



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACIÓN
Y SERVICIO EN ZOOTECNIA
POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

USO DE β -CAROTENO Y QUERCETINA EN CONEJOS MACHOS BAJO
ESTRÉS CALÓRICO

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

Presenta:

LUIS MIGUEL HERNÁNDEZ VELÁZQUEZ

Bajo la supervisión de: **Raymundo Rodríguez De Lara, Ph.D.**



APROBADA

Chapingo, Estado de México, junio de 2024



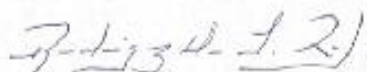
USO DE β -CAROTENO Y QUERCETINA EN CONEJOS

MACHOS BAJO ESTRÉS CALÓRICO

Tesis realizada por **LUIS MIGUEL HERNÁNDEZ VELÁZQUEZ**, bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

DIRECTOR:



Ph.D. Raymundo Rodríguez de Lara

ASESOR:



Dra. Marianella Fallas López

ASESOR:



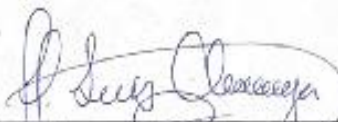
Ph.D. Rodolfo Ramírez Valverde

ASESOR:



Dr. Demetrio Ambriz García

LECTOR EXTERNO:



Dr. Héctor Luis Chincoya

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
DATOS BIOGRÁFICOS	vii
RESUMEN GENERAL	1
GENERAL ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	3
2 REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1 Estrés calórico en conejos	6
2.1.1 Estrés calórico y cambio climático	6
2.1.2 Radicales libres	7
2.1.3 Especies reactivas de oxígeno	7
2.1.4 Estrés oxidativo	8
2.1.5 Antioxidantes	9
2.2 β -caroteno	9
2.3 Quercetina	10
2.4 Espermatogénesis	10
2.5 Literatura citada	11
3. ESTRÉS CALÓRICO Y ANTIOXIDANTES EN LA REPRODUCCIÓN CUNÍCULA: UNA REVISIÓN	16
4. COMPORTAMIENTO SEXUAL, CALIDAD SEMINAL Y POTENCIAL REPRODUCTIVO EN CONEJOS SUPLEMENTADOS CON B-CAROTENO O QUERCETINA BAJO ESTRÉS CALÓRICO	33
5. CONCLUSIONES GENERALES	45

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Temperaturas ambientales máximas y mínimas (°C) registradas durante los meses del período experimental.	39
Cuadro 2. Medias de cuadrados mínimos ($\pm$ error estándar) para los efectos de tipo de suplementación y orden de eyaculado en el comportamiento sexual, características seminales y potencial reproductivo en conejos Nueva Zelanda Blanco bajo estrés calórico	41

DEDICATORIA

A mi esposa Efy e hijos Miguel, Sául y Eli que han estado en todo momento, llenando mi vida de alegría y excelentes momentos.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo, al Departamento de Zootecnia y sobre todo al Posgrado en Producción Animal por acogerme en sus instalaciones.

A todas las personas que colaboran con sus impuestos, para que el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCyT) funcione y me pueda brindar el apoyo para mis estudios de posgrado.

A “Conejos” Centro de Investigación Científica del Estado de México A. C. (COCICEMAC), por brindarme el espacio para el desarrollo de este proyecto y darme la oportunidad de crecer con conocimiento práctico.

A los integrantes del comité Ph.D. Raymundo Rodríguez de Lara, Dra. Marianella Fallas López, Dr. Demetrio Ambriz García y Ph.D. Rodolfo Ramírez Valverde, por su amistad y apoyo en la dirección de esta tesis.

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales

Nombre:	Luis Miguel Hernández Velázquez
Fecha de nacimiento:	2 de febrero de 1992
Lugar de nacimiento:	Texcoco, Estado de México
Profesión:	Ingeniería en Sistemas Pecuarios
Cédula profesional:	10115800

Desarrollo académico

Doctorado en Ciencias (2019-2024)	DEIS en Zootecnia Posgrado en Producción Animal Universidad Autónoma Chapingo
Maestría en Ciencias (2017-2019)	DEIS en Zootecnia Posgrado en Producción Animal Universidad Autónoma Chapingo
Licenciatura (2010-2014)	Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas (URUZA), Universidad Autónoma Chapingo

RESUMEN GENERAL

USO DE β -CAROTENO Y QUERCETINA EN CONEJOS MACHOS BAJO ESTRÉS CALÓRICO¹

El aumento de la temperatura por el cambio climático está incidiendo en los niveles de estrés por calor en los sistemas de producción pecuaria; en conejos se agudiza el estrés calórico, debido a que carecen de glándulas sudoríparas y poseen pelaje grueso. Los objetivos del presente estudio fueron: 1) realizar una revisión de literatura sobre los efectos del estrés calórico y suplementos antioxidantes en la reproducción cunícola; y 2) evaluar el potencial reproductivo de conejo macho Nueva Zelanda Blanco, bajo condiciones calurosas y suplementados con quercetina y β -caroteno. Del primer objetivo se destaca que el estrés calórico tiene efectos negativos en los óvulos y espermatozoides de los conejos, así mismo diferentes suplementos antioxidantes mostraron mejores parámetros reproductivos que el grupo control bajo condiciones de estrés calórico. Con respecto al segundo objetivo, se realizó un estudio en donde se utilizaron 36 conejos y se distribuyeron en tres tratamientos: T1) control, T2) 0.5 ppm de β -caroteno, y T3) 30 ppm de quercetina en el que las dosis de los suplementos se expresaron en kilogramo de peso vivo y se administraron oralmente tres veces por semana en cápsulas de grenetina. Se encontró que los conejos suplementados con quercetina aumentaron el tiempo de eyaculación con respecto al control; así mismo, el tipo de suplementación no influenció ($p>0.05$) la presencia de gel, osmolaridad o pH, pero sí el volumen seminal ($p=0.0004$). Los volúmenes seminales con β -caroteno fueron mayores en 0.11 mL (+16.4 %) y 0.13 mL (+20 %) que los suplementados con quercetina y controles, respectivamente. La concentración de espermatozoides vivos normales progresivos motiles por eyaculado y el número de dosis potenciales para inseminación artificial fueron superiores ($p=0.04$) en conejos suplementados con β -caroteno, con respecto a los grupos de quercetina y control.

Palabras clave: Libido, semen, antioxidantes, estrés, radicales libres.

¹ Tesis de Doctorado en Ciencias en Innovación Ganadera, Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo
Autor: Luis Miguel Hernández Velázquez
Director: Raymundo Rodríguez de Lara

GENERAL ABSTRACT

USE β -CAROTENE AND QUERCETIN IN MALE RABBITS UNDER CALORIC STRESS²

The rise in temperature due to climate change has been affecting heat stress levels in livestock production systems. In rabbits, heat stress is exacerbated because they lack sweat glands and have thick fur. The objectives of this study were as follows: 1) To conduct a literature review on the effects of heat stress and antioxidant supplements on rabbit reproduction, and 2) to evaluate the reproductive potential of male New Zealand White rabbits under hot conditions supplemented with quercetin and β -carotene. From the first objective, it is highlighted that heat stress negatively affects rabbit oocytes and sperm, while various antioxidant supplements showed better reproductive parameters than the control group under heat stress conditions. Regarding the second objective, a study was conducted using 36 rabbits distributed into three treatments: T1) control, T2) 0.5 ppm of β -carotene, and T3) 30 ppm of quercetin, with supplement doses expressed in kilograms of body weight and administered orally three times per week in gelatin capsules. It was found that rabbits supplemented with quercetin increased ejaculation time compared to the control group. Additionally, it was observed that the type of supplementation did not influence ($p>0.05$) gel presence, osmolarity, or pH but did influence seminal volume ($p=0.0004$). The seminal volumes with β -carotene were higher by 0.11 mL (+16.4 %) and 0.13 mL (+20 %) than those supplemented with quercetin and controls, respectively. The concentration of live, normal, progressively motile sperm per ejaculate and the number of potential doses for artificial insemination were higher ($p=0.04$) in rabbits supplemented with β -carotene than with quercetin and control groups.

Keywords: Libido, semen, antioxidants, stress, free radicals.

² Doctoral Thesis in Livestock Innovation, Graduate Program in Animal Production, Universidad Autónoma Chapingo

Author: Luis Miguel Hernández Velázquez

Advisor: Raymundo Rodríguez de Lara

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

El cambio climático es un factor que está incidiendo directamente en el estrés calórico de los sistemas de producción animal, estos efectos son mayores en las producciones cunícolas, ya que los conejos carecen de glándulas sudoríparas y tienen un pelaje muy grueso (Mohapatra et al., 2022). Es así como el estrés calórico es especialmente más gravoso en las estaciones calurosas del año, lo que genera daños sobre la producción, reproducción, salud y bienestar de los animales (Dovolou et al., 2023). Las afecciones en los machos se reflejan en daño testicular, disminuyendo la capacidad reproductiva, al comprometerse la estructura y funcionalidad de los espermatozoides, reduciéndose así el volumen seminal y la concentración espermática (Sabés-Alsina et al., 2016). Por lo anterior, se genera una menor cantidad de crías por hembra, una mayor incidencia de mutaciones (crías anormales), y posibles daños a la estructura del ADN del espermatozoide (Naseer et al., 2018)

Una manera de hacer frente a esta situación es el uso de antioxidantes, como la quercetina, que pertenece al grupo de los flavonoides y se encuentra disponible en frutas y verduras; su estructura química se compone de cinco grupos funcionales (alcoholes, fenoles, cetonas, éteres y alquenos), a los cuales se le atribuye la actividad antioxidante (Kumar & Sharma, 2024). Actúa a manera de protector frente a las especies reactivas de oxígeno, como aniones superóxido, óxido nítrico y peroxinitritos; lo que impide la muerte celular e incrementa la producción de antioxidantes endógenos (Vicente et al., 2013). En un estudio en conejos bajo estrés calórico se encontró que la suplementación con quercetina mejora en un 69 % el volumen de semen, la concentración espermática en un 66 %, y la motilidad progresiva en un 29 % (Naseer et al., 2020).

El β -caroteno es un antioxidante que juega un papel muy importante en la reproducción del conejo, ya que afecta de manera significativa los niveles de LH, progesterona y su potencial reproductivo (Sevgi et al., 2002). En machos, esta predisposición hormonal está relacionada con la espermatogénesis; un estudio

en ratas determinó que la adición de β -caroteno mejora la calidad espermática (Castellini et al., 1992). Por lo anterior, el objetivo de la tesis fue investigar la adición de la quercetina y el B-caroteno en la calidad seminal de conejos bajo condiciones de temperatura ambiental elevada.

El presente trabajo está integrado por tres capítulos: revisión de literatura, en donde se abarcan temas de estrés calórico, espermatogénesis, antioxidantes (Capítulo 2). En el Capítulo 3 se presenta un artículo de revisión relacionada con el efecto del estrés calórico en conejos sobre la actividad reproductiva, tanto del macho como de la hembra, y suplementos con capacidad antioxidante. En el Capítulo 4 se presentan los resultados de la suplementación con β -caroteno y quercetina en conejos machos bajo temperaturas ambientales elevadas.

Literatura citada

- Castellini, C., Lattaioli, P., & Setta, B. (1992). Effetto del beta-carotene sulle prestazioni produttive delle coniglie fattrici e dei coniglietti. *Coniglicoltura*, 29(6), 39–41.
- Dovolou, E., Giannoulis, T., Nanas, I., & Amiridis, G. S. (2023). Heat stress: A serious disruptor of the reproductive physiology of dairy cows. *Animals*, 13(11), 1846. <https://doi.org/10.3390/ani13111846>
- Kumar, D., & Sharma, P. K. (2024). Quercetin: A comprehensive review. *Current Nutrition & Food Science*, 20(2), 143–166. <https://doi.org/10.2174/1573401319666230428152045>
- Mohapatra, S. S., Mukherjee, J., Bharti, M. K., Kumar, M., & Parkunan, T. (2022). Effect of global climate change on livestock production and mitigation strategies to decelerate climate change: a review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 11(1), 34–45. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2022.1101.006>
- Naseer, Z., Ahmad, E., Aksoy, M., & Epikmen, E. T. (2020). Impact of quercetin supplementation on testicular functions in summer heat-stressed rabbits. *World Rabbit Science*, 28(1), 19. <https://doi.org/10.4995/wrs.2020.12420>
- Naseer, Z., Ahmad, E., Şahiner, H. S., Epikmen, E. T., Fiaz, M., Yousuf, M. R., Khan, S. A., Serin, İ., Ceylan, A., & Aksoy, M. (2018). Dietary quercetin maintains the semen quality in rabbits under summer heat stress. *Theriogenology*, 122, 88–93. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2018.09.009>
- Sabés-Alsina, M., Tallo-Parra, O., Mogas, M. T., Morrell, J. M., & Lopez-Bejar, M. (2016). Heat stress has an effect on motility and metabolic activity of rabbit

spermatozoa. *Animal Reproduction Science*, 173, 18–23.
<https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2016.08.004>

Sevgi, T., KilicarslanR., M., & Sabunco, A. (2002). Tavslanlarda beta karoten in fertilité Üzerine etkisi. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Science*, 26(3), 497–502.

Vicente, L., Prieto, M., & Morales, I. (2013). Eficacia y seguridad de la quercetina como complemento alimenticio. *Revista de Toxicología*, 30(2), 171–181.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Estrés calórico en conejos

El estrés se refiere a las reacciones biológicas que se desencadenan en los animales cuando se encuentran con amenazas potenciales para su bienestar, esta condición puede ser inducida por cambios climáticos, prácticas de manejo, ruido y enfermedades (Arman et al., 2023; Zerihune et al., 2022). La respuesta al estrés implica la activación del sistema nervioso simpático y el eje hipotalámico-pituitario-adrenal para hacer frente a los factores estresantes. Sin embargo, cuando el estrés se vuelve crónico se interrumpe la homeostasis fisiológica y contribuye a estados adversos para la salud, reproducción y producción (Narayan & Chauhan, 2022).

2.1.1 Estrés calórico y cambio climático

El cambio climático impacta significativamente los sistemas de producción animal, afectando diversos aspectos en la producción y salud animal. El clima cambiante por el aumento de temperaturas, los patrones de precipitación alterados y los fenómenos meteorológicos extremos, plantea desafíos al impactar la disponibilidad de agua, la producción de cultivos, enfermedades y la reproducción de los animales (Bulut & Özden, 2023). El cambio climático, caracterizado por un aumento en la frecuencia de días calurosos y olas de calor, plantea retos importantes para los sistemas de producción cunícola, ya que su capacidad para disipar el calor es limitada por el grosor de su pelaje y pocas glándulas sudoríparas (El-Raghi et al., 2023; Ragab et al., 2022).

El estrés calórico en conejos inducido por calor, restricciones dietéticas o por factores estresantes, impacta significativamente sus respuestas fisiológicas y metabólicas, alterando las funciones hormonales de los conejos, lo que conlleva a una disminución de la capacidad reproductiva, con efectos notables en la calidad de semen y la tasa de ovulación (Cruz-Bacab et al., 2018). Las elevadas temperaturas reducen la ingesta del alimento, junto con alteraciones en los

parámetros metabólicos, como los niveles de glucosa, colesterol y triglicéridos, lo que indica un cambio metabólico sistémico en respuesta al EC (Amici et al., 2010). El estrés calórico genera especies reactivas de oxígeno, causando daño oxidativo a lípidos, proteínas y ácidos nucleicos, lo que conduce a un estrés oxidativo (Mylostyva et al., 2022).

2.1.2 Radicales libres

Los radicales libres son átomos o moléculas que contienen un número impar de electrones, lo que resulta en un electrón impar en la órbita externa (Saha, 2014), el cual puede tener carga o no, lo que le permite gran reactividad química al interactuar con otras moléculas biológicas, con el fin de lograr su estabilidad electroquímica (Guija-Guerra & Guija-Poma, 2023).

Estos radicales libres se producen a través de diversos procesos endógenos, como en el metabolismo de las mitocondrias, y también a factores exógenos resultado de la exposición a factores ambientales (Pambuk & Muhammad, 2018; Roy et al., 2023). Los radicales libres juegan un papel importante en los procesos celulares como el metabolismo, vías de señalización celular, regulación genética, la inducción de proliferación celular y la apoptosis, los cuales son cruciales en el crecimiento y desarrollo del cuerpo (Biswas et al., 2017). Sin embargo, la sobreproducción o eliminación insuficiente de radicales libres puede conducir a estrés oxidativo, una condición que causa daños a componentes celulares vitales como ácidos nucleicos, proteínas y lípidos, lo que potencialmente conduce a enfermedades crónicas y degenerativas (López-Jaén et al., 2013).

2.1.3 Especies reactivas de oxígeno

Las especies reactivas de oxígeno son moléculas altamente reactivas, las cuales tienen una doble función en los sistemas biológicos, actuando como moléculas de señalización esenciales en diversos procesos biológicos y como agentes dañinos que conducen al estrés oxidativo (Huie & Neta, 1999). Estas especies incluyen radicales derivados del oxígeno, como el superóxido, el radical hidróxilo, y formas no radicales como el peróxido de hidrógeno y el oxígeno singlete (Sies & Jones, 2020). La producción de estas moléculas se da a través de varias vías

endógenas, incluyendo la cadena de transporte de electrones en la mitocondria, reacciones enzimáticas que involucran peroxidasas, citocromo P450 y xantina oxidasa, así como durante las respuestas inflamatorias por fagocitos (Yang et al., 2013). También se producen por fuentes exógenas como la radiación y los estresores ambientales (Bartosz, 2003).

Las especies reactivas de oxígeno son cruciales para la señalización celular, regulando procesos como la supervivencia, proliferación, crecimiento y diferenciación celular, así como en la respuesta inmune (Edge & Truscott, 2021). También están involucradas en la señalización redox, donde funcionan a través de interacciones específicas con proteínas, afectando la regulación metabólica y las respuestas al estrés (Jakubczyk et al., 2020). Sin embargo, un desequilibrio que conduce a un exceso de especies reactivas de oxígeno resulta en estrés oxidativo, dañando componentes celulares como el ADN, proteínas y lípidos, lo que resulta en la patogénesis de diversas enfermedades, incluyendo inflamación crónica, y afecciones relacionadas con el cáncer y con los sistemas circulatorio, respiratorio y nervioso (Stojnev et al., 2013).

2.1.4 Estrés oxidativo

Las especies reactivas de oxígeno se generan y eliminan constantemente en el sistema biológico; sin embargo, un desequilibrio entre la formación y la eliminación, o bien, una disminución en los sistemas antioxidantes o de reparación, o incluso una combinación de estos factores, pueden conducir a una sobreproducción de especies reactivas de oxígeno, dando lugar al estrés oxidativo (Iltis et al., 2019); esto provoca lesiones celulares y metabólicas a través de su acción sobre las proteínas, lípidos y ácidos nucleicos, dando lugar a una amplia variedad de procesos fisiopatológicos (Betteridge, 2000). El estrés oxidativo no es necesariamente perjudicial, ya que puede modular procesos fisiológicos importantes, como la inflamación, la apoptosis, y la proliferación celular (Sies, 2020). El cuerpo emplea varios mecanismos para contrarrestar el estrés oxidativo, involucrando tanto antioxidantes enzimáticos como no enzimáticos (Sies, 1997).

2.1.5 Antioxidantes

Los antioxidantes son sustancias que se encargan de estabilizar moléculas inestables que son dañinas para el organismo, es así como juegan un papel crucial de protección en los componentes celulares, como el ADN, proteínas y lípidos (Castro et al., 2022; Nimbalkar et al., 2022). Existen dos tipos de antioxidantes; los enzimáticos como el superóxido dismutasa, catalasa y la glutatión peroxidasa; y por otra parte los no enzimáticos como las vitaminas, minerales, flavonoides y carotenos (Abdulfatah, 2022; Guija-Guerra & Guija-Poma, 2023).

2.2 β -caroteno

El β -caroteno es un pigmento de tonalidades naranjas, rojas y amarillas; ampliamente encontrado en frutos y plantas, este compuesto no es sintetizado por el organismo, por lo que debe obtenerse a través de la dieta o suplementos. Es precursor de la vitamina A, que es esencial para la función inmune y la salud de la piel (Gupta et al., 2022; Suryana et al., 2023). El compuesto tiene propiedades antioxidantes que le confieren un papel crucial en la protección de las células para eliminar radicales libres, esta capacidad antioxidante es fundamental para la prevención de enfermedades crónicas (Banerjee et al., 2023). Además de sus beneficios para la salud, el β -caroteno se utiliza como colorante natural en la industria alimentaria, también es valorado en productos farmacéuticos y cosméticos por sus propiedades bioactivas (Wang et al., 2021). La suplementación de β -caroteno en conejos mejora las respuestas inmunitarias, la ovulación, y fertilización, así como los niveles de LH y progesterona (Sevgi et al., 2002).

Las dosis de β -caroteno usadas varían en diferentes estudios. En un estudio se le administraron 2 ppm/kg/día, para investigar el papel protector en la respuesta aguda resultante del efecto tóxico de dietilnitrosamina (Merhan et al., 2016). Otro estudio incluyó de 1, 2 o 4 ppm/kg/día de β -caroteno, para medir niveles de séricos de ácido retinoico (Folman et al., 1989). Para medir niveles hormonales

utilizaron dosis de 2.8 ppm/kg/día (Sevgi et al., 2002); en estos estudios, los días que perdura el tiempo de administración varió desde 3 hasta 30 días.

2.3 Quercetina

La quercetina es un flavonoide vegetal, un tipo de polifenol, que se encuentra presente en una amplia gama de frutas, verduras, hojas y flores (Li & Wang, 2023). Este compuesto tiene propiedades antioxidantes, antimicrobianas, antiinflamatorias, antivirales y anticancerígenas; las propiedades antioxidantes le permiten reducir los radicales de moléculas inestables que son dañinas en las células (Kumar & Sharma, 2024), la quercetina exhibe diversas actividades apoptóticas inducidas, la inhibición de la progresión tumoral y la detección del ciclo celular del cáncer, también muestra potencial actividad antiviral contra una variedad de virus al inhibir efectos virales en múltiples etapas, incluyendo la supresión de neuraminidasa viral, proteasas y polimerasas de ADN/ARN (Aghababaei & Hadidi, 2023; Shorobi et al., 2023). También posee efectos cardioprotectores, previniendo la hipertensión, hipertrofia y la insuficiencia cardíaca a través de propiedades antioxidantes y antiinflamatorias (Mirzaei et al., 2023). Los estudios que se han realizado en la cunicultura son limitados; sin embargo, un estudio en conejos centrado en los parámetros reproductivos del macho bajo condiciones de EC utilizó 30 ppm/kg de peso vivo (Naseer et al., 2020); otro estudio menciona que se aplicaron 1000 µg/kg de peso vivo, para estudiar su impacto en la microestructura ósea (Babosova et al., 2015); un método de aplicación directa en los ovarios para el estudio de liberación de hormonas esteroides usaron dosis de 1, 10 y 100 ng/ml (Sirotkin et al., 2019).

2.4 Espermatogénesis

La espermatogénesis es un proceso complejo de múltiples pasos de división y de diferenciación de las células germinales, estos procesos se encuentran regulados por hormonas gonadotrópicas (LH y FSH) y por hormonas esteroides (progesterona y testosterona) (Bhattacharya et al., 2023). La FSH actúa en las células de Sertoli para apoyar la expansión y diferenciación de las células germinales premeióticas, mientras que la LH estimula las células de Leydig para

producir testosterona, la cual es importante para la formación de la barrera hematotesticular, la finalización de la meiosis y la espermiación (Miura & Miura, 2011; Oduwole et al., 2018). La espermatogénesis es altamente sensible al estrés calorico, por ejemplo, se pueden disminuir a los niveles de proteína nectina-3 en los testiculos, lo cual es crucial para el desarrollo de espermatozoides (Muranishi, et al., 2020).

2.5 Literatura citada

- Abdulfatah, H. (2022). Non-Enzymatic antioxidants in stressed plants: A review. *Journal of University of Anbar for Pure Science*, 16(2), 25–37. <https://doi.org/10.37652/juaps.2022.176435>
- Aghababaei, F., & Hadidi, M. (2023). Recent advances in potential health benefits of quercetin. *Pharmaceuticals*, 16(7), 10-20. <https://doi.org/10.3390/ph16071020>
- Amici A., Franci O., Mastroiacono P., Merendino N, Nardini M., & Tomassi G. (2010). Short term acute heat stress in rabbits: Functional, metabolic and immunological effects. *World Rabbit Science*, 8(1). <https://doi.org/10.4995/wrs.2000.412>
- Arman, K., Cayssials, V., & Izquierdo C., D. F. (2023). Estrés laboral en médicos veterinarios y estudiantes avanzados dedicados a la clínica de pequeños animales. *Veterinaria*, 59(219). <https://doi.org/10.29155/VET.59.219.3>
- Babosova, R., Duranova, H., Omelka, R., Kovacova, V., Adamkovicova, M., Grosskopf, B., Capcarova, M., & Martiniakova, M. (2015). Structural changes in femoral bone microstructure of female rabbits after intramuscular administration of quercetin. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 58(1). <https://doi.org/10.1186/s13028-016-0225-4>
- Banerjee, S., Baghel, D., Pacheco de O., A., & Ghosh, A. (2023). β -Carotene, a potent amyloid aggregation inhibitor, promotes disordered A β fibrillar structure. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(6), 51-75. <https://doi.org/10.3390/ijms24065175>
- Bartosz, G. (2003). Generation of reactive oxygen species in biological systems. *Comments on Toxicology*, 9(1), 5–21. <https://doi.org/10.1080/08865140302420>
- Betteridge, D. J. (2000). What is oxidative stress? *Metabolism*, 49(2), 3–8. [https://doi.org/10.1016/S0026-0495\(00\)80077-3](https://doi.org/10.1016/S0026-0495(00)80077-3)
- Bhattacharya, I., Dey, S., & Banerjee, A. (2023). Revisiting the gonadotropic regulation of mammalian spermatogenesis: Evolving lessons during the past decade. *Frontiers in Endocrinology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1110572>

- Biswas, S., Das, R., & Banerjee, E. R. (2017). Role of free radicals in human inflammatory diseases. *Biophysics*, 4(4), 596–614. <https://doi.org/10.3934/biophy.2017.4.596>
- Bulut, M., & Özden, C. (2023). Effects of climate change on animal husbandry. *Black Sea Journal of Agriculture*, 6(1), 87–94. <https://doi.org/10.47115/bsagriculture.1216262>
- Castro, C. da S., Cotrim, C. F. C., dos Santos, I. R. dos Santos, K. J. G., Paula, J. A. M., Caramori, S. S., de Almeida, L. M., de, Bailão, E. F. L. C., & Borges, L. L. (2022). Application of natural antioxidants in animal reproduction. *Ciência Animal Brasileira*, 23. <https://doi.org/10.1590/1809-6891v23e-73601e>
- Cruz-Bacab, L. E., Ramírez-Vera, S., Vázquez-García, M. D. C., & Zapata-Campos, C. C. (2018). Reproducción de conejos bajo condiciones tropicales, efectos negativos y posibles soluciones. *CienciaUAT*, 13(1), 135. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v13i1.989>
- Edge, R., & Truscott, T. G. (2021). The reactive oxygen species singlet oxygen, hydroxy radicals, and the superoxide radical anion—examples of their roles in biology and medicine. *Oxygen*, 1(2), 77–95. <https://doi.org/10.3390/oxygen1020009>
- El-Raghi, A. A., Hassan, M. A. E., Hashem, N. M., & Abdelnour, S. A. (2023). Struggling thermal stress impacts on growth performance and health status of newly weaned rabbits using nanoemulsion of origanum majorana considering the economic efficiency of supplementation. *Animals*, 13(11), 1772. <https://doi.org/10.3390/ani13111772>
- Folman, Y., Russell, R. M., Tang, G. W., & Wolf, G. (1989). Rabbits fed on β -carotene have higher serum levels of all-trans retinoic acid than those receiving no β -carotene. *British Journal of Nutrition*, 62(1), 195–201. <https://doi.org/10.1079/BJN19890019>
- Guija-Guerra, H., & Guija-Poma, E. (2023). Radicales libres y sistema antioxidante. *Horizonte Médico*, 23(2). <https://doi.org/10.24265/horizmed.2023.v23n2.12>
- Gupta, I., Adin, S. N., Panda, B. P., & Mujeeb, Mohd. (2022). β -Carotene—production methods, biosynthesis from “*Phaffia rhodozyma*” factors affecting its production during fermentation, pharmacological properties: A review. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 69(6), 2517–2529. <https://doi.org/10.1002/bab.2301>
- Huie, R. E., & Neta, P. (1999). ChemInform abstract: Chemistry of reactive oxygen species. *ChemInform*, 30(40). <https://doi.org/10.1002/chin.199940241>
- Ibtisham, F., Nawab, A., Niu, Y., Wang, Z., Wu, J., Xiao, M., & An, L. (2019). The effect of ginger powder and Chinese herbal medicine on production performance, serum metabolites and antioxidant status of laying hens

- under heat-stress condition. *Journal of Thermal Biology*, 81, 20–24. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.02.002>
- Jakubczyk, K., Dec, K., Kałduńska, J., Kawczuga, Kochman, J., & Janda. K. (2020). Reactive oxygen species - sources, functions, oxidative damage. *Pol Merkur Lekarski*, 45(284), 124–127.
- Kumar, D., & Sharma, P. K. (2024). Quercetin: A comprehensive review. *Current Nutrition & Food Science*, 20(2), 143–166. <https://doi.org/10.2174/1573401319666230428152045>
- Li, N., and Wang, J. (2023). Quercetin induces cytotoxicity and apoptosis, reduces metastasis and drug resistance in oral cancer cells. *Turkish Journal of Biochemistry*, 49(2), 148-156. <https://doi.org/10.1515/tjb-2023-0003>
- López-Jaén, A. B., Codoñer-Franch, P., & Valls-Bellés, V. (2013). Free radicals: A review. *Journal of Pediatric Biochemistry*, 3(3), 115–121. <https://doi.org/10.3233/JPB-130083>
- Merhan, O., Özcan, A., Atakış, E., Öğün, M., & Kükürt A. (2016). Effects of beta-carotene on the fertility of rabbits. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, 22(4), 533–537.
- Mirzaei, A., Deyhimfar, R., Azodian Ghajar, H., Mashhadi, R., Noori, M., Dialameh, H., Aghsaeifard, Z., & Aghamir, S. M. K. (2023). Quercetin can be a more reliable treatment for metastatic prostate cancer than the localized disease: An *in vitro* study. *Journal of Cellular and Molecular Medicine*, 27(12), 1725–1734. <https://doi.org/10.1111/jcmm.17783>
- Miura, C., & Miura, T. (2011). Analysis of spermatogenesis using an eel model. *Aqua-BioScience Monographs*, 4(4), 105–129. <https://doi.org/10.5047/absm.2011.00404.0105>
- Muranishi, Y., Parry, L., Vachette-dit-Martin, & Saez, F. (2020). Maternal nutritional stress alters sperm competence in male mice offspring leading to reduced fertility-Source link. *BioRxiv*, 1–23. <https://doi.org/10.1101/2020.11.10.376616>
- Mylostyva, D., Prudnikov, V., Kolisnyk, O., Lykhach, A., Begma, N., Kalinichenko, O., Khmeleva, O., Sanzhara, R., Izhboldina, O., & Mylostyvyi, R. (2022). Biochemical changes during heat stress in productive animals with an emphasis on the antioxidant defense system. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, 10(1), 1–9. <https://doi.org/10.31893/jabb.22009>
- Narayan, E., & Chauhan, S. S. (2022). Editorial: Minimally invasive monitoring of stress in farm animals 1(3). *Frontiers in Animal Science*. <https://doi.org/10.3389/fanim.2022.955817>
- Naseer, Z., Ahmad, E., Aksoy, M., & Epikmen, E. T. (2020). Impact of quercetin supplementation on testicular functions in summer heat-stressed rabbits. *World Rabbit Science*, 28(1), 19. <https://doi.org/10.4995/wrs.2020.12420>

- Nimbalkar, p, Simran M. Jaggi, Gauri P. Shinde, Snehal S. Jogdand, & Kalyani S. Mhaismale. (2022). An overview on antioxidants. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, 242–247. <https://doi.org/10.48175/IJARSCT-2649>
- Oduwole, O., Peltoketo, H., & Huhtaniemi, T. (2018). Role of follicle-stimulating hormone in spermatogenesis. *Frontiers in Endocrinology*, 9, 1-11. <https://doi.org/10.3389/fendo.2018.00763>
- Pambuk, C. I. A., & Muhammad, F. M. (2018). Free radicals: The types generated in biological system. *Cell Science & Report*, 5(3). <https://doi.org/10.15406/mojcsr.2018.05.00118>
- Ragab, M., Elkhayat, I., Younis, H., Ahmed, M., & Helal, M. (2022). Genotype by heat conditions interaction effects on growth and litter traits in rabbits. *Frontiers in Veterinary Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.1018625>
- Roy, Z., Bansal, R., Siddiqui, L., & Chaudhary, N. (2023). Understanding the role of free radicals and antioxidant enzymes in human diseases. *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 24(10), 1265–1276. <https://doi.org/10.2174/1389201024666221121160822>
- Saha, D. (2014). Role of free radicals, oxidative stress and xenobiotics in carcinogenesis by environmental pollutants. *Avances en Biomedicina*, 3(2), 84–92. <https://doi.org/https://www.redalyc.org/pdf/3313/331331850003.pdf>
- Sevgi, T., Kilicarslan, R. M., & Sabunco, A. (2002). Tavslarlarda beta karoten in fertilitate Üzerine etkisi. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Science*, 26(3), 497–502.
- Shorobi, F. M., Nisa, F. Y., Saha, S., Chowdhury, M. A. H., Srisuphanunt, M., Hossain, K. H., & Rahman, Md. A. (2023). Quercetin: A functional food-flavonoid incredibly attenuates emerging and re-emerging viral infections through immunomodulatory actions. *Molecules*, 28(3), 938. <https://doi.org/10.3390/molecules28030938>
- Sies, H. (1997). Oxidative stress: Oxidants and antioxidants. *Experimental Physiology*, 82(2), 291–295. <https://doi.org/10.1113/expphysiol.1997.sp004024>
- Sies, H. (2020). Oxidative stress: Concept and some practical aspects. *Antioxidants*, 9(9), 852. <https://doi.org/10.3390/antiox9090852>
- Sies, H., & Jones, D. P. (2020). Reactive oxygen species (ROS) as pleiotropic physiological signalling agents. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 21(7), 363–383. <https://doi.org/10.1038/s41580-020-0230-3>
- Sirotkin, A. V., Štochmal'ová, A., Grossmann, R., Alwasel, S., & Harrath, A. H. (2019). Quercetin directly promotes rabbit ovarian steroidogenesis. *World Rabbit Science*, 27(3), 163. <https://doi.org/10.4995/wrs.2019.11816>

- Stojnev, S., Ristic-Petrovic, A., & Jankovic-Velickovic, L. (2013). Reactive oxygen species, apoptosis and cancer. *Vojnosanitetski Pregled*, 70(7), 675–678. <https://doi.org/10.2298/VSP1307675S>
- Suryana, M. R., Haziman, M. L., Islamawan, P. A., Hari Hariadi, & Dandy Yusuf. (2023). Use of beta-carotene pigment to improve food product chemical and sensory qualities: A review. *Journal of Functional Food and Nutraceutical*. <https://doi.org/10.33555/jffn.v4i2.92>
- Wang, L., Liu, Z., Jiang, H., & Mao, X. (2021). Biotechnology advances in β -carotene production by microorganisms. *Trends in Food Science & Technology*, 111, 322–332. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.077>
- Yang, Y., Bazhin, A. V., Werner, J., & Karakhanova, S. (2013). Reactive oxygen species in the immune system. *International Reviews of Immunology*, 32(3), 249–270. <https://doi.org/10.3109/08830185.2012.755176>
- Zerihune, T., Misrak, A., & Wendwesen, T. (2022). Review on food animals stress and food quality and safety risk. *Journal of biology, Agriculture and Healthcare*, 12(1), 15–21. <https://doi.org/10.7176/JBAH/12-1-02>

Este capítulo fue enviado a Abanico Veterinario el 11 de mayo de 2024.

3. ESTRÉS CALÓRICO Y ANTIOXIDANTES EN LA REPRODUCCIÓN CUNÍCOLA: UNA REVISIÓN

Heat stress and antioxidants in rabbit reproduction: A review

Luis Miguel Hernández-Velázquez ¹, Raymundo Rodríguez-De Lara^{1*}, Marianella Fallas-López², Demetrio Alonso Ambriz-García³, Rodolfo Ramírez-Valverde ¹

¹Posgrado en Producción Animal, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco 56230, México; lm-h-v@hotmail.com (L.M.H.V); rayrodriguezdelara@gmail.com (R.R.DL); rrv33@hotmail.com (R.R.V.)

²“Conejos” Centro de Investigación Científica del Estado de México A.C., Texcoco, Estado de México 56250, México. conejoscocicemac@gmail.com

³División de Ciencias Biológicas y de Salud, Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa 09340, Ciudad de México. deme@xanum.uam.mx

*Autor para correspondencia: rayrodriguezdelara@gmail.com

Estrés calórico y antioxidantes en la reproducción cunícola: una revisión

Heat stress and antioxidants in rabbit reproduction: A review

Hernández-Velázquez Luis Miguel¹, Rodríguez-De Lara Raymundo¹, Fallas-López Marianella², Ambriz-García Demetrio Alonso³, Ramírez-Valverde Rodolfo¹

¹ Posgrado en Producción Animal, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco 56230², México. ²"Conejos" Centro de Investigación Científica del Estado de México A.C., Texcoco, Estado de México 56250, México. ³División de Ciencias Biológicas y de Salud, Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa 09340, Ciudad de México. lm-h-v@hotmail.com, rayrodriguezdelara@gmail.com, conejoscocicemac@gmail.com, deme@xanum.uam.mx, rrv33@hotmail.com

RESUMEN

El cambio climático está impactando significativamente para provocar estrés calórico en los sistemas de producción animal; en conejos, esta situación se agudiza más, ya que estos animales carecen de glándulas sudoríparas y por el grosor de su pelaje. Para contrarrestar estos efectos, los animales ponen en marcha mecanismos fisiológicos. Sin embargo, si las condiciones climáticas sobrepasan la capacidad de termo regular y el organismo entra en un estado de estrés, esto compromete la salud, productividad y reproducción del animal. Lo anterior puede causar daños en las funciones reproductivas, en conejas se deterioran los óvulos y folículos, generando camadas más pequeñas y en el peor de los casos, abortos o reabsorciones embrionarias. En el caso de los machos, las células de Leydig y Sertoli se dañan produciendo menor volumen de semen; además, también se pueden generar anomalías y daños en la estructura del ADN de los espermatozoides. Sin embargo, suplementos con alta capacidad antioxidante son capaces de mitigar o reducir los efectos dañinos del estrés calórico, mejorando así el volumen, número y calidad de los espermatozoides en machos, y la producción de leche, el tamaño y peso de la camada en hembras.

Palabras clave: Índice temperatura humedad, radicales libres, reproducción, antioxidantes, conejos

ABSTRACT

Climate change significantly influences heat stress in animal production systems; in rabbits, this situation is more acute since they lack sweat glands and their fur's thickness. To counteract these effects, physiological mechanisms are set in motion. However, if the climatic conditions exceed the thermoregulatory capacity, the organism becomes stressed, which compromises the animal's health, productivity and reproduction. This stress could cause damage to reproductive functions; in rabbits, the ova and follicles deteriorate, generating smaller litters, and in the worst case, abortions or embryonic reabsorptions. In the case of males, the Leydig and Sertoli cells could damage, producing less semen volume, abnormalities and damage to the DNA structure of the spermatozoa. However, supplements with high antioxidant capacity can mitigate or reduce the damaging effects, thus improving the volume, number and quality of the spermatozoa in males, and the milk production, size and weight of the litter in females.

Keywords: Temperature humidity index, free radicals, reproduction, antioxidants, rabbits

INTRODUCCIÓN

El calentamiento global representa una amenaza para las especies animales en todo el mundo, ya que el aumento de las temperaturas les genera estrés ([Mohapatra et al., 2022](#)). En conejos, el estrés calórico (EC) es uno de los eventos más dañinos, con consecuencias en la salud, la productividad y la reproducción ([Burfeind et al., 2012](#); [Gonzalez-Rivas et al., 2020](#)). La respuesta a este evento implica cambios fisiológicos complejos con el fin de movilizar sangre a la periferia, aumentar la frecuencia respiratoria y reducir la ingesta de alimento; todo esto con el fin de regular la temperatura ([Johnson et al., 2015](#)). Sin embargo, estos eventos generan un gasto energético elevado y en consecuencia la energía se limita para otras funciones relacionadas con la producción y reproducción ([Minton, 1994](#)).

Periodos prolongados de EC inducen el estrés oxidativo, al alterar el equilibrio entre oxidantes y antioxidantes, provocando una acumulación de especies reactivas de oxígeno (ERO) ([Carvajal, 2019](#); [Cordero et al., 2011](#)). Las ERO afectan en mayor medida las membranas celulares, acelerando la apoptosis celular ([Halliwell, 1996](#)).—En la reproducción de hembras causa daños en los órganos reproductivos, ocasionando problemas en los folículos y ovocitos, comprometiendo los parámetros de gestación y prolificidad ([Vélez & Uribe, 2010](#)). En machos se deteriora la estructura y funcionalidad de los espermatozoides, se disminuye el volumen del eyaculado, se ocasionan daños en la estructura del ADN del espermatozoide y con ello la incidencia de crías anormales ([Yaeram et al., 2006](#)). Las condiciones ambientales exacerbadas por el cambio climático intensifican el estrés por calor, desafiando aún más la reproducción cunícola. Por lo anterior, el objetivo de la presente revisión de literatura es analizar el efecto del EC y la inclusión de suplementos antioxidantes en la reproducción cunícola.

ESTRÉS Y FACTORES DETERMINANTES

El estrés se refiere a un estado de tensión exagerada resultante de diversos factores, como los desafíos ambientales, influencias climáticas, enfermedades y otros factores que exacerben la tranquilidad de los animales ([Burfeind et al., 2012](#)). Este estrés puede ser inducido por factores endógenos o exógenos, lo

que conlleva alteraciones en la homeostasis fisiológica ([Karaer et al., 2023](#)). Se han utilizado diferentes métodos para la evaluación del estrés, como el monitoreo de concentraciones de glucocorticoides, intervalos de frecuencia cardíaca y cambios de comportamiento. Así mismo, el estrés puede generar efectos perjudiciales en la salud, comportamiento, productividad y reproducción animal ([Zerihune et al., 2022](#)).

Cambio climático y estrés calórico. El calentamiento global ha generado aumentos significativos de EC en la ganadería, lo que representa una amenaza sustancial para el bienestar animal, la producción y la sustentabilidad ([Khan et al., 2023](#)). Los efectos adversos del EC son multifacéticos, impactando tanto el bienestar fisiológico de los animales como la viabilidad económica de la ganadería ([Sesay, 2023](#)). Los sistemas de producción pecuaria son vulnerables a los aumentos de temperatura y los niveles de humedad asociados con el calentamiento global, lo que puede conducir a hipertemia, estrés oxidativo y otros cambios fisiológicos, los cuales no solo reducen la capacidad de producción, sino que también afectan sus funciones reproductivas ([Cartwright et al., 2023](#)).

Año con año se registran temperaturas altas récord en el mundo, lo que ha generado una creciente gravedad y frecuencia de las condiciones que precipitan el EC, con impactos directos en la salud, bienestar y productividad de los animales, así como efectos indirectos, como la disponibilidad de agua y forraje ([Dovolou et al., 2023](#)). El índice de temperatura y humedad (ITH) se ha utilizado para monitorear las amenazas de EC y su relación con los rendimientos en la producción; además, la identificación de biomarcadores asociados con el EC puede ayudar a evaluar la resiliencia hacia el cambio climático y seleccionar especies resistentes a las elevadas temperaturas ([Delowar et al., 2022](#); [Rebez et al., 2023](#)).

ALTERACIÓN DE LOS PROCESOS FISIOLÓGICOS POR ESTRÉS CALÓRICO

El EC ocurre cuando hay alteraciones en la homeostasis fisiológica, por el aumento de la temperatura ambiental ([Vélez & Uribe, 2010](#)). Como respuesta, el organismo activa dos sistemas: el eje simpático-adrenal y el eje hipotálamo-hipófisis-adrenal, con el fin de que el organismo responda como un todo para adaptarse a las nuevas condiciones climáticas ([Binsiya et al., 2017](#)). Si se logra ajustar a esta nueva condición térmica, se considera un organismo adaptado, de lo contrario, se genera una situación de hipertemia o EC ([Lozano-Domínguez et al., 2005](#)).

Eje simpático-adrenal y eje hipotálamo-hipófisis-adrenal. El eje simpático-adrenal es la vía más rápida de respuesta, al detectar el cuerpo un aumento de temperatura corporal, se envían señales a las glándulas adrenales para que se segregue adrenalina y noradrenalina ([Markowska et al., 1993](#)). Esto genera un aumento en la presión arterial y frecuencia cardíaca, para movilizar la sangre a la periferia y así reducir la temperatura por conducción ([Yan et al., 2021](#)). Al mismo tiempo, la frecuencia respiratoria se intensifica para disipar el calor a través de la evapotranspiración, esto aumenta el consumo de agua y las necesidades de energía; por lo tanto, las rutas metabólicas como la gluconeogénesis y lipólisis se aceleran. Todo esto con el objetivo de producir la energía necesaria para regular el incremento de la temperatura corporal ([Holly & Wass, 1989](#)).

El eje hipotálamo-hipófisis-adrenal es un sistema de respuesta más lento, la señal se envía por el núcleo paraventricular para la segregación del factor liberador de corticotropina (ACTH), y ésta a su vez estimula la corteza suprarrenal para la producción y secreción de glucocorticoides. Su acción se focaliza en reducir el metabolismo para evitar producir calor metabólico; como consecuencia el consumo de alimento se reduce drásticamente, lo que puede comprometer la salud, producción y reproducción del animal ([McEwen, 2007](#)).

ESPECIES REACTIVAS DE OXÍGENO Y ESTRÉS CALÓRICO

Las ERO son moléculas de oxígeno que tienen en su última órbita electrones desapareados, muy inestables y altamente reactivas con capacidad de combinarse inespecíficamente con cualquier biomolécula. Así, el oxígeno puede ser tóxico con daños reversibles e irreversibles a nivel celular. Estos efectos originan problemas en los diferentes órganos, comprometiendo la producción y reproducción animal ([Carrillo et al., 2016](#)).

Un animal que sufre de EC genera una gran cantidad de ERO, por el alto consumo de oxígeno en la mitocondria, específicamente en la cadena de transporte de electrones ([Srikandakumar et al., 2003](#)). En este proceso se utilizan grandes cantidades de oxígeno molecular, del cual una gran parte es reducido, el restante pierde un electrón y en combinación con otras biomoléculas se generan superóxidos, que dan origen a peróxido de hidrógeno, radical hidroxilo, radical peróxilo y el oxígeno singlete, las cuales son moléculas que originan la oxidación celular ([Dorado & Revilla, 2000](#)).

ESTRÉS CALÓRICO EN CONEJOS

El conejo es una especie de baja tolerancia a altas temperaturas, ya que carecen de glándulas sudoríparas por lo que son más susceptibles al EC ([Bai et al., 2022](#)). La zona de confort para temperatura está entre 15 y 18 °C; después de los 28 °C o de un ITH de 29, los conejos muestran signos de EC ([Asemota et al., 2017](#)). En consecuencia, los conejos reducen su actividad motora, aumentando su frecuencia respiratoria y cardíaca, presentan una posición del cuerpo estirado y orejas levantadas ([Marzoni & Mori, 1992](#)). Esto impacta significativamente en la disminución de la ingesta, afectando el crecimiento, la reproducción y la calidad de la carne; así, algunos estudios indican que se reduce la ganancia diaria de peso y la ingesta de alimento, esto debido al balance energético negativo y al metabolismo protéico alterado ([Jaén-Téllez et al., 2021](#); [Reséndiz-Cruz et al., 2018](#)). Las respuestas al EC incluyen niveles séricos elevados que son

indicadores de estrés, como de la proteína de choque térmico HSP70, fosfatasa alcalina y cortisol, junto con niveles disminuidos de proteína total, glucosa, creatina quinasa, lacto deshidrogenasa, lipoproteínas de alta densidad y enzimas antioxidantes ([Ibraheem et al., 2018](#); [Madkour et al., 2023](#)). Estos cambios bioquímicos son indicativos de impacto del estrés en los procesos metabólicos de los conejos, provocando cambios en la composición de la microflora cecal y la presencia de metabolitos diferenciales del sueño, lo que puede estar relacionado con enfermedades inflamatorias ([Bai et al., 2022](#); [Liang et al., 2022](#)).

En la engorda, debido a las condiciones de EC, los conejos disminuyen su consumo, afectando de manera negativa el peso y los días al sacrificio, así como las ganancias diarias de peso. [Zeferino et al.](#) (2013) reportaron en conejos bajo EC una disminución del 14 % en los pesos totales las canales. En conejos Nueva Zelanda Blanco bajo condiciones crónicas de EC, pero alimentados con altas concentraciones de energía (11.6 MJ/kg de alimento) y proteína (179 g/kg de alimento) mejoraron el peso a las ocho semanas (+19 %), la ganancia diaria de peso (+33 %), la ingesta de alimento (+6 %) y la conversión alimenticia en un 27 % ([Ayyat et al., 2021](#)). [Abdelnour et al.](#) (2020) reportaron que la suplementación con prodigiosa en conejos de engorda bajo condiciones de EC mejoraron las ganancias diarias de peso, la conversión alimenticia y los pesos de finalización; además, de reducirse los niveles de bilirrubina, triglicéridos, gamma-glutamyl transferasa y creatinina, lo que indica una mejor función hepática y renal.

Efectos de estrés calórico en hembras. A causa del EC pueden presentarse daños que deriven en problemas reproductivos, afectando la viabilidad y el diámetro de los folículos ([Aguiar et al., 2020](#)). En este sentido, aumenta la producción de ceramidas que influyen fuertemente en la apoptosis celular, causando una interrupción en la maduración de los ovocitos, estos efectos reducen la tasa de concepción hasta en un 30 % ([Negrón-Pérez et al., 2019](#)). Por otra parte, embriones producidos *in vitro* bajo condiciones de EC (38.5-40 °C) muestran un efecto negativo en la expresión de genes y proteínas relacionadas

con el interferón *tau*, por lo que el desarrollo embrionario temprano y la implantación se ven comprometidos ([Amaral et al., 2020](#)).

En conejas Nueva Zelanda blanco, se ha mostrado que el EC reduce significativamente la ingesta de alimento y los pesos corporales; además, afecta el tamaño del útero y de los ovarios e incrementan los consumos de agua, la temperatura de la piel y rectal de los animales en un 2.4 %. Además, de que la producción de ERO aumenta y los niveles de progesterona e IGF-1 disminuye ([Mutwedu et al., 2021](#); [Sirotkin et al., 2021](#)). El EC en conejas reduce los tamaños de la camada al parto (-15 %), los pesos totales de las camadas al nacimiento (-20 %), los pesos individuales de los gazapos al nacimiento (-7 %), y las tasas de mortalidad de los gazapos se incrementa en un 25 % ([Marco-Jiménez et al., 2017](#)). [Maertens et al.](#) (2006) reportaron en conejas bajo EC una reducción en la producción lechera en un 29 %.

En líneas selectas de conejas para longevidad bajo condiciones de EC, se ha detectado un incremento en la cantidad de linfocitos, y una mejora en la salud y la capacidad reproductiva ([Ferrian et al., 2012](#)). Estudios han mostrado que la suplementación con quercetina (30 ppm kg⁻¹ pv⁻¹) en conejas bajo EC mejoran la calidad y cantidad de los folículos ováricos y óvulos, y se disminuyen las cantidades de ERO en el organismo ([Naseer et al., 2017](#)). Asimismo, la adición de cáscara de granada manano-oligosacáridos, cúrcuma y biostrong® a la dieta en conejas en EC, mejoró el rendimiento reproductivo e incrementó el tamaño de la camada al nacimiento y al destete, así como la producción lechera ([El-Azeem et al., 2022](#); [Zeweil, 2017](#)).

Efectos de estrés calórico en machos. En machos el EC causa cambios moleculares en el ADN espermático, proteínas, lípidos y otras moléculas que intervienen en la fertilidad ([EL-Tohamy et al., 2012](#)). El EC produce un aumento en el metabolismo celular, causando una alta demanda de oxígeno. Así, el flujo sanguíneo en los testículos es bajo, de ahí que se genere un estrés hipóxico en las células del parénquima, lo que promueve el proceso de degeneración testicular ([Ramires et al., 2013](#)). Además, la espermatogénesis y la calidad

seminal están comprometidos, ya que las células interrumpen el metabolismo oxidativo de la glucosa, por efecto de la difusión mitocondrial y las ERO ([Hamilton et al., 2016](#)).

Otros estudios también han mostrado que los espermatozoides de conejos son muy sensibles al EC, y que cambios en su morfología normal ocurren dependiendo el tiempo de exposición al mismo, y que pueden afectar los niveles de fertilidad alcanzados ([Finzi et al., 1995](#)). [Pei et al.](#) (2012) observaron en conejos Rex sometidos a EC durante nueve semanas (ITH=29.3), cambios morfológicos de los túbulos seminíferos, aumentos en apoptosis de las células de Leydig y Sertoli, incrementos en los tiempos de reacción para la eyaculación (menor libido) y disminuciones en los volúmenes seminales y en las concentraciones espermáticas.

Suplementación en conejos expuestos a estrés calórico. El EC es un efecto que puede ser reversible, por ejemplo, la suplementación con 30 ppm kg⁻¹ Pv⁻¹ de quercetina en conejos mejora la motilidad total, motilidad progresiva, velocidad media de trayectoria, velocidad en línea recta y la viabilidad espermática ([Naseer et al., 2018](#)), y en periodos largos de EC, la quercetina mejora el volumen seminal. En otros estudios similares, la suplementación con quercetina, utilizando la misma dosis, aumentó la longitud testicular, el peso del epidídimo y se disminuye la presencia de células apoptóticas ([Naseer et al., 2020](#)). Estos mismos autores, reportaron al extraer semen del epidídimo de conejos suplementados, mejoras en la cinemática de movimiento y la viabilidad espermática.

La suplementación con jugo de guanábana, a razón de 2.2 mL kg⁻¹ Pv⁻¹, contribuye a mitigar las condiciones de EC, manteniendo la calidad seminal y la libido de los conejos ([Abubakar et al., 2021](#)). Así mismo, cuando se suplementa con jalea real (150 ppm kg⁻¹ Pv⁻¹) en conejos bajo EC, se mejoran los parámetros de libido, motilidad, concentración espermática, el número de espermatozoides vivos y las anormalidades espermáticas ([El-hanoun et al., 2014](#)). Por otra parte, suplementos con 4.5 % de cáscara de granada, mejoraron el volumen del

eyaculado y la concentración espermática, también se disminuye el número de espermatozoides muertos ([Zeweil et al., 2013](#)).

Mejoras en el volumen seminal, la motilidad y la viabilidad espermática han sido observadas cuando los conejos bajo condiciones de EC son suplementados con aceite de oliva virgen, bateína, gengibre, goma de acacia, vitamina C, licopeno, manano-oligosacáridos, cúrcuma y biostrong® ([EL-Tohamy et al., 2012](#); [Imbabi et al., 2023](#); [Jimoh et al., 2021](#)).

CONCLUSIÓN

El estrés calórico en conejos machos disminuye la libido, y la calidad seminal y espermática. En hembras, se reduce el crecimiento y desarrollo folicular ovárico; por tanto, la calidad de los óvulos, así como la producción lechera, por lo que se disminuyen los tamaños y pesos de las camadas, y la productividad general de la empresa. Estos efectos se pueden disminuir con suplementos de alto contenido antioxidante.

LITERATURA CITADA

- Abdelnour, S. A., El-Saadony, M. T., Saghir, S. A. M., Abd El-Hack, M. E., Al-shargi, O. Y. A., Al-Gabri, N., & Salama, A. (2020). Mitigating negative impacts of heat stress in growing rabbits via dietary prodigiosin supplementation. *Livestock Science*, 240, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104220>
- Abubakar, O., Fatai, B., & Adekunle, W. (2021). Soursop juice enhanced seminal antioxidant defence and semen quality of rabbit bucks in extremely dry climatic condition of Southwestern Nigeria. *Journal of Thermal Biology*, 100(January), 103034. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2021.103034>
- Aguiar, L. H. de, Hyde, K. A., Pedroza, G. H., & Denicol, A. C. (2020). Heat stress impairs in vitro development of preantral follicles of cattle. *Animal Reproduction Science*, 213(January), 106277. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2020.106277>
- Amaral, C. S., Koch, J., Correa Júnior, E. E., Bertolin, K., Mujica, L. K. S., Fiorenza, M. F., Rosa, S. G., Nogueira, C. W., Comim, F. V., Portela, V. V. M., Gonçalves, P. B. D., & Antoniazzi, A. Q. (2020). Heat stress on oocyte or zygote compromises embryo development, impairs interferon tau production and increases reactive oxygen species and oxidative stress in bovine embryos produced *in vitro*.

- Asemota, O., Aduba, P., Bello-Onaghise, G., & Orheruata, A. (2017). Effect of temperature-humidity index (THI) on the performance of rabbits (*Oryctolagus cuniculus*) in the humid tropics. *Archivos de Zootecnia*, 66(254), 257–261. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49553570014>
- Ayyat, M. S., Abd El-Latif, K. M., Helal, A. A., & Al-Sagheer, A. A. (2021). New Zealand white rabbits tolerance to chronic thermal stress at different dietary energy/protein levels. *Animal Feed Science and Technology*, 278(June), 114992. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114992>
- Bai, X., Shi, Y., Tang, L., Chen, L., Fan, H., Wang, H., Wang, J., Jia, X., Chen, S., & Lai, S. (2022). Heat stress affects faecal microbial and metabolic alterations of rabbits. *Frontiers in Microbiology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.817615>
- Binsiya, T. K., Sejian, V., Bagath, M., Krishnan, G., Hyder, I., Manimaran, A., Lees, A. M., Gaughan, J. B., & Bhatta, R. (2017). Significance of hypothalamic-pituitary-adrenal axis to adapt to climate change in livestock. *International Research Journal of Agricultural and Food Sciences*, 2(1), 1–20. https://www.researchgate.net/publication/313026665_Significance_of_Hypothalamic-Pituitary-Adrenal_Axis_to_adapt_to_Climate_Change_in_Livestock/link/588d4dcbaca272fa50df56c5/download?tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGF0aW9uIj09
- Burfeind, O., Suthar, V. S., & Heuwieser, W. (2012). Effect of heat stress on body temperature in healthy early postpartum dairy cows. *Theriogenology*, 78(9ISSN:), 2031–2038. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2012.07.024>
- Carrillo, E., Ponce, J., Peña, C., Flores, O., Neri, R., Zepeda, A., Pérez, Á., & Ortiz, A. (2016). Especies reactivas de oxígeno, sepsis y teoría metabólica del choque séptico. *Revista de La Facultad de Medicina de La UNAM*, 59(1), 1–18. https://www.revistafacmed.com/index.php?option=com_phocadownload&view=full&id=721:especies-reactivas-de-oxgeno&Itemid=79
- Cartwright, S. L., Schmied, J., Karrow, N., & Mallard, B. A. (2023). Impact of heat stress on dairy cattle and selection strategies for thermotolerance: A review. *Frontiers in Veterinary Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1198697>
- Carvajal, C. (2019). Especies reactivas del oxígeno: formación, función, y estrés oxidativo. *Revista Medicina Legal de Costa Rica*, 36(1), 91–100. <https://doi.org/2215-5287>

- Cordero, M. D., de Miguel, M., & Moreno-Fernández, A. M. (2011). La disfunción mitocondrial en la fibromialgia y su implicación en la patogénesis de la enfermedad. *Medicina Clínica*, 136(6), 252–256. <https://doi.org/10.1016/j.medcli.2010.01.030>
- Dorado L., A., & Revilla M., J. (2000). Radicales libres de oxígeno y distress respiratorio agudo. *Revista Cubana de Pediatría*, 72(3), 214–219. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0034-75312000000300007&script=sci_abstract
- Dovolou, E., Giannoulis, T., Nanas, I., & Amiridis, G. S. (2023). Heat stress: a serious disruptor of the reproductive physiology of dairy cows. *Animals*, 13(11), 1846. <https://doi.org/10.3390/ani13111846>
- El-Azeem, N., Abdel Magied, H., Ghazal, M., Ramadan, N., El-Azayem, E., Hussein, Y. S., & Habib, H. (2022). Improve reproductive and health status of rabbit does under heat stress by using phytogenic and prebiotic sources. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 10(12). <https://doi.org/10.17582/journal.aavs/2022/10.12.2511.2521>
- El-hanoun, A., Elkomy, A. E., Fares, W. A., & Shahien, H. (2014). Impact of royal jelly to improve reproductive performance of male rabbits under hot summer conditions. *World Rabbit Science*, 22, 241–248. <https://doi.org/10.4995/wrs.2014.1677>
- EL-Tohamy, M., Kotp, M., El-Nattat, W., & Mohamed, A. (2012). Semen characteristics and oxidative/antioxidative status in semen and serum of male rabbits supplemented with antioxidants during heat stress. *Iran Journal of Applied Animal Science*, 2(2), 175–183. www.ijas.ir
- Ferrian, S., Guerrero, I., Blas, E., García-Diego, F. J., Viana, D., Pascual, J. J., & Corpa, J. M. (2012). How selection for reproduction or foundation for longevity could have affected blood lymphocyte populations of rabbit does under conventional and heat stress conditions. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 150(1–2), 53–60. <https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2012.08.007>
- Finzi A., Morera P., & Kuzminsky G. (1995). Sperm abnormalities as possible indicators of rabbit chronic heat stress. *World Rabbit Science*, 3(4), 157–161. <https://doi.org/10.4995/wrs.1995.256>
- Gonzalez-Rivas, P. A., Chauhan, S. S., Ha, M., Fegan, N., Dunshea, F. R., & Warner, R. D. (2020). Effects of heat stress on animal physiology, metabolism, and meat quality: A review. *Meat Science*, 162, 1–42. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.108025>

- Halliwell, B. (1996). Antioxidants: The Basics-what they are and how to Evaluate them. *Advances in Pharmacology*, 38, 3–20. [https://doi.org/10.1016/S1054-3589\(08\)60976-X](https://doi.org/10.1016/S1054-3589(08)60976-X)
- Hamilton, T. R. dos S., Mendes, C. M., Castro, L. S. de, Assis, P. M. de, Siqueira, A. F. P., Delgado, J. de C., Goissis, M. D., Muiño-Blanco, T., Cebrián-Pérez, J. Á., Nichi, M., Visintin, J. A., & Assumpção, M. E. O. D. (2016). Evaluation of lasting effects of heat stress on sperm profile and oxidative status of ram semen and epididymal sperm. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2016, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2016/1687657>
- Holly, J. M. P., & Wass, J. A. H. (1989). Insulin-like growth factors; autocrine, paracrine or endocrine? New perspectives of the somatomedin hypothesis in the light of recent developments. *Journal of Endocrinology*, 122(3), 611–618. <https://doi.org/10.1677/joe.0.1220611>
- Ibraheem, H. S., Abdelatif, A. M., & Elageeb, M. E. (2018). Effects of immobilization, heat stress and antioxidant supplementation on thermoregulation and haematological responses in male rabbits (*Oryctolagus cuniculus*). *Journal of Applied Life Sciences International*, 19(4), 1–12. <https://doi.org/10.9734/JALSI/2018/45200>
- Imbabi, T. A., Habashy, W. S., Abol-Fetouh, G. M., Labib, M. M., Osman, A., Elkelish, A., Qurtam, A. A., Tantawi, A. A., & Ahmed-Farid, O. (2023). Enhancing semen quality, brain neurotransmitters, and antioxidant status of rabbits under heat stress by acacia gum, vitamin C, and lycopene as dietary supplements: An *in vitro* and *in silico* study. *Italian Journal of Animal Science*, 22(1), 321–336. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2023.2187715>
- Jaén-Téllez, J. A., Sánchez-Guerrero, M. J., Valera, M., & González-Redondo, P. (2021). Influence of stress assessed through infrared thermography and environmental parameters on the performance of fattening rabbits. *Animals*, 11(6), 1747. <https://doi.org/10.3390/ani11061747>
- Jimoh, O. A., Ewuola E O, & Acheneje P. (2021). Metabolic and oxidative stress markers of rabbit bucks at peak of heat stress in Southwest Nigeria. *Revista Nigeriana de Ciencia Animal*, 21(1), 71–79. <https://doi.org/https://www.ajol.info/index.php/tjas/article/view/212011>
- Johnson, J. S., Abuajamieh, M., Sanz F., M. V., Seibert, J. T., Stoakes, S. K., Nteeba, J., Keating, A. F., Ross, J. W., Rhoads, R. P., & Baumgard, L. (2015). Thermal stress alters postabsorptive metabolism during pre- and postnatal development. *In Climate Change Impact on Livestock: Adaptation and Mitigation*, 61–79. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2265-1_5

- Karaer, M. C., Čebulj-Kadunc, N., & Snoj, T. (2023). Stress in wildlife: comparison of the stress response among domestic, captive, and free-ranging animals. *Frontiers in Veterinary Science*, 10, 1-11. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1167016>
- Khan, I., Mesalam, A., Heo, Y. S., Lee, S.-H., Nabi, G., & Kong, I.-K. (2023). Heat stress as a barrier to successful reproduction and potential alleviation strategies in cattle. *Animals*, 13(14), 2-15. <https://doi.org/10.3390/ani13142359>
- Liang, Z.-L., Chen, F., Park, S., Balasubramanian, B., & Liu, W.-C. (2022). Impacts of heat stress on rabbit immune function, endocrine, blood biochemical changes, antioxidant capacity and production performance, and the potential mitigation strategies of nutritional intervention. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 1-15. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.906084>
- Lozano-Domínguez, R. R., Vásquez-Peláez, C. G., & González-Padilla, E. (2005). Efecto del estrés calórico y su interacción con otras variables de manejo y productivas sobre la tasa de gestación de vacas lecheras en Aguascalientes, México. *Veterinaria México*, 36(3), 245–260. <https://www.redalyc.org/pdf/423/42336301.pdf>
- Madkour, M., Shakweer, W. M. E., Hashem, N. M., Aboelazab, O., Younis, E., El-Azeem, N. A., & Shourrap, M. (2023). Antioxidants status and physiological responses to early and late heat stress in two rabbit breeds. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 107(1), 298–307. <https://doi.org/10.1111/jpn.13781>
- Maertens, L., Lebas, F., & Szendrő, z. (2006). Rabbit milk: A review of quantity, quality and non-dietary affecting factors. *World Rabbit Science*, 205–230. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/9560/565-1059-1-SM.pdf>
- Marco-Jiménez, F., García-Diego, F. J., & Vicente, J. S. (2017). Effect of gestational and lactational exposure to heat stress on performance in rabbits. *World Rabbit Science*, 25(1), 17. <https://doi.org/10.4995/wrs.2017.5728>
- Markowska, A., Rebuffat, P., Rocco, S., Gottardo, G., Mazzocchi, G., & Nussdorfer, G. G. (1993). Evidence that an extrahypothalamic pituitary corticotropin-releasing hormone (CRH)/adrenocorticotropin (ACTH) system controls adrenal growth and secretion in rats. *Cell & Tissue Research*, 272(3), 439–445. <https://doi.org/10.1007/BF00318550>
- Marzoni, M., & Mori, B. (1992). Factores estresantes y comportamiento del conejo. *Conigliocultura*, 29(2), 19–23. <https://core.ac.uk/download/pdf/33161135.pdf>
- McEwen, B. S. (2007). Physiology and neurobiology of stress and adaptation: central role of the brain. *Physiological Reviews*, 87(3), 873–904. <https://doi.org/10.1152/physrev.00041.2006>

- Minton, J. E. (1994). Function of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis and the sympathetic nervous system in models of acute stress in domestic farm animals. *Journal of Animal Science*, 72(7), 1891–1898. <https://doi.org/10.2527/1994.7271891x>
- Mohapatra, S. S., Mukherjee, J., Bharti, M. K., Kumar, M., & Parkunan, T. (2022). Effect of global climate change on livestock production and mitigation strategies to decelerate climate change: A review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 11(1), 34–45. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2022.1101.006>
- Mutweddu, V. B., Nyongesa, A. W., Oduma, J. A., Kitaa, J. M., & Mbaria, J. M. (2021). Thermal stress causes oxidative stress and physiological changes in female rabbits. *Journal of Thermal Biology*, 95, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102780>
- Naseer, Z., Ahmad, E., Aksoy, M., & Epikmen, E. T. (2020). Impact of quercetin supplementation on testicular functions in summer heat-stressed rabbits. *World Rabbit Science*, 28(1), 19. <https://doi.org/10.4995/wrs.2020.12420>
- Naseer, Z., Ahmad, E., Epikmen, E. T., Uçan, U., Boyacioğlu, M., İpek, E., & Aksoy, M. (2017). Quercetin supplemented diet improves follicular development, oocyte quality, and reduces ovarian apoptosis in rabbits during summer heat stress. *Theriogenology*, 96, 136–141. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.03.029>
- Naseer, Z., Ahmad, E., Şahiner, H. S., Epikmen, E. T., Fiaz, M., Yousuf, M. R., Khan, S. A., Serin, İ., Ceylan, A., & Aksoy, M. (2018). Dietary quercetin maintains the semen quality in rabbits under summer heat stress. *Theriogenology*, 122, 88–93. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2018.09.009>
- Negrón-Pérez, V. M., Fausnacht, D. W., & Rhoads, M. L. (2019). Invited review: Management strategies capable of improving the reproductive performance of heat-stressed dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 102(12), 10695–10710. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16718>
- Pei, Y., Wu, Y., Cao, J., & Qin, Y. (2012). Effects of chronic heat stress on the reproductive capacity of male Rex rabbits. *Livestock Science*, 146(1), 13–21. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.02.015>
- Ramires, C., Augusto, G., Zanzarini, D. J., Cavalcanti, M., Antônio, J., Papa, O., & Antonio, M. (2013). The relationships between scrotal surface temperature, age and sperm quality in stallions. *Livestock Science*, 157(1), 358–363. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.06.026>

- Rebez, E. B., Sejian, V., Silpa, M. V., & Dunshea, F. R. (2023). Heat stress and histopathological changes of vital organs: a novel approach to assess climate resilience in farm animals. *Sustainability*, 15(2), 1242. <https://doi.org/10.3390/su15021242>
- Reséndiz-Cruz, V., Ramírez-Bribiesca, J. E., Mota-Rojas, D., Guerrero-Legarreta, I., Cruz-Monterrosa, R. G., & Hernandez-Sanchez, D. (2018). The effect of stress on haematologic response and physicochemical parameters of muscle meat in rabbits. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 102(1), 1-10. <https://doi.org/10.1111/jpn.12759>
- Sesay, A. R. (2023). Effect of heat stress on dairy cow production, reproduction, health, and potential mitigation strategies. *Journal of Applied and Advanced Research*, 9, 13–25. <https://doi.org/10.21839/jaar.2023.v8.8371>
- Sirotkin, A. V., Parkanyi, V., & Pivko, J. (2021). High temperature impairs rabbit viability, feed consumption, growth and fecundity: examination of endocrine mechanisms. *Domestic Animal Endocrinology*, 74, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2020.106478>
- Srikandakumar, A., Johnson, E. H., & Mahgoub, O. (2003). Effect of heat stress on respiratory rate, rectal temperature and blood chemistry in Omani and Australian Merino sheep. *Small Ruminant Research* 49(2), 193–198. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(03\)00097-X](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(03)00097-X)
- Vélez Marín, M., & Uribe Velásquez, L. F. (2010). ¿Cómo afecta el estrés calórico la reproducción? *Biosalud*, 9(2), 83–95. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1657-95502010000200009
- Yaeram, J., Setchell, B. P., & Maddocks, S. (2006). Effect of heat stress on the fertility of male mice *in vivo* and *in vitro*. *Reproduction, Fertility and Development*, 18(6), 647. <https://doi.org/10.1071/RD05022>
- Yan, G., Liu, K., Hao, Z., Shi, Z., & Li, H. (2021). The effects of cow-related factors on rectal temperature, respiration rate, and temperature-humidity index thresholds for lactating cows exposed to heat stress. *Journal of Thermal Biology*, 100, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2021.103041>
- Zeferino, C., Komiyama, C., Fernandes, S., Sartori, J., Teixeira, P., & Moura, A. (2013). Carcass and meat quality traits of rabbits under heat stress. *Animal*, 7(3), 518–523. <https://doi.org/10.1017/S1751731112001838>
- Zerihune, T., Misrak, A., & Wendwesen, T. (2022). Review on food animals stress and food quality and safety risk. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 12(1), 15-21. <https://doi.org/10.7176/JBAH/12-1-02>

- Zeweil, H. S. (2017). Effects of parsley supplementation on the seminal quality, blood lipid profile and oxidant status of young and old male rabbits. *World Rabbit Science*, 25, 215–223. <https://doi.org/10.4995/wrs.2017.6532>
- Zeweil, H. S., Elnagar, S., Zahran, S. M., Ahmed, M. H., & El-Gindy, Y. (2013). Pomegranate peel as a natural antioxidant boosts bucks' fertility under Egyptian summer conditions. *World Rabbit Science*, 21(1), 33–39. <https://doi.org/10.4995/wrs.2013.1209>

Este capítulo fue enviado a Abanico Veterinario el 12 de mayo de 2024.

4. COMPORTAMIENTO SEXUAL, CALIDAD SEMINAL Y POTENCIAL REPRODUCTIVO EN CONEJOS SUPLEMENTADOS CON B-CAROTENO O QUERCETINA BAJO ESTRÉS CALÓRICO

Sexual behavior, seminal quality, and reproductive potential in rabbits

supplemented with β -carotene or quercetin under heat stress

Luis Miguel Hernández-Velázquez ¹, Raymundo Rodríguez-De Lara^{1*}, Marianella Fallas-López², Demetrio Alonso Ambriz-García³, Rodolfo Ramírez-Valverde ¹

¹Posgrado en Producción Animal, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco 56230, México; lm-h-v@hotmail.com (L.M.H.V); rayrodriguezdelara@gmail.com (R.R.DL); rrv33@hotmail.com (R.R.V.)

²“Conejos” Centro de Investigación Científica del Estado de México A.C., Texcoco, Estado de México 56250, México. conejoscocicemac@gmail.com

³División de Ciencias Biológicas y de Salud, Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa 09340, Ciudad de México. deme@xanum.uam.mx

*Autor para correspondencia: rayrodriguezdelara@gmail.com

Comportamiento sexual, calidad seminal y potencial reproductivo en conejos suplementados con β -caroteno o quercetina bajo estrés calórico

Sexual behavior, seminal quality, and reproductive potential in rabbits supplemented with β -carotene or quercetin under heat stress

Hernández-Velázquez Luis Miguel¹, Rodríguez-De Lara Raymundo¹, Fallas-López Marianella², Ambriz-García Demetrio Alonso³, Ramírez-Valverde Rodolfo¹

¹ Posgrado en Producción Animal, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco 56230², México. "Conejos" Centro de Investigación Científica del Estado de México A.C., Texcoco, Estado de México 56250, México. ³División de Ciencias Biológicas y de Salud, Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa 09340, Ciudad de México. lm-h-v@hotmail.com, rayrodriguezdelara@gmail.com, conejoscocicemac@gmail.com, deme@xanum.uam.mx, rrv33@hotmail.com

RESUMEN

Se evaluó el potencial reproductivo de conejos Nueva Zelanda Blanco bajo condiciones de estrés calórico, y suplementados con β -caroteno o quercetina. Treinta y seis conejos machos fértiles de 13-15 meses de edad fueron asignados aleatoriamente a tres tratamientos: T1) control, T2) 0.5 ppm de β -caroteno; y T3) 30 ppm de quercetina. Las dosis se expresaron por kilogramo de peso vivo y se administraron oralmente tres veces por semana en cápsulas de grenetina. Las colectas de semen se realizaron una vez por semana, con dos eyaculados en cada sesión, durante 12 semanas. Conejos con quercetina tardaron más tiempo en eyacular (menor libido) que aquellos con β -caroteno y controles en un 86.2 y 45.8 %, respectivamente. El tipo de suplementación no influyó ($p>0.05$) la presencia de gel, osmolaridad o pH, pero sí el volumen seminal ($p=0.0004$). Los volúmenes seminales con β -caroteno fueron mayores en 0.11 mL (+16.4 %) y 0.13 mL (+20 %) que los suplementados con quercetina y controles, respectivamente. La concentración de espermatozoides vivos normales progresivos motiles por eyaculado y número de dosis potenciales para inseminación artificial fueron superiores ($p=0.04$) en conejos suplementados con β -caroteno en 23.2 y 7.4 % con respecto a aquellos con quercetina y los controles. La inclusión de β -caroteno mejoró la libido y el potencial reproductivo en conejos bajo estrés calórico.

Palabras clave: libido, semen, dosis para inseminación artificial, antioxidantes, conejos

ABSTRACT

The reproductive potential of New Zealand White rabbits under heat stress conditions and supplemented with β -carotene or quercetin was evaluated. Thirty-six male fertile 13-15 month-old rabbits were randomly assigned to three treatments: 1) control: T2) 0.5 ppm β -carotene; and T3) 30 ppm quercetin. Doses expressed per kilogram of live body weight and administered orally in capsules of grenetin three times per week. Semen collections were performed once a week with two ejaculates in each session for 12 weeks. Rabbits with quercetin took longer to ejaculate (lower libido) than those with β -carotene and controls by 86.2 and 45.8 %, respectively. The type of supplementation did not influence ($p>0.05$) the presence of gel, osmolality, or pH but did influence seminal volume ($p=0.0004$). The seminal volumes with β -carotene were higher by 0.11 mL (+16.4 %) and 0.13 mL (+20 %) than those with quercetin and controls, respectively. The concentration of motile progressive normal live spermatozoa per ejaculate and the number of potential doses for artificial insemination were higher ($p=0.04$) in rabbits supplemented with β -carotene by 23.2 and 7.4 %, concerning those with quercetin and controls. Supplementation of β -carotene improves libido and reproductive potential in rabbits under heat stress.

Keywords: libido, semen, doses for artificial insemination, antioxidants, rabbits

INTRODUCCIÓN

Factores como altas temperaturas, lesiones, parásitos y enfermedades son causantes de estrés ([Barja, 2005](#)). El estrés calórico es uno de los eventos más nocivos para el organismo, de tal forma que, el sistema nervioso busca regular la temperatura comenzando a segregar noradrenalina y adrenalina, lo que induce un aumento en la frecuencia cardíaca y respiratoria ([Romo-Valdez et al., 2022](#)), esto conlleva a un menor consumo de materia seca y un gasto energético elevado ([Minton, 1994](#)). Sin embargo, periodos prolongados de estrés calórico generan una gran cantidad de especies reactivas de oxígeno ([Carvajal, 2019](#); [Cordero et al., 2011](#)), afectando gravemente las células de los órganos ([Gonzalez-Rivas et al., 2020](#)). Aunado a esta problemática, en conejos machos se deteriora la estructura y funcionalidad de los testículos, lo que disminuye el volumen del eyaculado y compromete la viabilidad de los espermatozoides ([Yaeram et al., 2006](#)).

Para reducir los efectos de las especies reactivas de oxígeno es necesario incrementar el número de moléculas antioxidantes; la quercetina y el β -caroteno tienen la capacidad de donar electrones a las especies reactivas de oxígeno, evitando el daño a las células ([Mueller & Boehm, 2011](#); [Xu et al., 2019](#)). Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de suplementar β -caroteno o quercetina como fuentes antioxidantes en el comportamiento sexual, calidad seminal y potencial reproductivo de conejos locales Nueva Zelanda Blanco bajo condiciones ambientales de estrés calórico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Conejos, tratamientos, diseño y procedimientos experimentales

El estudio se realizó en “Conejos” Centro de Investigación Científica del Estado de México A.C. (COCICEMAC), localizado en San Miguel Coatlinchán, Texcoco, Estado de México.

Se utilizaron 36 conejos machos fértiles Nueva Zelanda Blanco de 13 a 15 meses de edad, con pesos promedio de 4200 g, y estos fueron asignados a uno de tres

tratamientos experimentales: T1) control; T2) con suplemento de 0.5 ppm β -caroteno (≥ 93 % de pureza; Sigma-Aldrich®); y T3) con suplemento de 30 ppm de quercetina (≥ 95 % de pureza; Sigma-Aldrich®). Las dosis se expresaron por kilogramo de peso vivo y se administraron a cada conejo por vía bucal dentro de cápsulas de gretina tres veces por semana, los martes, jueves y viernes a las 8.00 am.

El diseño experimental fue completamente al azar con doce repeticiones por tratamiento, la unidad experimental fue el conejo. Los conejos fueron sometidos previamente a un periodo de adaptación a los suplementos de prueba durante 50 días, teniendo un periodo total de suplementación de 134 días.

Se alojaron en jaulas metálicas galvanizadas 45 x 60 x 45 cm, provistas con bebederos automáticos tipo tetina y comederos tolva tipo inglés, y confinados en una unidad con ambiente natural de doble agua provista con aislamiento térmico en paredes laterales, pero no en los techos. Los conejos recibieron luz natural y 200 g diarios de alimento comercial peletizado (Conejo Reproductor, Unión, Tepexpan®), con 17.4 % de proteína cruda, 5.3 % de grasa, 15.0 % de fibra cruda, 8.0 % de cenizas, 44.2 % de extracto libre de nitrógeno, 1.2 % calcio, 0.7 % fósforo, 2608 kcal de energía digestible kg⁻¹ y 10.1 % de humedad.

Las colectas de semen se realizaron una vez por semana con dos eyaculados en cada sesión durante un periodo de 12 semanas. Las tomas de muestras se iniciaron el 2 de abril y finalizaron el 18 de junio de 2022. Las extracciones de semen se realizaron empleando una vagina artificial de acuerdo con el método inglés de [Walton](#) (1958). El tiempo de reacción o libido se determinó utilizando un cronómetro desde el momento que se introdujo la coneja de apoyo y la vagina artificial hasta el momento de la eyaculación. Los eyaculados fueron mantenidos en baño María a 32 °C para su evaluación. Cuando las muestras presentaban gel, este fue removido del tubo colector. El volumen seminal se midió directamente en tubos colectores graduados a razón de 0.2 mL. El pH del semen fue determinado empleando tiras reactivas de papel indicador de pH (Dual Tint®). Las temperaturas máximas y mínimas diarias se registraron con el dispositivo

UNI-T® modelo UT333 BT, también se tomó registro al momento de la colecta del semen. Para determinar la osmolaridad del eyaculado, 50 µL de semen de cada macho se diluyó en una solución buffer salina fosfatada (Dulbecco A; Oxoid Inc., UK) y sometida a prueba utilizando el equipo Osmomat 3000 (Genotec GmbH). Cada muestra de semen se diluyó 1:5; de esta dilución, se tomó una alícuota de 50 µL de semen y se mezcló con 250 µL de solución buffer salina fosfatada. Para el análisis de semen se realizó una segunda dilución con Viadent (Hoechst 33258) 1:1, se tomó 100 µL de la dilución previa y 100 µL de Viadent. Esta última contiene bisBenzimida Triclorhidrato y utiliza luz fluorescente para determinar el número de células no viables, ya que tiñe las células con las membranas dañadas. Posteriormente, se tomó una alícuota ($\pm 3 \mu\text{L}$) de esta última dilución y fue sometida para su valoración utilizando el Sistema de Análisis de Semen Computarizado CASA (IVOS II, v 1.7, Hamilton Thorne Research, Beverly, MA.). Para dicho análisis, las muestras se incubaron por 2 min a 37 °C dentro del CASA, en una Leja de profundidad fija de 20 micrones, en la que se analizaron varios campos y se registraron al menos 400 espermatozoides.

Variables de respuesta y análisis estadístico

Las variables de respuesta fueron comportamiento sexual o tiempo de reacción, presencia de gel, volumen seminal, osmolaridad, pH, concentración de espermatozoides vivos normales progresivos motiles por eyaculado (EVNPMPE) y número de dosis potenciales para uso en inseminación artificial (IA). El número de EVNPMPE fue calculado con base al volumen y a la concentración espermática por mL, motilidad progresiva, viabilidad y normalidad determinada por el sistema CASA. El número de dosis para uso en IA se estimó dividiendo EVNPMPE y la concentración de la dosis seminal de 5 millones. Las variables de estudio fueron sometidos a análisis de varianza, considerando el modelo aditivo lineal:

$$Y_{ijk} = \mu + S_i + E_j + M_k + (S * E)_{ij} + b_1(X_{ijkl} - \bar{X}) + b_2(X_{ijkl} - \bar{X}) + b_3(X_{ijkl} - \bar{X}) + \varepsilon_{ijkl}.$$

Donde Y_{ijk} , es la variable respuesta; μ , es la media general; S_i , es el efecto fijo del i -ésimo tipo de suplementación ($i = \beta$ -caroteno, quercetina, control,); E_j , es el efecto fijo del j -ésimo eyaculado ($j =$ primero, segundo); M_k , es el efecto aleatorio del k -ésimo macho ($k = 1, \dots, 36$) $\sim NID(0, \sigma^2)$; $(S * E)_{ij}$ es la interacción entre tipo de suplementación y orden de eyaculado; b_1 es el coeficiente de regresión lineal de la covariable peso del conejo al momento de la colección de semen; b_2 es el coeficiente de regresión lineal de la covariable sesión de colección de semen; b_3 es el coeficiente de regresión lineal de la covariable temperatura ambiental al momento de la colección de semen y ϵ_{ijkl} , es el residual $\sim NID(0, \sigma^2_e)$. Las variables en porcentaje se transformaron utilizando arco seno. El tiempo de reacción y las concentraciones espermáticas mediante log 10.

Todos los análisis de varianza se hicieron con los datos originales y transformados. Las covariables que no mostraron un efecto significativo ($p > 0.05$) fueron eliminadas del modelo y se volvió a realizar el análisis. Los análisis de varianza dieron los mismos patrones de respuesta cuando se utilizaron los datos transformados y los originales, por lo cual, los resultados del análisis de varianza se presentaron con la información original. Las variables de respuesta se analizaron mediante cuadrados medios mínimos utilizando el procedimiento PROC MIXED de SAS (2016). Las comparaciones de medias se realizaron utilizando la prueba de Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las temperaturas máximas y mínimas promedio por mes a lo largo del experimento se muestran en el Cuadro 1. Los registros de temperatura en el presente estudio resaltan que los conejos bajo las condiciones que fueron alojados estuvieron bajo estrés calórico. ya que se ha mostrado que la zona de termo neutralidad óptima oscila entre los 15 y 20 °C, de los 20 hasta los 30 °C los conejos son capaces de termo regular su temperatura, y temperaturas por arriba de los 30 °C han mostrado que los conejos entran en un estado de estrés calórico y así se disminuyen los niveles de testosterona, libido, volumen seminal,

motilidad, concentración espermática y se incrementan los porcentajes de espermatozoides muertos y las anormalidades espermáticas ([EL-Tohamy et al., 2012](#); [Ramires-Neto et al., 2013](#)).

Cuadro 1. Temperaturas ambientales máximas y mínimas (°C) registradas durante los meses del período experimental.

Item	Abril	Mayo	Junio
Temperatura ambiental máxima	31.51 ± 2.08	33.8 ± 1.53	31.45 ± 2.2
Temperatura ambiental mínima	15.00 ± 2.75	14.8 ± 1.58	14.35 ± 1.36

Se analizaron un total de 804 registros para las diferentes variables evaluadas. En el Cuadro 2 se presentan las medias de cuadrados mínimos para los efectos de tipo de suplementación y orden de eyaculado en el comportamiento sexual, características seminales y potencial reproductivo. La covariable sesión de colección fue significativa ($p < 0.05$) para el volumen seminal, por lo que esta variable fue ajustada a una sesión estándar de 6.38. La covariable temperatura ambiental al momento de la colección de semen mostró influencia ($p < 0.05$) en la osmolaridad del eyaculado y fue ajustada a una temperatura estándar de 24.9 °C. La covariable peso del conejo al momento de la colección de semen fue significativa ($p < 0.05$) para el volumen seminal, la concentración de espermatozoides vivos normales progresivos motiles por eyaculado y número de dosis potenciales para inseminación artificial, por lo que estas variables fueron ajustadas a un peso estándar de 4218 g.

El tiempo de reacción bajo condiciones ambientales de estrés calórico en el presente estudio fue influenciado ($p = 0.002$) por el tipo de suplementación. Los conejos con quercetina tardaron más tiempo en eyacular (menor libido) que aquellos con β -caroteno y los controles en un 86.2 y 45.8 %, respectivamente. No se detectaron efectos ($p > 0.05$) de tipo de suplementación en la proporción de eyaculados con presencia de gel, osmolaridad y pH del contenido seminal, pero sí en el volumen ($p = 0.0004$). Los volúmenes de los eyaculados de los conejos suplementados con β -caroteno fueron superiores en 0.11 mL (+16.4 %) y 0.13

mL (+20 %) comparados con aquellos registrados con quercetina y los controles, respectivamente. Se detectó un efecto ($p=0.04$) del tipo de suplementación en el potencial reproductivo. La concentración de espermatozoides vivos normales progresivos motiles por eyaculado y número de dosis potenciales para uso en IA fueron superiores en conejos con β -caroteno en 23.2 y 7.4 % con respecto a aquellos con quercetina y los controles. No obstante, no fueron detectadas ($p>0.05$) diferencias estadísticas entre el primero y el último. El orden de eyaculado afectó ($p=0.0001$) la proporción de eyaculados con presencia de gel, volumen seminal, concentración de espermatozoides vivos normales motiles progresivos por eyaculado y número de dosis potenciales para IA. La presencia de gel y volumen seminal en el primer eyaculado fue superior a la del segundo en 81.7 y 64.1 %, respectivamente. La concentración de espermatozoides vivos normales progresivos motiles por eyaculado y dosis en los primeros eyaculados fueron mayores que los segundos (+61 %). No se detectaron efectos ($p>0.05$) de interacción entre el tipo de suplementación y el orden de eyaculado.

En conejos, [Naseer et al. \(2020\)](#) encontraron mejoras en el volumen, concentración y en la motilidad progresiva cuando se suplementa con 30 ppm/kg día quercetina; sin embargo, los resultados del presente estudio muestran que la quercetina tiene un efecto similar al del grupo control; al respecto, algunos estudios mencionan que dosis altas de 875 ppm/kg de quercetina afecta la capacidad antioxidante ([Johnson & Loo, 2000](#); [Kang et al., 2013](#)), ya que exhibe un efecto doble donde puede volverse genotóxica y citotóxica, lo que indica un cambio de su papel antioxidante a un prooxidante ([Ahmed, 2022](#)). Sin embargo, las dosis del presente estudio no fueron elevadas, pero sí tuvieron un periodo largo de administración, lo que puede estar relacionado con el efecto prooxidante. A tal efecto existe poca información; sin embargo, se ha mostrado que los flavonoides, como la quercetina, pueden formar un radical hidroxilo mediante la unión de un complejo flavonoide hierro redox ([Hanasaki et al., 1994](#)). En conejos existe poca información sobre el impacto de la suplementación con β -caroteno en la calidad seminal y su potencial reproductivo.

Cuadro 2. Medias de cuadrados mínimos ($\pm$ error estándar) para los efectos de tipo de suplementación y orden de eyaculado en el comportamiento sexual, características seminales y potencial reproductivo en conejos Nueva Zelanda Blanco bajo estrés calórico.

Item	Tipo de suplementación			Valor - p	Orden de eyaculado		Valor - p
	β -caroteno N = 265	Quercetina N = 273	Control N = 266		Primero N = 393	Segundo N = 411	
Tiempo de reacción (s)	7.09 $\pm$ 1.28 ^b	13.2 $\pm$ 1.26 ^a	9.05 $\pm$ 1.28 ^b	0.002	10.1 $\pm$ 1.05	9.41 $\pm$ 1.03	0.614
Presencia de gel (%)	0.33 $\pm$ 0.02	0.29 $\pm$ 0.02	0.29 $\pm$ 0.02	0.395	0.55 $\pm$ 0.02 ^a	0.06 $\pm$ 0.02 ^b	0.0001
Volumen (mL) ° *	0.78 $\pm$ 0.03 ^a	0.67 $\pm$ 0.02 ^b	0.65 $\pm$ 0.03 ^b	0.0004	0.87 $\pm$ 0.02 ^a	0.53 $\pm$ 0.02 ^b	0.0001
Osmolaridad (mOsmol Kg ⁻¹) ^	287.3 $\pm$ 2.54	286.1 $\pm$ 2.52	285.4 $\pm$ 2.53	0.868	286.0 $\pm$ 2.08	286.5 $\pm$ 2.03	0.871
pH	7.0 $\pm$ 0.01	7.0 $\pm$ 0.01	7.0 $\pm$ 0.01	0.332	7.0 $\pm$ 0.008	7.0 $\pm$ 0.008	0.754
Espermatozoides vivos normales progresivos motiles por eyaculado (x10 ⁶) *	74.2 $\pm$ 4.00 ^a	60.2 $\pm$ 3.94 ^b	69.1 $\pm$ 4.00 ^{ab}	0.042	83.7 $\pm$ 3.28 ^a	51.9 $\pm$ 3.21 ^b	0.0001
Número de dosis potenciales para uso en inseminación artificial *	14.8 $\pm$ 0.80 ^a	12.4 $\pm$ 0.79 ^b	13.8 $\pm$ 0.80 ^{ab}	0.042	16.7 $\pm$ 0.66 ^a	10.4 $\pm$ 0.64 ^b	0.0001

* - Peso al momento de la colección de semen usada como covariable.

° - Orden de sesión usada como covariable.

^ - Temperatura ambiental al momento de la colección de semen usada como covariable.

^{ab} - Letras con diferentes superescritos en la misma fila son diferentes ($p < 0.05$).

En el presente estudio, el β -caroteno en conejos bajo estrés calórico incrementó el volumen seminal, la concentración de espermatozoides vivos normales motiles progresivos por eyaculado ($\times 10^6$) y el número potencial de dosis para uso de inseminación artificial. Estos resultados son consistentes con los reportados por [Mamina & Zhigalsky](#) (2019) en ratones, quienes reportaron que la suplementación con β -caroteno ejerció efectos positivos en la espermatogénesis, al observarse mejoras en la concentración espermática, motilidad, morfología y en la disminución de espermatozoides anormales. Además, se ha reportado que el β -caroteno protege los trastornos de la espermatogénesis inducidos por la radiación, reduciendo la mortalidad embrionaria y mejorando la función reproductiva en ratones y ratas macho ([Ma et al., 2021](#)). Así mismo, en hombres con problemas reproductivos, la suplementación con β -caroteno ha mostrado mejorar la motilidad total espermática ([Talebi et al., 2022](#)).

CONCLUSIONES

El suplemento con β -caroteno mejora las características seminales bajo condiciones de estrés calórico; por otra parte, la quercetina mostró efectos similares al grupo control, por lo que es importante validar nuevas dosis y periodos de tiempo para esclarecer el comportamiento reproductivo en conejos bajo dicho suplemento. También es importante considerar otros aspectos en futuros estudios, como la cinemática de movimiento de los espermatozoides, con el fin de esclarecer la relación de estos con los antioxidantes en condiciones ambientales calurosas.

LITERATURA CITADA

- Ahmed, W. (2022). Anticancer screening of quercetin as a natural treatment. *Scientific Journal for the Faculty of Science-Sirte University*, 2(2), 19–27. <https://doi.org/10.37375/sjfssu.v2i2.77>
- Barja, G. (2005). Relación entre el estrés oxidativo mitocondrial y la velocidad del envejecimiento. *Revista Española de Geriátría y Gerontología*, 40(4), 243–249. [https://doi.org/10.1016/S0211-139X\(05\)74861-7](https://doi.org/10.1016/S0211-139X(05)74861-7)
- Carvajal, C. (2019). Especies reactivas del oxígeno: formación, función, y estrés oxidativo. *Revista Medicina Legal de Costa Rica*, 36(1), 91–100. <https://doi.org/2215-5287>

- Cordero, M. D., de Miguel, M., & Moreno-Fernández, A. M. (2011). La disfunción mitocondrial en la fibromialgia y su implicación en la patogénesis de la enfermedad. *Medicina Clínica*, 136(6), 252–256. <https://doi.org/10.1016/j.medcli.2010.01.030>
- EL-Tohamy, M., Kotp, M., El-Nattat, W., & Mohamed, A. (2012). Semen characteristics and oxidative/antioxidative status in semen and serum of male rabbits supplemented with antioxidants during heat stress. *Iran Journal of Applied Animal Science*, 2(2), 175–183. www.ijas.ir
- Gonzalez-Rivas, P. A., Chauhan, S. S., Ha, M., Fegan, N., Dunshea, F. R., & Warner, R. D. (2020). Effects of heat stress on animal physiology, metabolism, and meat quality: A review. *Meat Science*, 162, 1–42. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.108025>
- Hanasaki, Y., Ogawa, S., & Fukui, S. (1994). The correlation between active oxygens scavenging and antioxidative effects of flavonoids. *Free Radical Biology and Medicine*, 16(6), 845–850. [https://doi.org/10.1016/0891-5849\(94\)90202-X](https://doi.org/10.1016/0891-5849(94)90202-X)
- Johnson, M. K., & Loo, G. (2000). Effects of epigallocatechin gallate and quercetin on oxidative damage to cellular DNA. *Mutation Research/DNA Repair*, 459(3), 211–218. [https://doi.org/10.1016/S0921-8777\(99\)00074-9](https://doi.org/10.1016/S0921-8777(99)00074-9)
- Kang, J.-T., Kwon, D.-K., Park, S.-J., Kim, S.-J., Moon, J.-H., Koo, O.-J., Jang, G., & Lee, B.-C. (2013). Quercetin improves the in vitro development of porcine oocytes by decreasing reactive oxygen species levels. *Journal of Veterinary Science*, 14(1), 15. <https://doi.org/10.4142/jvs.2013.14.1.15>
- Ma, D., Han, P., Song, M., Zhang, H., Shen, W., Huang, G., Zhao, M., Sun, Q., Zhao, Y., & Min, L. (2021). β -carotene rescues busulfan disrupted spermatogenesis through elevation in testicular antioxidant capability. *Frontiers in Pharmacology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.593953>
- Mamina, V. P., & Zhigalsky, O. A. (2019). Influence of β -carotene on the spermatogenic epithelium and output dominant lethal mutations in rats under the exposure to hexavalent chromium. *Hygiene and Sanitation*, 95(7), 682–685. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-7-682-685>
- Minton, J. E. (1994). Function of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis and the sympathetic nervous system in models of acute stress in domestic farm animals. *Journal of Animal Science*, 72(7), 1891–1898. <https://doi.org/10.2527/1994.7271891x>
- Mueller, L., & Boehm, V. (2011). Antioxidant activity of β -carotene compounds in different in vitro assays. *Molecules*, 16(2), 1055–1069. <https://doi.org/10.3390/molecules16021055>

- Naseer, Z., Ahmad, E., Aksoy, M., & Epikmen, E. T. (2020). Impact of quercetin supplementation on testicular functions in summer heat-stressed rabbits. *World Rabbit Science*, 28(1), 19. <https://doi.org/10.4995/wrs.2020.12420>
- Ramires-Neto, C., Monteiro, G. A., Zanzarini-Delfiol, D. J., Farras, M. C., Dell'aqua, J. A. Ô., Papa, F. O., & Alvarenga, M. A. (2013). The relationships between scrotal surface temperature, age and sperm quality in stallions. *Livestock Science*, 157(1), 358–363. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.06.026>
- Romo-Valdez, J., Silva-Hidalgo, G., Güémez-Gaxiola, H., Romo-Valdez, A., & Romo-Rubio, J. (2022). Estrés por calor: influencia sobre la fisiología, comportamiento productivo y reproductivo del cerdo. *Abanico Veterinario*, 12, 1–19. <https://doi.org/10.21929/abavet2022.37>
- SAS. (2016). SAS/STAT User's guide. (Release 9.1) SAS Publishing, Cary (NC), 1-7:5180.
- Talebi, S., Arab, A., & Sorraya, N. (2022). The association between dietary antioxidants and semen parameters: A cross-sectional study among Iranian infertile men. *Biological Trace Element Research*, 200(9), 3957–3964. <https://doi.org/10.1007/s12011-021-03007-3>
- Walton, A. (1958). Improvement in the design of an artificial vagina for the rabbit. *Physiol*, 143, 26–28.
- Xu, D., Hu, M.-J., Wang, Y.-Q., & Cui, Y.-L. (2019). Antioxidant activities of quercetin and its complexes for medicinal application. *Molecules*, 24(6), 1123. <https://doi.org/10.3390/molecules24061123>
- Yaeram, J., Setchell, B. P., & Maddocks, S. (2006). Effect of heat stress on the fertility of male mice *in vivo* and *in vitro*. *Reproduction, Fertility and Development*, 18(6), 647. <https://doi.org/10.1071/RD05022>

5. CONCLUSIONES GENERALES

Los resultados del presente estudio indican que el estrés calórico afecta la reproducción en la cunicultura, influyendo la calidad seminal, los folículos y producción láctea. Por otra parte, en condiciones de estrés calórico al suplementar con β -caroteno se mejoran las características seminales; sin embargo, la quercetina mostró efectos similares al grupo control, por lo que es importante validar nuevas dosis y periodos de tiempo para esclarecer el comportamiento reproductivo en conejos bajo dicho suplemento.