientales e instalaciones: Influencia sobre la salud del verraco y la calidad seminal. *Av. Tecnol. Porc*, 3(9), 64-75.

Paul, C., Melton, D. W., Y Saunders, P. T. (2008). Do heat stress and deficits in DNA repair pathways have a negative impact on male fertility. *MHR: Basic science of reproductive medicine*, 14(1), 1-8.

Polsky, L., and von Keyserlingk, M. A. (2017). Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *Journal of dairy science*, 100(11), 8645-8657.

Roosen-Runge, E. C. (1977). *The process of spermatogenesis in animals* (Vol. 5). CUP Archive.

Renaudeau, D., Anais, C., Tel, L., Gourdine, J.L., 2010. Effect of temperature on thermal acclimation in growing pigs estimated using a nonlinear function. *Journal of Animal Science* 88, 3715–3724

Renaudeau, D., 2020. Impact of single or repeated short-term heat challenges mimicking summer heat waves on thermoregulatory responses and performances in finishing pigs. *Translational Animal Science* 4

Renaudeau, D., Y Dourmad, J. Y. (2022). Future consequences of climate change for European Union pig production. *animal*, 16, 100372.

Renaudeau, D., Collin, A., Yahav, S., de Basilio, V., Gourdine, J.L., Collier, R.J., 2012. Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal* 6, 707–728.

Renaudeau, D., Gourdine, J.L., St-Pierre, N.R., 2011. A meta-analysis of the effect of high ambient temperature on growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science* 89, 2220–2230.

Renaudeau, D., Leclercq-Smekens, M., Herin, M., 2006. Difference in skin characteristics in European (Large White) and Caribbean (Creole) growing pigs with reference to thermoregulation. *Animal Research* 55, 209–217.

Serviento, A., Castex, M., Renaudeau, D., Y Labussière, E. (2023). Effect of live yeast supplementation and feeding frequency in male finishing pigs subjected to heat stress. *British Journal of Nutrition*, 129(11), 1855-1870.

Sui, H., Wang, S., Liu, G., Meng, F., Cao, Z., Y Zhang, Y. (2022). Effects of Heat Stress on Motion Characteristics and Metabolomic Profiles of Boar Spermatozoa. *Genes*, 13(9), 1647.

Serviento, A.M., Lebret, B., Renaudeau, D., 2020. Chronic prenatal heat stress alters growth, carcass composition, and physiological response of growing pigs subjected to postnatal heat stress. *Journal of Animal Science* 98, skaa161.

Vitt, R., Weber, L., Zollitsch, W., Hörtenhuber, S.J., Baumgartner, J., Niebuhr, K., Piringer, M., Anders, I., Andre, K., Hennig-Pauka, I., Schönhart, M., Schaubberger, G., 2017. Modelled performance of energy saving air treatment devices to mitigate heat stress for confined livestock buildings in Central Europe. *Biosystems Engineering* 164, 85–97.

van Milgen, J., Bernier, J.F., Le Cozler, Y., Dubois, S., Noblet, J., 1998. Major determinants of fasting heat production and energetic cost of activity in growing pigs of different body weight and breed/castration combination. *British Journal of Nutrition* 79, 509–517.

Vilas Boas Ribeiro, B.P., Lanferdini, E., Palencia, J.Y.P., Lemes, M.A.G., Teixeira de Abreu, M.L., de Souza Cantarelli, V., Ferreira, R.A., 2018. Heat negatively affects lactating swine: a meta-analysis. *Journal of Thermal Biology* 74, 325–330

YIN, Y., HAWKINS, K. L., DEWOLF, W. C., Y MORGENTALER, A. (1997). Heat stress causes testicular germ cell apoptosis in adult mice. *Journal of Andrology*, 18(2), 159-165.