

DOI: <https://doi.org/10.56124/allpa.v9i17.0140>

## Efecto del estrés térmico en reproducción de ganado lechero y estrategias de mitigación: Una revisión

### Effect of heat stress on dairy cattle reproduction and mitigation strategies: A review

Gamboa-Cevallos Henry Xavier <sup>1</sup>; Intriago-Muñoz Vicente Alejandro <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Calceta, Ecuador.  
Correo: henry\_gamboa\_mmv@espam.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6148-8308>.

<sup>2</sup> Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Calceta, Ecuador.  
Correo: vicente.intriago@espam.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5583-0672>.

#### Resumen

El estrés térmico (ET) constituye uno de los principales desafíos para la producción lechera en climas tropicales y subtropicales, debido a su impacto negativo en la fisiología reproductiva, el bienestar animal y la eficiencia productiva. El objetivo de esta revisión fue analizar los efectos del ET sobre el desempeño reproductivo del ganado lechero y las estrategias de mitigación propuestas en la literatura científica reciente. Se revisaron artículos publicados entre 2019 y 2025 en bases de datos especializadas, seleccionados mediante el modelo PRISMA. Los hallazgos evidencian que el ET altera el eje hipotálamo-hipófisis-gónadas, reduce la calidad ovocitaria y embrionaria, y disminuye las tasas de concepción hasta en un 30 %. Asimismo, se destaca la influencia de factores genéticos, como la tolerancia al calor y la presencia de genes asociados a termorresistencia. Entre las estrategias de mitigación más efectivas se encuentran el enfriamiento ambiental (ventilación, aspersión, sombra natural), la suplementación antioxidante, la calendarización reproductiva y la selección genética de animales más resistentes. Sin embargo, la efectividad de estas medidas varía según las condiciones climáticas y el sistema de producción, siendo menor en regiones húmedas. Se concluye que la combinación de estrategias ambientales, nutricionales, genéticas y tecnológicas, adaptadas a las condiciones locales, constituye la vía más prometedora para enfrentar los efectos del ET sobre la reproducción bovina.

**Palabras clave:** Bienestar animal, estrés térmico, estrategias de mitigación, productividad, reproducción.

#### Abstract

Heat stress (HS) is one of the main challenges for dairy production in tropical and subtropical climates due to its negative impact on reproductive physiology, animal welfare, and production efficiency. The objective of this review was to analyze the effects of HS on the reproductive performance of dairy cattle and the mitigation strategies proposed in the recent scientific literature. Articles published between 2019 and 2025 in specialized databases were reviewed, selected using the PRISMA model. The findings show that HS alters the hypothalamic-pituitary-gonadal axis, reduces oocyte and embryo quality, and decreases conception rates by up to 30%. The influence of genetic factors, such as heat tolerance and the presence of genes associated with heat resistance, is also highlighted. Among the most effective mitigation strategies are environmental cooling (ventilation, sprinkling, natural shade), antioxidant supplementation, reproductive scheduling, and genetic selection of more resistant animals. However, the effectiveness of these measures varies depending on climatic conditions and the production system, being less effective in humid regions. It is concluded that a combination of environmental, nutritional, genetic, and technological strategies, adapted to local conditions, is the most promising way to address the effects of ET on bovine reproduction.

**Keywords:** Animal welfare, heat stress, mitigation strategies, productivity, reproduction.

## 1. Introducción

Los fenómenos meteorológicos extremos son cada vez más frecuentes y graves como consecuencia del cambio climático, lo que tiene graves implicaciones para el futuro de la ganadería, los ingresos, los medios de vida de los agricultores y la seguridad alimentaria a nivel mundial. Para el 2040 se prevé un cambio abrupto del clima con 1,5 grados Celsius y un aumento de la temperatura superficial media de 1,88 grados Celsius para 2100 (Rahman, 2023).

Las altas temperaturas y su afectación a los animales de granja ha sido un tema ampliamente estudiado, tomando en cuenta que las predicciones climáticas aun serán mayores, pues la respuesta del organismo ante el calor suele ser variada. Esto involucra una serie de mecanismos metabólicos, celulares y fisiológicos cuya función es resguardar la temperatura corporal a través de la disminución del calor interno, así como la disipación del calor al exterior (Carabaño et al., 2021).

El calentamiento climático, a decir de Sammad et al. (2019), ha afectado directamente la producción lechera, se

conoce que existe una relación antagonica entre fertilidad y producción lechera, pues las vacas lecheras modernas son más susceptibles a los efectos del estrés térmico (HS), ello conlleva a una disminución de la fertilidad que empeora en climas tropicales. Carabaño et al. (2021) refieren que el impacto económico que causa el estrés térmico del sector ganadero, produjo en EEUU una pérdida global de 2.400 millones de dólares anuales. Mientras que, en América Latina los estudios que dan a conocer los efectos del estrés térmico en la industria ganadera son limitados, Es conocido que las zonas tropicales están expuestas a una mayor radiación solar y humedad, por tanto, se requiere evaluar y monitorear la influencia de las variables climáticas sobre el ganado lechero en un tiempo prolongado (Ruiz et al., 2019).

Las altas temperaturas ocasionan cambios a nivel hormonal y fisiológico en el ganado principalmente porque llegan a un estado de estrés, como lo indica Rahman (2023) este término representa la intensidad de las presiones externas las cuales son capaces de desestabilizar los sistemas internos del organismo, provoca que la vaca modifique su escala

molecular y ecológica impidiendo que se pueda adaptar a su entorno. El estrés térmico refiere a un fenómeno complejo que trae consigo diversos mecanismos de respuesta animal que tienen impacto negativo en su bienestar, la respuesta al estrés tiene que ver con la respuesta inmunitaria del cual es responsable el eje hipotálamo-hipofisario-adrenal (HPA), pero también es probable que desplace la función inmunitaria adaptativa mediada por células a humoral, debilitando así la función inmunitaria animal (Shruti et al., 2023)

Sobre lo anterior, Rahman (2023) señala que el estrés térmico suele afectar a los sistemas alimenticios, la digestión y la producción de leche en el ganado. Existen estrategias para ayudar a las vacas a afrontar el estrés térmico como lo es la asistencia nutricional, una estrategia es la reducción del consumo de alimento la cual podrá ser mitigada incrementando la proporción de energía metabolizable (EM) y la densidad de nutrientes. Se debe considerar que las vacas son animales homeotermos, sin embargo, con el pasar de los años han evolucionado hasta que su temperatura alcance un nivel neutro, este equilibrio metabólico natural suele afectarse por

HS, esto a menudo se convierte en un ciclo de retroalimentación positiva pues las temperaturas superan a raíz de los abruptos cambios climáticos.

Las reacciones más comunes por HS en el ganado son: alto consumo de agua, disminución de la ingesta de alimento, tasa metabólica basal alterada, incremento de la temperatura corporal, frecuencia cardiaca, temperatura rectal (Habimana et al., 2023). Según Sammal et al. (2020) el HS también influye en la lactancia, los nutrientes que se derivan de los alimentos se dirigen a la síntesis de la leche, las vacas modernas están expensas mayormente a un balance energético negativo (NEBAL) durante la lactancia temprana, con el fin de soportar las altas demandas de la lactancia, por tanto, su metabolismo cambia para así asegurar el suministro de nutrientes del sistema mamario.

Para Burhans et al. (2022) el estrés térmico también ocasiona sudoración, estimulado por la temperatura de la piel y aumenta con la duración de la exposición solar y la baja humedad, así mismo, hay un incremento de la temperatura de la piel y ésta puede elevarse por sobre la temperatura corporal normal, son varios factores que

influyen en la capacidad para permanecer eutérmicos como son alta humedad, falta de movimiento, exposición al calor radiante. Por otra parte, La disminución del consumo de alimento ante el estrés térmico deja menos energía para la síntesis de leche, por tanto, ello lleva a reducir la eficiencia alimentaria, lo cual indica que las vacas con estrés por calor suelen producir menos leche a comparación de las vacas en condiciones termo neutrales, principalmente por el efecto retardado del estrés por calor que afecta la producción de leche con un retraso que puede variar de 24 a 48 horas (Fontoura et al., 2022).

El estrés por calor en las vacas afecta la reproducción, pues reduce su fertilidad por la incidencia de abortos, además tiene un impacto directo en la producción de leche principalmente en los periodos críticos de celo. Esto hace necesario la adopción de medidas de enfriamiento para mitigar estos efectos que alteran la calidad de vida de los animales (Paranhos et al., 2025).

Es necesaria la implementación de estrategias que aborden la evidencia científica en miras de garantizar la sostenibilidad de la producción lechera,

si bien es cierto, el avance en la nutrición ha mejorado la eficiencia productiva es importante conocer cómo inciden en la calidad de la leche, así como la viabilidad económica de los sistemas de producción (Herrera, 2024). De acuerdo con Seon et al. (2022) este tipo de estrategias se clasifican en dos enfoques a corto y largo plazo mismos que involucran el manejo nutricional, la modificación ambiental y selección genética de vacas mismas que deberán ser seleccionadas a partir de programas de cría selectiva. En este mismo orden, Habimana et al. (2023) indican que el enfriamiento por evaporación es una técnica de mitigación utilizada con éxito en largos periodos del año al suroeste de EE. UU., luego están los sistemas de enfriamiento conductivo los cuales presentan el potencial de conservar agua, además son más higiénicos que los sistemas de enfriamiento por evaporación.

Sammad et al. (2019) proponen medidas de enfriamiento para mitigar HS: alimentación adecuada misma que incrementaría las actividades metabólicas además se logrará sinergizar el aporte energético, la modulación de las respuestas

metabólicas (propionatos, tiazolidinedionas, tampones dietéticos, probióticos y fermentos) y antioxidantes (vitaminas), ello desde la comprensión de la dinámica del metabolismo, así como de ciertas sustancias que mejoran la dieta.

El estudio tuvo como objetivo: analizar el efecto del estrés térmico en la reproducción del ganado lechero y evaluar las principales estrategias de mitigación reportadas en la literatura científica reciente, con el propósito de identificar mecanismos fisiológicos afectados y propuestas de manejo aplicables en sistemas de producción lechera en contextos tropicales y subtropicales.

## 2. Metodología (materiales y métodos)

Se desarrolló una revisión sistemática de la literatura científica mediante el empleo de los lineamientos de la metodología PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses). Esta permitió la recopilación de estudios de carácter académico y científico sobre el impacto del estrés térmico en la reproducción del ganado lechero y las estrategias de mitigación.

El protocolo de la revisión fue definido previamente y se aplicaron criterios explícitos de búsqueda, selección y análisis de la información. Además, se estructuró un esquema PECO: P (Población): vacas lecheras; E (Exposición): condiciones de estrés térmico (definidas por índice temperatura-humedad [ITH] u otras variables climáticas); C (Comparador): condiciones termoneutrales o con estrategias de mitigación y O (Outcomes): indicadores reproductivos (tasa de concepción, pérdida embrionaria, días abiertos, retorno a celo, niveles hormonales, calidad ovocitaria).

### Estrategia de búsqueda

La búsqueda se llevó a cabo en las bases de datos Scopus, Web of Science, Science Direct, Redalyc, SciELO y LILACS, cubriendo el período enero de 2019 a diciembre de 2025, sin restricción de idioma. Se emplearon combinaciones de palabras clave y operadores booleanos en español e inglés, tales como: "heat stress" OR "thermal stress" OR "índice temperatura-humedad" OR "THI" AND "dairy cow\*" OR "vacas lecheras" AND "reproduction" OR "fertility" OR

"concepción" OR "days open" OR "embryonic loss".

## Criterios de elegibilidad

### Criterios de Inclusión

- Artículos publicados en los últimos siete años, es decir, desde 2019.
- Artículos en idiomas español e inglés.
- Estudios experimentales, observacionales o de intervención en ganado lechero.
- Estudios que reportan al menos un desenlace reproductivo asociado a estrés técnico o estrategias de mitigación.

### Criterios de Exclusión

- Artículos duplicados o previos al 2019.
- Investigaciones que no proveen la descripción metodológica del proceso investigativo.
- Revisiones sistemáticas, documentos de repositorios, resúmenes de congresos.
- Estudios de otras especies o ganado de carne.

## Selección de estudios

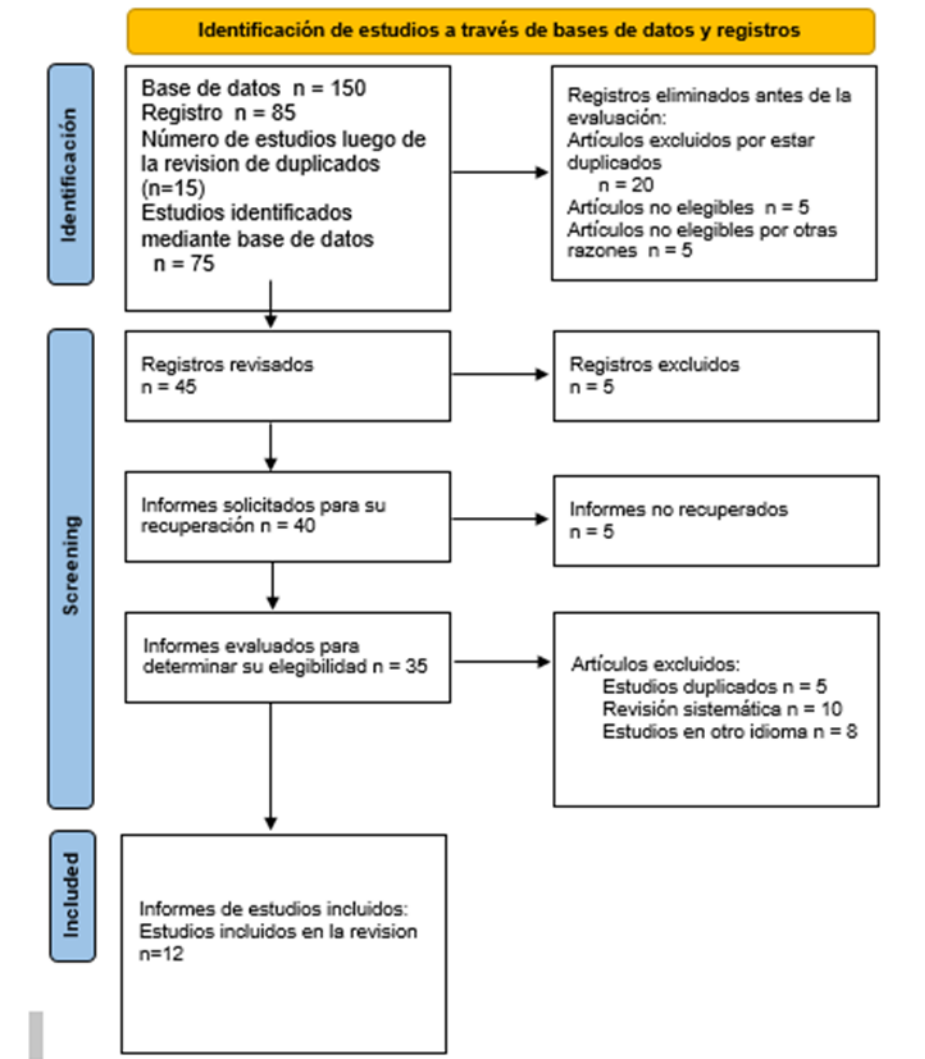
Tras la aplicación de los criterios de elegibilidad, los artículos seleccionados

fueron 12. Los resultados fueron organizados en una matriz PRISMA, declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses), esta herramienta es utilizada en revisiones sistemáticas mismas que incluyen síntesis (metaanálisis de comparaciones por pares u otros métodos de síntesis estadística) o que no incluyen síntesis (por ejemplo, porque solo se identifica un estudio elegible).

## Recogida y análisis de datos

El diagrama de flujo permitió organizar los estudios incluyendo los autores y los principales hallazgos del estudio, gracias a lo cual, es posible identificar, seleccionar, evaluar y sintetizar la información (Figura 1.). Debido a la heterogeneidad en los diseños, razas, variables climáticas y desenlaces, no fue posible realizar un metaanálisis cuantitativo. En su lugar, se aplicó una síntesis narrativa estructurada, diferenciando: mecanismos fisiológicos del estrés térmico, efectos sobre indicadores reproductivos y estrategias de mitigación ambiental, nutricional y genética.

**Figura 1.** Flujograma de selección y descarte de artículos científicos.



### 3. Resultados y discusión

**Tabla 1.** Artículos incluidos en la revisión

Año y Autor	Título	Método	Muestra	Resultados	Conclusiones
Levith et al. (2021)	Una estrategia de enfriamiento dinámico basada en la respuesta individual de los animales mitigó el estrés térmico en las vacas lecheras	Estudio experimental	30 vacas lactantes	El sistema basado en sensores se modificó semanalmente según la reacción de la vaca, como se refleja en los cambios en la temperatura corporal de la semana anterior, medidos mediante bolos de reticulorumen. Los dos grupos de tratamiento de vacas tuvieron producciones de leche	El régimen de enfriamiento basado en sensores puede ser una herramienta eficaz para detectar y aliviar el estrés por calor en vacas lecheras de alta producción durante las temporadas de transición

					similares (44,7 kg/d), pero las del grupo experimental tuvieron mayor grasa láctea (3,65 vs 3,43%), mayor proteína láctea (3,23 vs 3,13%), mayor energía de la leche corregida (ECM, 42,84 vs 41,48 kg/d), mayor grasa de la leche corregida 4%; (42,76 vs 41,34 kg/d), y menor duración del estrés por calor (5,03 vs 9,46 h/día) en comparación con el control. El consumo de materia seca fue mayor en el grupo experimental. Las visitas diarias al comedero fueron menos frecuentes, y cada visita duró más.	cuando la carga de calor puede volverse severa en zonas áridas y semiáridas.
Becker et al. (2021)	Predicción del estrés térmico del ganado lechero mediante técnicas de aprendizaje automático	Estudio experimental	3 vacas		El método de bosque aleatorio superó a los otros dos métodos, tanto en exactitud como en precisión, para predecir la puntuación del grupo de aspersores. Tanto la regresión logística como el método de bosque aleatorio fueron consistentes para predecir las puntuaciones de los grupos control, sombra y combinado. La probabilidad media de predecir vacas sin estrés por calor fue mayor para las vacas del grupo de aspersores.	El método de regresión logística funcionó mejor para predecir vacas con estrés por calor en los grupos control, sombra y combinado. Los conocimientos obtenidos de estos resultados podrían ayudar a los productores lecheros a detectar el estrés por calor antes de que se agrave, lo que podría disminuir los efectos negativos del estrés por calor, como la pérdida de leche.
(Cheruiyot, Haile, & Cooks, 2021)	Nuevos loci y vías neuronales para la resiliencia al estrés térmico en el ganado	Estudio experimental	29.107 vacas Holstein australianas		Los resultados revelaron múltiples loci novedosos para la tolerancia al calor, incluyendo 61 variantes funcionales potenciales en sitios altamente conservados en 100 especies de vertebrados. Además, resultó interesante que variantes y genes	Es posible una nueva perspectiva que puede ayudar a desarrollar enfoques genéticos y de gestión para combatir el estrés térmico.



				candidatos específicos estén relacionados con el sistema neuronal (ITPR1, ITPR2 y GRIA4) y con las funciones de interacción ligando- receptor neuroactivo para la tolerancia al calor (NPFFR2, CALCR y GHR), lo que proporciona una perspectiva novedosa que puede ayudar a desarrollar estrategias genéticas.	
Jensen et al. (2022)	Eficacia del valor genético australiano para la tolerancia al calor en la discriminación de las respuestas de las vacas Holstein lactantes al estrés por calor.	Estudio observacional	12.487 vacas	Las vacas con un alto valor genético de tolerancia al calor presentaron temperaturas corporales más bajas bajo estrés térmico que las vacas con un valor de tolerancia al calor bajo. Por lo tanto, al menos algunas variantes genéticas que controlan la resistencia a la termotolerancia en Australia controlan la resistencia a la termotolerancia en otras condiciones.	El ABVHT puede identificar con éxito a las vacas tolerantes al calor que mantienen temperaturas corporales más bajas durante el estrés por calor. La falta de una estacionalidad pronunciada en la producción de leche o la reproducción impidió la evaluación de si el ABVHT está relacionado con la magnitud del efecto del estrés por calor en esos rasgos.
Davidson et al. (2021)	La reducción del estrés térmico al final de la gestación en novillas lecheras promueve la termorregulación y mejora la productividad	Estudio experimental	25 vacas	En el período preparto, las novillas CL presentaron menor RR ( $44,3$ vs. $60,0 \pm 1,6$ respiraciones/min), RT ( $38,7$ vs. $38,8 \pm 0,04$ °C), ST sin rasurar ( $34,7$ vs. $35,3 \pm 0,17$ °C) y SR sin rasurar ( $19,0$ vs. $35,2 \pm 1,9$ g/m <sup>2</sup> h), en relación con las novillas HT. Además, el VT fue menor en las novillas CL durante las semanas -4 y -2, específicamente durante las primeras horas de la mañana y las primeras horas de la tarde. Al medirse durante un intervalo de 36 h, ST y SR fueron	El enfriamiento activo de las novillas al final de la gestación promueve eficazmente la termorregulación y resulta en una mayor producción de leche posparto.

				menores en las novillas CL, en comparación con las novillas HT durante todas las semanas. Cabe destacar que ST se redujo durante la noche y SR se redujo durante el día. Las novillas refrigeradas tuvieron una mayor producción de leche (35,8 vs. 31,9 ± 1,4 kg/día) en comparación con las novillas H.	
Zhou et al. (2022)	Pérdida de agua por evaporación de vacas lecheras en cámaras de respiración con clima controlado.	Estudio observacional	Veinte vacas lecheras Holstein	Los resultados muestran que los niveles de HR/AV no tuvieron un efecto significativo en la pérdida total de agua por evaporación, mientras que el efecto de interacción entre HR/AV con AT fue significativo. Las vacas con una HR alta tuvieron una tendencia a una tasa de aumento menor de pérdida de agua por evaporación en comparación con las vacas con una HR baja (0,61 frente a 0,79 kg/d por cada 1 °C de aumento de AT). Las vacas con niveles de AV medios y altos tuvieron una mayor tasa de aumento que las vacas con AV bajo (0,91 y 0,95 frente a 0,71 kg/d por cada 1°C de aumento de AT, respectivamente).	El método de la caja de piel ventilada, que mide solo una pequeña parte de la piel durante un corto período del día, puede ser una forma conveniente y precisa de determinar la pérdida total de agua por evaporación cutánea de las vacas.
Mbuthia et al. (2021)	Modelado de los efectos del estrés térmico en la producción de leche del ganado lechero en un entorno tropical mediante registros de días de prueba y modelos de regresión aleatoria.	Estudio observacional	Los registros comprendieron 49 993, 45 251 y 36 136 registros de días de prueba para la primera, segunda y tercera lactancias, respectivamente, para las cuatro razas lecheras principales: Frisona (68,0%), Ayrshire (21,1%),	Los umbrales de estrés térmico y los patrones de pérdida de leche son importantes para la gestión de los sistemas de producción lechera en los trópicos con condiciones climáticas similares a las de este estudio.	Se concluye que llevar un registro de leche de buena calidad ofrecerán la oportunidad de monitorear tanto los impactos de los cambios climáticos esperados en la producción de leche como las medidas de mitigación.

		Jersey (7,6%) y Guernsey (3,3%).			
Kawano et al. (2022)	Efecto de la exposición al calor en el crecimiento y la capacidad de desarrollo de ovocitos bovinos derivados de folículos antrales tempranos	Estudio experimental	20 vacas	Los resultados sugieren que la exposición al calor perjudica el crecimiento y la capacidad de desarrollo de los ovocitos en los folículos antrales tempranos debido a la depleción de GSH, lo que puede inducir una baja fertilidad durante el verano y el otoño siguiente.	La suplementación con cisteína, que estimula la síntesis de GSH, aumentó los niveles de GSH y mejoró la tasa de blastocistos en ovocitos sometidos a choque térmico (27,9%).
Pacheco et al. (2020)	Imágenes térmicas combinadas con un modelo basado en aprendizaje automático predictivo para el desarrollo de clasificadores de niveles de estrés térmico.	Estudio experimental	26 vacas	Los clasificadores basados en ANN (ANN-RR y ANN-RT) mostraron mejores resultados que los índices tradicionales (THI y BGHI). Entre los índices evaluados tradicionalmente, el BGHI fue más representativo de las respuestas de los animales porque su precisión fue mayor que la observada utilizando THI.	El clasificador basado en RNA permite una evaluación individualizada de los niveles de estrés térmico de los animales.
Fuentes et al. (2020)	Inteligencia artificial aplicada a una granja lechera robótica para modelar la productividad y calidad de la leche basándose en datos de las vacas y parámetros ambientales diarios.	Estudio observacional	36 vacas con tolerancia al calor similar (Modelo 1) y las 312 vacas de la granja (Modelo 2). E	Los resultados mostraron modelos altamente precisos, que se desarrollaron para vacas con una tolerancia genética al calor similar (Modelo 1: $n = 116$ , $456$ ; $R = 0.87$ ; pendiente = $0.76$ ) y para todas las vacas (Modelo 2: $n = 665$ , $836$ ; $R = 0.86$ ; pendiente = $0.74$ )	Se propuso un sistema de inteligencia artificial (IA) para aumentar o mantener un nivel objetivo de calidad de la leche al reducir el estrés térmico que podría aplicarse a una granja lechera convencional con una mínima adición de tecnología.
Obando et al. (2022)	Estudio de CFD de un granero con lecho de compost ventilado por túnel que integra un sistema de enfriamiento por paneles evaporativos.	Estudio experimental	80 vacas Holstein	El modelo CFD del panel de enfriamiento propuesto presentó buena concordancia con el modelo experimental establecido para los valores RMSE calculados. Se obtuvieron altas diferencias relativas en las predicciones de temperatura de bulbo	as bajas velocidades de flujo de aire se asociaron con un aumento de la temperatura de bulbo seco dentro de la instalación. Velocidades de flujo de aire superiores a $3 \text{ ms}^{-1}$

				seco y humedad relativa durante el proceso de validación del modelo CFD del establo.	no mostró una mejora significativa en la condición térmica interna, sin embargo, debido a un aumento en la transferencia de calor y masa entre los animales y el aire, reduce el nivel de estrés térmico.
Veloz (2025)	Influencia del Microclima en el Periodo Parto-Concepción en Vacas Holstein Friesian dentro de la Provincia de Tungurahua, Ecuador	Estudio observacional	330 vacas	Existe una correlación significativa ( $p<0.05$ ) entre temperatura, humedad relativa e índice temperatura - humedad (ITH) con la tasa de concepción.	Se concluye que un manejo reproductivo eficiente de las vacas requiere de factores fisiológicos, ambientales enfatizando las condiciones térmicas y de humedad.

El estrés término tiene un efecto directo en la fertilidad y los procesos reproductivos del ganado lechero, pues afecta principalmente a las gonadotropinas. Varios estudios evidenciaron que el estrés por calor disminuye la secreción de LH y su función, pues los tejidos foliculares de vacas estresadas por calor secretaron niveles más bajos de esteroides bajo estimulación con gonadotropinas (Gupta et al., 2023). Esta disfunción endocrina explica la caída en la tasa de concepción y el aumento de una pérdida embrionaria observada en ambientes calurosos. De ello se ha documentado una reducción de hasta 20 a 30% en la

tasa de concepción en periodos de ITH elevado, junto con incremento de los días abiertos.

Para detectar el estrés por calor, Becker et al. (2021) describen los siguientes índices: babeo, jadeo, temperatura corporal y para evaluar la respuesta del ganado lechero a los estresores ambientales, las variables: temperatura, humedad, velocidad del viento. Sin embargo, la relación entre estos índices o variables suele ser compleja pues no suelen representar de manera específica cómo los estresores ambientales afectan la respuesta del ganado lechero. Por tanto, compararon dos métodos de aprendizaje automático (Bayes ingenuo

gaussiano y bosque aleatorio) y concluyeron que los modelos de aprendizaje automático pueden predecir vacas con y sin estrés térmico, a las que se les administran diferentes medidas de reducción de calor, pero mostraron mayor precisión y exactitud al utilizar el método de bosque aleatorio.

Jensen et al. (2022) llevaron a cabo un estudio en Australia se encontró que el ganado lechero en sistemas intensivos se vieron afectados de manera diferente por el calor a comparación del ganado de sistemas extensivos, pues el alojamiento de los animales para el primer sistema a menudo está diseñado para incluir características que disminuyan algunas de las consecuencias del estrés por calor, sin embargo, se consideran distintas variantes genéticas que influyen en la resistencia, siendo el ABVHT un parámetro idóneo para identificar al ganado genéticamente superior por su resistencia al estrés por calor.

De manera similar, Rahman (2023) destaca que la adaptación racial condiciona los mecanismos de disipación de calor, puesto a que sus genes han evolucionado para adaptarse a las distintas temperaturas, a partir de ellos los métodos de enfriamiento pueden

ser: por radiación, convección, evaporación del agua y aire exhalado, a temperaturas más altas, la vaporización reemplaza la radiación y la convección como principal medio de disipación de calor del ambiente, por tanto, cuando la temperatura ambiental incremental el método de enfriamiento por evaporación de una vaca es la sudoración térmica.

En cuanto a las estrategias de mitigación del HS, Davidson et al., (2021), demostraron que el enfriamiento activo con ventiladores y bebederos en novillas lecheras, promovió una mejor termorregulación y mayor producción posparto. Wolfenson y Roth (2019) añaden que el uso de un sistema de enfriamiento eficiente para mantener la normotermia en las vacas es un prerrequisito para cualquier enfoque terapéutico adicional; la temperatura corporal de las vacas receptoras es crucial durante la transferencia de embriones; los tratamientos hormonales para apoyar la función del CL y la supervivencia embrionaria son más eficientes si la vaca mantiene una temperatura corporal normal, pues el efecto del estrés por calor es de carácter multifactorial, por tanto, una

combinación de enfoques de tratamiento podría ser la más efectiva. Sin embargo, la eficacia de los sistemas de enfriamiento está condicionada por la humedad relativa: mientras que los sistemas evaporativos son efectivos en climas secos, en ambientes húmedos como los tropicales de Ecuador su rendimiento disminuye, obligando a considerar alternativas como sombra natural, ventilación cruzada y calendarización reproductiva.

Estudios como el de Zhou et al. (2022) indagaron los efectos del estrés térmico en las pérdidas de calor en vacas de raza Holstein a partir de una cámara de respirometría con clima controlado, hallando que la temperatura del aire fue inferior a 20 °C, aquí el intercambio de calor se distribuía de manera uniforme, el 50% en vías latentes, y el otro por vías sensibles, cuando la temperatura excedía los 28 °C, la evaporación se convertía en el principal mecanismo de pérdida de calor, representando aproximadamente el 70-80% de la pérdida total de calor animal, por tanto, en el ganado lechero el jadeo indicó estrés térmico severo; así como otros indicadores como: alto consumo de agua, reducción de ingesta de agua,

aumento en el tiempo de reposo. . Además, investigaciones como la de Kawano et al. (2022) evidencian que la exposición al calor compromete el crecimiento de los ovocitos en folículos tempranos, reduciendo la tasa de blastocistos viables, aunque la suplementación con antioxidantes como la cisteína puede mitigar parcialmente este efecto.

Pacheco et al. (2020) evaluaron la posibilidad de utilizar técnicas no invasivas asociadas a modelos computacionales cuyo fin fue la predicción de la respuesta individual de los animales, propusieron un método basado en ANN que mediante variables climáticas y de temperatura de la superficie corporal concluyendo que el mismo mostró mayor precisión a comparación de los modelos basados en regresión lineal. Mientras que Fuentes et al. (2020) indagaron sobre la implementación de la Inteligencia Artificial en las explotaciones lecheras y los modelos de aprendizaje automático los cuales necesitan de mínimas mejoras tecnológicas respecto a puertas automatizadas y sistemas de refrigeración, se ha demostrado que una aplicación práctica de la IA y su

información detallada de una explotación lechera robótica para beneficiar a las pequeñas y medianas explotaciones lecheras, incrementan su competitividad en un mercado internacional de mayor exigencia.

Es importante reconocer las limitaciones de la evidencia disponible. La heterogeneidad en razas, sistemas productivos y climas impidió realizar un metaanálisis cuantitativo. Además, la mayoría de los estudios provienen de contextos templados o subtropicales, lo que reduce la extrapolación directa a ambientes tropicales húmedos como los de la costa ecuatoriana. Se requieren más investigaciones locales que evalúen no solo variables reproductivas, sino también el impacto económico y de bienestar animal de las estrategias de mitigación.

El ET compromete seriamente la reproducción bovina a través de mecanismos endocrinos, metabólicos y celulares. La combinación de intervenciones ambientales, nutricionales y genéticas, junto con herramientas digitales para el monitoreo, constituye el enfoque más prometedor. En regiones tropicales como Ecuador, las soluciones deben

priorizar la sostenibilidad y accesibilidad económica, favoreciendo la integración de sombra natural, programas reproductivos estratégicos y suplementación antioxidante, sin descuidar la investigación en genética adaptada.

#### 4. Conclusiones

El estrés térmico está afectando la productividad y la fertilidad del ganado lechero lo que ha puesto en riesgo la sostenibilidad de la industria láctea, en lo reproductivo hay una marcada disminución de la tasa de concepción, puesto que hay efectos a largo plazo por el calor estacional el cual influye en el eje hipotálamo-hipófisis-ovario, lo que implica una reducción en la fertilidad principalmente en la hormona luteinizante (LH) la que se asoció con la limitación del estradiol folicular.

El manejo del estrés se realiza a nivel de rebaño a partir del alojamiento, enfriamiento y la modificación dietética adecuada, sin embargo, en este estudio se detectó que hay una interacción entre las vacas y el entorno, lo que demuestra la necesidad de implementar cuidados a futuro ya sea a la vaca o a un grupo pequeño de esta manera será posible

utilizar de manera sostenible los recursos para el enfriamiento a causa de HS.

Los avances en las técnicas de mitigación permiten una intervención temprana para alcanzar el bienestar del ganado lechero y así optimizar la producción de leche, la combinación de métodos tradicionales con los nuevos enfoques permite el refuerzo ante la respuesta del estrés por calor de esta manera será posible contar con un entorno más saludable y sostenible para la producción lechera

Una técnica que ha mostrado resultados significativos es el sistema evaporativo pues el mismo es capaz de reducir el estrés térmico en las vacas lecheras, puesto que puede adoptarse a instalaciones con ventilación o presión positiva o negativa, lo que reduce la temperatura del aire y así crea un ambiente térmico favorable, así también en instalaciones abiertas se recomienda el uso de boquillas nebulizadoras junto con ventiladores.

## Bibliografía

- Becker, A., Aghalari, A., & Marufuzzaman, M. (2021). Predicción del estrés térmico del ganado lechero mediante técnicas de aprendizaje automático. *Revista de Ciencia Láctea*, 104(1), 501-524. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030220308663>
- Burhans, W., Burhans, R., & Baumgard, L. (2022). Revisión por invitación: Estrés térmico letal: la posible fisiopatología de un trastorno mortal en el ganado lechero. *Revista de Ciencia Láctea*, 105(5), 1-18. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030222001308>
- Carabaño, M., Ramón, R., Díaz, D., & Sánchez, M. (2021). Estrés térmico por calor en ganado lechero: la selección de la genética. *Revista Vacuno*, 12(3), 1-12. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20210454728>
- Cheruiyot, E., Haile, M., & Cooks, B. (2021). Nuevos loci y vías neuronales para la resiliencia al estrés térmico en el ganado. *Revista Informes Científicos*, 11(2), 1-15. <https://www.nature.com/articles/s41598-021-95816-8>



- Davidson, B., Senn, D., & Padilla, R. (2021). La reducción del estrés térmico al final de la gestación en novillas lecheras promueve la termorregulación y mejora la productividad. *Revista de Ciencia Láctea*, 104(2), 1-20. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030220309796>
- Fontoura, A., Javaid, A., & Sáinz de la Maza, V. (2022). Heat stress develops with increased total-tract gut permeability, and dietary organic acid and pure botanical supplementation partly restores lactation performance in Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 105(9), 7842 – 7860. [https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(22\)00421-0/fulltext](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(22)00421-0/fulltext)
- Fuentes, S., González, C., Cullen, B., & Tongson, E. (2020). Inteligencia artificial aplicada a una granja lechera robótica para modelar la productividad y calidad de la leche basándose en datos de las vacas y parámetros ambientales diarios. *Sensores*, 20(10), 2975. <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/10/2975>
- Gupta, S., Sharma, A., & Joy, A. (2023). The Impact of Heat Stress on Immune Status of Dairy Cattle and Strategies to Ameliorate the Negative Effects. *Animals*, 13(1), 107-112: <https://www.mdpi.com/2076-2615/13/1/107#B85-animals-13-00107>
- Habimana, V., Nguluma, A., Nziku, Z., & Dzivenu, C. (2023). Efectos del estrés térmico en las características de producción de leche y metabolitos y estrategias de mitigación para razas de ganado lechero criadas en países tropicales y subtropicales. *Sec. Nutrición y Metabolismo Animal*, 6(10), 1-18. <https://www.frontiersin.org/journals/veterinary-science/articles/10.3389/fvets.2023.1121499/full>
- Herrera, J. (2024). Tendencias en producción lechera y mejora del rendimiento con estrategias nutricionales y de manejo. *Innova Science Journal*, 2(3), 53-63. <https://innovasciencejournal.com/editorial.com/index.php/home/article/view/43/104>
- Jensen, L., Jannaman, E., & De Vries, A. (2022). Effectiveness of the Australian breeding value for heat tolerance at discriminating responses of lactating Holstein cows to heat stress. *Journal of Dairy Science*, 105(22), 7820-7828. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030222004167>
- Kawano, K., Sakaguchi, K., & Madalitso, C. (2022). Efecto de la exposición al calor en el crecimiento y la

- capacidad de desarrollo de ovocitos bovinos derivados de folículos antrales tempranos. *Scientific reports*, 12(1). <https://www.nature.com/articles/s41598-022-12785-2>
- Levith, H., Pinto, S., Gershon, E., & Kleinjan, A. (2021). Una estrategia de enfriamiento dinámico basada en la respuesta individual de los animales mitigó el estrés térmico en las vacas lecheras. *Revista Animal*, 15(2), 1-18. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1751731120300951>
- Mbuthia, J., Mayer, S., & Reinsch, N. (2021). Modelado de los efectos del estrés térmico en la producción de leche del ganado lechero en un entorno tropical mediante registros de días de prueba y modelos de regresión aleatoria. *Revista Animal*, 15(8), 1-18: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1751731121000641>
- Obando, F., Montoya, A., & Osorio, J. (2022). Estudio de CFD de un granero con lecho de compost ventilado por túnel que integra un sistema de enfriamiento por paneles evaporativos. *Animales*, 12(14), 1776. <https://www.mdpi.com/2076-2615/12/14/1776>
- Pacheco, V., De Souza, R., & Da Silva, A. (2020). Imágenes térmicas combinadas con un modelo basado en aprendizaje automático predictivo para el desarrollo de clasificadores de niveles de estrés térmico. *Revista Ciencia Ganadera*, 241(1). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871141319314763?via%3Dihub>
- Paranhos, C., Campos, F., Da Silva, A., & Schultz, A. (2025). Estrés térmico en vacas lecheras: impactos, identificación y estrategias de mitigación: una revisión. *Animales*, 15(2), 249. <https://www.mdpi.com/2076-2615/15/2/249>
- Rahman, A. (2023). Effect of heat stress on dairy cow production, reproduction, health, and potential mitigation strategies. *Journal of Applied and Advanced Research*, 8(2), 13-25. [https://file.mixpaper.cn/paper\\_store/2023/0e5649b5-ae15-477a-b75f-b535d1156a98.pdf](https://file.mixpaper.cn/paper_store/2023/0e5649b5-ae15-477a-b75f-b535d1156a98.pdf)
- Rahman, A. (2023). Effect of heat stress on dairy cow production, reproduction, health, and potential mitigation strategies. *Journal of Applied and Advanced Research*, 8(2), 13-25. [https://file.mixpaper.cn/paper\\_store/2023/0e5649b5-ae15-477a-b75f-b535d1156a98.pdf](https://file.mixpaper.cn/paper_store/2023/0e5649b5-ae15-477a-b75f-b535d1156a98.pdf)
- Ruiz, J., Vargas, B., & Abarca, S. (2019). Efecto del estrés calórico sobre la

- producción del ganado lechero en Costa Rica. *Revista Agronomía Mesoamericana*, 30(3), 733-750: <https://www.redalyc.org/journal/437/43760145009/html/>
- Sammad, A., Umer, A., & Shi, R. (2019). Dairy cow reproduction under the influence of heat stress. *Farm animal nutrition and health in China*, 104(4), 1-12. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jpn.13257>
- Sammal, A., Jing, Y., & Umer, S. (2020). Nutritional Physiology and Biochemistry of Dairy Cattle under the Influence of Heat Stress: Consequences and Opportunities. *Animales*, 10(5), 69-79. <https://www.mdpi.com/2076-2615/10/5/793>
- Seon, H., Ramos, R., & Valencia, D. (2022). Estrés por calor: efectos sobre los microbios del rumen y la fisiología del huésped, y estrategias para aliviar los impactos negativos en las vacas lecheras lactante. *Sec. Microbiología de Sistemas*, 27(2), 1-18. <https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2022.804562/full>
- Shruti, G., Sharma, A., & Joy, A. (2023). The Impact of Heat Stress on Immune Status of Dairy Cattle and Strategies to Ameliorate the Negative Effects. *Animals*, 13(1), 107-120: <https://www.mdpi.com/2076-2615/13/1/107>
- Veloz, D. (2025). Influencia del Microclima en el Periodo Parto-Concepción en Vacas Holstein Friesian dentro de la Provincia de Tungurahua, Ecuador. *Revista Polo del Conocimiento*, 10(6), 1-18. <https://www.polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/9628>
- Wolfenson, D., & Roth, Z. (2019). Impact of heat stress on cow reproduction and fertility. *Animal Frontier*, 9(1), 32-38. <https://doi.org/10.1093/af/vfy027>
- Zhou, M., Koerkamp, G., & Aarnink, A. (2022). Pérdida de agua por evaporación de vacas lecheras en cámaras de respiración con clima controlado. *Revista de Ciencia Láctea*, 106(3), 1-18. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030223000073>