

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias de la Salud

Análisis sistemático del impacto del estrés calórico en el comportamiento estral en vacas y las alternativas de manejo para mitigar los efectos nocivos sobre la fertilidad

Juan Esteban Jijón Chiriboga

Medicina Veterinaria

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Médico Veterinario

Quito, 18 de mayo de 2023

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias de la Salud

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

**Análisis sistemático del impacto del estrés calórico en el comportamiento
estral en vacas y las alternativas de manejo para mitigar los efectos nocivos
sobre la fertilidad**

Juan Esteban Jijón Chiriboga

Nombre del profesor, Título académico Dr. Rommel Lenin Vinueza, DMVZ, M.Sc

Quito, 18 de mayo de 2023

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Juan Esteban Jijón Chiriboga

Código: 00215779

Cédula de identidad: 1717214835

Lugar y fecha: Quito, 18 de mayo de 2023

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

Los bovinos son animales homeotermos que mantienen una temperatura corporal fisiológica constante dentro de un rango entre 37.5 a 39 °C bajo la condición de que se encuentren expuestos a temperaturas ambientales dentro de su rango de confort térmico. Estos rangos de temperatura ambiental son referidos como la zona termoneutra en el cual la vaca se encuentra en un estado de homeostasis, debido a que la pérdida y ganancia de calor se encuentran en equilibrio. A lo largo de las últimas décadas debido al cambio climático, la temperatura ambiental ha incrementado y ha ocasionado que las vacas se expongan a temperaturas ambientales que sobrepasan su rango de confort térmico lo que conlleva a que los animales entren en un estado de hipertermia denominado como estrés calórico, que ocasiona alteraciones fisiológicas y hace que las vacas activen mecanismos de compensación con el propósito de restaurar la homeostasis y equilibrio de temperatura corporal en el organismo. Restablecer los cambios fisiológicos ocasionados por el estrés calórico provoca consecuencias negativas en el comportamiento del estro y la fertilidad en las vacas. Esto conduce a grandes pérdidas económicas dentro del sector ganadero ya que se ve afectada la identificación del celo. El propósito de este estudio fue realizar una revisión sistemática de publicaciones científicas con el objetivo de aclarar el efecto del estrés calórico en el comportamiento del estro vacas y las alternativas de manejo que se pueden implementar para mitigar los efectos. Se concluyó que efectivamente el estrés calórico ocasiona una disminución en la intensidad y duración del estro conllevando a disminuir la tasa de identificación del estro. No obstante, los resultados muestran que mediante la implementación de distintas estrategias de manejo se atenúan los efectos del estrés calórico.

Palabras clave: Estrés calórico, estro, fertilidad, bovinos, confort térmico, reproducción.

ABSTRACT

Cattle are homeothermic animals that maintain a constant physiological body temperature within a range between 37.5 to 39 °C under the condition that they are exposed to environmental temperatures within their thermal comfort range. These environmental temperature ranges are referred to as the thermoneutral zone in which the cow is in a state of homeostasis, since heat loss and gain are in balance. Throughout the last decades due to climate change, the environmental temperature has increased and has caused cows to be exposed to environmental temperatures that exceed their range of thermal comfort, which leads to the animals entering a state of hyperthermia known as heat stress, which causes physiological alterations and causes cows to activate compensation mechanisms with the purpose of restoring homeostasis and balance of body temperature in the organism. Restoring the physiological changes caused by heat stress has negative consequences on estrous behavior and fertility in cows. This leads to large economic losses within the livestock sector as heat identification is affected. The purpose of this study was to carry out a systematic review of scientific publications with the objective of clarifying the effect of heat stress on the behavior of estrus in cows and the management alternatives that can be implemented to mitigate the effects. It was concluded that indeed heat stress causes a decrease in the intensity and duration of estrus, leading to a decrease in the estrus identification rate. However, the results show that by implementing different management strategies the effects of heat stress are attenuated.

Key words: Heat stress, estrus, fertility, cattle, thermal comfort, reproduction.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	9
Desarrollo del tema	14
METODOLOGÍA	15
Resultados	16
Discusión.....	20
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	25
REFERENCIAS BIBLOGRÁFICAS.....	26

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Síntesis de las características de las publicaciones para lograr el objetivo 1 del presente trabajo	17
Tabla 2 Síntesis de las características de las publicaciones para lograr el objetivo 2 del presente trabajo	19

INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas, el cambio climático ha ocasionado un significativo incremento de la temperatura ambiental alrededor del mundo. De igual manera, ha producido una disminución de la precipitación, lo que afecta de manera negativa el rendimiento y la sostenibilidad en el sector ganadero. Cuando hay un aumento de la temperatura ambiental, las vacas que están expuestas a estrés calórico presentan un impacto nocivo en su comportamiento estral y fertilidad (Molina-Coto, 2017).

El cambio climático se puede observar claramente en varios lugares del mundo, como en la región del Cerrado, en el estado del Distrito Federal de Brasil, donde se ha documentado, a través de una evaluación climática, que durante los últimos 40 años ha habido una reducción del 23,7% en las precipitaciones y un aumento de la temperatura máxima en 1 grado Celsius (Martins et al., 2020). En el Sur de Australia, durante los años 1960 a 1999 se registró un promedio de estrés calórico por dos días consecutivos; sin embargo, a partir del año 2000 hasta el 2008 se aumentó el estrés calórico a cuatro días consecutivos.

Mediante varios modelos que predicen el cambio climático, se logró calcular que para el final del siglo XXI se mostrará un incremento de la temperatura de entre 1,1 hasta 6,4 grados Celsius (Lees et al., 2019). Como consecuencia del incremento de la temperatura ambiental, en Estados Unidos las pérdidas anuales fluctúan alrededor de los 900 millones de dólares debido a una reducción en la reproducción y producción (Polsky & Von Keyserlingk, 2017). Una de las consecuencias de tener una reproducción reducida en las vacas es que se afecta uno de los parámetros y manejos reproductivos más significativos, que es la eficacia en la detección del estro o celo. En Estados Unidos existe una pérdida aproximada de 300 millones de dólares debido a una disminución en la identificación del estro, ocasionado por algunos factores intrínsecos, entre ellos el estrés calórico (Cerón, 2016).

Los bovinos son animales homeotermos, es decir, tienen la capacidad de mantener su temperatura corporal constante en un rango de 37.5 °C a 39 °C (Pinilla, 2019), con independencia de la temperatura del medio ambiente, siempre y cuando se mantenga dentro de sus límites de zona de confort (Molina-Coto, 2017). El rango de confort térmico de las vacas lecheras se encuentra entre 5 y 25 °C (De Rensis et al., 2015); y para las vacas de carne, entre 4 y 27 °C (Gongora & Hernandez, 2010). Dentro de estos rangos de temperatura ambiental, denominados como zonas termoneutras, la vaca se encuentra en homeostasis, lo que le permite realizar sus funciones fisiológicas de manera normal sin tener la necesidad de gastar energía extra (Molina-Coto, 2017).

Considerando que dentro de su rango de confort térmico, la vaca se encuentra en un estado de equilibrio entre la ganancia y pérdida de calor, lo que le permite regular su temperatura interna y mantenerla dentro de los límites normales (Pinilla, 2019). En este sentido, cuando la vaca se expone a temperaturas superiores a las de su rango de confort térmico, experimenta un balance calórico positivo. Como resultado, el animal incrementa su temperatura corporal y entra en un estado de hipertermia que se conoce como estrés calórico. El estrés calórico es un factor de estrés ambiental que interrumpe el estado de homeostasis y provoca alteraciones fisiológicas en el organismo (Marín & Velázquez, 2010; Castaño et al., 2015). En consecuencia, la vaca comienza a desarrollar mecanismos de compensación que requieren energía adicional para poder disipar el calor a través de la evaporación, tanto cutánea como respiratoria. Algunos de estos mecanismos de compensación son: aumento en el consumo de agua, menor actividad física, aumento en la frecuencia de jadeo (Hoffmann et al., 2019), disminución metabólica y disminución en la ingesta voluntaria de alimento (VFI), de incluso hasta un 20% (Mayer, 2022). El objetivo de estos mecanismos es restablecer el equilibrio del balance calórico y volver al estado de homeostasis (Atutxa, 2022). Sin embargo, debido a la compensación causada por las altas temperaturas, se producen cambios fisiológicos que afectan

a nivel endocrinológico, circulatorio y metabólico, lo que a su vez afecta la fertilidad del animal. Como consecuencia el desempeño reproductivo se ve afectado no solo durante las temporadas cálidas, sino a largo plazo, ya que el estrés calórico tiene consecuencias duraderas en la fisiología del animal (De Rensis et al., 2015).

Desde la antigüedad se sabe que el estrés calórico tiene consecuencias negativas en los animales de producción. En la actualidad, el calentamiento global ha producido un aumento de los efectos adversos en el comportamiento estral y la fertilidad de los bovinos, por lo tanto, ha surgido la necesidad de realizar nuevas investigaciones con el fin de averiguar cómo sucede y cómo se podría prevenir.

Para poder medir o cuantificar el estrés calórico en los animales, se utiliza el índice de temperatura y humedad (THI), el cual calcula el efecto combinado de la humedad y temperatura. Sin embargo, los rangos y tablas de los índices de THI que son considerados como rango de confort o críticos pueden variar entre investigadores. Según Recce et al. (2021), el rango de confort térmico para una vaca lechera se encuentra en un valor de THI de 35 a 72. Por otro lado, un valor superior a 72 THI ya causa estrés y se lo considera crítico, lo que puede ocasionar problemas en el comportamiento del estro, la fertilidad y la producción (Recce et al., 2021; Linares, 2014; Mayer, 2022; Góngora & Hernández, 2010; Márquez et al., 2015).

En contraposición, Díaz (2021) expresa que la mayoría de investigadores indican que el rango de confort térmico para las vacas se encuentra en un valor inferior a 74. Un valor entre 74 a 78 THI es considerado una fase de alerta, mientras que un valor entre 78 a 80 THI sería una emergencia y un valor superior a 80 ya es nocivo para el animal. En cambio, según Schüller et al. (2017), en su estudio se determinó que los signos y comportamiento del estro comienzan a disminuir a partir de un valor de THI superior a 63. A pesar de estas pequeñas diferencias entre investigadores, se sabe que a medida que el THI aumenta, empieza a causar daños y alteraciones en el organismo del animal. Finalmente, es importante tener en cuenta las

diferentes perspectivas de los investigadores en cuanto a los valores críticos del índice de temperatura y humedad para poder identificar el nivel de estrés calórico en los animales y así tomar medidas preventivas para garantizar su bienestar.

Por otra parte, el ciclo estral de los bovinos está compuesto por cuatro etapas diferentes: estro, metaestro, diestro y proestro. El estro es la fase en la que la hembra cambia su comportamiento y entra en un período de receptividad sexual hacia el macho (Molina-Coto, 2017; Pinilla, 2019). Esto se debe a que, durante esta etapa, el folículo preovulatorio comienza a producir un aumento en la liberación de estradiol, lo que provoca que el animal presente signos y conductas de celo que conllevan a una fecundación viable (Atutxa, 2022; Castaño et al., 2015). Los signos que presenta un animal en celo son: monta y se deja montar por otras vacas, aumenta su actividad física, se muestra nerviosa, aumentan los mugidos, la vulva se inflama y se torna roja, y hay una secreción vaginal de moco transparente (Palomares, 2013; Schüller et al., 2017; Cerón, 2016). Es importante tener en cuenta que el conocimiento del ciclo estral de los bovinos es esencial para la planificación y el control de la reproducción, lo que puede tener un impacto significativo en la eficiencia de la producción ganadera. Es primordial saber que la duración del estro puede variar entre investigadores, pero generalmente se encuentra en un rango de 8 a 18 horas. Esta información es de suma importancia en la reproducción de bovinos, ya que la ovulación ocurre entre 24 a 36 horas después del inicio del estro, en la etapa de metaestro. En otras palabras, cuando la vaca ovula, ya ha pasado la fase de estro y ya no es receptiva al toro (Cerón, 2016; Molina-Coto, 2017). Por lo tanto, es esencial detectar el celo a tiempo, ya sea mediante monta directa o mediante inseminación artificial, para coincidir con la ovulación y lograr una fertilización viable (Maquez et al., 2015). Cabe destacar que las vacas sometidas a estrés calórico pueden presentar un comportamiento estral anormal, lo que resulta en una disminución en la intensidad y duración del celo. Este fenómeno directamente afecta la detección del estro, llegando a documentarse que hasta el 80% de los

celos no son detectados (De Rensis et al.,2015). Por otro lado, estos celos pueden no ser detectados debido al estrés calórico que puede ocasionar anestros u ovulaciones sin signos de celo, debido a la disminución de la capacidad esteroidogénica de las células del ovario. Esto conlleva una disminución de los niveles de concentración de estradiol en sangre (Sakatani et al., 2012; Maquez et al., 2015). Asimismo, se ha demostrado que las vacas en celo durante la temporada de invierno presentan 8.5 montas por estro, mientras que en la temporada de verano solo se observan 4.5 montas por estro debido a las alteraciones fisiológicas del organismo cuando se expone a altas temperaturas (Rensis et al., 2016).

Dentro del ámbito de la fertilidad del ganado bovino, es posible observar alteraciones ocasionadas por el estrés calórico en diferentes aspectos como el eje hipotálamo-hipofisario-ovárico, el desarrollo folicular, el ciclo estral, los embriones, la calidad de los ovocitos y el cuerpo lúteo, así como en el crecimiento y desarrollo del feto y en los cambios que se presentan en el ambiente uterino. Por otro lado, se debe tener en cuenta que este estrés puede interrumpir el proceso de reconocimiento materno y, en consecuencia, causar grandes pérdidas en las gestaciones, lo que a su vez afecta de manera significativa los parámetros reproductivos del ganado bovino (Evans & Zeng, 2017).

Para mitigar los efectos perjudiciales del estrés calórico en el comportamiento estral y la fertilidad de las vacas, existen diversas estrategias disponibles, entre ellas, la silvicultura, la transferencia de embriones, la administración de diversas hormonas, la implementación de ventiladores y sistemas de rociadores de agua, así como la incorporación de probióticos, antioxidantes y dietas con alto valor energético (Collier et al., 2017). A diferencia de las razas europeas como *Bos Taurus*, ciertos tipos de razas como el *Bos Indicus* están adaptadas y han desarrollado características termotolerantes a temperaturas elevadas (Martins et al.,2020).

DESARROLLO DEL TEMA

1. Pregunta de investigación:

1.1 ¿Se ha documentado si los investigadores han abordado sobre el efecto nocivo del estrés calórico en el comportamiento estral en vacas y su fertilidad?

1.2 ¿Las alternativas de manejo que sirven para mitigar las consecuencias negativas del estrés calórico están descritas en la literatura científica y es posible identificarlas?

2. Hipótesis

2.1 El estrés calórico produce un efecto nocivo d el comportamiento estral de vacas lo cual genera consecuencias negativas sobre su fertilidad, dicha información se encuentra registrada y respaldada en reportes de investigación

2.2 Las alternativas de manejo para mitigar el impacto del estrés calórico en la fertilidad en vacas están descritas en la literatura científica.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Describir, recopilar y sistematizar información de publicaciones científicas sobre el efecto del estrés calórico en vacas.

3.2 Objetivos específicos

6.2.1. Sistematizar, resumir y recopilar información de publicaciones con respecto al efecto del estrés calórico sobre el comportamiento estral en vacas y sus consecuencias sobre la fertilidad, mediante la elaboración de una tabla.

6.2.2 Sistematizar, procesar, sintetizar y describir las alternativas de manejo para mitigar el estrés calórico que se mencionan en la literatura científica, mediante la elaboración de una tabla.

METODOLOGÍA

El presente trabajo consistió en realizar una revisión sistemática en donde cada publicación fue analizada con la finalidad de extraer información sobre el impacto del estrés calórico en el comportamiento del estro y la fertilidad en vacas, así como las alternativas de manejo para mitigar los efectos del estrés calórico. Esta recopilación se centró en una revisión de artículos publicados desde 1986 hasta la actualidad, teniendo en cuenta distintos tipos de raza de vacas. Se recopiló y sintetizó distintas revistas, investigaciones y artículos científicos provenientes de fuentes como: *Pubmed, ScienceDirect, Elsevier, Google Scholar y Scielo* y otras fuentes como *Tesis universitarias*. Para realizar esta revisión, se utilizaron palabras clave tanto en inglés como en español, sin importar el orden, tales como: *Estrus, fertility, cattle, warm season, thermal comfort, reproduction, cow(s), silvopastoril system, dairy cow, warm season, heat stress, bovine, breeding protocol, welfare, stress, behavior estrous*. La información investigada se procesó a través del registrador de información bibliográfico *Zotero*. Se inicio la sistematización, a partir de 70 publicaciones, de las cuales se seleccionaron las 33 publicaciones mas relevantes que cubrían la mayor parte de la información con respecto a las hipótesis planteadas. La información analizada fue sintetizada, sistematizada y evidenciada mediante la elaboración de distintas tablas las cuales con el fin de responder las hipótesis planteadas.

RESULTADOS

El primer objetivo del presente trabajo fue sistematizar, resumir y recopilar información de publicaciones con respecto al efecto del estrés calórico sobre el comportamiento estral en vacas y sus consecuencias sobre la fertilidad. Se encontraron 70 publicaciones, de las cuales 60 fueron artículos, 3 tesis de grado, 1 tesis de posgrado y 6 corresponden a libros. Se seleccionaron las 10 publicaciones más relevantes que cubrían la mayor parte de la información del estrés calórico, como se observa en la tabla número 1. La información recolectada tiene que ver principalmente con la síntesis sobre cómo el estrés calórico afecta el comportamiento estral, tomando en cuenta distintos factores como alteraciones hormonales y del ciclo estral, cambios en los signos, duración e intensidad del celo, el valor del Índice de Temperatura y Humedad (THI) en el cual ya se observa estrés, y variaciones en el organismo, y por último, el efecto sobre la tasa de concepción y la fertilidad. Se observó que todos los autores coinciden en que las vacas expuestas a estrés calórico tienen consecuencias perjudiciales sobre su comportamiento estral y un efecto negativo en su fertilidad. La mayoría de publicaciones han realizado su estudio sobre razas Bos Taurus, como las Holstein, como se describe en la tabla 1.

Tabla 1 Síntesis de las características de las publicaciones para lograr el objetivo 1 del presente trabajo

Estudio	Objetivo	País	Razas	Resultados/resumen del efecto del estrés calórico
Schüller et al., 2017.	Investigar el impacto del estrés por calor en la expresión de los signos del estro y diámetro folicular al día del estro en vacas lecheras en condiciones de campo.	Alemania	Holstein-Jersey	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alteraciones hormonales: disminuyó la concentración de LH y estradiol. ▪ Disminución de huellas de monta en el estro, a partir de un THI de 65. ▪ Disminuyó secreción de fluido vaginal transparente en estro, a partir de un THI de 63. ▪ Mucosa vaginal rosada signo de estro se reduce a partir de un THI de 72. ▪ El tamaño del folículo preovulatorio (>12mm) disminuyó a medida que se aumentaba el THI, comenzando con un THI de 67. ▪ EC provocó que la TC disminuya.
Sakatani et al., 2012.	Investigar el efecto del calor de verano en los ciclos estrales, temperatura corporal y niveles de antioxidantes en sangre en vacas negras japonesas.	Japón	Wagyu	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aumento significativo en la duración del ciclo estral en verano 23.4 ± 0.5 en comparación con invierno 21.5 ± 0.5 ($p < 0,05$). ▪ No hubo diferencia significativa en la duración del celo en verano 13.5 ± 0.8 en comparación con invierno 14.2 ± 0.8 ($p < 0,05$). ▪ Disminución significativa en la actividad física durante el estro de 384.7 ± 34.7 (pasos/h) en comparación con las vacas en invierno 528.9 ± 43.5 (pasos/h) ($p < 0,001$). ▪ EC provocó una disminución en la TC en verano vs invierno. ▪ Disminución en la intensidad de signos de estro en verano vs invierno. ▪ Alteraciones hormonales: disminuyó la concentración de LH y estradiol.
Molina-Coto, 2017.	Caracterizar el efecto del estrés calórico sobre el comportamiento reproductivo, capacidad de establecimiento y mantenimiento de la preñez para sensibilizar sobre la necesidad de mitigación del estrés calórico en los bovinos.	Costa Rica	Distintas razas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Disminución en la duración y intensidad del estro. ▪ Alteraciones hormonales: en la concentración estradiol ▪ Disminución en la TC y la fertilidad. ▪ La observación de los signos de estro disminuyen de 83.17% a 16.17% a medida que aumenta el EC de un THI de 64.4 a 78.9. ▪ Incrementan las ovulaciones silenciosas y el anestro ▪ EC causa efecto negativo sobre la dinámica folicular y la competencia de ovocitos.
Cerón, 2016	ND	México	Distintas razas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Disminuye la fertilidad, la concentración sérica de estradiol, la actividad física, la intensidad del celo, el número de montas. ▪ TC disminuye del 30% en invierno vs 10 a 15% en verano. ▪ Efecto de EC ocasiona daños a largo plazo en el organismo del animal. ▪ Ocasiona cambios en los hábitos de alimentación.
Wolfenson et al., 1997	Examinar la producción de hormonas por cada tipo de células folicular, en animales expuestos a diferentes condiciones estacionales/de estrés por calor.	Israel	Holstein	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Disminuyo la concentración de estradiol en el liquido folicular en verano 72.4 ± 18.7 en comparación con el invierno 110.8 ± 15.8 ($p < 0,05$). ▪ Alteración en la capacidad esteroidogénica de las células del ovario.

Rensis & Scaramuzzi, 2003	ND	Italia	Distintas razas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Intensidad y duración del celo se reduce en vacas expuestas a EC. ▪ EC provoca que la actividad física y los signos de estro se reduzcan. ▪ Incrementan las ovulaciones silenciosas y el anestro. ▪ Disminuye el número de montas en verano vs invierno. ▪ En climas cálidos hay aumento de inseminaciones no viables y menor número de inseminaciones. ▪ TC disminuye un 20 a 30% en verano comparado con invierno. ▪ Disminuye la fertilidad y la concentración sérica de estradiol. ▪ Alteración en la capacidad esteroideogénica de las células del ovario. ▪ Alteración sobre el eje hipotálamo hipofisario ovárico.
Kadokawa et al., 2012	Breve descripción de los mecanismos de porque el estrés calórico compromete la reproducción y describir contramedidas que se pueden tomar en el animal y a nivel de instalaciones para reducir el impacto del EC.	Japón	Distintas razas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bajo EC la detección de estro se torna difícil y disminuye. ▪ Disminución en la duración y signos del estro en verano vs invierno. ▪ Actividad de caminar durante el estro disminuye en verano vs invierno. ▪ Reducción en concentraciones de estradiol. ▪ EC provocó que durante el verano se suprima la secreción pulsátil de LH. ▪ Efecto negativo en la fertilidad.
Hansen, 2019	ND	USA	Distintas razas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Duración del estro disminuye de 13 horas en invierno a 8 horas en verano. ▪ El número de montas durante el estro disminuye de 9 en invierno a 5 en verano. ▪ Actividad física durante el celo se reduce por EC. ▪ El porcentaje de celos detectados disminuye de 48% en invierno a 19% en verano. ▪ Menos del 20% de inseminaciones resulta en preñez en verano. ▪ EC compromete el desarrollo del ovocito. ▪ EC provoca una disminución en la tasa fertilización en vacas inseminadas de 88% en invierno a 55% en verano.
Recce et al., 2021	Evaluar retrospectivamente el comportamiento reproductivo de vacas Holstein gestantes bajo diferentes condiciones ambientales, considerando el THI en el momento de su desarrollo intrauterino.	Argentina	Holstein	<ul style="list-style-type: none"> ▪ EC provocó reducción en fertilidad. ▪ EC afectó la ovulación. ▪ EC provocó alteraciones endocrinas. ▪ La duración y intensidad del celo disminuyeron. ▪ En verano las manifestaciones del celo (actividad física y número de montas) disminuyeron. ▪ Aumento en el número de ovulaciones silenciosas y anestros. ▪ En climas cálidos hay aumento de inseminaciones no viables y menor número de inseminaciones. ▪ EC provoca alteraciones en los patrones hormonales de: estradiol, LH y FSH.
De Rensis et al., 2016	Describir los mecanismos metabólicos y reproductivos que median los efectos negativos de los efectos del estrés calórico en la reproducción de vacas lecheras.	ND	Holstein	<ul style="list-style-type: none"> ▪ EC afecta la secreción de LH, altera la ovulación y el intervalo entre el estro y la ovulación. ▪ Mayor número de inseminaciones no viables ▪ Riesgo de quistes ováricos. ▪ Intensidad y duración del celo se reduce en vacas expuestas a EC. ▪ El porcentaje de signos de celos no detectados aumento en verano 76 a 82 % en comparación con invierno de 44 a 65%. ▪ Aumento en la incidencia de ovulación silenciosa y anestro.

EC: Estrés calórico; THI: índice de temperatura y humedad; TC: Tasa de concepción; LH= Hormona Luteinizante; FSH; Hormona Folículoestimulante ND= no disponible

El segundo objetivo de este trabajo fue sistematizar, procesar y sintetizar las alternativas de manejo para mitigar el estrés calórico en vacas. Se encontró 70 publicaciones, de las cuales 60 son artículos, 3 son tesis de grado, 1 es tesis de posgrado y 6 corresponden a libros. Se seleccionaron las 11 publicaciones más relevantes con respecto a las estrategias utilizadas para aminorar los efectos del estrés calórico en vacas, como se observa en la tabla número 2. Las estrategias que han sido abordadas por la mayor parte de los autores son las siguientes: la silvicultura/sombras 91% (10/11), sistemas rociadores de agua 82% (9/11), sistemas de ventilación 73% (8/11), la genética 45% (5/11) y la terapia hormonal 45% (5/11), como se describe en la tabla 2.

Tabla 2 Síntesis de las características de las publicaciones para lograr el objetivo 2 del presente trabajo

Alternativas de manejo/ Autor	Molina-Coto, 2017	Cerón, 2016	Roca,2011	West, 2003	Wolfenson, et al., 1988	Flamenbaum et al.,1986	Collier, et al.,2006	Gongora & Hernandez, 2010	Martins et al., 2020	Roth, 2020	Atuxa ,2022
Silvicultura y el cultivo integrado a la ganadería/sombras	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Transferencia de embriones	X							X			X
Terapia Hormonal	X	X					X	X			X
Sistemas Rociadores/ Estanques de agua	X	X	X	X	X	X	X	X		X	
Sistemas de ventilación	X	X		X	X	X	X	X		X	
Genética	X		X	X			X	X			
Nutrición	X			X			X	X			
Antioxidantes		X									
<i>País</i>	Costa Rica	México	Ecuador	USA	Israel	Israel	USA	Colombia	Brasil	Israel	España

DISCUSIÓN

El propósito de este estudio fue describir, recopilar y sistematizar información de publicaciones científicas sobre el efecto del estrés calórico en vacas. Las hipótesis planteadas fueron: 1) El estrés calórico produce un efecto nocivo en el comportamiento estral de las vacas, lo cual genera consecuencias negativas sobre su fertilidad, dicha información se encuentra registrada y respaldada en reportes de investigación. 2) Las alternativas de manejo para mitigar el impacto del estrés calórico en la fertilidad de las vacas están descritas en la literatura científica. Ambas hipótesis formuladas fueron confirmadas mediante una revisión sistemática en la que se evidenciaron los resultados obtenidos (Tabla 1 y Tabla 2).

La totalidad (10/10) de los autores analizados en la tabla 1 concuerda con el hecho de que el estrés calórico ocasiona alteraciones hormonales en la vaca. Hay que tener en cuenta que los autores hacen hincapié en distintos puntos de vista por los cuales el estrés calórico ocasiona cambios en el sistema endocrino reproductivo, que conllevan a generar modificaciones en el comportamiento del celo. Teniendo esto en cuenta, el 80% (8/10) menciona que hay una disminución en la concentración de estradiol, el 60% (6/10) indica que hay concentraciones inadecuadas de LH, el 70% (7/10) concuerda en que hay alteraciones en el ciclo estral y el 80% (8/10) concuerda en que hay alteraciones en el desarrollo folicular y los ovocitos (Tabla 1). Autores como De Rensis & Scaramuzzi (2003) coinciden en que esto se produce debido a que cuando una vaca está expuesta a elevadas temperaturas que sobrepasan su rango de confort térmico, el EC puede generar efectos directos sobre el sistema endocrino reproductivo. Se ha documentado que la temperatura del verano, cuando las vacas se encuentran bajo un mayor estrés calórico, existe una alteración del eje hipotálamo-hipofisario-ovárico ocasionando cambios negativos dentro de la secreción de LH y estradiol (Tabla 1). Por su parte, Wolfenson et al (1997) coincide con varios investigadores en que estos cambios en

los patrones hormonales de estradiol se deben a que el EC provoca ciertas variaciones en el organismo del animal en el que causan una disminución de la capacidad esteroidogénica de las células teca y granulosa del ovario. Esto conlleva a que disminuyan las concentraciones de estradiol teniendo consecuencias negativas dentro del ciclo estral. Esto es debido a que el estradiol es esencial para que el animal demuestre signos y el comportamiento de estro normal, permitiéndole así ser receptiva al macho, participa en el desarrollo y maduración folicular, ayuda en la calidad de los ovocitos y participa en la ovulación estimulando la liberación de GnRH, ocasionando el pico preovulatorio de LH (De Rensis et al, 2016). De igual manera, las alteraciones de LH pueden ser ocasionadas de manera indirecta por las concentraciones inadecuadas de progesterona, GnRH, estradiol, cortisol y por una disminución en el consumo de materia seca (Takahashi, 2012). Por lo tanto, el estrés por calor al ocasionar alteraciones en las secreciones de LH ocasiona que se aumente el intervalo entre el estro y la ovulación, aumentando las posibilidades de quistes ováricos y alterando el mecanismo de ovulación (Tabla 1).

Además, Schüller et al. (2017) y otros investigadores han coincidido en que el estrés calórico afecta directamente el tamaño y dinámica folicular, disminuyendo el tamaño del folículo preovulatorio y la producción de estradiol, lo que altera el ciclo estral y el comportamiento del estro. Además, Cerón (2016) y otros investigadores han señalado que el EC también puede afectar indirectamente la expresión del estro debido a la reducción del consumo de materia seca. Esta reducción disminuye las concentraciones de hormonas metabólicas y de factores de crecimiento en la sangre, que son fundamentales para el desarrollo adecuado del folículo (Baumgard, 2013). Como resultado, los cambios metabólicos causados por el estrés calórico pueden provocar trastornos reproductivos en las vacas, ya que la glucosa tiene acciones sobre el metabolismo del ovario y actúa sobre la modulación de la secreción de LH en el hipotálamo. La insulina también es fundamental para el desarrollo adecuado de los

folículos y para mejorar la calidad de los ovocitos (Rensis et al., 2016). En consecuencia, todos estos cambios hormonales que ocurren debido al EC pueden tener efectos negativos en el comportamiento del estro en las vacas.

Un 90% (9/10) de los autores analizados en la tabla 1 concuerda en que el estrés calórico afecta el comportamiento del estro en las vacas. La mayoría de los autores coincide en que el estrés calórico reduce la duración e intensidad del celo, lo que disminuye la observación o detección del mismo. Según Kadokawa et al. (2012) y la mayoría de los investigadores, el porcentaje de detección de celo disminuye drásticamente en verano en comparación con el invierno, cuando el índice de THI sobrepasa el rango de confort térmico de la vaca. A partir de un THI de 65, comienzan a disminuir los signos de estro, como la actividad física reducida, la disminución de la secreción del fluido vaginal transparente y la observación de una mucosa vaginal rosada (Tabla 1). Esto se debe a las bajas concentraciones de estradiol en la etapa de estro del ciclo estral, lo que altera el comportamiento y signos de estro normales y aumenta los celos silenciosos y anestros. Además, como se observa en la tabla 1, el 90% (9/10) de los autores mencionan que la baja eficacia en la detección del celo afecta otros parámetros reproductivos y conduce a la reducción de la tasa de concepción y fertilidad. Esto se debe a un mayor número de inseminaciones no viables y a la inseminación o monta natural en el momento inadecuado. En la reproducción de bovinos, cuando la vaca ovula, ya no es receptiva al macho, por lo que es necesario inseminarla durante el estro para coincidir con la ovulación. La baja eficacia en la detección del celo ocasiona graves consecuencias económicas en el sector ganadero, ya que altera el parámetro reproductivo más importante, que es la identificación del estro (Cerón, 2016).

En las tablas 1 y 2 se muestran 12 países distintos en los cuales se ha registrado y respaldado en publicaciones que el estrés calórico afecta el comportamiento de estro en las vacas. El 33% (7/21) corresponden a países de América del Norte, el 19% (4/21) a países de América del Sur,

el 14% (3/21) a países en Europa, y el 28,5% (6/21) a países de Asia. Cabe señalar que en las tablas 1 y 2 se demuestra que el estrés calórico ocurre tanto en países del hemisferio norte como en el hemisferio sur. Además, se observa que, del total de 12 países, el 58.3% corresponden a países con 4 estaciones y el 41.66% corresponden a países con 2 temporadas o estaciones (Tablas 1 y 2). Este resultado indica que el estrés calórico tiene un impacto negativo en el rendimiento y sostenibilidad del sector ganadero en todos los países del mundo, siendo ciertas zonas o países más afectados por su ubicación geográfica. Esto se debe al cambio climático que ha estado ocurriendo durante las últimas décadas, en el cual se ha observado un incremento de la temperatura ambiental a nivel mundial, llegando incluso a temperaturas extremas mortales. Según Lees et al. (2019), se prevé que para finales del siglo XXI habrá un incremento de 1.1 a 6.4 grados Celsius. De cumplirse este pronóstico, el estrés calórico generará un problema tremendo en la ganadería en el futuro porque la temperatura ambiental sigue aumentando

En ese sentido, es importante considerar distintas estrategias y alternativas de manejo para competir y mitigar el efecto del estrés calórico dentro del sector ganadero. En la tabla 2 se muestran 11 autores que mencionan y abarcan diferentes alternativas que se pueden llevar a cabo. Lo interesante es que autores como Molina-Coto y Góngora & Hernández realizan una monografía general analizando varias estrategias para la contingencia (7/8). Por otro lado, autores como Martins y Atuxa (Tabla 2) se enfocan en hacer un análisis profundo de una o dos alternativas, por lo que no desarrollan las otras opciones. Sin embargo, lo interesante es que la silvicultura/sombra es la estrategia más abordada por los autores, como se observa en la tabla 2 (10/11). Esto se debe a que el propósito de la implementación de la silvicultura es otorgar sombra natural a los animales proveniente de árboles y cultivos para atenuar los efectos perjudiciales del estrés calórico, ya que les provee un ambiente más favorable a las vacas (Collier et al., 2006). Según Martins et al. (2020), en un estudio realizado en las regiones

tropicales de Brasil, se seleccionaron 20 vacas no preñadas Gyr lecheras, las cuales se dividieron en dos grupos. El grupo 1 fue el grupo control, en el cual las vacas pastoreaban en condiciones normales bajo el sol, y el grupo 2 pastoreaba en un sistema bajo la sombra otorgada por la silvicultura y el cultivo integrado a la ganadería. Los resultados mostraron que durante la temporada de verano, cuando las vacas están bajo mayor estrés calórico, la sombra de la silvicultura y el cultivo integrado a la ganadería ayudó a las vacas del grupo 2 a reducir la temperatura en 1.0 a 1.8 grados Celsius alrededor de sus ojos, en la grupa y en sus ubres en comparación con las vacas del grupo 1, que pastoreaban bajo pleno sol. De igual manera, las vacas del grupo 2 mostraron un mayor confort térmico corporal y tenían un mayor número de folículos ováricos, ovocitos totales y ovocitos viables, lo que indica un impacto positivo en el comportamiento y reproducción de las vacas (Martins et al.,2020).

Otra de las estrategias que mencionan el 45.45% de los autores analizados en la tabla 2 es el uso de terapia hormonal. Esto se debe a que los tratamientos hormonales ayudan a contrarrestar los efectos nocivos del estrés calórico sobre el comportamiento del estro, ya que estimulan la función ovárica, solucionan el anestro y corrigen las alteraciones hormonales (Tabla 2). Asimismo, se pueden utilizar protocolos de sincronización a tiempo fijo, lo que permite realizar la inseminación sin necesidad de observar el celo, mejorando así los parámetros reproductivos en el sector ganadero. La implementación de esta estrategia ayuda a disminuir el número de inseminaciones no viables, aumentar la tasa de concepción e incrementar la tasa de fertilidad, lo que beneficia la reproducción en vacas (De Rensis et al.,2015).

La transferencia de embriones es otra estrategia mencionada por el 27.27% de los autores en la tabla 2 como una forma de mitigar los efectos del estrés calórico y mejorar la fertilidad en vacas. Sin embargo, es importante tener en cuenta que su implementación se ve limitada principalmente por el costo asociado (tabla 2). La transferencia de embriones puede mejorar la

fertilidad al evitar las alteraciones negativas en los ovocitos causadas por el estrés calórico. En un estudio realizado en Brasil, se encontró una mayor tasa de concepción con la transferencia de embriones en comparación con la inseminación artificial durante la estación de verano (Baruselli et al., 2020).

Finalmente, la mayoría de los autores (Tabla 2) mencionan otras estrategias como los sistemas rociadores de agua y los ventiladores, ya que son opciones de fácil acceso e implementación (Martins et al., 2020). Estas dos estrategias tienen un efecto inmediato en ayudar a las vacas a disipar y mitigar el estrés ocasionado por las altas temperaturas (Tabla 2). Otros autores mencionan estrategias como antioxidantes, nutrición y genética que se utilizan para aliviar los efectos negativos ocasionados por el estrés calórico. Sin embargo, su desventaja es que toman más tiempo en hacer efecto, pero alcanzan el mismo objetivo (Tabla 2).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A través de esta revisión sistemática, se recopiló una serie de datos para responder las preguntas de investigación planteadas en el presente trabajo. En conclusión, se puede observar que todos los autores coinciden en que el estrés calórico tiene un efecto negativo en el comportamiento del estro y la fertilidad de las vacas, lo que afecta su desempeño reproductivo y conduce a importantes pérdidas económicas para los ganaderos. Este efecto negativo se debe a las temperaturas ambientales superiores a 25 grados Celsius o un THI elevado que supera el confort térmico corporal, lo que afecta la fisiología, el sistema endocrino, el sistema metabólico, la reproducción, el crecimiento, la producción y el consumo de agua y alimento del animal. Las adaptaciones realizadas por las vacas para disipar el estrés calórico alteran los parámetros reproductivos y pueden llevar a un mayor número de días abiertos, una menor tasa de concepción, una menor tasa de detección de celos, un mayor número de servicios y mayores pérdidas de gestación. Actualmente, se han generado más investigaciones debido a las grandes

pérdidas económicas en el sector ganadero por el estrés calórico. Es importante tener en cuenta que el estrés calórico es un problema global debido al cambio climático, y se espera que la temperatura ambiental siga aumentando en las próximas décadas. Por lo tanto, se recomienda implementar y aplicar diferentes estrategias para mitigar los efectos del estrés calórico en el comportamiento del estro y mejorar la fertilidad en las vacas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Atutxa, A. O. (2022). Relación entre la hipertermia materna y el síndrome de la vaca repetidora: empleo de embriones como opción terapéutica: <https://digibuo.uniovi.es/dspace/handle/10651/63498>
- Castaño FA, Rugeles CC, Betancur CA, Ramírez-López CJ. (2014). Impacto del estrés calórico sobre la actividad reproductiva en bovinos y consideraciones para mitigar sus efectos sobre la reproducción. *Revista Biosalud*; 13(2): 84-94.
- Cerón, J. (2016). *Fisiología Clínica de la Reproducción de Bovinos Lecheros*. Obtenido de Universidad Nacional Autónoma de México : https://www.fmvt.unam.mx/fmvz/publicaciones/archivos/Fisiologia_Clinica.pdf
- Collier, R. J., Renquist, B. J., & Xiao, Y. (2017). A 100-Year Review: Stress physiology including heatstress. *Journal of Dairy Science*, 100(12), 10367–10380. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13676>
- Collier, R. J., Dahl, G. E., & VanBaale, M. J. (2006). Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. *Journal of dairy science*, 89(4), 1244–1253. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72193-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72193-2)
- De Rensis, F., Lopez-Gatius, F., García-Ispuerto, I., Morini, G., & Scaramuzzi, R. J. (2016). Causes of declining fertility in dairy cows during the warm season. *Theriogenology*, 91, 145–153. <http://dx.doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.12.024>
- De Rensis, F., Garcia-Ispuerto, I., & López-Gatius, F. (2015). Seasonal heat stress: Clinical

implications and hormone treatments for the fertility of dairy cows. *Theriogenology*, 84(5),659–666.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.theriogenology.2015.04.021>

De Rensis, F., & Scaramuzzi, R. J. (2003). Heat stress and seasonal effects on reproduction in the dairy cow—a review. In *Theriogenology* (Vol. 60, Issue 6, pp. 1139–1151). Elsevier BV. [https://doi.org/10.1016/s0093-691x\(03\)00126-2](https://doi.org/10.1016/s0093-691x(03)00126-2)

Díaz R.B.(2021). IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA GANADERÍA:

IMPLICACIONES FISIOLÓGICAS Y AMBIENTALES. In *ECUADOR ES CALIDAD - Revista Científica Ecuatoriana* (Vol. 8, Issue 1). Agencia De Regulacion y Control Fito y Zoosanitario. <https://doi.org/10.36331/revista.v8i1.136>

Evans, A. C. O &, Zeng, S. (2017). Causes, prevention and management of infertility in dairy cows. In *Burleigh Dodds Series in Agricultural Science* (pp. 385–398). Burleigh Dodds Science Publishing. <http://dx.doi.org/10.19103/AS.2016.0006.20>

Flamenbaum, I., Wolfenson, D., Mamen, M., & Berman, A. (1986). Cooling Dairy Cattle by a Combination of Sprinkling and Forced Ventilation and Its Implementation in the Shelter System. In *Journal of Dairy Science* (Vol. 69, Issue 12, pp. 3140–3147). American Dairy Science Association. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(86\)80778-0](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(86)80778-0)

Góngora, A., & Hernández, A. (2010). La reproducción de la vaca se afecta por las altas temperaturas ambientales. *Revista UDCA Actualidad & divulgación científica*, 13(2), 163-173.

Hansen, P. J. (2019). Reproductive physiology of the heat-stressed dairy cow: implications for fertility and assisted reproduction. In *Animal Reproduction* (Vol. 16, Issue 3, pp. 497–507). Colegio Brasileiro de Reproducao Animal - CBRA. <https://doi.org/10.21451/1984-3143-ar2019-0053>

Hoffmann, G., Herbut, P., Pinto, S., Heinicke, J., Kuhla, B., & Amon, T. (2020). Animal-related, non-invasive indicators for determining heat stress in dairy cows. In *Biosystems Engineering* (Vol. 199, pp. 83–96). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.10.017>

Kadokawa, H., Sakatani, M., & Hansen, P. J. (2012). Perspectives on improvement of

- reproduction in cattle during heat stress in a future Japan. In *Animal Science Journal* (Vol. 83, Issue 6, pp. 439–445). Wiley. <https://doi.org/10.1111/j.1740-0929.2012.01011.x>
- Lees, A. M., Sejian, V., Wallage, A. L., Steel, C. C., Mader, T. L., Lees, J. C., & Gaughan, J. B. (2019).
- Linares, I. E. (2014). *El Efecto del Estrés Calórico En Bovinos de Leche* . Obtenido de Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro. Division Regional de Ciencia Animal: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/7133/IRE%20ESTANLEY%20HUMAYEL%20CORRALES%20LINARES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Maquez, M. A., Medina, L. F., & Dick, A. (2015). *Efecto del estrés calórico sobre la fertilidad en vacas lecheras*. Obtenido de Facultad de Ciencias Veterinarias -UNCPBA-: <https://ridaa.unicen.edu.ar:8443/server/api/core/bitstreams/12d73219-71c8-4167-b8db-90d043da9699/content>
- Marín, V. M., & Uribe Velásquez, L. F. (2010). ¿ Cómo afecta el estrés calórico la reproduccion?. *Revista Biosalud*, 9(2),83-95.
- Martins, C. F., Fonseca-Neto, A. M., Bessler, H. C., Dode, M. A. N., Leme, L. O., Franco, M. M., McManus, C. M., Malaquias, J. V., & Ferreira, I. C. (2020). Natural shade from integrated crop–livestock–forestry mitigates environmental heat and increases the quantity and quality of oocytes and embryos produced in vitro by Gyr dairy cows. *Livestock Science*, 244(104341), 104341. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104341>
- Mayer, F. A. (2022). *Estrés calórico: características y estrategias para defenderse con vacunos (carne o leche)*. Foro de la Alimentación, la Nutrición y la Salud.
- Molina-Coto, R. (2017). El estrés calórico afecta el comportamiento reproductivo y el desarrollo embrionario temprano en bovinos. In *Nutrición Animal Tropical* (Vol. 11, Issue 1, p. 1). Universidad de Costa Rica. <https://doi.org/10.15517/nat.v11i1.28280>
- Palomares, R. A. (2013). Estrategias de Detección de Celo para Ganado Lechero. *University Of Georgia Extension*.

- Pinilla, M. A. (2019). *Efecto del Estrés Calórico en la Reproducción Bovina*. Obtenido de Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. Facultad de Ciencias Agropecuarias Medicina Veterinaria. Cartagena-Colombia:
<https://repository.udca.edu.co/bitstream/handle/11158/3410/Monografia%20%20documento%20final.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Polsky, L., & von Keyserlingk, M. (2017). Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *Journal of dairy science*, *100*(11), 8645–8657. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12651>
- Recce, S., Huber, E., Notaro, U. S., Rodríguez, F. M., Ortega, H. H., Rey, F., Signorini, M. L., & Salvetti, N. R. (2021). Association between heat stress during intrauterine development and the calving-to-conception and calving-to-first-service intervals in Holstein cows. *Theriogenology*, *162*, 95–104. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2021.01.002>
- Roca, C. A. (2011). Efecto del estrés calórico en el bienestar animal, una revisión en tiempo de cambio climático.. *Revista Espamciencia ISSN 1390-8103*, *2*(1), 15-25. Recuperado a partir de http://190.15.136.171/index.php/Revista_ESPAMCIENCIA/article/view/39
- Roth, Z. (2020). Reproductive physiology and endocrinology responses of cows exposed to environmental heat stress - Experiences from the past and lessons for the present. In *Theriogenology* (Vol. 155, pp. 150–156). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.05.040>
- Sakatani, M., Balboula, A. Z., Yamanaka, K., & Takahashi, M. (2012). Effect of summer heat environment on body temperature, estrous cycles and blood antioxidant levels in Japanese Black cow: ESTROUS CYCLICITY OF JAPANESE BLACK COWS IN SUMMER. *Animal Science Journal*, *83*(5), 394–402. [10.1111/j.1740-0929.2011.00967.x](https://doi.org/10.1111/j.1740-0929.2011.00967.x)
- Schüller, L. K., Michaelis, I., & Heuwieser, W. (2017). Impact of heat stress on estrus expression and follicle size in estrus under field conditions in dairy cows. In *Theriogenology* (Vol. 102, pp. 48–53). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.07.004>
- West, J. W. (2003). Effects of Heat-Stress on Production in Dairy Cattle. In *Journal of Dairy*

Science (Vol. 86, Issue 6, pp. 2131–2144). American Dairy Science Association.
[https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(03\)73803-x](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(03)73803-x)

Wolfenson, D., Flamenbaum, I., & Berman, A. (1988). *Hyperthermia and Body Energy Store Effects on Estrous Behavior, Conception Rate, and Corpus Luteum Function in Dairy Cows*. *Journal of Dairy Science*, 71(12), 3497–3504. doi:10.3168/jds.s0022-0302(88)79956-7

Wolfenson, D., Lew, B. J., Thatcher, W. W., Graber, Y., & Meidan, R. (1997). Seasonal and acute heat stress effects on steroid production by dominant follicles in cows. In *Animal Reproduction Science* (Vol. 47, Issues 1–2, pp. 9–19). Elsevier BV. [https://doi.org/10.1016/s0378-4320\(96\)01638-7](https://doi.org/10.1016/s0378-4320(96)01638-7)