

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Instituto de Ciencias Agrícolas



**EFFECTO DE ÉPOCA DEL AÑO Y COLOR DEL PELAJE EN
VARIABLES FISIOLÓGICAS Y REPRODUCTIVAS DE
VAQUILLAS HOLSTEIN EN UNA ZONA ÁRIDA**

T E S I S

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN ANIMAL

PRESENTA:

ING. EMILIANO ALEJANDRO CORRALES NAVARRO

DIRECTOR:

Ph.D. LEONEL AVENDAÑO REYES

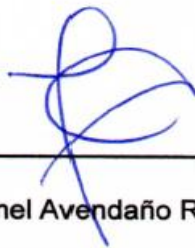
MEXICALI, BAJA CALIFORNIA

ABRIL DEL 2022

La presente tesis "EFECTO DE ÉPOCA DEL AÑO Y COLOR DEL PELAJE EN VARIABLES FISIOLÓGICAS Y REPRODUCTIVAS DE VAQUILLAS HOLSTEIN EN UNA ZONA ÁRIDA", fue realizada por el **C. Emiliano Alejandro Corrales Navarro**, dirigida por el **Ph.D. Leonel Avendaño Reyes**, y ha sido evaluada y aprobada por el Consejo Particular abajo indicado, como requisito parcial para obtener el título de:

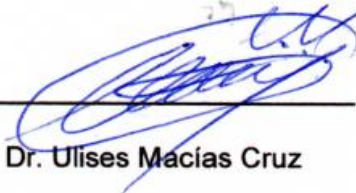
Maestro en Ciencias en Sistemas de Producción Animal

Consejo particular



Ph.D. Leonel Avendaño Reyes

Director de tesis



Dr. Ulises Macías Cruz

Secretario



Dra. Vielka Jeanethe Castañeda Bustos

Sinodal



Dra. María de los Ángeles López Baca

Sinodal

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Leonel Avendaño Reyes, por ser el director de mi tesis, por su amistad, por las revisiones y sugerencias durante la tesis, así como su apoyo durante mis estudios en el Instituto de Ciencias Agrícolas (UABC).

Al Dr. Ulises Macías Cruz, por su amistad y el apoyo dedicado durante el presente estudio, además de las facilidades que me dio durante mis estudios en el Instituto de Ciencias Agrícolas (UABC).

Al Instituto de Ciencias Agrícolas-UABC por haberme permitido ser parte de él y por haberme cobijado bajo sus aulas, durante esta etapa de mi formación profesional y académica.

Al personal docente y administrativo del ICA-UABC por apoyarme durante estos dos años de estudio en esta institución.

Al Ing. Rubén Fregoso, por su apoyo y disponibilidad durante el desarrollo de este estudio, así como su amistad y consejos.

Al Ing. Héctor Javier López Portillo Burgos por su amistad y apoyo en todo momento.

A toda mi familia, por su apoyo incondicional y motivarme a concluir con mis estudios.

A mis maestros y compañeros con quienes compartí momentos de estudio, trabajo y alegría.

DEDICATORIAS

A Dios:

Por el regalo de la vida, por llenarme de bendiciones y permitirme llegar a este punto de mi vida.

A mi hija:

Louren Vianney Corrales Gordillo, por ser el motor de mi vida y enseñarme muchas cosas como padre. Nada puede detenerte de cumplir tus sueños.

A mis padres:

José Luis Corrales Aguirre y Rosa Verónica Navarro Ortiz, por apoyarme siempre con consejos llenos de sabiduría y mostrarme todo su cariño a pesar de las adversidades, además de formarme como una persona de bien delante de los ojos de Dios.

A María Lourdes Bueno Ortiz (†):

Por su apoyo incondicional y su amor desmedido.

A Eduardo Bueno Vega:

Por su cariño y apoyo durante toda mi vida.

ÍNDICE TEMATICO

ÍNDICE DE FIGURAS	1
RESUMEN.....	3
ABSTRACT	4
I. REVISIÓN DE LITERATURA	7
1.1. Cambio climático y producción animal	8
1.2. Importancia de la vaquilla de reemplazo	9
2.2.1 Estrés calórico en la vaquilla de reemplazo	11
2.2.2. Indicadores de estrés calórico en vaquillas	13
2.2.3. Indicadores ambientales	13
2.2.4. Indicadores fisiológicos	16
2.3. Perfil hematológico y bioquímico	17
2.4. Concentraciones hormonales.....	20
2.5. Aspectos reproductivos	21
2.6. Uso de la termografía como indicador de estrés calórico en ganado lechero ..	23
2.7. Color de pelaje y estrés calórico en ganado lechero	24
II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
2.1. Ubicación y duración del estudio	26
2.2. Instalaciones y manejo de los animales	26
2.3. Animales experimentales.....	27
2.4. Datos Climatológicos	28
2.5. Variables de respuesta	28
2.5.1. Variables fisiológicas	28
2.5.2. Componentes hematológicos	29
2.5.3. Metabolitos y electrolitos	29
2.5.4. Concentraciones hormonales.....	30
2.5.5. Variables reproductivas.....	30
2.6. Análisis estadístico.....	31
III. RESULTADOS	32
IV. DISCUSIÓN.....	38
4.1. Condiciones climáticas y frecuencia respiratoria.....	38
4.2. Temperatura superficial del cuerpo y temperatura vaginal.....	39

4.3. Metabolitos sanguíneos.	42
4.4. Electrolitos sanguíneos.	43
4.5. Componentes hematológicos.	44
4.6. Concentraciones hormonales.	46
4.6.1. Cortisol.	46
4.6.2. Progesterona.	47
4.6.3. Hormonas tiroideas.	49
4.7. Variables reproductivas.	50
V. CONCLUSIONES.	52
VI. LITERATURA CITADA	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Índice temperatura-humedad obtenido combinando la temperatura ambiente y humedad relativa para estimar el grado de estrés calórico en ganado lechero.....	10
Figura 2. Índice temperatura-humedad registrado durante la época de verano e invierno en el valle de Mexicali, B.C.....	27
Figura 3. Temperatura de la superficie corporal de diferentes partes del cuerpo registradas durante la mañana en vaquillas Holstein por el efecto de interacción entre época del año y color de pelaje en una zona árida.....	31
Figura 4. Temperatura superficial del cuerpo en flanco derecho, cabeza y lomo registradas durante la tarde en vaquillas Holstein por época del año y color de pelaje en una zona árida	32
Figura 5. Temperatura vaginal de vaquillas Holstein por época y color de pelaje en una zona árida	32
Figura 6. Promedios de la TV circadiana (interacción época x hora) en vaquillas Holstein en una zona árida	33
Figura 7. Promedios de interacción época x color del pelaje en ancho de distribución de eritrocitos (ADE) en vaquillas Holstein en una zona árida.....	36

Cuadro 1. Valores hematológicos y bioquímicos de referencia en hembras Holstein.	14
--	----

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2. Ingredientes y composición química de la dieta de verano e invierno para vaquillas Holstein en una zona árida.....	22
Cuadro 3. Condiciones climáticas registradas durante la época de invierno y verano en el valle de Mexicali.....	28
Cuadro 4. Resultados del análisis de varianza para temperatura corporal y vaginal, así como frecuencia respiratoria en vaquillas Holstein por época y color de pelaje en una zona árida.....	29
Cuadro 5. Concentraciones séricas de hormonas en vaquillas Holstein por época y color del pelaje en una zona árida.....	34
Cuadro 6. Concentraciones séricas de metabolitos y electrolitos en vaquillas Holstein por época y color de pelaje en una zona árida.....	35
Cuadro 7. Variables hematológicas de vaquillas Holstein por época y color de pelaje en una zona árida.....	36
Cuadro 8. Tasa de concepción, edad a primer servicio y servicios por concepción en vaquillas Holstein por época y color del pelaje en una zona árida.....	37

RESUMEN

El objetivo fue comparar algunas variables fisiológicas, hematológicas, bioquímicas y reproductivas en vaquillas Holstein por época del año (verano vs invierno) y color del pelaje (blanco vs negro) en una zona árida. Se seleccionaron al azar 60 vaquillas Holstein con edad y peso promedio de 13 meses y 381.5 ± 5 kg, respectivamente, siendo 28 en verano (13 negras y 15 blancas) y 32 en invierno (18 negras y 14

blancas). En cada época del año, se registró cada tercer día la frecuencia respiratoria (FR) y temperaturas de superficie corporal (TSC) con cámara termográfica en cabeza, ojo, morro, cabeza, oreja, paleta, lomo, costilla, vientre, pierna, pata, anca, flanco derecho y cuerpo a las 07:00 y 15:00 h. Se colectaron muestras de sangre los días 1, 15 y 30 de cada época para determinar perfil hematológico y algunos analitos sanguíneos. Se introdujeron termógrafos en un dispositivo intrauterino para registrar temperatura vaginal (TV) los primeros 15 d de cada época. La FR, TSC, TV y los analitos en sangre y suero se analizaron con arreglo factorial 2^2 en un DCA con mediciones repetidas, siendo los factores de estudio época y color de pelaje; la FR y TSC se analizaron por hora de muestreo. Para la TV se agregó hora del día al modelo estadístico. La tasa de concepción se analizó con Ji-cuadrada. El índice temperatura-humedad promedió 73 unidades en verano y 47.5 en invierno. Las vaquillas negras tuvieron mayor ($P<0.01$) FR y TSC que blancas en verano e invierno por la mañana, pero en la tarde sólo se mostró en cabeza, flanco derecho y lomo. El cortisol fue mayor ($P<0.01$) en verano que invierno, mientras que T_3 y T_4 fueron mayores ($P<0.01$) en invierno que verano. La glucosa, triglicéridos, colesterol, urea y sodio fueron mayores ($P<0.01$) en invierno que verano. En invierno, glóbulos rojos, hemoglobina y hematocrito fueron mayores ($P<0.01$) que verano, mientras que TV fue mayor ($P<0.01$) en vaquillas blancas en verano e invierno que las negras. No hubo diferencias en la reproducción por época ni color de pelaje. Si bien hubo diferencias en variables fisiológicas, hormonales y algunos analitos entre épocas y color del pelaje, éstas no fueron suficientes para modificar la respuesta reproductiva de vaquillas Holstein por época o color de pelaje; además, las vaquillas mostraron adecuada capacidad de termorregulación en verano e invierno en esta zona árida del noroeste de México.

Palabras clave: *vaquillas de reemplazo, termorregulación, bioquímica sanguínea, reproducción, termografía infrarroja.*

ABSTRACT

The aim of this study was to compare some physiological, hematological, biochemical, and reproductive variables in Holstein heifers by season (summer vs winter) and coat color (white vs black). Sixty Holstein heifers were randomly selected

with an average age and weight of 13 months and 381.5 ± 5 kg, respectively, being in summer 28 (13 black and 15 white) and 32 in winter (18 black and 14 white). Each season, respiratory frequency (RF) and body surface temperature (BST) were recorded every third day using infrared thermography in head, eye, nose, ear, shoulder, loin, rib, belly, leg, foot, rump, right side, and body at 07:00 and 15:00 h. Three blood samples were collected on days 1, 15 and 30 of each season to estimate hematological profile and some analytes in serum. Thermographs were fixed to an intrauterine device to register vaginal temperature (VT) the first 15 d of each season. The RF, BST, VT, and analytes in blood and serum were analyzed with a 2^2 factorial arrangement in a completely randomized design with repeated measures, where the main effects were season and coat color; the RF and BST were analyzed by time of the day. Time of the day was added to the analysis of VT. The conception rate was analyzed with a Chi-square test. The temperature-humidity index averaged 73 units in summer and 47.5 in winter. Black heifers had higher ($P<0.01$) RF and BST than white heifers in summer and winter in the morning, but in the afternoon this effect was showed only in head, right flank, and loin in black heifers. Cortisol levels were higher ($P<0.01$) in summer than winter, while T_3 and T_4 were higher ($P<0.01$) in winter than summer. In winter, glucose, triglycerides, cholesterol, urea, and sodium were higher ($P<0.05$) compared to summer. Red blood cells, hemoglobin, and hematocrit were higher ($P<0.05$) in summer than winter. The VT was higher ($P<0.05$) in white heifers than black heifers in both seasons. Reproductive traits of heifers were unaffected by season or coat color. Even though there were some differences in physiological variables, hormone levels, and other analytes by season and coat color, these differences were not enough to modify the reproductive responses of Holstein heifers by season or coat color; moreover, heifers showed an adequate thermoregulation capacity during summer and winter seasons in this arid zone located in northwestern México.

Keywords: replacement heifers, thermoregulation, blood biochemistry, reproduction, infrared thermography.

INTRODUCCIÓN

El principal objetivo de la vaquilla de reemplazo radica en que representa la futura producción de leche dentro de un hato lechero, además de que permite el crecimiento o mantenimiento del mismo. De ahí la importancia de realizar prácticas de crianza que permitan desarrollar reemplazos saludables, con buena fertilidad y edad al parto alrededor de los 24 meses (Le Cozler *et al.*, 2008). Este objetivo puede ser obstaculizado por el manejo inadecuado y condiciones climáticas adversas que influyen en el crecimiento y desarrollo normal de la vaquilla de reemplazo (Inchaisiri *et al.*, 2010). Actualmente, el problema del calentamiento global provocado por el cambio climático ha incrementado significativamente la temperatura en la superficie terrestre, y se prevé sea más marcada en regiones geográficas donde han predominando tradicionalmente los climas cálidos (IPCC, 2018). Dicho cambio se ha asociado con la presencia de estrés calórico (EC) en los animales de producción, influyendo negativamente sobre sus parámetros de productividad y esquemas de bienestar presentes en los distintos sistemas que generan proteínas de origen animal en el mundo (Alonso *et al.*, 2012).

Es reconocido que la raza lechera Holstein-Friesian (*Bos taurus*) es seriamente susceptible a los efectos del EC, ya que afecta negativamente su capacidad de crecimiento y reproducción (Collier *et al.*, 1981; Espinoza *et al.*, 2011, Bernabucci *et al.*, 2014). Bajo condiciones de EC el ganado lechero adopta una serie de estrategias fisiológicas con el fin de disipar el calor obtenido del ambiente y el producido metabólicamente, dentro de las que se encuentran: aumento de la frecuencia respiratoria (FR) y del jadeo, disminución del consumo de alimento, aumento del consumo de agua, redistribución del flujo sanguíneo hacia los tejidos periféricos, aumento de la frecuencia cardíaca, así como modificaciones en los componentes hematológicos, bioquímicos y hormonales (Fuquay, 1981).

En general, las vaquillas de reemplazo son más tolerantes a condiciones climáticas del EC porque generan menos calor metabólico que vacas en producción. No obstante, algunos estudios señalan que el desarrollo y la eficiencia reproductiva de dichas vaquillas es limitado por las altas temperaturas en climas cálidos (West, 2003). Se ha observado que en vaquillas estresadas por calor se prolonga la

duración de su ciclo estral y se reduce el tiempo de expresión del estro, lo que dificulta la detección de calores y, como resultado, se presentan bajas tasas de concepción en verano (Jordan, 2003). Adicionalmente, existe evidencia de que animales con color de pelaje mayormente negro son más afectados en sus parámetros productivos y reproductivos bajo condiciones de EC, debido a que estos absorben mayor radiación solar y su termorregulación es menos eficiente que la de sus contrapartes mayormente blancas (Becerril *et al.*, 1993; Lemus-Flores *et al.*, 2002).

Es esencial examinar los efectos de las altas temperaturas sobre la respuesta fisiológica y reproductiva de vaquillas Holstein frente al EC y explicar esta respuesta a través de parámetros hematológicos, bioquímicos y hormonales, además de conocer si la prevalencia del pelaje negro resulta más perjudicial que la de pelaje claro en climas áridos. Bajo la hipótesis que las vaquillas Holstein son afectadas por las altas temperaturas sin importar el color del pelaje, el objetivo de este estudio fue comparar el efecto de época y color de pelaje de vaquillas Holstein en verano e invierno, evaluando variables fisiológicas, hemato-bioquímicas, hormonales y reproductivas en una zona árida ubicada en el noroeste de México.

I. REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. Cambio climático y producción animal

En la actualidad existe un fuerte consenso científico que adjudica los efectos del cambio climático a la generación de gases de efecto invernadero producto de la actividad humana, esto con un alto grado de confianza (Oreskes, 2004). Entre las principales consecuencias del cambio climático a nivel mundial destacan: aumento de la temperatura global, aumento en la intensidad de las precipitaciones, tendencia a la desertificación, escasez de agua, derretimiento de glaciares y prolongadas e intensas olas de calor (IPCC, 2018). Es importante destacar que las consecuencias provocadas por el cambio climático no operan de forma aislada, sino que deben considerarse como la consecuencia de múltiples factores que pueden acumularse e interactuar con el paso del tiempo, provocando peligro y diferentes tipos de impacto en los sistemas artificiales y naturales (Place *et al.*, 2014).

Adicionalmente, las alteraciones climáticas provocadas por el cambio climático afectan directamente la cadena productiva agropecuaria, incidiendo en la cantidad, calidad y precio de los diferentes productos que este sector ofrece (Nelson *et al.*, 2013); aunado a esto, la demanda de productos de este sector aumenta conforme crece la población mundial, la cual se estima estará cerca de los 10 mil millones para 2050 (Meyers & Kalaitzandonakes, 2012). Lake *et al.* (2012) destacan el cambio climático como un factor importante que amenaza la seguridad alimentaria, los costos de producción y el contenido nutricional de los alimentos en países en vías de desarrollo. Por su parte, Alonso-Spilbury *et al.* (2012) sintetizan que el clima afecta la producción animal en 4 sentidos: 1) cambios en la disponibilidad y precio de los granos para alimentar el ganado, 2) producción y calidad de forrajes y pastizales, 3) estado del tiempo y fenómenos meteorológicos sobre la salud, crecimiento y reproducción animal y, por último, 4) cambios en la distribución de enfermedades en plantas y animales. Específicamente, las altas temperaturas son el factor que más afecta el desempeño de los sistemas de producción animal, siendo el EC la mayor fuente de pérdidas económicas en la industria de carne y leche en el mundo, estimándose éstas en alrededor de 1,800 millones de dólares solamente en Estados Unidos (St-Pierre *et al.*, 2003). De acuerdo con Nardone *et al.* (2010), los sistemas

de producción animal a base de pastoreo y temporal serán los más afectados por el cambio climático, debido a que el 70% de los rumiantes en el mundo son criados bajo estos esquemas.

El valle de Mexicali se ubica en la región noroeste de México, región que se caracteriza por un clima árido y seco con veranos muy calientes ($> 45^{\circ}\text{C}$) e inviernos muy fríos ($< 4.5^{\circ}\text{C}$) (Ruiz *et al.*, 2006). El estado de Baja California cuenta con el Plan Estatal de Acción ante el Cambio Climático (PEACC-BC), cuyo objetivo principal es generar una lista de acciones y propuestas generales para disminuir la producción de gases de efecto invernadero, así como escenarios regionales a futuro para evaluar el impacto del cambio climático. Dicho plan proyecta la problemática de un sector ganadero vulnerable al impacto del cambio climático, principalmente de índole económico, ambiental y social, los cuales se centran en la baja rentabilidad, aumento en el precio de los insumos, comercialización y el poco valor agregado que obtienen los productores (PEACC-BC, 2015). Si bien la región del valle de Mexicali se caracteriza por presentar temperaturas elevadas en verano y bajas en invierno, el impacto del cambio climático puede generar cambios en la dinámica climática que asuma como consecuencia una influencia sobre la duración de las épocas del año, como veranos más largos e inviernos más cortos (Wadgymar *et al.*, 2019). García-Cueto *et al.* (2013) pronostican un aumento a finales del siglo XXI en la temperatura máxima extrema de 2 a 3°C más que la actual, y un aumento en la temperatura mínima extrema que va de 7 a 9°C , proyecciones realizadas usando un modelo probabilístico con el periodo base 1950-2010. Tomando en cuenta lo anterior, es lógico pensar que, si las altas temperaturas predominantes en la región afectan negativamente la producción animal, el aumento de la temperatura provocado por el cambio climático acentuará aún más estas afectaciones.

1.2. Importancia de la vaquilla de reemplazo

Los objetivos de una cría de reemplazos efectiva dentro del hato lechero incluyen los siguientes puntos: producir animales sanos con peso promedio de 365 kg, condición corporal de 2.5 a 3.5, edad al primer servicio de 12-14 meses y edad al parto entre 22-24 meses (Le Cozler *et al.*, 2008). Estos parámetros permitirán

recuperar de manera más rápida la inversión realizada por el productor en la cría de vaquillas, y a su vez convertirá a la vaquilla en una generadora de ingresos dentro del establo lechero (Rodríguez, 2019). Si estos parámetros no son alcanzados, se puede presentar un impacto perjudicial en el desarrollo de los animales, lo que repercute de manera negativa en los costos de producción. Entre los factores de mayor impacto en la cría de reemplazos se tienen: proceso de nacimiento, cantidad de calostro recibido, proceso de destete, programas reproductivos, nutrición y alimentación, así como el manejo general en la crianza (Tozer & Heinrichs, 2001; Gonzales *et al.*, 2017). La alimentación es uno de los aspectos más importantes en la cría de vaquillas de reemplazo porque es un rubro que abarca en ocasiones más del 60% de los costos totales en la producción de reemplazos. Según Adams & Amaral-Phillips (2020), se deben realizar cambios graduales en la alimentación de las vaquillas desde el nacimiento, empezando por el consumo de calostro, para después brindarle alimento líquido a la becerro 2 semanas antes del destete (leche en polvo), y después incorporar alimentos ricos en almidón y azúcares (concentrado iniciador) para estimular la capacidad ruminal de la vaquilla hasta llegar a los 9 meses. Después de esto, es recomendable que la alimentación de la vaquilla se enfoque en lograr un buen desarrollo para alcanzar el tamaño y peso deseable al parto.

Las vaquillas de reemplazo representan de 15 a 20% de los gastos anuales dentro de un hato lechero, donde se incluyen categorías como alimento, mano de obra y salud, pero las empresas lecheras no estiman el valor real de criar una vaquilla de reemplazo y no le dan la suficiente importancia, ya que no toman en cuenta que el manejo y alimentación de los animales durante esta etapa (pre-productiva) tiene efectos directos a futuro sobre la vida productiva del animal (Heinrichs, 2016). Esto es de vital importancia porque las vaquillas sustituirán aquellas vacas que terminan su etapa reproductiva y productiva, por lo que es necesario criar animales o, en su defecto, seleccionarlos, para que puedan mantener los índices productivos esperados, dado que las vaquillas de reemplazo representan la futura producción del hato lechero, así como el crecimiento o mantenimiento del mismo (Le Cozler *et al.*, 2008; Mondragón, 2016).

2.2.1 Estrés calórico en la vaquilla de reemplazo

El estrés calórico (EC) se define como el punto en el que un organismo homeotermo no es capaz de regular su temperatura corporal cuando el gradiente térmico entre la temperatura ambiental (TA) y corporal se incrementa. Los bovinos son animales homeotermos con la capacidad de regular su temperatura corporal en función de las condiciones climáticas del ambiente que lo rodea, por lo que se considera que se encuentran bajo condiciones de EC cuando la TA se encuentra por encima de la zona termoneutral del animal (Polsky *et al.*, 2017). La zona termoneutral es el rango de TA en el que el animal mantiene constante su temperatura corporal sin necesidad de utilizar energía extra o realizar ajustes fisiológicos, que en el caso del ganado lechero varía entre 5 y 25° C, mientras que en vaquillas de reemplazo se estima entre 5 y 27° C (Bernabucci *et al.*, 2010; Nonaka *et al.*, 2012).

El índice temperatura-humedad (ITH) es el indicador más utilizado para valorar y cuantificar los efectos del EC en animales domésticos; esto se debe principalmente a que la TA y la humedad relativa (HR) son los indicadores ambientales de mayor relevancia y la mayoría de las estaciones meteorológicas proporcionan la información de estos indicadores de manera constante (Habeeb *et al.*, 2018). El ITH se puede dividir en varias categorías para poder estimar el grado de EC en ganado lechero como son: sin estrés ($68 \leq \text{THI} < 72$), estrés leve ($72 \leq \text{THI} < 75$), estrés moderado ($75 \leq \text{THI} < 79$), estrés severo ($79 \leq \text{THI} < 84$), y el que puede ocasionar muerte si las condiciones de estrés son continuas y prolongadas ($\text{THI} \geq 84$) (Hahn, 1999; Segnalini *et al.*, 2013). Wang *et al.* (2020) proponen la realización de más estudios centrados en clasificar las categorías del ITH para terneros y vaquillas por la carencia actual de este tipo de información. Diversos autores estiman que el ganado lechero está bajo condiciones de EC cuando el ITH supera 72 unidades, mientras que otros mencionan que a partir de 67 unidades las vacas especializadas en producción de leche empiezan a experimentar condiciones de hipertermia. En el caso de vaquillas de reemplazo, éstas muestran signos de ser más tolerantes a las altas temperaturas, estimándose el inicio del EC a un ITH de 75 unidades (Silanikove, 2000; Nonaka *et al.*, 2012; Segnalini *et al.*, 2013).

La raza europea (*Bos taurus*) Holstein-Friesian es altamente susceptible a los efectos del EC, lo que se debe principalmente a que el origen de esta raza es de regiones frías de Europa, como los países bajos Holanda y Alemania (Garner *et al.*, 2016). Cuando la TA supera el umbral de la zona termoneutral, los animales activan una serie de mecanismos fisiológicos y conductuales como respuesta al EC. Ante tales circunstancias, el animal trata de perder calor mediante mecanismos de termólisis como la radiación, convección, conducción y evapotranspiración, pero conforme aumenta el ITH, dichos mecanismos pierden efectividad, por lo que el animal no puede disipar el calor en su totalidad (Silanikove, 2000; Corrales-Linares, 2014). Algunos de estos mecanismos son: aumento del consumo de agua, disminución del consumo de materia seca, distribución periférica del flujo sanguíneo y modificaciones en los componentes sanguíneos y hormonales. Las vacas bajo EC disminuyen su consumo de alimento, lo que se explica como la influencia de las altas temperaturas sobre el centro del apetito del hipotálamo, zona que está encargada de la regulación del balance térmico, del consumo de agua y alimento (Das *et al.*, 2016). La disminución en el consumo de alimento puede llegar hasta 30%, dependiendo de la intensidad y duración del EC; esto conlleva a una disminución en la producción de leche e induce a un balance energético negativo, ya que al ingerir menos alimento la vaca provoca un déficit entre el consumo de energía y la energía requerida para el mantenimiento y la lactancia (Wheelock *et al.*, 2010). En el caso de vaquillas, la disminución del consumo de alimento se ve reflejado en ganancias diarias de peso muy bajas, además de presentar un balance energético negativo cuando los requerimientos de energía para mantener la temperatura corporal aumentan (Purwanto *et al.*, 1993). El consumo de agua es un factor indispensable en vacas lecheras, ya que consumen entre 30 a 50% de su requerimiento diario de agua (80 l/d) tan solo una hora después de la ordeña, pero durante condiciones de EC, el consumo puede alcanzar fácilmente 110 l/d. Se estima que vaquillas estresadas por calor con peso de 385 kg beban alrededor de 41 l/d de agua (Schroeder, 2015). Los animales pueden disminuir el consumo de agua cuando los bebederos están expuestos a la radiación solar y el agua alcanza temperaturas de 31° C (Gonzales *et al.*, 2010).

2.2.2. Indicadores de estrés calórico en vaquillas

El estrés es un indicador de la pérdida de bienestar animal. Romero *et al.* (2011) definen el estrés como “la acción de estímulos nerviosos y emocionales provocados por el medio ambiente sobre los sistemas nervioso, endocrino, circulatorio y digestivo de un animal, produciendo cambios medibles en los niveles funcionales de estos sistemas, en especial, la homeostasis interna”. Esto significa que los cambios provocados por diferentes estímulos en estos sistemas pueden ser cuantificados y utilizados para saber si el animal está bajo algún tipo de estrés (Romero *et al.* 2011).

2.2.3. Indicadores ambientales

La TA, HR, radiación solar y la velocidad del viento son los indicadores ambientales que más afectan al ganado bovino (Arias *et al.*, 2008). A estas variables se les puede agregar la precipitación y la luz solar (h/d), pero no siempre son considerados en las investigaciones de este tipo. La TA es quizá el factor climático que más influye en el ganado lechero, ya que además de influir en la salud del animal, también afecta la producción de leche, pero cabe destacar que la TA no es el único factor que provoca variaciones en la temperatura corporal de las vacas (Cerqueira *et al.*, 2016). Cuando el animal se encuentra en los límites del rango de la zona termoneutral, realiza ajustes fisiológicos y de conducta para perder o conservar el calor corporal, destinando energía a procesos de mantenimiento y no a la producción de leche como es deseable (Avendaño-Reyes, 2012). La radiación solar también hace una aportación a la carga calórica, pero ésta no solo depende de la TA, sino que influyen otros aspectos como el color del pelo y piel, así como la superficie total del cuerpo expuesta (Arias *et al.*, 2008). La HR y la velocidad del viento son factores que se asocian con la capacidad del animal para perder calor. La HR está relacionada con la capacidad y eficiencia del animal tiene para perder calor a través de sudoración y evaporación, siendo estos mecanismos más afectados cuando hay porcentajes altos de HR en el ambiente en conjunto con altas temperaturas (Habeeb *et al.*, 2018). La velocidad del viento ayuda a mejorar la pérdida de calor mediante la

convección y la evaporación, principalmente cuando la piel del animal está húmeda, sin embargo, este factor puede ser perjudicial si la temperatura del aire es mayor a la de la piel, pues el animal ganará calor del medio ambiente cuando aumente la velocidad del aire (Herrera, 2011).

Aunque el ITH es la medida más frecuente para valorar el grado de EC, generalmente no toma en cuenta otros factores como velocidad del viento, radiación solar, manejo o genotipo del animal (Mader *et al.*, 2006). Existen otros índices utilizados en menor medida que intentan proporcionar una estimación ponderada del mismo, como el índice de temperatura del globo negro y termómetro húmedo (Wet bulb globe temperature) o el índice de carga calórica, índice de temperatura equivalente o el índice de estrés ambiental. Estos índices deben ser utilizados a criterio del investigador, considerando que cada índice toma en cuenta diferentes factores ambientales, así como el estado fisiológico o propósito de producción del animal (Kumar *et al.*, 2018).

HUMEDAD RELATIVA, %																					
TEMPERATURA, °C		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
	21	64	64	64	65	65	65	66	66	66	67	67	67	68	68	68	69	69	69	70	70
	22	65	65	65	66	66	67	67	67	68	68	69	69	69	70	70	70	71	71	72	72
	23	66	66	67	67	67	68	68	69	69	70	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74
	24	67	67	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76
	26	68	68	69	69	70	70	71	71	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78
	27	69	69	70	70	71	72	72	73	73	74	75	75	76	76	77	78	78	79	79	80
	28	69	70	71	71	72	73	73	74	75	75	76	77	77	78	79	79	80	81	81	82
	29	70	71	72	73	73	74	75	75	76	77	78	78	79	80	80	81	82	83	83	84
	30	71	72	73	74	74	75	76	77	78	78	79	80	81	81	82	83	84	84	85	86
	31	72	73	74	75	76	76	77	78	79	80	81	81	82	83	84	85	86	86	87	88
	32	73	74	75	76	77	78	79	79	80	81	82	83	84	85	86	86	87	88	89	90
	33	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	85	86	87	88	89	90	91	92
	34	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94
	36	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	94	95	96
	37	77	78	79	80	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	93	94	95	96	97	98
	38	78	79	80	82	83	84	85	86	87	88	90	91	92	93	94	95	97	98	99	100
	39	79	80	81	83	84	85	86	87	89	90	91	92	94	95	96	97	98	100	101	102
	40	80	81	82	84	85	86	88	89	90	91	92	94	95	96	98	99	100	101	103	104
	41	81	82	84	85	86	88	89	90	91	93	94	95	97	98	99	101	102	103	105	106
	42	82	83	85	86	87	89	90	92	93	94	96	97	98	100	101	103	104	105	107	108
	43	83	84	86	87	89	90	91	93	94	96	97	99	100	101	103	104	106	107	109	110
	44	84	86	87	89	90	91	93	94	96	97	99	100	101	103	104	106	107	109	110	112
	46	86	87	89	90	91	93	94	96	97	99	100	101	103	104	106	107	109	110	112	114
	47	87	89	90	91	93	94	96	97	99	100	101	103	104	106	107	109	110	112	114	116
	48	89	90	91	93	94	96	97	99	100	101	103	104	106	107	109	110	112	114	116	117

Figura 1. Índice temperatura-humedad obtenido de la combinación entre temperatura ambiente y humedad relativa para estimar el grado de estrés por calor en ganado lechero. Adaptado de Hahn (1999).

2.2.4. Indicadores fisiológicos

Los indicadores fisiológicos deben observarse como el resultado de la influencia de los factores ambientales, observados y medibles directamente en el animal. Los efectos del EC sobre indicadores fisiológicos han sido ampliamente investigados en el ganado lechero, aunque existe poca información en lo que a vaquillas y terneros concierne (Wang *et al.*, 2020). Los indicadores fisiológicos más utilizados para describir los efectos del EC son frecuencia respiratoria (FR), jadeo, frecuencia cardíaca y temperatura rectal; sin embargo, la FR es el indicador más efectivo, ya que los demás pueden estar influenciados por otros factores internos como enfermedades y anormalidades metabólicas en el animal (Dalcin *et al.*, 2016). Bajo condiciones de EC, el animal tiende a aumentar la FR y sudoración con el objeto de transferir el exceso de calor corporal hacia el ambiente mediante evaporación. Atkins *et al.* (2017) mencionan que hay una relación directa en el aumento de la FR con el aumento del ITH (>70) en ganado lechero, y que este aumento puede mantenerse aun después de que el ITH ha disminuido. En vaquillas se ha observado un aumento de la FR de 23 respiraciones por minuto (rpm) a 28° C, y de 58 rpm a 33° C (Nonaka *et al.*, 2012). Por otro lado, la hiperventilación en rumiantes conduce a alcalosis respiratoria, producto del desbalance ácido-base provocado por el exceso de dióxido de carbono generado a través del jadeo, afectando la proporción del ácido carbónico y dióxido de carbono (20:1), reduciendo también la capacidad amortiguadora del animal en su sistema digestivo (Bernabucci *et al.*, 2010).

La temperatura rectal (TR) es un indicador de salud animal con la cual se puede interpretar la relación del animal con su medio ambiente y con procesos metabólicos internos (Sellier *et al.*, 2014). En condiciones normales, la TR en bovinos se encuentra entre 37.8 a 39.3°C, pero las vacas lecheras tienden a aumentarla cuando se presentan altas temperaturas (>25° C); del mismo modo las vaquillas aumentan su TR en 1.2° C por encima de lo normal cuando se presentan temperaturas ambientales de 33° C con porcentajes de HR superiores a 80% (Purwanto *et al.*, 1993; Nonaka *et al.*, 2012). Algunos estudios han reportado TR por

encima de 39° C en vaquillas en EC cuando el ITH supera 83 unidades (Correa *et al.*, 2012, 2014). La TR es el método más común para estimar la temperatura corporal, pero es un método invasivo y estresante para el animal, por lo que se considera que los resultados de esas mediciones pueden ser sesgadas (Hoffman *et al.*, 2012).

2.3. Perfil hematológico y bioquímico

El perfil hematológico y bioquímico es un estudio paraclínico que se emplea como una herramienta útil de diagnóstico de diferentes desórdenes de salud, carencias nutricionales y la relación entre el animal y su medio ambiente. Estos perfiles muestran el número, proporción y variación de los componentes sanguíneos y plasmáticos de los animales, parámetros que se comparan con los valores de referencia de acuerdo a la especie, edad, raza y estado fisiológico del animal (Roldan *et al.*, 2015). La importancia de estos perfiles radica en que la mayoría de los ajustes fisiológicos se dan a través del torrente sanguíneo, ya que la sangre sirve como transporte de hormonas, nutrientes, oxígeno, defensas (glóbulos blancos) y realiza procesos de cicatrización y coagulación (Roland *et al.*, 2014). Los principales componentes del perfil hematológico o hemograma son: leucocitos, linfocitos, monocitos, granulocitos, hemoglobina, glóbulos rojos y hematocritos, mientras que los componentes más evaluados del perfil bioquímico son: creatinina, urea, glucosa, colesterol, proteína total, triglicéridos, bilirrubina, cloro, sodio y potasio (Lumsden *et al.*, 1980). El propósito de medir las concentraciones de los componentes sanguíneos y su interpretación es que proporcionan información importante acerca del equilibrio fisiológico del animal, permitiendo evaluar la condición interna del cuerpo, los cambios metabólicos y la función de los diferentes órganos (Radkowska & Herbut, 2014).

Los cambios en las concentraciones de estos perfiles pueden variar dependiendo de factores como edad, raza, estado fisiológico, sistema de producción, nutrición y condiciones ambientales (Jezek *et al.*, 2011; Radkowska & Herbut, 2014; Bhan *et al.*, 2012). Estos componentes son sensibles a los cambios de temperatura, por lo que su medición puede servir para evaluar el bienestar de los animales bajo EC (Broucek *et al.*, 2009). De acuerdo con Belic *et al.* (2010), el EC conduce a la

variación de concentraciones hematológicas disminuyendo el número de eritrocitos, hematocrito, volumen corpuscular medio, glóbulos blancos y plaquetas, así como una disminución en la concentración de hemoglobina. También se han observado variaciones como la hemodilución, que corresponde a una disminución en la proporción de eritrocitos y el volumen plasmático, aumentando este último, pero manteniéndose el número absoluto de células hemáticas (Morar *et al.*, 2018). Los glóbulos blancos están directamente asociados como un buen indicador de la salud del animal, pero los efectos del EC estimulan en el eje hipotálamo-pituitario-adrenal y el eje simpático-adrenal-medular la producción de hormonas que provocan la inmunosupresión, que se ve reflejada en menor conteo total de glóbulos blancos en el torrente sanguíneo (Madijagan & Sejian, 2018).

Cuadro 1. Valores hematológicos y bioquímicos de referencia en hembras Holstein.

Parámetro	Unidades	Sesgo	Edad del animal			
			1 - 14 d	15 – 180 d	181 d – 2 años	> 2 años
Hemoglobina	g/L	1	57-158	85-141	92-154	85-132
Hematocrito	%	0.6	17-47	23-42	26-48	24-36
Eritrocitos	x 10 ¹² /L	0.9	4.9-10.9	6.5-11.9	6.1-10.6	5.0-7.7
VCM	fL	0.8	31.7-49.6	26.6-44.3	31.5-50.9	37.8-56.0
HCM	Pg	0.8	10.8-16.5	9.1-15.6	10.7-19.1	14.2-20.1
CCMH	g/L	0.5	274-398	310-322	310-390	317-404
Plaquetas	x 10 ⁹ /L		190-940	220-950	130-710	220-640
Leucocitos	x 10 ⁹ /L	0.11	2.6-14.6	5.6-13.7	6.3-14.4	3.8-11.0
Neutrófilos	x 10 ⁹ /L		0.6-9.4	0.6-6.1	1.0-4.6	0.7-4.9
Linfocitos	x 10 ⁹ /L		1.0-6.4	2.2-8.7	3.4-9.4	1.0-5.8
Monocitos	x 10 ⁹ /L		0.0-0.12	0.8-1.2	0.0-1.0	0.0-0.9
Eosinófilos	x 10 ⁹ /L		0.0-0.1	0.0-0.3	0.0-2.4	0.0-1.9
Basófilos	x 10 ⁹ /L		0.0-0.1	0.0-0.1	0.0-0.1	0.0-0.1
Calcio	Mmol/L	0.5	2.34-3.04	2.35-2.74	2.25-2.77	2.10-2.67
Fosforo	Mmol/L	0.10	2.07-3.03	1.94-3.26	1.58-3.07	1.32-2.65
Magnesio	Mmol/L	0.02	0.70-1.07	0.70-1.11	0.78-1.11	0.79-1.19
Sodio	Mmol/L	1.2	135-145	136-146	135-146	135-145
Potasio	Mmol/L	0.1	3.9-5.6	3.4-4.9	3.6-5.1	3.6-5.1
Cloro	Mmol/L	0.9	93-104	94-104	28-39	96-105
Urea N	Mmol/L	1.0	3.6-15.7	2.1-14.3	2.1-13.6	1.4-15.7
Creatinina	Umol/L	5.3	71-141	53-97	62-115	62-124
Glucosa	Mmol/L	0.2	2.8-7.5	2.3-5.8	2.9-4.2	2.5-3.8
Colesterol	Mmol/L	0.2	1.0-3.2	1.2-3.8	1.8-3.9	2.0-6.2
Bilirrubina	Umol/L	1.7	1.7-23.9	1.7-10.2	1.7-6.8	0.0-8.6

Hierro	Umol/L	1.0	5-47	10-47	21-39	14-37
--------	--------	-----	------	-------	-------	-------

Adaptado de Lumsden *et al.* (1980).

2.4. Concentraciones hormonales

La respuesta neuroendocrina en animales expuestos a EC es diversa e incluye la liberación y activación de hormonas trópicas como la adreno-corticotropica, hormona del crecimiento y prolactina. La manera en la que el ganado lechero responde a las condiciones de EC se explica parcialmente por la reducción del consumo de alimento y las diferentes respuestas fisiológicas, pero también debe incluirse otros mecanismos como reducción de la rumia, absorción deficiente de nutrientes y, en especial, la alteración del perfil hormonal (Bernabucci *et al.*, 2010). El sistema endocrino activa o desactiva los procesos fisiológicos que le permite a los animales adaptarse mediante mecanismos de termorregulación, lo que provoca alteraciones hormonales que influyen en la producción, reproducción y salud de los animales (Aggarwal & Upadhyay, 2012). Las hormonas tiroideas, triiodotironina (T_3) y tiroxina (T_4), proveen al organismo del mecanismo más eficaz para reducir el calor metabólico, además las concentraciones de estas hormonas son buenos indicadores de EC en ganado lechero. Durante la exposición a altas temperaturas, las concentraciones plasmáticas de estas hormonas tienden a disminuir, ya que su función principal es la disminución de la tasa metabólica como mecanismo de termorregulación. Las concentraciones plasmáticas de T_4 son más altas que las de T_3 debido a que se produce en mayor cantidad exclusivamente por la glándula tiroidea y su actividad biológica es pequeña, sin embargo, T_3 es la hormona tiroidea con mayor actividad metabólica y su síntesis puede realizarse en tejidos extra tiroideos o la glándula tiroidea mediante la desiodinación enzimática de T_4 en la posición 5 del anillo fenólico externo (Morales *et al.*, 2005). Otra alteración hormonal provocada por el EC se refleja en las concentraciones plasmáticas de cortisol, hormona corticosteroide que se libera en la corteza suprarrenal e influye sobre los efectos del metabolismo, el sistema inmunológico y la función cerebral. El eje hipotálamo-pituitario-adrenal (HPA) y el sistema adrenal-medular (SAM) son los

sistemas neuroendocrinos encargados de la liberación del cortisol en respuesta a enfermedades sistémicas, alteraciones metabólicas, dolor o factores abióticos estresantes (Mormede *et al.*, 2010). Durante la exposición a periodos de EC, los niveles séricos de cortisol aumentan, sin embargo, estos niveles pueden disminuir como parte de un proceso adaptativo cuando los periodos de estrés son prolongados. El principal efecto fisiológico del cortisol producido durante el EC es la movilización de la energía para mantener las funciones musculares y neurales, estimulando la glicogenólisis, lipólisis y proteólisis con el fin de proveer energía al cuerpo para reestablecer la homeostasis en el animal (Lenis *et al.*, 2016).

La progesterona es una hormona de suma importancia en el ciclo reproductivo de las hembras lecheras porque permite la expresión y mantenimiento de la preñez en vacas maduras y en vaquillas estimula el desarrollo óptimo del útero durante la pubertad (Blavy *et al.*, 2016). En vacas lecheras se han reportado concentraciones bajas de progesterona y concentraciones altas de prolactina, que se traducen en ciclos estrales irregulares e infertilidad durante las épocas cálidas del año (Sammad *et al.*, 2020). Ronchi *et al.* (2001) reportan una disminución en las concentraciones séricas de progesterona cuando vaquillas Holstein son expuestas a altas temperaturas ambientales, concluyendo que los efectos significativos en las funciones reproductivas de las vaquillas bajo estas condiciones se deben al EC.

2.5. Aspectos reproductivos

Existen múltiples factores que afectan el desempeño reproductivo en el ganado y pueden clasificarse como factores genéticos y factores ambientales. Entre los primeros destacan la genética de alta producción de leche y la endogamia, mientras que los factores ambientales están conformados por las condiciones climáticas adversas (Unalan, 2016). Los efectos del EC sobre la reproducción en animales lecheros han sido ampliamente estudiados y están bien documentados. Se ha demostrado que el EC influye sobre diferentes eventos reproductivos dentro de la hembra bovina como son: duración e intensidad del estro, tasa de concepción, función uterina, crecimiento y desarrollo folicular, mecanismos luteolíticos, muerte embrionaria temprana y crecimiento fetal (Jordan, 2003). El manejo reproductivo

eficiente en el ganado depende en gran medida de la precisión con la que se detectan los estros, sin embargo, muchas de las vacas y vaquillas experimentan calores silenciosos cuando están expuestas a altas temperaturas. La deficiente detección de estros en vaquillas de reemplazo limita la eficiencia reproductiva del rebaño y constituye uno de los errores más comunes en el manejo del ganado lechero (Bolocan, 2009; Unalan, 2016). La fertilidad es una característica poco heredable, por lo que depende en gran medida de factores ambientales como el clima y otros factores externos (nutrición, manejo, instalaciones, etc.). El aumento de la TA reduce la habilidad de vacas y vaquillas para exhibir su comportamiento reproductivo natural, así como la duración e intensidad del estro (Tuckova & Filipcik, 2019). La fertilidad en vaquillas es más alta que en vacas lactantes porque aún no se han identificado factores que supriman la fertilidad en las mismas. Los factores negativos que se asocian con la reproducción deficiente en la vaquilla se adjudican más al técnico inseminador, semental utilizado, mala detección de estros o el uso de prostaglandinas para inducir el primer estro (Donovan, 2003).

Según Chebel *et al.* (2007), el estrés por frío parece afectar de manera más grave la tasa de concepción y producir el aumento de pérdidas fetales en vaquillas Holstein en comparación con el EC, lo que difiere con otras investigaciones que afirman que estos parámetros se ven más afectados por altas temperaturas (De Rensis & Scaramuzzi, 2003; Tuckova & Filipcik, 2019). El mecanismo fisiológico que regula el efecto sobre el EC en la reproducción aún no ha sido explicado de manera clara, pero la regulación hormonal podría servir como explicación probable. Se cree que el EC induce la secreción de la hormona adrenocorticotrópica, y ésta bloquea el comportamiento sexual inducido por el estradiol; además, el cortisol puede inhibir la producción de la hormona liberadora de gonadotropinas, lo que se traduce en una afectación al eje hipotálamo-hipófisis-ovario (Wang *et al.*, 2020). Diferentes estrategias en el manejo reproductivo pueden aumentar considerablemente la fertilidad durante las condiciones de EC, tales como el enfriamiento artificial, programas de inseminación artificial, inducción del cuerpo lúteo y el uso de razas con mayor tolerancia térmica (Jordan, 2003).

2.6. Uso de la termografía como indicador de estrés calórico en ganado lechero

En los últimos años se ha generado un particular interés por asegurar la salud y el bienestar en los animales. Muchos de los procedimientos utilizados en los diferentes sistemas de producción animal provocan dolor y estrés en los animales, lo cual se ha vuelto socialmente inaceptable por parte de los consumidores que adquieren productos de origen animal. Existen algunos procedimientos relacionados con el manejo de los animales que provocan estrés, como los sangrados y la medición de la temperatura corporal vía rectal (Herbut, 2017). Si bien la TR es uno de los métodos más utilizados para medir la temperatura corporal de los animales, es considerado un factor estresante al ser un método invasivo que perturba a los animales y puede consumir mucho tiempo. Además, el manejo efectuado por este método puede provocar lecturas erróneas al estresar al animal y aumentar su TR (Isaksson, 2017). Hoffman *et al.* (2012) proponen el uso de la termografía infrarroja (TIR) como una tecnología no invasiva que permite conocer las fluctuaciones de la temperatura superficial de la capa de pelo, asociándolas al bienestar del animal. La TIR transforma la energía térmica de objetos que se encuentran alrededor en la porción infrarroja del espectro electromagnético traduciéndola en una imagen visible. Es por esto que la TIR puede ser un instrumento útil y práctico de medición o puede utilizarse como una técnica que permite afrontar problemas que no se pueden realizar de forma sencilla con otras técnicas de medición (Meola & Carlomagno, 2004). La TIR puede utilizarse como herramienta de diagnóstico de diferentes eventos fisiológicos en animales domésticos. Hay estudios que indican que puede utilizarse para detectar las variaciones de temperatura entre el proestro y el estro, para identificar la cojera y mastitis en vacas lecheras y para predecir el EC en el ganado (Al-Saaod *et al.*, 2015, Unruh *et al.*, 2017, Vicentini *et al.*, 2020).

La temperatura cutánea de las vacas Holstein durante condiciones normales puede variar dependiendo de las diferentes partes del cuerpo, ya que esta depende en gran manera del flujo sanguíneo periférico y de la cantidad de vasos sanguíneos presentes en cada zona (Isaksson, 2017). Por lo tanto, la alta temperatura en conjunto con la radiación solar puede provocar variaciones en la temperatura

cutánea de las diferentes partes del cuerpo del animal, por lo que las mediciones hechas con TIR pueden utilizarse como un indicador de EC (Unruh *et al.*, 2017). Asimismo, el nivel de radiación solar captada por la tecnología TIR depende de la absorción y reflexividad cutánea del animal, así como la longitud de la superficie expuesta, densidad, color y limpieza (Pusta *et al.*, 2012).

El color negro de las vacas Holstein favorece la absorción de calor y refleja menos radiación solar, por lo que son más propensas a los efectos del EC (Echeverría *et al.*, 2015). No todas las partes del cuerpo de la vaca pueden utilizarse como un indicador de EC con la termografía, sino que hay algunas zonas que presentan una relación ascendente entre el aumento de la TA y la temperatura cutánea del animal. Daltro *et al.* (2017) consideran que la zona más adecuada para determinar EC en vacas lecheras mediante la TIR es la ubre, no obstante, otras zonas como el ojo y la pata pueden servir para identificar variaciones de la temperatura en condiciones ambientales adversas, por ejemplo, a un $ITH > 84$. La medición de la temperatura cutánea mediante TIR puede ser afectada por varios factores como son: el sol, distancia de medición, movimiento del instrumento, etc., por lo que se recomienda tomar en cuenta estos factores al utilizar este método. Aun así, la TIR tiene un gran potencial como herramienta de diagnóstico y de investigación (Godyn *et al.*, 2019).

2.7. Color de pelaje y estrés calórico en ganado lechero

Dado que la relación entre el color de pelaje y la termorregulación de los animales depende de factores ambientales y genéticos, la importancia del color del pelaje en mamíferos ha resultado controversial en diferentes especies. No obstante que el color del pelaje es un rasgo que puede intervenir en el impacto de la radiación solar porque influye en la carga calórica que recibe un animal, no debe tratarse en forma aislada, ya que interactúa con otros rasgos del pelo como su estructura, la cual incluye densidad, longitud y diámetro del pelo (Finch *et al.*, 1984). De acuerdo con Hutchinson Brown (1969), la penetración de la radiación solar es mayor en colores claros que en colores oscuros, así como en pelajes ralos que en pelajes densos. Por su parte, Walsberg (1983) señala que, en algunas especies animales, la variación en

la ganancia de calor por diferencias en el color de pelaje es prácticamente nula comparada con la producida por ajustes en posturas y la presión de selección, factores que también se relacionan con la conducta del animal en respuesta al ambiente y diferencias entre los mismos individuos, por ejemplo, la pilo-erección como respuesta fisiológica a sensaciones extremas. Asimismo, es importante mencionar que conforme la capacidad de aislamiento del pelo disminuye, el efecto de su color sobre la carga de calor aumentará (Dawson *et al.*, 2014).

Sin embargo, recientemente en ganado lechero se han realizado estudios que demuestran que existe una relación entre el color de pelaje y la termorregulación, así como la forma en la que ésta se asocia a la productividad de los animales (Becerril *et al.*, 1993, 1996; Baenyi *et al.*, 2020). Hillman *et al.* (2001) expusieron vacas Holstein blancas y negras a 500 a 800 w/m² de radiación solar durante 90 min, encontrando que la piel de la zona dorsal y la TR aumentaron 4.8 y 1.7°C en vacas negras, y sólo 0.7 ° C en ambas medidas en vacas blancas; estos autores concluyeron que el pelaje negro tuvo absorción de radiación solar de 89%, mientras que el pelaje blanco 66%.

Durante condiciones de EC con alta humedad, Becerril *et al.* (1996) encontraron en ganado lechero Holstein que animales mayormente blancos tuvieron menor tasa respiratoria, temperatura rectal más baja, mayores parámetros reproductivos, así como mejores parámetros cuantitativos y cualitativos en la leche. Otro aspecto en el que influye el color del pelaje es el reproductivo. En condiciones tropicales, Lemus-Flores *et al.* (2002) encontraron que vacas y vaquillas de primer parto mayormente blancas presentaron ventajas reproductivas sobre sus homólogas negras al registrar menor número de servicios por concepción, intervalo entre partos y menos días abiertos. Sin embargo, en un estudio reciente en condiciones semi-áridas del noreste de México, Anzures-Olvera *et al.* (2019) observaron que vacas Holstein con predominancia de pelaje negro tuvieron temperatura superficial del cuerpo, tasa de jadeo, FR, perfil hematológico, calidad de la leche y comportamiento reproductivo similar que sus contemporáneas con predominancia de color blanco; en este estudio, sólo la producción de leche a 305 d fue menor en vacas negras comparada con vacas blancas. Los autores atribuyeron sus resultados a que el estudio se realizó con el uso de sistemas de enfriamiento, lo cual pudo enmascarar en parte los efectos del

color del pelaje. Estos resultados sugieren que la relación entre el color del pelaje en ganado y su termorregulación es aún controversial, sin resultados totalmente convincentes dada la variación observada en los mismos. Es necesario realizar investigación más precisa para determinar si realmente existe una relación importante entre estos dos aspectos asociados a la fisiología del estrés en ganado, lo cual permitirá enriquecer las estrategias para mitigar los efectos negativos del EC.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Ubicación y duración del estudio

El estudio se llevó a cabo en la empresa San Carlos, una cría comercial ubicada en el noroeste de la República Mexicana, con coordenadas geográficas 32° 28' latitud norte y 115° 23' longitud oeste. El giro comercial de la empresa es la crianza de vaquillas de reemplazo y la engorda de toros, ambos raza Holstein-Friesian. Esta zona geográfica se caracteriza por tener un clima seco, árido y extremoso, con temperaturas promedio bajas en invierno (5.8° C) y muy altas en verano (42.3° C). El promedio de la precipitación pluvial es 86 mm, que se concentra durante los meses de diciembre y febrero (García, 1985). Esta unidad productiva se encuentra en el Km. 15 de la carretera federal Mexicali – San Felipe, en el municipio de Mexicali, Baja California. El estudio se dividió en dos épocas: del 3 de agosto al 3 de septiembre, que fue considerado como verano, y del 5 de febrero al 8 de marzo que fue considerado como invierno. El muestreo en cada época duró 30 días.

2.2. Instalaciones y manejo de los animales

El manejo de las vaquillas se realizó tomando en cuenta la Norma Oficial Mexicana NOM-051-ZOO-1955, que se refiere al transporte y manejo humanitario de los animales domésticos. En ambas épocas, los animales se mantuvieron bajo condiciones de estabulación en un corral equipados con bebederos, comederos y sombra. Las dimensiones del corral usado en verano fueron 33.40 x 29.40 m, con área total de 981.96 m², que corresponde a 28.05 m²/cabeza. Las dimensiones del corral de invierno fueron 45.0 x 33.20 m, con un área total de 1494 m², lo que

correspondió a 27.88 m²/cabeza. Ambos corrales tuvieron bebederos con las mismas dimensiones; 3.0 x .60 m y 0.30 m de profundidad. El comedero de verano midió 33.20 x .80 m, y el de invierno 45.0 x .72 m, ambos de largo y ancho, respectivamente. La sombra de los corrales fue construida con lámina galvanizada y tubos de acero con dimensiones de 18.20 x 5.50 y altura de 2.94 m y 17.60 x 6.10 m con altura de 3.0 m, verano e invierno respectivamente. Las vaquillas fueron alimentadas con una dieta que cumplió con los requerimientos nutricionales en base a su peso y etapa de desarrollo (Cuadro 2) y fue servida en dos horarios, 07:00 y 14:00 h diariamente.

Cuadro 2. Ingredientes y composición química de la dieta de verano e invierno para vaquillas Holstein en una zona árida.

Ingredientes	(%)
Ensilaje de sorgo	52
Paja de trigo molido	10
Revuelto de alfalfa	10
Alfalfa limpia	13
Trigo rolado	10
Grano de destilería	3
Minerales (premix recría)	2
Composición química	(%)
Materia seca	93.9
Humedad	9.0
Proteína cruda	18.9
Cenizas	7.3
Fibra detergente ácida	9.38
Fibra detergente neutra	15.4

2.3. Animales experimentales

La recría pertenece a dos establos lecheros ubicados en la zona de El Florido, entre los municipios de Tecate y Tijuana, en Baja California. Las becerras arriban a la recría en Mexicali a edad promedio de 5 meses. Uno de los establos posee 1200

vacas en producción mientras que el segundo 850. Las becerras son enviadas a la recría para desarrollarse y preñarse, y después se devuelven a su respectivo establo lechero dos meses antes de la fecha programada del parto. De lotes de 120 animales que llegaron en cada época, se seleccionaron aleatoriamente las vaquillas para este estudio que consistieron en 60 vaquillas raza Holstein, utilizando en la época de verano 28 vaquillas con edad y peso promedio de 13 meses y 378 kg, respectivamente; mientras que durante la época de invierno se utilizaron treinta y dos vaquillas con edad y peso promedio de 13 meses y 385 kg, respectivamente. En verano hubo 13 vaquillas con color de pelaje predominantemente negro y 15 con color blanco; mientras que en invierno hubo 18 vaquillas con pelaje negro y 14 con pelaje blanco.

2.4. Datos Climatológicos

Los datos climatológicos fueron obtenidos de una estación meteorológica ubicada en la zona de estudio. Se registró temperatura ambiente (TA, °C), radiación solar, velocidad de viento, precipitación, humedad relativa (HR, %) y dirección del viento. Con los datos de TA y HR se calculó el índice temperatura-humedad (ITH, unidades) utilizando la fórmula propuesta por Hahn (1999):

$$ITH = 0.81 TA + HR (TA - 14.4) + 46.4$$

2.5. Variables de respuesta

2.5.1. Variables fisiológicas

Las variables fisiológicas medidas fueron frecuencia respiratoria (FR), temperatura superficial del cuerpo (TSC) y temperatura vaginal (TV). Las variables FR y TSC se midieron cada tercer día, realizando dos muestreos por día en los horarios 7:00 y 15:00 h. La FR se registró contando el número de movimientos intercostales por minuto, utilizando un contador de mano de 4 dígitos y un cronometro digital. La TSC se registró usando una cámara termográfica (Fluke Ti10, Everett, WA, USA), tomándose dos fotos por vaquilla a una distancia aproximada de 1 a 2 m: 1) una fotografía frontal que incluyó cabeza, ojo, morro y oreja, y 2) una fotografía del lado derecho del cuerpo que incluyera paleta, lomo, costillas, vientre,

flanco derecho, anca, pierna, pata y cuerpo. Posteriormente, estas fotografías se cargaron en una computadora que contenía el software de la cámara termográfica (SmartView® ver. 3.9) y se registró la temperatura promedio de las regiones anatómicas antes mencionadas. Estas variables se colectaron cada tercer día, dos veces por día, a las 07:00 y 15:00 h. La TV se midió adaptando un termógrafo digital (Thermotracker System, Culiacán, Sinaloa) a un dispositivo intravaginal (CIDR) usado, que se insertó en la vagina de 10 vaquillas por época (la mitad blancas y la mitad negras) y se programaron para registrar la TV cada 30 min durante los primeros 13 días de cada época. Los valores de TV se promediaron por hora del día de muestreo.

2.5.2. Componentes hematológicos

Se colectaron muestras de sangre los días 1, 15 y 30 de cada época. Las muestras se colectaron de la vena coccígea en tubos vacutainer de 6 mL con EDTA-K2 de tapa morada. Estas muestras de sangre fresca se transportaron en hielera de la recría al Laboratorio de Fisiología Animal del ICA-UABC donde se realizó la determinación de las concentraciones de los siguientes componentes hematológicos: leucocitos (LEU), linfocitos (LIN), monocitos (MON), granulocitos (GRAN), eritrocitos (ERI), hemoglobina (HGB), hematocrito (HCT), volumen corpuscular medio (VCM, fL), hemoglobina corpuscular media (HCM), concentración corpuscular media de hemoglobina (CHCM), ancho de distribución de eritrocitos (ADE), plaquetas (PLT), volumen medio de plaquetas (VMP), ancho de distribución del tamaño plaquetario (ADP) y plaquetocrito (PCT). Para estas determinaciones se utilizó un equipo analizador hematológico automático (Auto Hematology Analyzer, Mindray, BC-2800 vet; Shenzhen, China).

2.5.3. Metabolitos y electrolitos

Se colectaron muestras de sangre en todos los animales los días 1, 15 y 30 del experimento de cada época. Las muestras se colectaron de la vena coccígea en tubos vacutainer de 10 mL. Las muestras se centrifugaron a 3500 rpm durante 15 min a 10° C, para después separar el suero y colocarlo por duplicado en viales de 2 mL. Las muestras se almacenaron a -20° C hasta la determinación de diferentes

analitos en suero. Con el primer vial se determinaron las concentraciones de los siguientes metabolitos sanguíneos: glucosa, colesterol, triglicéridos, proteína total y urea, utilizando un equipo de química sanguínea de fase líquida (EasyVet, KontroLab, Michoacán, México) mediante métodos analíticos que tuvieron una sensibilidad de 1.0 mg/dL. Con este mismo vial se realizó la determinación de electrolitos sanguíneos (Na^+ , Cl^- y K^+) con un equipo automatizado (Electrolyte Analyzer LW E60A; Landwind Medical, Shenzhen, China).

2.5.4. Concentraciones hormonales

Con el segundo vial se realizó la determinación por la técnica ELISA de las concentraciones séricas de hormonas como progesterona (P_4), cortisol (CORT) y hormonas tiroideas (triiodotironina, T_3 y tiroxina, T_4). Las pruebas se desarrollaron utilizando placas comerciales de inmunoensayos enzimáticos competitivos (Monobind Inc., Lake Forest, California, USA) que fueron analizadas con un lector biocromático de tiras de micro-titulación (Stat Fax 303 plus, Awareness technology, Palm City, USA). La sensibilidad y los coeficientes de variación de las pruebas intra e inter ensayos fueron 0.105 ng/mL, 3.8 y 7.5% para progesterona, 0.366 $\mu\text{g/dL}$, 6.4 y 7% para cortisol, 0.04 ng/mL, 5.4 y 6.7% para triiodotironina y 0.128 $\mu\text{g/dL}$, 1.6 y 6.1% para tiroxina.

2.5.5. Variables reproductivas

Al finalizar el muestreo de cada época las vaquillas tuvieron en promedio 14 meses de edad, por lo que se inició con la detección de calores en los corrales por el personal de la recría. Las vaquillas que mostraban síntomas de celo se palpaban por el técnico encargado para comprobar que el animal era apto para ser inseminado (peso corporal, ovarios funcionales y aparato reproductor bien desarrollado). Después de la inseminación artificial, el técnico realizaba una palpación transrectal en las vaquillas como método de diagnóstico de gestación a 35 d post-inseminación; las vaquillas que no quedaban preñadas se sometían a un protocolo de inducción del estro con hormonas exógenas para volver a ser inseminadas. Los datos fueron registrados en un software de administración de establos lecheros (DairyComp 305,

Valley Agricultural Software, CA, USA), donde se recabó la información del número total de servicios que recibió cada vaquilla hasta obtener el diagnóstico de preñez. Las variables evaluadas fueron edad a primer servicio (EPS) y promedio de servicios por concepción (SPC). La tasa de concepción se clasificó en 3 categorías: vaquillas preñadas en su primer servicio (TC1), vaquillas preñadas en su segundo servicio (TC2) y vaquillas preñadas en su tercer o cuarto servicio (TC3). Las vaquillas con más de 4 servicios sin quedar preñadas se enviaban a la engorda para su posterior sacrificio en rastro.

2.6. Análisis estadístico

Las variables FR y TSC fueron sometidas a un análisis de varianza bajo un arreglo factorial 2^2 en un diseño completamente al azar con mediciones repetidas utilizando el procedimiento MIXED de SAS ver. 9.4 (SAS, 2012). Estos modelos estadísticos incluyeron los efectos fijos de época (verano vs. invierno), color del pelaje (blancas vs. negras) y muestreo como medida repetida en el tiempo, realizándose los análisis por hora del día, esto es, un análisis para los datos colectados a las 07:00 h y otro para la tarde (15:00 h). La TV se analizó con un arreglo factorial $2 \times 2 \times 24$ (siendo los factores época, color y hora del día) en un diseño completamente al azar con mediciones repetidas (día de muestreo), utilizando el procedimiento MIXED de SAS. Para estas 3 variables de respuesta, la estructura de covarianza con mejor ajuste fue la no estructurada, de acuerdo a los criterios de información Akaike (AIC) y Bayesiano (BIC). Las variables hematológicas, hormonas, electrolitos y metabolitos en suero sanguíneo se sometieron a un arreglo factorial 2^2 en un diseño completamente al azar con el procedimiento MIXED de SAS donde los efectos fijos fueron época (verano vs invierno) y color (blancas vs negras). La variable día de muestreo se incluyó como la medida repetida en el tiempo. En todos los casos, la estructura de covarianza simetría compuesta fue la que logró el mejor ajuste a los modelos propuestos de acuerdo a los criterios de información AIC y BIC. Los SPC y EPS se analizaron con un arreglo factorial 2^2 en un diseño

completamente al azar. Las medias se compararon mediante la opción LSMEANS/PDIFF considerando significativo cuando $P \leq 0.05$ y tendencia cuando $0.05 \leq P \leq 0.10$. Por otro lado, las tasas de concepción por número de servicios se analizaron mediante una prueba de independencia usando la distribución Ji-cuadrada; cuando se tuvieron conteos menores a 5 por celda, se realizó una prueba exacta de Fisher mediante el procedimiento FREQ de SAS ver. 9.4 (SAS, 2012).

III. RESULTADOS

La Figura 2 y el Cuadro 3 muestran las condiciones climáticas que se presentaron durante la época de verano e invierno en la zona de estudio ubicada en el valle de Mexicali, Baja California. Durante la época de verano, el ITH tuvo una fluctuación circadiana de 69 a 77, siendo menor en horas de la madrugada y mayor por las tardes. En la época de invierno, el ITH osciló a partir de 44 unidades en las horas de la madrugada hasta 57 unidades por la tarde. La TA y HR promedio máxima alcanzada durante la época de verano fue de 39.97 °C y 80.35 % respectivamente, mientras que en la época de invierno fue de 21.71 °C y 77.64%, respectivamente.

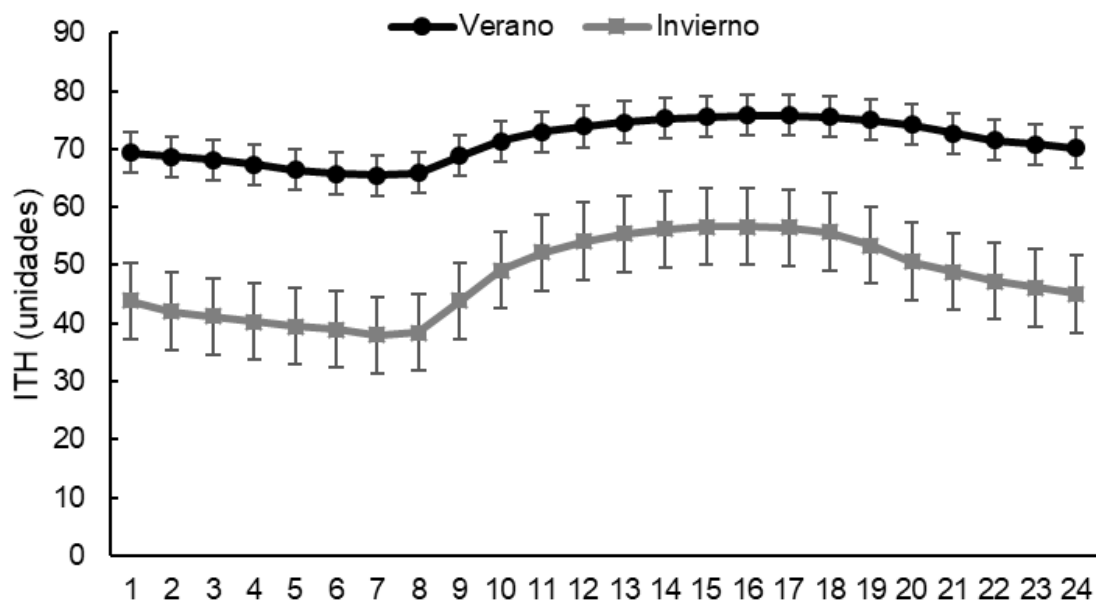


Figura 2. Índice de temperatura-humedad registrado durante el periodo experimental de cada época en la zona de estudio.

Cuadro 3. Condiciones climáticas registradas durante el periodo experimental en la zona de estudio.

Época	TA (° C)			HR (%)			ITH		
	Min	Max	Promedio	Min	Max	Promedio	Min	Max	Promedio
Verano	25.16	39.97	32.56	26.86	80.35	53.6	65.4	77.80	71.28
Invierno	6.43	21.71	14.07	25.11	77.64	51.37	37.98	56.66	47.90

TA: Temperatura ambiental; HR: Humedad relativa; ITH: Índice temperatura-humedad.

El Cuadro 4 muestra los resultados para la TSC, FR y TV por efecto de época, color e interacción época x color. La interacción época x color afectó la TV, resultando en una mayor TV ($P < 0.05$) en las vaquillas expuestas a la época de

verano que las de invierno; por otro lado, las vaquillas mayormente blancas tuvieron una TV más alta ($P < 0.05$) en comparación con sus homólogas mayormente negras.

Durante el horario de la mañana, la interacción época x color afectó la temperatura en la mayoría de las partes del cuerpo con excepción de oreja. Esto representó que la TSC en vaquillas mayormente negras durante la época de verano fue mayor ($P < 0.05$) en comparación con las vaquillas blancas y negras en la época de invierno y que las blancas en el mismo verano. En el caso de pierna se observaron las mismas diferencias, pero solo como tendencia ($P = 0.08$) en este mismo horario. La interacción época x color y el efecto de color no influyó ($P > 0.05$) sobre la FR durante el horario de la mañana, no obstante, el efecto de época afectó ($P < 0.05$) la FR de vaquillas al aumentar los valores de FR durante la época de verano.

Por la tarde, la interacción época x color influyó ($P < 0.05$) sobre la TSC de cabeza, lomo y flanco derecho, lo que significó que la temperatura de estas regiones anatómicas fue mayor ($P < 0.05$) en vaquillas mayormente negras que vaquillas mayormente blancas tanto en invierno como en verano. En el caso de la TSC de costilla, se observaron las mismas diferencias, pero solo como tendencia ($P = 0.07$) en este mismo horario de la tarde. La FR fue afectada solo por la época, ya que las vaquillas durante verano exhibieron casi 34 rpm más ($P < 0.05$) que las vaquillas en invierno.

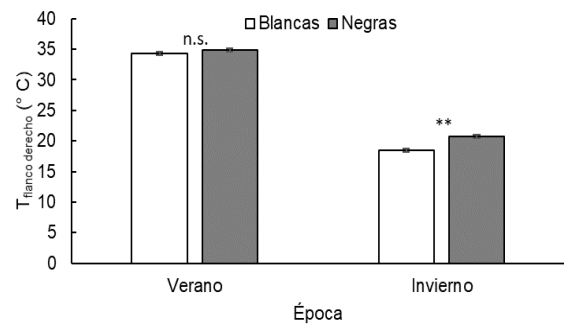
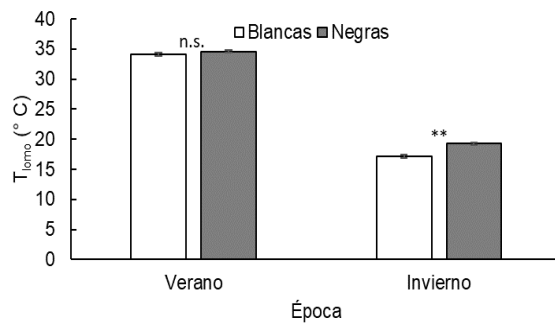
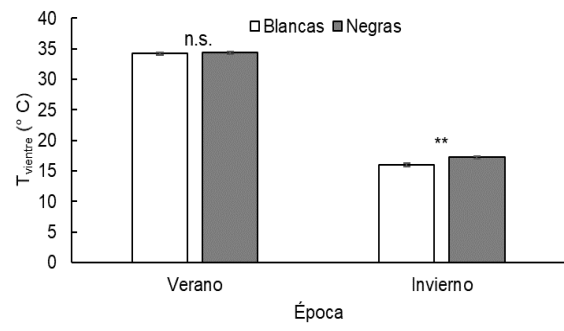
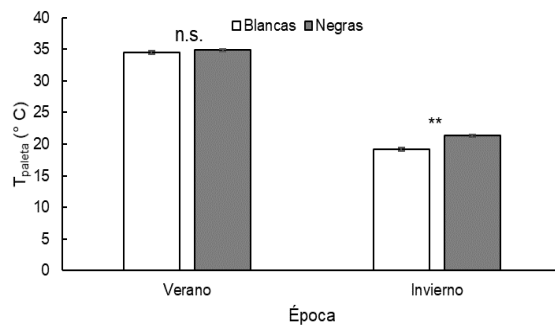
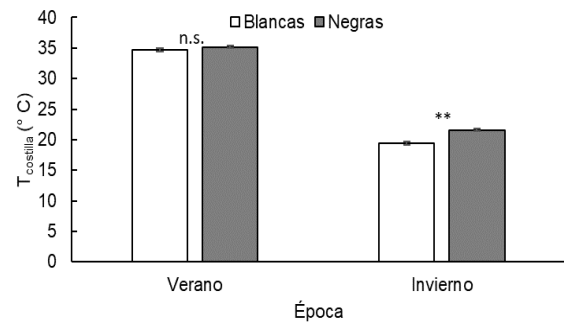
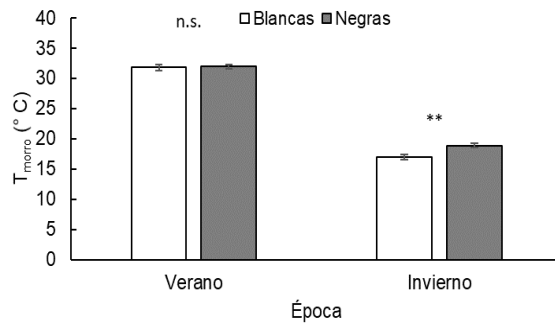
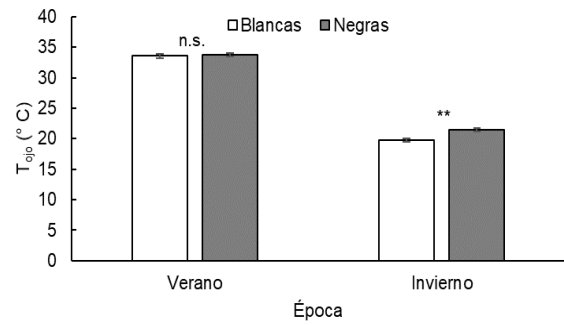
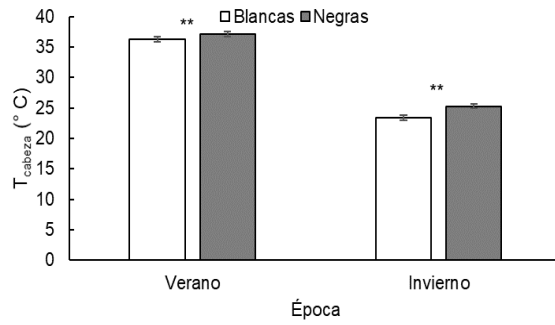
Cuadro 4. Resultados de temperaturas superficiales del cuerpo y vaginales, así como frecuencia respiratoria en vaquillas Holstein por época del año y color de pelaje en una zona árida.

Variable	Época			Color			Valor de P		
	Verano	Invierno	EEM	Blancas	Negras	EEM	Época	Color	E x C
TV (° C)	39.65	39.33	0.01	39.57	39.42	0.01	<0.0001	<0.0001	<0.0001
<i>Mañana (0700 h)</i>									
FR (rpm)	48.67	36.85	0.41	43.24	42.28	0.41	<0.0001	0.1026	0.3677
TSC (° C)									
T _{Cabeza}	32.95	18.96	0.37	25.21	26.7	0.18	<0.0001	<0.0001	0.0368
T _{Ojo}	33.64	20.58	0.22	26.66	27.57	0.22	<0.0001	0.004	0.0175
T _{Morro}	31.87	17.94	0.29	24.4	25.42	0.29	<0.0001	0.0137	0.0429

T _{Oreja}	32.98	17.82	0.24	25.03	25.77	0.25	<0.0001	0.0334	0.1512
T _{Paleta}	34.65	20.26	0.29	26.83	28.08	0.29	<0.0001	<0.0001	<0.0001
T _{Lomo}	34.35	18.25	0.19	25.68	26.92	0.19	<0.0001	<0.0001	0.0031
T _{Costilla}	34.95	20.53	0.18	27.11	28.37	0.19	<0.0001	<0.0001	0.0012
T _{Ventre}	34.28	16.64	0.17	25.12	25.8	0.17	<0.0001	0.0049	0.0282
T _{Flanco derecho}	34.63	19.64	0.19	26.46	27.81	0.19	<0.0001	<0.0001	0.0015
T _{Pierna}	34.44	17.06	0.17	25.51	25.99	0.17	<0.0001	0.0522	0.0873
T _{Pata}	32.21	11.83	0.18	21.98	22.06	0.18	<0.0001	0.7558	0.0011
T _{Anca}	34.23	17.25	0.18	25.2	26.28	0.18	<0.0001	<0.0001	0.0232
T _{Cuerpo}	34.62	19.28	0.16	26.41	27.49	0.16	<0.0001	<0.0001	0.0012
<i>Tarde (1500 h)</i>									
FR (rpm)	81.45	47.93	0.51	64.75	64.63	0.51	<0.0001	0.8690	0.8847
TSC (° C)									
T _{Cabeza}	40.39	29.68	0.17	34.37	35.7	0.17	<0.0001	<0.0001	0.0392
T _{Ojo}	40.32	30.33	0.19	34.79	35.86	0.19	<0.0001	<0.0001	0.152
T _{Morro}	38.78	28.60	0.23	33.56	33.82	0.23	<0.0001	0.4204	0.5285
T _{Oreja}	40.69	29.41	0.18	34.64	35.47	0.19	<0.0001	0.0018	0.1965
T _{Paleta}	40.44	31.15	0.19	35.31	36.27	0.19	<0.0001	0.0004	0.1150
T _{Lomo}	41.09	30.19	0.21	34.93	36.35	0.21	<0.0001	<0.0001	0.0434
T _{Costilla}	40.21	31.69	0.21	35.15	36.74	0.22	<0.0001	<0.0001	0.0776
T _{Ventre}	40.71	29.52	0.22	34.56	35.67	0.22	<0.0001	0.0004	0.5715
T _{Flanco derecho}	40.72	31.20	0.21	35.11	36.81	0.22	<0.0001	<0.0001	0.0088
T _{Pierna}	41.29	29.59	0.2	34.83	36.05	0.21	<0.0001	<0.0001	0.7217
T _{Pata}	39.45	26.15	0.39	32.85	32.75	0.39	<0.0001	0.8543	0.673
T _{Anca}	41.45	29.57	0.22	34.78	36.24	0.22	<0.0001	<0.0001	0.1089
T _{Cuerpo}	40.65	30.63	0.2	35.04	36.24	0.2	<0.0001	<0.0001	0.3955

EEM: Error estándar de la media; ExC: interacción época*color; FR: Frecuencia respiratoria; TSC: Temperatura superficial del cuerpo; TV: Temperatura vaginal.

La Fig. 6 muestra los promedios de la interacción época x hora del día en la TV, lo cual representa la variación circadiana de TV en verano e invierno. Se observa que de las 09:00 a las 21:00 h, la TV en verano fue mayor ($P < 0.01$) que la de invierno, mientras a las 07:00 h también se observa una diferencia ($P < 0.05$) a favor del verano.



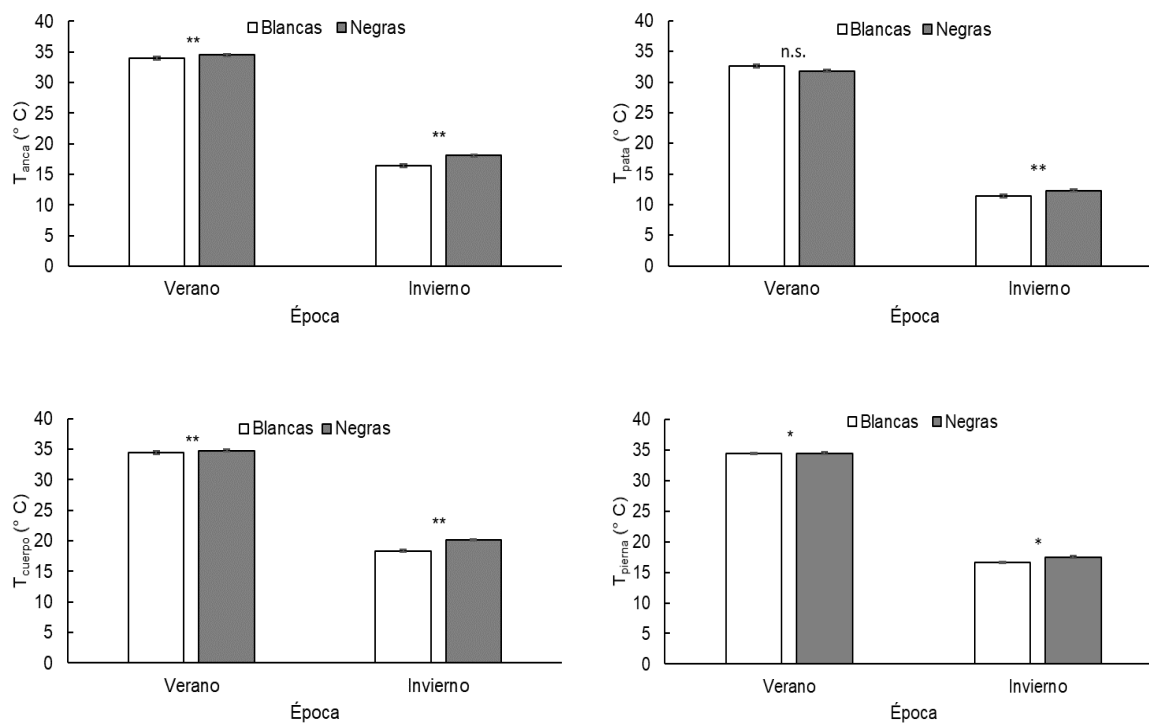


Figura 3. Temperatura de la superficie corporal de diferentes partes del cuerpo registradas durante la mañana en vaquillas Holstein por el efecto de interacción entre época del año y color de pelaje en una zona árida (** $P \leq 0.01$; * $0.05 \leq P \leq 0.10$; n.s.= $P > 0.05$).

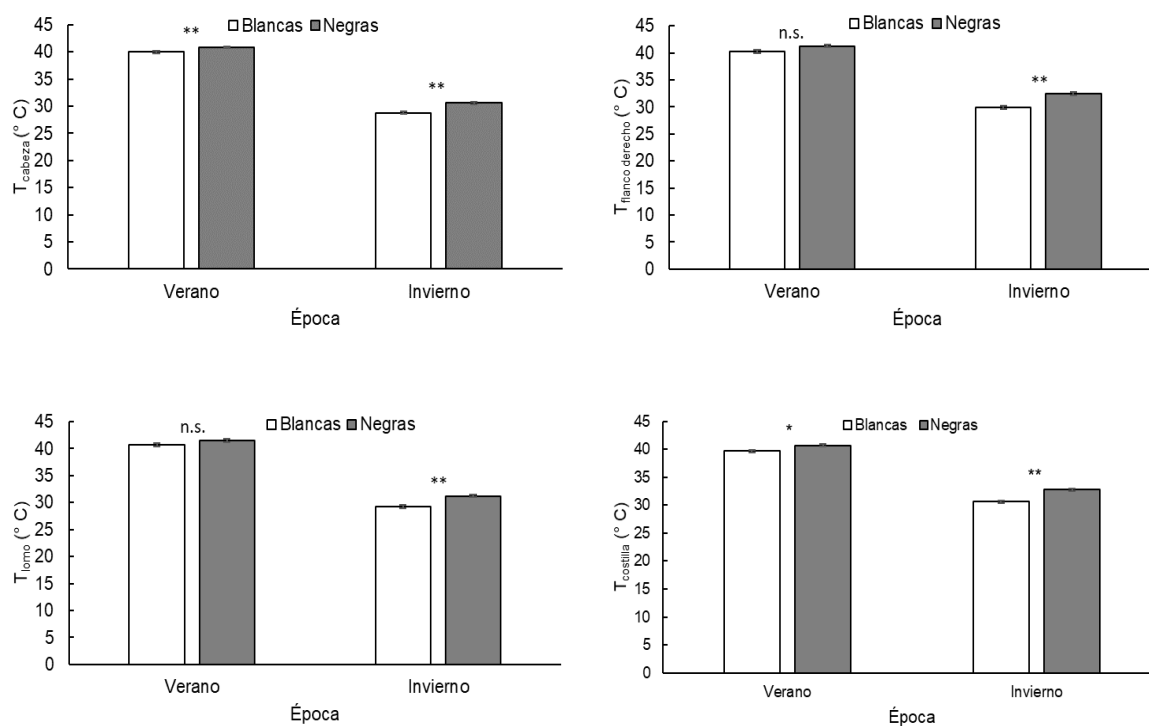


Figura 4. Temperatura superficial del cuerpo en flanco derecho, cabeza y lomo registradas durante la tarde en vaquillas Holstein por época del año y color de pelaje en una zona árida (** $P \leq 0.01$; * $0.05 \leq P \leq 0.10$; n.s. = $P > 0.05$).

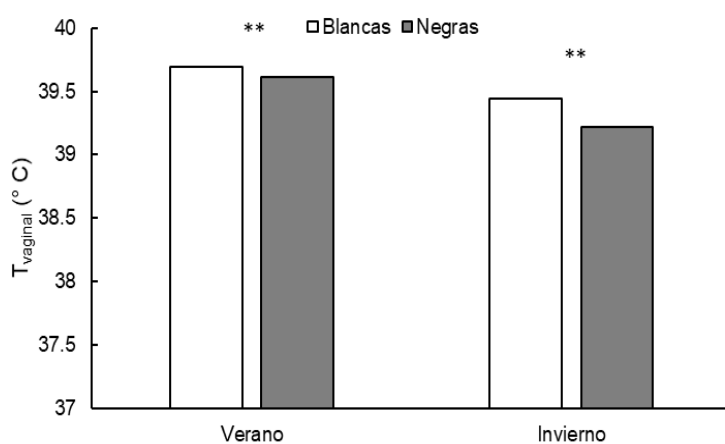


Figura 5. Temperatura vaginal de vaquillas Holstein por época y color de pelaje en una zona árida (** $P \leq 0.01$).

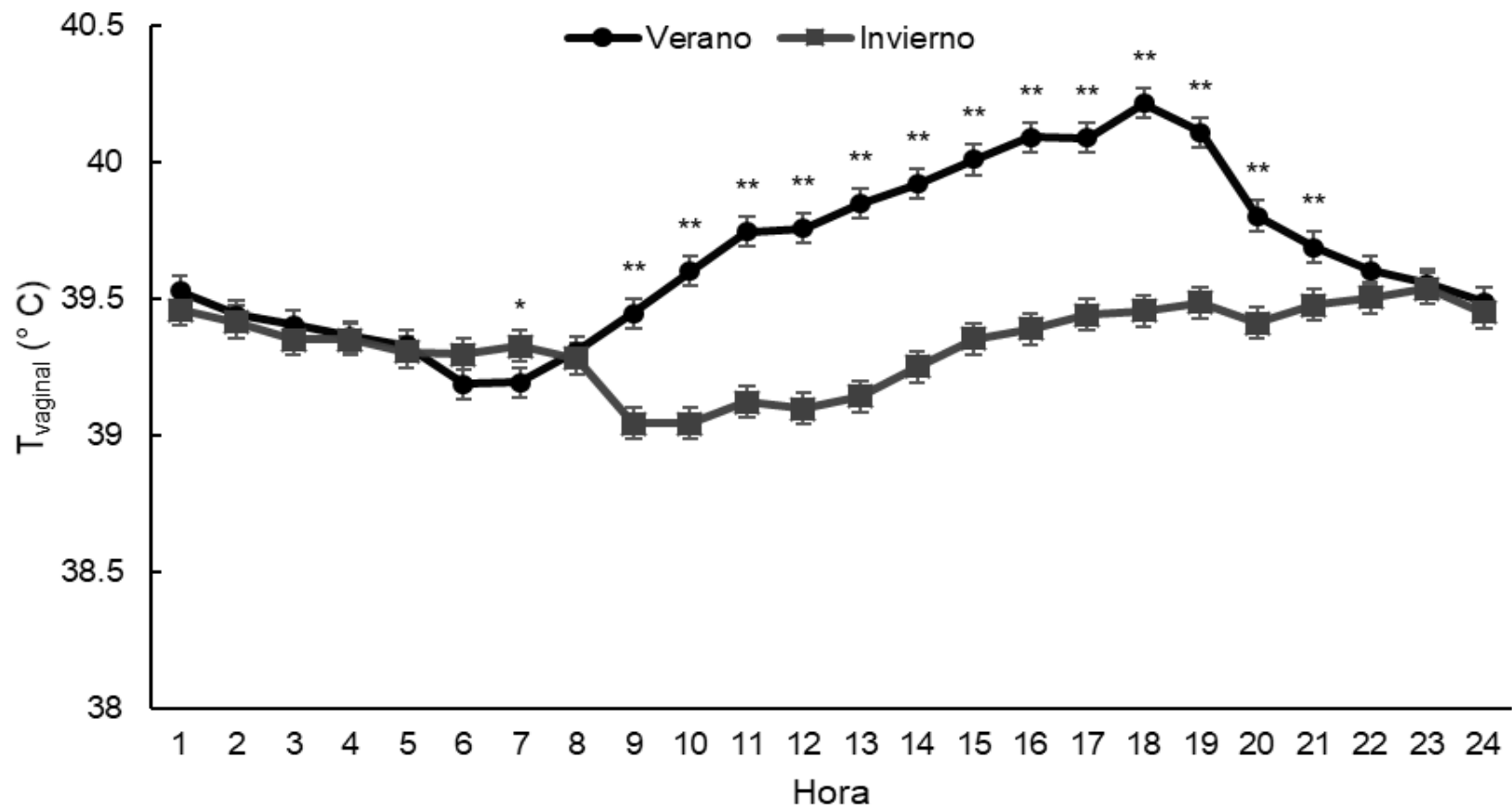


Figura 6. Promedios de la TV circadiana (interacción época x hora) en vaquillas Holstein en una zona árida (* P < 0.05; ** P < 0.01).

El Cuadro 5 muestra los resultados de las concentraciones séricas de hormonas en vaquillas Holstein por efecto de época del año y color de pelaje. La interacción época x color no afectó ($P < 0.05$) las concentraciones séricas de las hormonas. De manera general, las concentraciones séricas de cortisol fueron mayores ($P < 0.01$) en verano que invierno, mientras que T_3 y T_4 fueron mayores en invierno que verano ($P < 0.01$). Las concentraciones de progesterona no se modificaron por el efecto de época del año. El efecto color de pelaje no afectó ($P > 0.05$) ninguna de las concentraciones séricas de las hormonas evaluadas.

Cuadro 5. Concentraciones séricas de hormonas en vaquillas Holstein por época del año y color de pelaje en una zona árida.

Hormona	Época			Color			Valor de P		
	Verano	Invierno	EEM	Blancas	Negras	EEM	Época	Color	E x C
P_4 (ng/mL)	6.86	5.92	0.57	5.84	6.94	0.57	0.2546	0.1822	0.6955
T_3 (ng/mL)	0.96	1.54	0.05	1.29	1.21	0.04	<0.0001	0.2837	0.3786
T_4 (µg/dL)	4.72	5.86	0.13	5.44	5.14	0.13	<0.0001	0.1173	0.7800
CORT (µg/dL)	4.94	2.94	0.37	4.11	3.77	0.37	0.0002	0.5159	0.8171

EEM: Error estándar de la media; ExC: Interacción época x color; P_4 : Progesterona; T_3 : Triiodotironina; T_4 : Tiroxina; CORT: Cortisol.

El Cuadro 6 muestra los resultados las concentraciones séricas de metabolitos y electrolitos en vaquillas Holstein por el efecto de época y color del pelaje. La interacción época x color, al igual que el color de pelaje como efecto principal, no influyeron ($P > 0.05$) en las concentraciones séricas de metabolitos y electrolitos. Con excepción de PT ($P > 0.05$), la época influyó ($P < 0.01$) en todas las concentraciones de metabolitos, y en el caso de electrolitos, solo sodio. Los niveles de colesterol, triglicéridos, glucosa, urea y sodio fueron mayores ($P < 0.05$) en invierno que en verano.

Cuadro 6. Concentraciones séricas de metabolitos y electrolitos en vaquillas Holstein por época del año y color de pelaje en una zona árida.

Variable	Época			Color			Valor de P		
	Verano	Invierno	EEM	Blancas	Negras	EEM	Época	Color	E x C
Metabolitos (mg/dL)									
Colesterol	95.47	108.58	1.81	100.20	103.86	1.80	<0.01	0.155	0.757
Triglicéridos	23.70	36.0	0.85	29.50	30.14	0.85	<0.01	0.584	0.835
Glucosa	86.50	100.71	0.85	93.55	93.70	0.85	<0.01	0.935	0.357
PT	7.1	7.2	0.06	7.2	7.1	0.06	0.10	0.150	0.352
Urea	23.4	25.2	0.38	24.1	24.5	0.38	0.01	0.501	0.586
Electrolitos (mmol/L)									
Na ⁺	129.30	130.20	0.266	129.59	129.89	0.266	0.013	0.559	0.346
K ⁺	4.60	4.56	0.064	4.63	4.56	0.064	0.365	0.894	0.598
Cl ⁻	104.20	103.91	0.208	104.11	104.10	0.208	0.368	0.777	0.769

EEM: Error estándar de la media, PT: Proteína total, ExC: Interacción época x color del pelaje.

En el Cuadro 7 se muestran los resultados de los parámetros hematológicos obtenidos en vaquillas Holstein por el efecto de época del año y color de pelaje. La interacción época x color afectó ($P < 0.05$) el ADE, siendo mayor en vacas blancas durante el verano y en vaquillas negras en invierno (Figura 7). En general, la época influyó ($P < 0.05$) en los parámetros de MON, GRAN, ERI, HGB, HCT, VCM, CHCM y ADP, mientras que el color del pelaje afectó ($P < 0.05$) solamente el conteo de MON y GRAN, siendo mayores los conteos en las vaquillas mayormente blancas.

La época no afectó ($P > 0.05$) el conteo de LEU, sin embargo, los LIN tendieron ($P = 0.07$) a ser mayores en invierno. En verano se observó un aumento ($P < 0.05$) en el conteo de MON y GRAN en comparación con los conteos en invierno. Además, en relación a invierno, en verano se observó una disminución ($P < 0.05$) en el número de ERI, VCM, HGB, CHCM y HTC, pero no en HCM ($P > 0.05$). En el caso de células plaquetarias, el verano no afectó ($P > 0.05$) su número (PLT) y tamaño (VMP), pero aumento ($P < 0.05$) el ADP y la masa de PCT tendió a aumentar ($P = 0.064$).

Cuadro 7. Variables hematológicas de vaquillas Holstein por época y color de pelaje en una zona árida.

Variable	Época			Color			Valor-P		
	Verano	Invierno	EEM	Blancas	Negras	EEM	Época	Color	E x C
LEU (10 ⁹ /L)	10.37	9.74	0.35	10.31	9.74	0.35	0.217	0.319	0.870
LIN (10 ⁹ /L)	4.53	6.61	0.81	6.21	4.93	0.81	0.070	0.267	0.338
MON (10 ⁹ /L)	1.18	0.88	0.045	1.15	0.92	0.05	0.001	0.004	0.823
GRAN (10 ⁹ /L)	4.53	3.8	0.23	4.51	3.81	0.23	0.030	0.030	0.397
ERI (10 ⁹ /L)	7.73	8.32	0.19	8.14	7.9	0.19	0.035	0.389	0.275
HGB (g/dL)	10.07	11.89	0.26	11.2	10.76	0.26	0.001	0.244	0.213
HTC (%)	29.92	34.18	0.8	32.41	31.69	0.80	0.003	0.530	0.200
VCM (fL)	38.81	41.67	0.37	40.35	40.13	0.37	0.001	0.676	0.946
HCM (pg)	13.00	15.97	1.35	13.72	15.25	1.35	0.133	0.437	0.360
CHCM (g/dL)	33.68	34.49	0.16	34.15	34.02	0.16	0.007	0.573	0.061
ADE (%)	18.15	18.68	0.17	18.45	18.38	0.17	0.033	0.792	0.023
PLT (10 ⁹ /L)	333.3	392.5	32.82	397.1	328.7	32.8	0.204	0.144	0.546
VMP (fL)	5.09	5.02	0.41	5.008	5.096	0.04	0.272	0.142	0.771
ADP (%)	15.79	16.15	0.045	15.97	15.98	0.05	0.001	0.904	0.631
PCT (%)	0.154	0.188	0.01	0.174	0.168	0.01	0.064	0.747	0.256

EEM: Error estándar de la media; ExC: Interacción época x color; LEU: Leucocitos; LIN: Linfocitos; MON: Monocitos; GRAN: Granulocitos; ERI: Eritrocitos; HGB: Hemoglobina; HTC: Hematocrito; VCM: Volumen corpuscular medio; HCM: Hemoglobina corpuscular media; CHCM: Concentración de hemoglobina corpuscular media; ADE: Ancho de distribución de eritrocitos; PLT: Plaquetas; VMP: Volumen medio de plaquetas; ADP: Ancho de distribución plaquetario; PCT: Plaquetocrito.

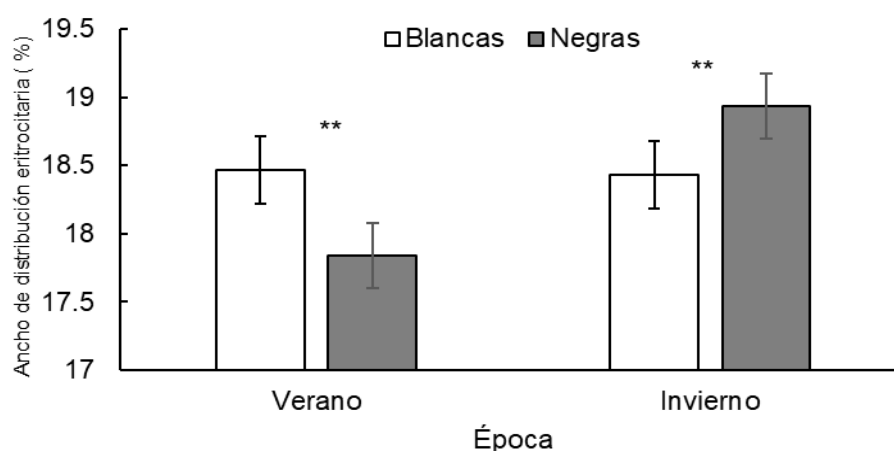


Figura 7. Promedios de la interacción época x color del pelaje para ancho de distribución de eritrocitos (ADE) en vaquillas Holstein en una zona árida (** P < 0.01).

El Cuadro 8 muestra los resultados de las variables reproductivas. No se observaron diferencias estadísticas por interacción o algún efecto principal en las variables relacionadas con la tasa de concepción. La EPS mostró diferencia ($P < 0.01$), por época y color del pelaje de manera independiente, lo que indicó que las vaquillas en verano fueron inseminadas a menor edad que las de invierno y las vaquillas negras que las vaquillas blancas. El resto de las variables reproductivas no mostraron diferencias para ningún efecto principal o la interacción.

Cuadro 8. Tasa de concepción, edad a primer servicio y servicios por concepción en vaquillas Holstein por época del año y color de pelaje en una zona árida.

	Época		Color		Valor de P		
	Verano	Invierno	Blancas	Negras	Época	Color	ExC
Vaquillas (n)	14	13	19	14			
TC1	15/28 (53.5 %)	18/32 (56.2 %)	14/28 (50 %)	19/32 (59.3 %)	0.836	0.467	0.135
TC2	6/13 (46.1 %)	5/11 (45.4 %)	8/13 (61.5 %)	3/11 (27.2 %)	0.973	0.101	0.354
TC3	7/7 (100 %)	6/7 (85.7 %)	5/5 (100 %)	8/9 (88.9 %)	0.299	0.439	0.697
EPS (meses)	13.79 $\pm$ 0.09	14.24 $\pm$ 0.09	14.18 $\pm$ 0.09	13.84 $\pm$ 0.09	0.005	0.006	0.895
SPC	1.79 $\pm$ 0.19	1.67 $\pm$ 0.19	1.77 $\pm$ 0.19	1.69 $\pm$ 0.19	0.667	0.772	0.109

ExC: Interacción época x color, TC1: tasa de concepción a primer servicio, TC2: tasa de concepción a segundo servicio, TC3: Tasa de concepción a tercer o más servicios. EPS: Edad a primer servicio, SPC: Servicios por concepción.

IV. DISCUSIÓN

4.1. Condiciones climáticas y frecuencia respiratoria.

Indicadores bioclimáticos como el ITH han servido durante muchos años como herramienta para evaluar el nivel de EC que sufren los animales y la manera en la que éste afecta los parámetros productivos en la industria cárnica y lechera, sin embargo, este índice contempla en ocasiones sólo TA y la HR, dejando de lado factores como la velocidad del viento, radiación solar, temperatura del globo negro y lluvia (Kumar *et al.*, 2018). Aunado a esto, aún no se ha realizado suficiente investigación para establecer un rango de ITH para animales jóvenes en desarrollo, por lo que es difícil cuantificar los efectos del EC sobre los mismos. Hasta el momento, solo St-Pierre *et al.* (2003) han propuesto formalmente un índice de carga calórica basado en el ITH, y considera 72 unidades para vaquillas de reemplazo de 1 a 2 años de edad, destacando los efectos del EC principalmente sobre el crecimiento del animal anual en diferentes estados de E.U.A. Durante el presente estudio, la época de verano registró un ITH promedio máximo de 77 unidades, pero el ITH superó las 72 unidades a partir de las 10:00 de la mañana hasta las 9:00 de la noche. Esto indica que las vaquillas de reemplazo estuvieron expuestas un EC moderado durante 11 h del día, de acuerdo a la clasificación del ITH establecida por Hahn (1999). Estudios más recientes demuestran que vacas multíparas en producción tienen un rango de ITH más bajo, observándose los efectos acumulados del EC a partir de 68 unidades (Segnalini *et al.*, 2013). West (2003) menciona que el efecto del EC en las vaquillas es menos pronunciado que vacas maduras en producción debido a la relación masa:volumen corporal y a la menor cantidad de calor metabólico que generan.

La principal respuesta y la más evidente del EC sobre el ganado lechero es el aumento rápido de la FR por encima de los valores normales, aun cuando los animales no se encuentran en movimiento o realizando esfuerzo físico. De acuerdo con algunos autores (Gaughan *et al.*, 1999; Gaughan *et al.*, 2000; Pandarathil *et al.*, 2018), el rango de valores normales para la FR va de 20-60 rpm, por lo que valores más altos indican que los animales pueden estar bajo algún tipo de estrés. En este

estudio, durante la época de invierno, la FR se mantuvo dentro del rango normal en los horarios de la mañana y tarde (36.85 y 47.93 rpm), por lo que se considera que las vaquillas se encontraban dentro de la zona de termoneutralidad. Por otro lado, en la época de verano, la FR se mantuvo dentro del rango normal durante el horario de la mañana (48.67 rpm), mientras que aumentó drásticamente cuando el ITH rebasó 72 unidades en el horario de la tarde (81.45 rpm). Estos resultados son similares a los presentados por diferentes autores en la misma zona de estudio (Correa *et al.*, 2009, 2015), donde el aumento de la FR coincide con el aumento del ITH por encima de la zona termoneutral. Otro aspecto a tomar en cuenta durante periodos prolongados de EC es la aplicación de modificaciones ambientales como el uso de aspersores, sombras y ventiladores, lo que permite a las vaquillas disipar de manera más eficiente el calor obtenido del ambiente y tener un comportamiento reproductivo aceptable. Vaquillas mantenidas bajo condiciones de estabulación en corrales adaptados con sombra y aspersores pueden presentar FR más bajas en comparación con aquellas vaquillas sin sistemas de enfriamiento o con un área de sombra insuficiente por el número de animales (Marcillac-Emberston *et al.*, 2009). El hecho de que la FR presentara valores normales en el horario de la mañana en verano, a diferencia del horario de la tarde, implica que las vaquillas pudieron disipar, durante las horas más frescas de la noche y la madrugada, la mayor parte del calor absorbido durante el día.

4.2. Temperatura superficial del cuerpo y temperatura vaginal.

La temperatura interna y externa del cuerpo brinda información respecto al medio ambiente en el que se desarrolla un individuo. El propósito principal de estas mediciones es diferenciar cualquier cambio que ocurra entre los valores considerados normales y aquellos por encima o debajo de estos, logrando categorizar el grado de estrés térmico que sufren los animales explotados en el exterior (Godyn *et al.*, 2019).

El color de pelaje es una de las principales características distintivas de las razas de ganado en el mundo, siendo un aspecto altamente heredable. La raza lechera Holstein-Friesian presenta fenotípicamente dos colores de pelaje; negro

sobre una capa blanca y rojo sobre una capa blanca, con la particularidad de que los animales pueden ser mayormente oscuros, mayormente claros o una mezcla de ambos. El color de pelaje, así como su número y densidad puede influir sobre la temperatura superficial del cuerpo de los animales cuando estos se encuentran expuestos a la radiación solar en zonas geográficas con climas cálidos (Becerril *et al.*, 1996).

Durante este estudio se observó que, por la mañana, la mayoría de las regiones anatómicas medidas con TIR tuvieron temperaturas más altas en invierno en las vaquillas con mayor color negro que sus homólogas blancas; en verano se observaron menos diferencias que en invierno por la mañana. Por la tarde, las diferencias observadas fueron igualmente más marcadas en invierno que en verano, siendo mayores para los animales con pelaje negro. De acuerdo con Isola *et al.* (2020), el fenotipo negro y blanco tiene una tendencia a absorber más calor en comparación al fenotipo rojo y blanco y, consecuentemente, aquellos animales mayormente negros, tienen una TSC más alta que aquellos mayormente blancos. Esto concuerda con los resultados obtenidos en este estudio donde los animales mayormente negros tuvieron mayor temperatura en ambas épocas (invierno y verano) y en ambos horarios (mañana y tarde). Los animales mayormente blancos presentan ciertas ventajas productivas y reproductivas como mayor rendimiento de leche, menor cantidad de células somáticas, mayor contenido de grasa, menos días a primer parto y tasa de concepción más alta, por lo que la selección de ganado mayormente blanco se puede volver una tendencia principalmente en zonas geográficas con climas muy cálidos (Becerril *et al.*, 1993, 1996). Vicentini *et al.* (2020) concluyen que la TIR puede utilizarse para diferenciar las diferentes fases del ciclo estral mediante los cambios de temperatura que ocurren en el mismo, aunque es necesario considerar otros factores externos que influyen sobre los termogramas al momento de la medición.

Las temperaturas entre diferentes partes del cuerpo pueden guardar una relación en función del estado de salud del animal o las condiciones externas que lo afectan. Kaufman *et al.* (2018) reportan que la TV tiene una relación más fuerte con

el ITH en comparación con la temperatura rectal, además de que la TV puede predecir la temperatura rectal y utilizarse para evaluar la carga calórica del animal. Este hecho es afirmado por diversos estudios (Suthar *et al.*, 2013; Hamblend *et al.*, 2018; Carvalho *et al.*, 2019; Tian *et al.*, 2021), donde se ha observado fuerte similitud entre la TV y la rectal en vaquillas lecheras y de engorda, encontrando además correlaciones negativas entre el ITH y la TV. Durante este estudio se registró la TV de vaquillas utilizando termógrafos adaptados a un dispositivo intravaginal, notando que las vaquillas mayormente blancas tuvieron TV más alta, tanto en verano como en invierno. Anzures-Olvera *et al.* (2019) observó lo contrario, ya que vacas Holstein de color negro presentaron una temperatura rectal más alta en comparación a las vacas de color blanco, lo que sugiere que los animales de color negro tuvieron menor habilidad para lidiar con el EC. Por su parte, Correa-Calderón *et al.* (2014), en la misma zona de estudio, no observaron diferencias significativas entre las TV de vaquillas en el tratamiento no enfriado y las vaquillas enfriadas post-inseminación. Los autores de ese estudio sugieren que las vaquillas del grupo testigo pudieron disipar el calor de tal forma que fueron capaces de mantener niveles de TV similares a los grupos enfriados. Tian *et al.* (2021), además de observar una relación entre los factores climáticos y el aumento de la TV, obtuvieron resultados similares a los de este experimento cuando las vaquillas expuestas a la época de verano tuvieron temperaturas vaginales más altas comparadas con las vaquillas en otoño e invierno. Un aspecto contradictorio en el estudio de Tian *et al.* (2021) es el hecho de que las vaquillas estuvieron expuestas a temperaturas ambientales más altas que las de este estudio, no obstante, las temperaturas vaginales fueron más bajas.

El promedio de la TV en las vaquillas del presente estudio no alcanzó los 40.5°C, lo cual puede ser un reflejo de una efectiva capacidad termorregulatoria que presentan este tipo de animales a las condiciones cálidas y secas que se presentaron en esta región árida. Es importante señalar que la TV y TR presentan una alta correlación, por lo que la TV es un reflejo preciso de la temperatura del tracto reproductor de la vaquilla (Suthar *et al.*, 2013), lo que sugiere que la alta temperatura ambiental registrada en verano no fue suficiente para afectar los procesos fisiológicos reproductivos que conducen a determinar parámetros

asociados a la eficiencia reproductiva en ganado lechero, como lo es la tasa de concepción.

El hecho de observar mayor TSC en vaquillas negras y mayor TV en vaquillas blancas se atribuye a que éstas últimas tuvieron mejor respuesta temorrregulatoria, lo cual coincidió con un ligero aumento de peso producto de un mayor consumo de alimento. Es decir, mientras que externamente las vaquillas negras absorbieron mayor carga calórica por el color de su pelo, las vaquillas blancas generaron mayor calor metabólico al aumentar su consumo de alimento.

4.3. Metabolitos sanguíneos.

En el presente estudio, los valores de glucosa, colesterol y triglicéridos fueron más bajos durante la época de verano, aunque estos niveles se encontraron dentro de los valores de referencia reportados por Lumsden *et al.* (1980); las diferencias observadas con respecto a invierno indican que durante el verano hubo una mayor utilización de estos metabolitos desde tejido adiposo, con la finalidad de generar energía a partir de estos y compensar el gasto extra de energía. Estos resultados difieren de los presentados por Srikanthakumar y Johnson (2004), donde los niveles de glucosa fueron más altos en vacas lactantes raza Holstein y Cebú australiano sujetas a condiciones de EC en comparación con animales de las mismas razas en condiciones de termo neutralidad.

El impacto que tiene el EC sobre la reproducción y el rendimiento lechero se explica mediante la reducción en el consumo de alimento, pero además se debe de tomar en cuenta la alteración del estatus endocrino, rumia, absorción de nutrientes y un aumento en la energía destinada al mantenimiento (Wheelock *et al.*, 2010). Con la reducción de la ingesta alimenticia y un mayor gasto energético se rompe la homeostasis energética, por lo que el ganado entra en un balance energético negativo, movilizand las reservas corporales a fin de obtener energía, por lo que bajo condiciones de EC severo el ganado tiende a perder peso (West, 2003). De acuerdo con Joo *et al.* (2021), la reducción en los niveles sanguíneos de los principales metabolitos relacionados con el metabolismo energético en ganado

lechero, tales como glucosa y colesterol, es una respuesta común independientemente de la raza. El aumento de la FR y la disminución del consumo de alimento bajo condiciones de EC debería aumentar los niveles de glucosa y disminuir los niveles de triglicéridos en sangre producto de la movilización de las reservas corporales, por lo que los resultados de este estudio en cuanto a los niveles séricos de glucosa y triglicéridos pueden resultar controversiales. Sin embargo, al considerar que las vaquillas tienen requerimientos nutricionales mínimos y una adecuada capacidad termorregulatoria, es probable que el consumo de alimento fuera afectado de manera mínima.

La urea en sangre representa el principal residuo del metabolismo de las proteínas y su valoración permite conocer el nivel de deshidratación y la función renal (Hammond *et al.*, 1994). Los niveles de urea encontrados durante este estudio en la época de verano son relativamente bajos y difieren de aquellos resultados presentados por diferentes autores (Ronchi *et al.*, 1999; Nonaka *et al.*, 2008), quienes observaron un aumento en los niveles de este metabolito en vaquillas Holstein, considerando que el aumento en los niveles de urea se debe al catabolismo proteico bajo condiciones de EC. Abeni *et al.* (2007) observaron niveles más bajos de urea en vacas lactantes durante dos veranos consecutivos cuando éstas estuvieron sujetas a condiciones de EC (ITH>78). En el caso de vaquillas, Marcilla-Emerston *et al.* (2009) no observaron diferencias en los niveles de urea plasmática entre vaquillas en corrales con aspersores y vaquillas en corrales con sombra, aunque los autores atribuyeron este resultado a la heterogeneidad de las vaquillas utilizadas entre los tratamientos del estudio. El metabolismo energético y proteico guardan una estrecha relación que se centra en el consumo de alimento, por lo que la reducción de estos metabolitos durante condiciones de EC se explica por la disminución del consumo de materia seca y el aumento del gasto energético para mantener la temperatura corporal (Ronchi *et al.*, 1999).

4.4. Electrolitos sanguíneos.

Los electrolitos tienen diversas funciones sobre la cantidad de agua en el cuerpo y el equilibrio ácido-base, sin embargo, hay funciones específicas para cada

electrolito. El sodio es el catión de mayor importancia en el fluido extracelular y se relaciona con el mantenimiento de la presión osmótica, el balance ácido-base y el balance hídrico. Por otro lado, el potasio es el catión de mayor importancia sobre el fluido intracelular actuando en contracciones musculares, transmisión de impulsos nerviosos y algunas reacciones enzimáticas (Beatty, 2005). Diversos estudios han comprobado que durante condiciones de EC el ganado incrementa la pérdida de minerales a través del sudor y la orina, tales como el sodio, potasio y cloro. Khelil-Afar *et al.* (2014) enumeran tres principales razones por las cuales las altas temperaturas modifican el balance electrolítico y el balance ácido-base: 1) el sudor en bovinos contiene grandes cantidades de potasio, 2) el sodio se excreta junto a los bicarbonatos para compensar la alcalosis respiratoria, y 3) la secreción diurna de bicarbonatos puede inducir la acidosis metabólica durante los periodos más frescos del día. Durante este estudio, el sodio presentó los niveles más bajos durante la época de verano, aunque dentro de los valores normales de referencia. Estos resultados son similares a los mencionados por Davidson *et al.* (2020), quienes observaron una reducción de sodio, cloro y potasio en vaquillas Holstein en su última etapa de gestación cuando se encontraban bajo condiciones de EC (ITH= 77). Un efecto similar se observa en los resultados presentados por Sánchez *et al.* (1994), donde los valores de sodio fueron más bajos en vacas lactantes bajo un tratamiento de EC y con alimentación *ad libitum*. La suplementación de minerales en la dieta de los animales puede tener un efecto positivo sobre los niveles sanguíneos de estos electrolitos a nivel ruminal, debido a que durante condiciones prolongadas de EC los electrolitos pueden disminuir, en particular el sodio y el potasio (Cabrera, 2014).

4.5. Componentes hematológicos.

Se han realizado diversos estudios sobre el efecto del EC en los componentes hematológicos de ganado bovino para diferentes propósitos de producción, razas, estados fisiológicos y en diferentes zonas geográficas (Broucek *et al.*, 2009; Bhan *et al.*, 2012; Aggarwal *et al.*, 2016; Aguilar-Quíñonez *et al.*, 2021). Aunque los resultados pueden variar debido a la diversidad de factores que pueden influir sobre el perfil hematológico del ganado, se puede observar que el efecto del EC sobre los componentes hematológicos es menos grave en animales jóvenes (Broucek *et al.*,

2009). Durante periodos estresantes, la liberación de glucocorticoides tiene un efecto negativo en el sistema inmune, disminuyendo las poblaciones de leucocitos, provocando linfopenia, eosinopenia y neutrofilia; estos términos se refieren a alteraciones cuantitativas de la serie granulocítica, lo cual indica una variación en la población de cada tipo de célula leucocitaria. Calamari *et al.* (2011) observaron una correlación negativa entre el aumento del ITH y el conteo general de leucocitos y sus subpoblaciones en plasma en vacas lactantes suplementadas con selenio, aunque parece que esta respuesta es normal cuando existe la alternancia entre periodos cálidos durante el día y frescos en la noche.

Durante la época de verano, la HGB y el porcentaje de HCT fueron menores que en invierno y disminuyeron casi al límite inferior de los valores de referencia propuestos por Lumsden *et al.* (1980). Estos resultados son similares a los presentados por Nonaka *et al.* (2008), donde el HCT pasó de 31.3% en condiciones de confort (20 °C) a 28.8% en condiciones de estrés moderado (33 °C) en vaquillas Holstein pre-púberes. Estos resultados indicarían que, aunque los valores de HGB y HCT están dentro de los valores de referencia, durante condiciones de EC se puede presentar una leve hemólisis. Esto explicaría por qué las vaquillas en condiciones de invierno presentaron niveles más altos en los componentes eritrocitarios. En este estudio, el porcentaje de ADE fue mayor en vaquillas blancas y negras en la época de invierno en comparación con las vaquillas blancas y negras en verano. Aunado a esto las vaquillas de color negro tuvieron un porcentaje más bajo de ADE en comparación sus homólogas de color blanco, por lo que las vaquillas en verano y de color más oscuro pueden presentar alteraciones en el volumen y tamaño de los eritrocitos. Reducciones similares en este parámetro han sido encontradas en estudios como el de Zachut *et al.* (2020), quienes observaron una relación negativa entre el efecto de época y aquellas vacas lecheras que perdieron más peso en verano. De igual manera, Saeed *et al.* (2021) observaron una disminución del ADE cuando vacas Holstein experimentaron EC severo (ITH 75.5 – 80.5) durante los meses de verano (junio-septiembre).

Aunque no hubo diferencias significativas en el conteo total plaquetario, las vaquillas expuestas a las condiciones de verano presentaron 15% menos plaquetas ($333.3 \times 10^9/L$), en comparación con las vaquillas mantenidas en condiciones de invierno ($392.5 \times 10^9/L$), lo que explicaría porque el ADP fue más bajo en verano que en invierno. No obstante, Anzures-Olvera *et al.* (2019) no encontró diferencias importantes en plaquetas, sus resultados son similares al observar una reducción en el nivel de plaquetas de vacas lecheras mayormente negras contra vacas mayormente blancas en condiciones de EC.

Si bien bajo condiciones de EC los niveles de los parámetros hematológicos disminuyen, se puede atribuir a que los animales tienden a consumir más agua durante estos periodos, además de transportar más agua al sistema circulatorio con el objetivo de aumentar el enfriamiento evaporativo en los tejidos periféricos, lo que puede provocar una hemodilución sanguínea donde el perfil hematológico puede sufrir alteraciones al presentar una población menor de leucocitos, eritrocitos y plaquetas (Shaffer *et al.*, 1981; Morar *et al.*, 2018; Loi *et al.*, 2021). Según los resultados presentados por Morar *et al.* (2018), los valores de parámetros hematológicos relacionados con el EC se pueden comparar con los valores de referencia en ganado lechero, pero no se puede evaluar el grado de EC que sufre el animal con los mismos. Cassella *et al.* (2012) sugiere realizar más investigación sobre el efecto del EC en parámetros hematológicos relacionados con la edad y el sexo de los animales tomando en cuenta el estatus reproductivo de los mismos.

4.6. Concentraciones hormonales.

4.6.1. Cortisol.

Aggarwal y Upadhyay (2012) describen las principales adaptaciones endocrinas que ocurren durante la aclimatación al calor en el ganado. Tales adaptaciones se dan en los principales tejidos endocrinos como glándula adrenal, tejido adiposo, pituitaria, hígado, glándula tiroidea y placenta (hembras). Una de las primeras respuestas al EC es la activación del eje hipotálamo-pituitario-adrenal que incrementa la secreción plasmática de glucocorticoides, principalmente cortisol. El aumento de los niveles de

cortisol en la sangre es una respuesta común en rumiantes cuando existen periodos prolongados con altas temperaturas, lo que supone el principal mecanismo de adaptación a estas condiciones (Afsal *et al.*, 2018). Durante el presente, estudio las vaquillas en verano presentaron niveles más altos de cortisol en comparación con las vaquillas en invierno. Al respecto, Adeyemo *et al.* (1979) observaron una respuesta más alta en los niveles plasmáticos de cortisol tanto en vaquillas de razas europeas (*Bos taurus*) como en vaquillas cebú (*Bos indicus*) cuando estas estuvieron expuestas a los meses más húmedos y calientes del año. Otro aspecto a considerar es la fase del ciclo estral en la que se encuentra la vaquilla, ya que las actividades endocrinas de los estrógenos pueden influir sobre los niveles plasmáticos de cortisol. Aunque en este estudio no hubo diferencias significativas para el efecto de color o la interacción época x color, hay estudios (Nedic *et al.*, 2017; Ghassemi-Nejad *et al.*, 2016) donde encontraron que vaquillas mayormente blancas producen niveles de cortisol más bajos en muestras de pelo en comparación a aquellas vaquillas mixtas o mayormente negras, por lo que los animales más oscuros podrían ser más propensos a sufrir estrés en zonas geográficas con climas árido-secos o tropicales. Si bien los niveles de cortisol aumentan durante los periodos de EC, estos niveles pueden disminuir o mantenerse dependiendo del grado de estrés que sufre el animal.

4.6.2. Progesterona.

La progesterona es una hormona esteroidea muy importante en el desarrollo reproductivo de las hembras bovinas. En el caso de rumiantes, esta hormona puede ser secretada por la corteza suprarrenal, estructuras ováricas durante el ciclo estral y la placenta durante la preñez. Tiene diversas funciones como: mantenimiento de la preñez, regulación del ciclo estral, atresia de folículos dominantes, de carácter anabólico y estimula el desarrollo lóbulo alveolar de la glándula mamaria (Matamoros y Salinas, 2017). Algunos estudios han reportado que las altas temperaturas pueden disminuir las concentraciones plasmáticas de P_4 en ganado lechero (Rosenberg *et al.*, 1982; Wolfenson *et al.*, 1988), mientras que otros difieren argumentando que realmente no existen diferencias (Wise *et al.*, 1988). Los resultados de este estudio concuerdan con los reportados por Wise *et al.* (1988) al no observar diferencias entre

las concentraciones plasmáticas de P_4 en el grupo de vacas lecheras bajo EC y el grupo con sistema de enfriamiento. Por su parte, Ronchi *et al.* (2001) reportan una disminución en los niveles séricos de P_4 en vaquillas Holstein cuando estuvieron bajo altas temperaturas (2.4 ng/mL) en comparación con vaquillas enfriadas (4.1 ng/mL) y con vaquillas enfriadas con restricción alimenticia (4 ng/mL). Durante la regresión del cuerpo lúteo, la disminución en el tamaño de las células lúteas puede dar como resultado una reducción en los niveles séricos de progesterona, observándose esta reducción durante la fase lútea del ciclo estral (Wolfenson *et al.*, 1993). Wolfenson *et al.* (2002) sugiere que la reducción en la producción de P_4 en el cuerpo lúteo puede deberse a tres razones: 1) un proceso de luteinización no óptimo durante la hipertermia, 2) una supresión en la síntesis de P_4 por las altas temperaturas, 3) el deterioro del folículo ovulatorio que posteriormente se transforma en cuerpo lúteo. Este proceso de luteinización deficiente es descrito por Wilson *et al.* (1998), al observar que la regresión del cuerpo lúteo en vaquillas bajo EC fue más lenta en comparación con vaquillas en confort térmico después del día 16 del ciclo estral, provocando que las vaquillas puedan presentar más de 2 ondas foliculares durante la fase lútea. Algunos autores señalan que los niveles séricos de plasma no solamente dependen del tamaño del cuerpo lúteo o la presencia de cavidades lúteas, sino que además existe una influencia de la tasa de secreción de P_4 en el sistema circulatorio, misma que se depende del flujo de sangre ovárico-luteal. Este flujo de sangre se puede ver reducido en condiciones de EC, como un mecanismo de enfriamiento al redirigir el flujo sanguíneo hacia los tejidos periféricos aumentando así el enfriamiento evaporativo. La suplementación intravaginal de P_4 puede aumentar la fertilidad y los niveles séricos de P_4 en vacas y vaquillas estresadas por calor, pero el efecto es más notorio en vacas con baja fertilidad en comparación con vaquillas, debido a que las vacas son más sensibles a las altas temperaturas (Correa *et al.*, 2012).

Por otra parte, Bridges *et al.* (2005) observaron un incremento en las concentraciones séricas de P_4 en vaquillas Holstein estresadas por calor a la par en una reducción en androstenediona y estradiol. Este mismo resultado fue presentado por Abilay *et al.* (1975) en vaquillas Guernsey estresadas por calor, en las cuales

aumentaron las concentraciones séricas de P_4 , pero disminuyeron las concentraciones de cortisol. Este efecto parece ser una respuesta del eje hipófisis-pituitario-adrenal sobre la corteza adrenal en rumiantes, que induce la producción de P_4 para disminuir los niveles de cortisol durante periodos prolongados de estrés agudo, aunque este mecanismo no ha sido esclarecido en la literatura existente (Freitas de Melo y Ungerfeld, 2016).

4.6.3. Hormonas tiroideas.

Son múltiples las funciones que desempeñan las hormonas tiroideas triiodotironina (T_3) y tiroxina (T_4), las cuales van desde el mantenimiento del metabolismo basal y producción de calor, hasta la regulación en los procesos de oxidación. También estas hormonas están relacionadas con el metabolismo de los carbohidratos, glucogénesis y gluconeogénesis, así como la oxidación de ácidos grasos en el cuerpo (por ejemplo, colesterol y triglicéridos) (Osorio *et al.*, 2014). De manera general, las hormonas tiroideas suelen utilizarse como biomarcadores de estrés calórico debido a que las concentraciones de estas hormonas en el suero sanguíneo son sensibles a los efectos de las altas o bajas temperaturas (Siazi *et al.*, 2019). Durante este estudio, las vaquillas en invierno presentaron valores más altos de T_3 y T_4 respecto a las vaquillas en verano, siendo la concentración de T_4 14% más alta en las vaquillas de invierno respecto a las de verano. Pereira *et al.* (2008) observaron resultados similares en los niveles séricos de T_3 y T_4 en vaquillas Holstein, Alentejana, Limousine y Mertolenga cuando se encontraban en un ambiente termoneutral (TA: 16.5 °C, HR: 45%) y estresadas por calor en cámaras climáticas (TA: 36 °C, HR: 45%). De acuerdo con estos mismos autores las diferencias en las concentraciones séricas son más sensibles en T_3 que en T_4 , por lo que es un parámetro más preciso en estudios de EC de corta duración. La reducción en los niveles séricos de T_3 y T_4 durante periodos de EC es una respuesta común orientada a disminuir la producción de calor metabólico (Kamal *et al.*, 2018). Weltzel *et al.* (2017) reportaron este mismo comportamiento hormonal en vacas lecheras en periodos preparto y postparto, acompañado de la disminución en el consumo de alimento y una reducción del 40-47% en hormonas tiroideas y en tirotrópina (TSH).

Existe evidencia que sugiere que la exposición directa a ambientes con altas temperaturas actúa directamente sobre el eje hipotálamo-hipófisis reduciendo la secreción de hormona liberadora de tirotropina (TRH), que a su vez inhibe la producción de TSH y como resultado final, una menor actividad tiroidea (Pereira *et al.*, 2008). Por otro lado, las bajas temperaturas parecen estimular la producción de TSH, lo que se traduce en una mayor síntesis de hormonas tiroideas en vaquillas de reemplazo, lo que explicaría el aumento en los niveles de estas hormonas en las vaquillas de invierno en este estudio (Rasooli *et al.*, 2004).

4.7. Variables reproductivas.

Se considera que la fertilidad de las vaquillas lecheras utilizadas como reemplazo manifiestan una aceptable fertilidad en comparación con vacas multíparas, observándose buenos índices en los parámetros reproductivos en la mayor parte del año (tasa de concepción, promedio de servicios por concepción, días a primer parto, etc.). No obstante, la mayoría de estos parámetros reproductivos exhiben baja heredabilidad y requieren un programa especializado de reproducción para su implementación (Raheja *et al.*, 1989; Kuhn *et al.*, 2006). En el presente estudio no hubo diferencias en tasa de concepción por época ni color del pelaje. Este resultado coincide con lo reportado por Anzures-Olvera *et al.* (2021), quienes reportan que los parámetros reproductivos de vacas lactantes mayormente blancas y mayormente negras fueron similares en verano en una zona semi-árida del noreste de México. Por otro lado, Bertiplagia *et al.* (2005) encontraron que el color de pelo y el grosor del mismo en vacas lecheras influye sobre el número de inseminaciones por concepción en un clima tropical, además de observar que vacas con 30% de pelo negro (mayormente blancas) necesitaban más servicios por concepción (2.75 spc) que aquellas vacas con más del 70% de pelo negro (2.48 spc).

Aunque los parámetros reproductivos no se modificaron por la época en este estudio, cabe considerar que Chebel *et al.* (2007) reportaron que el estrés por frío (-1 a -15°C) se relacionó con una reducción en la tasa de concepción y con pérdida fetal en vaquillas Holstein de reemplazo, ya que las temperaturas bajas aumentaron los

requerimientos de energía hasta en 272% para mantener la homeostasis térmica. Por otro lado, Badinga *et al.* (1985) observaron que la tasa de concepción de vaquillas Holstein fue mejor que la de vacas lactantes hasta que la TA alcanzó 35° C, y cuando la temperatura sobrepasó este nivel las vaquillas mostraron una disminución en el porcentaje de la tasa de concepción. Sartori *et al.* (2002) observaron una tasa de concepción de 100% (32/32) en vaquillas Holstein frente a vacas lactantes y vacas en el periodo seco a primer servicio en condiciones de EC (ITH=79), valores similares a los de este estudio. Kuhn *et al.* (2006) aseguran que la edad de la vaquilla en el momento del servicio es uno de los factores más importantes en la tasa de concepción de las vaquillas Holstein, seguido de otros factores como el mes de servicio (época), semental o técnica de inseminación y la consanguinidad. En el presente estudio, la edad al momento del servicio en vaquillas Holstein promedió 13.8 meses en verano y 14.2 en invierno, mientras que las vaquillas mayormente blancas promediaron 14.2 meses y las negras 13.9 meses. Estos datos sugieren que, con menos de un mes de diferencia en ambas clasificaciones, no se afectaron los parámetros reproductivos.

Los resultados de este estudio son similares a los obtenidos por King (1988), quien no observó diferencias significativas en los parámetros reproductivos por color del pelaje, sin embargo, sugiere que vacas con pelaje mayormente blanco pueden necesitar menos servicios por concepción que aquellas vacas mixtas o mayormente negras, además de presentar menos días abiertos después del periodo seco. El EC puede afectar el comportamiento sexual de las vaquillas de reemplazo, tanto en ganado lechero como de engorda, presentándose calores silenciosos, bajo porcentaje de montas, escaso moco vaginal y baja aceptación de montas por parte de otras hembras durante el verano en comparación con las demás épocas del año (Bolocan, 2009; Unalan, 2016). Sin embargo, Wang *et al.* (2020) indican que las vaquillas generan una baja cantidad de calor metabólico, además que poseen una mayor área superficial en relación a su masa corporal, lo que hace que puedan disipar el calor de manera muy eficiente y, por ende, ser más tolerantes a temperaturas elevadas. Se atribuye a esa tolerancia al calor que los parámetros reproductivos no hayan sido influenciados por el clima cálido de verano.

V. CONCLUSIONES

Las condiciones climáticas de la zona árida bajo estudio muestran que en verano existió la presencia de estrés calórico de moderado a severo, mientras que en invierno se mantuvo dentro de la zona termoneutral. La exposición crónica al estrés térmico se manifestó en cambios evidentes en algunas variables fisiológicas asociadas al estrés como son frecuencia respiratoria, temperaturas de la superficie del cuerpo y de la vagina, hormonas, perfil hematológico, metabolitos y electrolitos; sin embargo, en general los valores de estas variables se encontraron dentro de los rangos de referencia para vaquillas y no fueron cambios suficientes para afectar los parámetros reproductivos de las mismas.

as. El color del pelaje de las vaquillas mostró también algunas diferencias en las variables citadas, sin que se pueda confirmar que exista alguna ventaja fisiológica o reproductiva por el color del pelo. La vaquilla Holstein de reemplazo mostró una adecuada capacidad para regular su temperatura corporal, tanto en invierno como en verano, mostrando ajustes fisiológicos adaptativos que le permiten mantener su homeostasis en la presente región árida del noroeste de México.

VI. LITERATURA CITADA

- Abeni, F., Calamari, L. and Stefanini, L. (2007). Metabolic conditions of lactating Friesian cows during the hot season in the Po valley. 1. Blood indicators of heat stress. *International Journal of Biometeorology*. 52: 87-96.
DOI: 10.1007/s00484-007-0098-3
- Abilay, T.A., Johnson, H.D. and Madan, M. (1975). Influence of environmental heat on peripheral plasma progesterone and cortisol during the bovine estrous cycle. *Journal of Dairy Science*. 58 (12): 1836-1840.
DOI: [10.3168/jds.S0022-0302\(75\)84795-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(75)84795-3)
- Adams, L. and Almaral-Phillips, D. (2020). *Importance of nutrition for dairy heifers pre-breeding*. Sitio web disponible en: https://www.dairyherd.com/article/importance-nutrition-dairy-heifers-pre-breeding?mkt_tok=eyJpIjoiTTJKa1lUZ3lNVEl6TXpReClslInQiOilzM3VTMG5ZZ0JNellNQTK1Y3Aya3crVWITUHN4cFdLMDdhYVwvdjN2RDVITk1pcFA1YXhuK2xLS2s5UkFGOUJnYWJqRGpMbEU2WTdLNzRBTGtFTTBQZUhwXC9XcjZzazZPaVY2R2JEMmdcL2pTU2xnbGJEZnRsOFdcL3p3R3B0XC9ZdytKIn0%3D

- Adeyemo, O., Heat, E., Adadevoh, B.K., Steinbach, J. and Olaloku, E.A. (1979). Some physiological and behavioral responses in *Bos indicus* and *Bos taurus* heifers acclimatized to the hot humid seasonal equatorial climate. *International Journal of Biometeorology*. 23 (3): 231-241. DOI:10.1007/BF01553774
- Afsal, A., Sejian, V., Bagath, M., Krishnan, G., Deveraj, C. and Bhatta, R. (2018). Heat stress and livestock adaptation: Neuro-endocrine regulation. *International Journal of Veterinary Animal Medicine*. 1 (2): 108. DOI:10.31021/ijvam.20181108
- Aggarwal, A. and Upadhyay, R. (2012). Heat stress and animal productivity: Heat stress and hormones. *Springer eBook*. Print ISBN: 978-81-322-0878-5.
- Aggarwal, A., Vir Singh, S., Farheen Badrealam, K., Kumar, A. (2016). Haematological and hormonal profile of various breeds of cattle and buffalo under varied seasons and environmental conditions. *ICAR- National Dairy Research Institute, Karnal*. Publication No. 146/2016: 47p.
- Aguilar Quiñonez, J.A., Guerra Liera, J.E., Avendaño Reyes, L., Macías Cruz, U., Correa Calderón, A., Barajas Cruz, R., Gastélum Delgado, M.A., Mellado, M. y Vicente Pérez, A. (2021). Parámetros hematológicos y bioquímicos de vaquillas engordadas en corral bajo estrés calórico: efecto de área de sombra y genotipo. *Información Técnica Económica Agraria*. 117 (2): 130-144. DOI: <https://doi.org/10.12706/itea.2020.017>
- Alonso, S.M., Ramírez, N.R., P.J.J. Taylor. (2012). El cambio climático y su impacto en la producción de alimentos de origen animal. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 13:11. Sitio web disponible en: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n111112/111204.pdf> (Consultado el 15 de Agosto del 2021).
- Alsaad, M., Schaefer, A.L., Buscher, W. and Steiner, A. (2015). The role of infrared thermography as a non-invasive tool for the detection of lameness in cattle. *Sensors*. 15: 14513-14525. doi:10.3390/s150614513. DOI: 10.3390/s150614513

- Anzures Olvera, F., Veliz, F.G., de Santiago, A., Garcia, J.E., Mellado, J., Macías Cruz, U., Avendaño Reyes, L. and Mellado, M. (2019). The impact of hair coat on physiological variables, reproductive performance and milk yield of Holstein cows in a hot environment. *Journal of Thermal Biology*. 81: 82-88. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.02.020>
- Arias, R.A., Mader, T.L. and Escobar, P.C. (2008). Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Archivos de Medicina Veterinaria*. (40): 7-22. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X2008000100002>
- Atkins, I.K., Cook, N.B., Mondaca, M.R. and Choi, C.Y. (2018). Continuous respiration rate measurement of heat-stressed dairy cows and relation to environment, body temperature and lying time. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 61(5): 1475-1485. DOI:10.13031/trans.12451
- Avendaño Reyes, L. (2012). Heat stress management for milk production in arid zones. Chapter 9. In: *Milk Production - An Up-To-Date Overview of Animal Nutrition, Management and Health*, pp 165-184. Editorial InTech, Narongsak Chaiyabutr (Ed). 394 p. DOI:10.5772/51299
- Badinga, L., Collier, R.J., Thatcher, W.W. and Wilcox, C.J. (1985). Effects of climatic and management factors on conception rate of dairy cattle in subtropical environment. *Journal of Dairy Science*. 68: 78-85. DOI:10.3168/jdsS0022-0302(85)80800-6
- Baenyi, S.P., Birindwa, A.B., Mutwedu, V.B., Mugumaarhahama, Y., Munga, A., Mitima, B., Kamgang, V.W., Ayagirwe, R.B.B. (2020). Effects of coat color pattern and sex on physiological traits and heat tolerance of indigenous goats exposed to solar radiation. *Journal of Animal Behavior Biometeorology*. 8: 142-151. DOI: <http://dx.doi.org/10.31893/jabb.20017>
- Bagath, M. and Sejian, V. (2018). Heat stress and immune function in livestock. *Multidisciplinary Advances in Veterinary Sciences*. 2 (4): 395-398.

- Beatty, D.T. (2005). Prolonged and continuous heat stress in cattle: physiology, welfare, and electrolyte and nutritional interventions. [Doctoral thesis, Murdoch University] Disponible en: <https://researchrepository.murdoch.edu.au/id/eprint/258/>
- Becerril, C.M., Wilcox, C.J. and Guerrero, V.M. (1996). Holstein white coat color and performance: phenotypic, genetic and environmental correlations. *Brazilian Journal of Genetics*. 19 (4): 587-591. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-84551996000400009>
- Becerril, C.M., Wilcox, C.J., Lawlor, T.J., Wiggans, G.R. and Webb, D.W. (1993). Effects of percentage of White coat color on Holstein production and reproduction in a subtropical environment. *Journal of Dairy Science*. 76: 2286-2291. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(93\)77565-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77565-7)
- Belic, B. (2010). Hematology parameters and physical response to heat stress in dairy cows. *Contemporary Agriculture*. 59 (1-2): 161-166.
- Bernabucci, S.U., Biffani, S.L., Buggiotti, A.V., Lacetera, N. and Nardone, A. (2014). The effects of heat stress in Italian Holstein dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 97: 471-486. DOI: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2013-6611>
- Bertipaglia, E.C.A. Silva, R.G. and Maia, A.S.C. (2005). Fertility and hair coat characteristics of Holstein cows in a tropical environment. *Animal Reproduction*. 2 (3): 187-194.
- Bhan, C., Singh, S.V., Hooda, O.K., Upadhyay, R.C., Beenam and M. Vaidya. (2012). Influence of temperature variability on physiological, hematological and biochemical profile of growing and adult Sahiwal cattle. *Journal of Environmental Research and Development*. 7 (2A): 986-994.
- Blavy, P., Derks, M., Martin, O., Hoglund, J.K. and Friggens, N.C. (2016). Overview of progesterone profiles in dairy cows. *Theriogenology*. 86 (4): 1061-1071. DOI:10.1016/j.theriogenology.2016.03.037

- Bolocan, E. (2009). Effects of heat stress on sexual behavior in heifers. *Lucrari Stiintifice. Zootehnie și Biotehnologii*. 4 (1): 141-148.
- Bridges, P.J., Brusie, M.A. and Fortune, J.E. (2005). Elevated temperature (heat stress) in vitro reduces androstenedione and estradiol and increases progesterone secretion by follicular cells from bovine dominant follicles. *Domestic Animal Endocrinology*. 29: 508-522. DOI: 10.1016/j.domaniend.2005.02.017
- Broucek, J., Kisac, P and M. Uhrincat. (2009). Effect of hot temperatures on the hematological, health and performance of calves. *International Journal of Biometeorology*. 53: 201-208. DOI:10.1007/s00484-008-0204-1
- Buestan, C.P.D. (2011). Fisiología del estrés y sus efectos sobre la reproducción de la hembra bovina. [Tesis de Médico Veterinario Zootecnista, Universidad de Cuenca, Ecuador]. Disponible en: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/3044/1/mv182.pdf>
- Cabrera Cabrera, C.J. (2014). Effect of supplementing heat stressed dairy cows with electrolytes on milk yield, composition and blood metabolites. [Master of Science Thesis, Mississippi State University] Disponible en: <https://scholarsjunction.msstate.edu/td/1690/>
- Calamari, L., Petrera, F. Abeni, F. and Bertin, G. (2011). Metabolic and hematological profiles in heat stressed lactating dairy cows fed diets supplemented with different selenium sources and doses. *Livestock Science*. 142: 128-137. DOI:10.1016/j.livsci.2011.07.005
- Carvalho de Oliveira, C., Villa Alves, F., Macedo de Almeida Martins, P.G., Karvatte Junior, N., Ferreira Alves, G., Giolo de Almeida, R., Pegoraro Mastelaro, A. and da Costa e Silva, E.V. (2019). Vaginal temperature as indicative of thermoregulatory response in Nellore heifers under different microclimatic conditions. *PLoS One*. 14(10): e0223190. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0223190>

- Cassella, S., Sciano, S., Zumbo, A., Monteverde, V., Fazio, F. and Piccione, G. (2013). Effect of seasonal variations in Mediterranean area on haematological profile in dairy cow. *Comparative Clinical Pathology*. 22: 691-695. DOI:10.1007/s00580-012-1468-8
- Cerqueria, J.O.L., Araujo, J.P.P., Blanco-Penedo, I., Cantalapiedra, J., Silvestre, A.M.D., S.J.C.R. Silva. (2016). Predicción de estrés térmico en vacas lecheras mediante indicadores ambientales y fisiológicos. *Archivos de Zootecnia*. 65 (251): 357-364. DOI: <https://doi.org/10.21071/az.v65i251.697>
- Chebel, R.C., Braga, F.A. and Dalton, J.C. (2007). Factors affecting reproductive performance of Holstein heifers. *Animal Reproduction Science*. 101: 208-224. DOI:10.1016/j.anireprosci.2006.09.010
- Collier, R.J., Beede, D.K., Thatcher, W.W., Israel, L.A. and C. Wilcox. (1982). Influences of environment and its modification in dairy animal health and production. *Journal of Dairy Science*. 65: 2213-2227. DOI:[10.3168/jds.S0022-0302\(82\)82484-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(82)82484-3)
- Corrales Linares, E.H. 2014. El efecto del estrés calórico en bovinos de leche. Monografía. [Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Torreón, Coahuila, México].
- Correa Calderón, A., des Santos, G., Avendaño. L., Rivera, F., Álvarez, D., Ardon, F., Díaz, R. y Collier, R. (2009). Enfriamiento artificial y tasa de concepción de vaquillas Holstein con estrés térmico. *Archivos de Zootecnia*. 58 (222): 231-239.
- Correa Calderón, A., Gómez Álvarez, C.I., Avendaño Reyes, L., Díaz Molina, R., Medina Cervantes, S., Rivera Acuña, F., Luna Nevárez, P. y Macías Cruz, U. (2014). Efecto de la suplementación de progesterona y enfriamiento artificial post-inseminación sobre la eficiencia reproductiva de vaquillas Holstein durante el verano. *Archivos de Medicina Veterinaria*. (46): 189-196. DOI:http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-732X2014000200004

- Correa Calderón, A., Pérez Velázquez, R., Avendaño Reyes, L., Macías Cruz, U., Díaz Molina, R. and Rivera Acuña, F. (2016). Effect of time of progesterone supplementation on serum progesterone and the conception ratio of cooled Holstein heifers during the summer. *Animal Science Journal*. 87: 745-749. DOI:10.1111/asj.12488
- Dalcin, V.C., Fischer, V., Daltro, D.S., Munche-Alfonso, E.P., Tempel, M.S., Kolling, G.J., Barbosa, M.V.S. and C. McManus. (2016). Physiological parameters for thermal stress in dairy cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 45 (8): 458-465. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-92902016000800006>
- Daltro, D.S., Fischer, V., Munchen, E.P.A., Calderaro, V.D., Stumpf, M.T., Kolling, G.J., Barbosa, V.G.S. and C. McManus. (2017). Infrared thermography as a method for evaluating the heat tolerance in dairy cows. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 46(5)374-383. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-92902017000500002>
- Das, R., Sailo, L., Verma, N., Bhart, P., Sikia, J., Intiwati and R. Kumar. (2016). Impact of heat stress on health and performance of dairy animals: A review. *Veterinary World*. 9: 2231-0916. DOI:10.14202/vetworld.2016.260-268
- Davidson, B.D., Dado Senn, B., Rosa Padilla, N., Fabris, T.F., Casarotto, L.T., Ouellet, V., Toledo, I.M. Dahl, G.E. and Laporta, J. (2020). Late-gestation heat stress abatement in dairy heifers promotes thermoregulation and improves productivity. *Journal of Dairy Science*. 104: 2357-2368. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18998>
- Dawson, T.J., Webster, K.N. and Maloney, S.K. (2014). The fur of mammals in exposed environments; do crypsis and thermal needs necessarily conflict? The polar bear and marsupial koala compared. *Journal of Comparative Physiology B*. 184 (2): 273-284. DOI:[10.1007/s00360-013-0794-8](https://doi.org/10.1007/s00360-013-0794-8)
- De Rensis, F. and R.J. Scaramuzzi. (2003). Heat stress and seasonal effects on reproduction in the dairy cow – a review. *Theriogenology*, 60:1139-1151. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(03\)00126-2](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(03)00126-2)

- Donovan, G.A., Bennet, F.L. and Springer, F.S. (2003). Factors associated with first service conception in artificially inseminated nulliparous Holstein heifers. *Theriogenology*. 60: 67-75. DOI:10.1016/s0093-691x(02)01296-7.
- Echeverri, E.D.M. (2015). Efecto de las condiciones meteorológicas sobre el desempeño productivo, comportamental y temperatura corporal superficial de vacas Holstein, en dos hatos lecheros del departamento de Antioquia (Colombia). [Tesis de maestría. Universidad de Antioquia, Medellin, Colombia].
- Espinoza, V.J., Ortega, P.R., Palacios, E.A. y Guillèn, T.A. (2011). Tolerancia al calor y humedad atmosférica de diferentes grupos raciales de ganado bovino. *Revista MVZ Córdoba*. 16 (1): 2302-2309. DOI: <https://doi.org/10.21897/rmvz.288>
- Finch, V.A., Bennet, I.L. and Holmes, C.R. (1984). Coat colour in cattle: effect on thermal balance, behavior and growth, and relationship with coat type. *Journal of Agricultural Science*. 102: 141-147. DOI:10.1017/S0021859600041575
- Freitas-de-Melo, A. y Ungerfeld, R. (2016). Progesterona y respuesta de estrés: mecanismos de acción y sus repercusiones en rumiantes domésticos. Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 7 (2): 185-199.
- Fuquay, J.W. (1981). Heat stress as it affects animal production. *Journal of Dairy Science*. 52 (1): 164-174. DOI:10.2527/jas1981.521164x.
- García, E. (1985). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. Mexico, *Offset Larios*.
- García-Cueto, O.R., Santillan-Soto, N., Quintero-Núñez, M., Ojeda-Benítez, S., and Velazquez-Limon, N. (2013). Extreme temperature scenarios in Mexicali, Mexico under climate change conditions. *Atmosfera*, 26(4), 509-520. Disponible en: <https://www.revistascca.unam.mx/atm/index.php/atm/article/view/32108>
- Garner, J. B., Douglas, M. L., Williams, S. R. O, Wales, W. J., Marett, L. C., Nguyen, T. T. T., Reich, C. M. & Hayes, B. J. (2016). Genomic selection improves heat

- tolerance in dairy cattle. *Scientific Reports*. (6):34114. DOI:10.1038/srep34114
- Gaughan, J. B., Mader, T. L., Holt, S. M., Josey, M. J. and K.J. Rowan. (1999). Heat tolerance of Boran and Tuli crossbred steers. *Journal of Animal Science*. 77: 2398-2405. DOI:10.2527/1999.7792398x.
- Gaughan, J.B., Holt, S.M., Hahn, G.L. Mader, T.L. and Eigenberg, R. (2000). Respiration rate – Is it a good measure of heat stress in cattle? *Asian Australian Journal of Animal Science*. 13 sup. C: 329-332.
- Ghassemi Nejad, J., Kim, B.W., Lee, B.H., and Sung, K.I. (2016). Coat and hair color: hair cortisol and serotonin levels in lactating Holstein cows under heat stress conditions. *Animal Science Journal*. DOI: 10.1111/asj.12662
- Godyn, D., Herbut, P. and Angrecka, S. (2019). Measurements of peripheral and deep body temperature in cattle: a review. *Journal of Thermal Biology*. 79: 42-49. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.11.011>
- Gonzales, P.A.V., Maldonado, M.V., Catracchia, C.G., Herrero, M.A., Flores, M.C. and Mazzini, M. (2010). Influence of water temperature and heat stress on drinking water intake in dairy cows. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 70 (2): 328-336. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392010000200017>.
- González, A. R., A. J. González, R. B. P. Peña, R. A. Moreno y C. J. L. Reye. (2017). Análisis del costo de alimentación y desarrollo de becerras de reemplazo lactantes. *Revista Mexicana de Agronegocios*. 40:561-569. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14152127005>
- Habeeb, A.A., Gad, A.E. and Atta, M.A. (2018). Temperature-humidity indices as indicators to heat stress of climatic conditions with relation to production and reproduction of farm animals. *International Journal Biotechnology Recent Advances*. 1(1): 35-50. DOI: [10.18689/ijbr-1000107](https://doi.org/10.18689/ijbr-1000107)
- Hahn, G.L. (1999). Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *Journal of Dairy Science*. 77(2):10-20. DOI: 10.2527/1997.77suppl_210x.

- Hamblend, H., Hansen, P.J., Zolini, A.M., Oltenacu, P.A. and Mateescu, R.G. (2018). Thermoregulatory response of Brangus heifers tonaturally occurring heat exposure on pasture. *Journal of Animal Science*. 96 (8): 3131-3137. DOI:10.1093/jas/sky224.
- Hammond, A.C., Bowers, E.J., Kunkle, W.E., Gheno, P.C., Moore, S.A., Crosby, C.E., Ramsay, K.H., Harris, J.H. and Essig, H.W. (1994). Use of blood urea nitrogen concentration to determine time and level of protein supplementation in wintering cows. *The professional animal scientist*. 10 (1): 24-31. DOI: [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)31923-9](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)31923-9)
- Heinrichs, J. (2016). *Precision feeding dairy heifers: strategies and recommendations*. Sitio web disponible en: <https://extension.psu.edu/precision-feeding-dairy-heifers-strategies-and-recommendations>
- Herbut, E. (2018). Modern animal production and animal welfare. *Journal of Agricultural Engineering*. 22 (3): 5-10. DOI:[10.1515/agriceng-2018-0021](https://doi.org/10.1515/agriceng-2018-0021)
- Herrera, C. (2011). Indicadores fisiológicos de estrés en ganadería bovina. Sitio Argentino de Producción Animal. Bienestar Animal en Bovinos.
- Hillman, P.E., Lee, C.N., Carpenter, J.R., Baek, K.S. and Parkhurst, A. (2001). Impact of hair color on thermoregulation of dairy cows to direct sunlight. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. Conference paper: 014031. DOI:10.13031/2013.23648
- Hoffman, G., Schmidt, M., Ammon, C., Rose-Meierhofer, S., Burfeind, O., Heuwieser, W. and Berg, W. (2012). Monitoring the body temperature of cows and calves using video recordings from an infrared thermography camera. *Veterinary Research Communications*. 37 (2): 91-99. DOI:10.1007/s11259-012-9549-3
- Hutchinson, J.C.D. and Brown, G.D. (1969). Penetrance of cattle coats by radiation. *Journal of Applied Physiology*. 26 (4): 454-464. DOI: <https://doi.org/10.1152/jappl.1969.26.4.454>

- IPCC. (2018). *Global Warming of 1.5°C*. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Masson-Delmotte, V., Zhai, P.H.O., Portner, Roberts, D.J., Skea, J., Shukla, P.R., Pirani, A., Moufouma-Okia, C.W., Pean, C., Pidcock, R., Matthews, J.B.R., Connors, S., Chen, Y., Zhou, X., Gomis, M.I., Lonnoy, E., Maycock, M.T. and Waterfield, T. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/sr15/>
- Isaksson, J. (2017). Changes in dairy cow temperature – depending on the measuring method and the location of the measuring. *Uppsala*. Online publication: <http://stud.epsilon.slu.se>
- Isola, J.V.V., Menegazzi, G., Busanello, M., dos Santos, S.B., Agner, H.S.S., and Sarubbi, J. (2020). Differences in body temperature between black-and-white and red-and-white Holstein cows reared on a hot climate using infrared thermography. *Journal of Thermal Biology*. Vol. 94. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102775>
- Jezek, J., Nemec, M., Staric, J. and M. Klinkon. (2011). Age related changes and reference intervals of hematological variables in dairy calves. *Bulletin of the Veterinary Institute in Pulawy*. 55: 471-478.
- Jordan, E. R. (2003). Effects of heat stress on reproduction. *Journal of Dairy Science* 86:(E.Suppl.): E104- E114. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)74043-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)74043-0)
- Kamal, R., Dutt, T., Patel, M., Dey, A., Bharti, P.K. and Chinnakan Chandra, P. (2018). Heat stress and effect of shade materials on hormonal and behavior response of dairy cattle: a review. *Tropical Animal Health and Production*. 50(4): 701 – 706. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11250-018-1542-6>
- Kaufman, J.D., Saxton, A.M. and Rius, A.G. (2018). Relationships among temperature-humidity index with rectal, udder surface, and vaginal temperatures

- in lactating dairy cows experiencing heat stress. *Journal of Dairy Science*. 101: 1-6. DOI:10.3168/jds.2017-13799
- Khelil Arfa, H., Faverdin, P. and Boudon, A. (2014). Effect of ambient temperature and sodium bicarbonate supplementation on water and electrolyte balances in dry and lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science*. 97: 2305-2318. DOI: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2013-7079>
- King, V.L., Denise, S.K., Armstrong, D.V., Torabi, M. and Wiersma, F. (1988). Effects of a hot climate on the performance of first lactation Holstein cows grouped by coat color. *Journal of Dairy Science*. 71: 1093-1096. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(88\)79657-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(88)79657-5)
- Kuhn, M.T., Hutchison, J.L. and Wiggans, G.R. (2006). Characterization of Holstein heifer fertility in the United States. *Journal of Dairy Science*. 89: 4907-4920. DOI:10.3168/jds.S0022-0302(06)72541-3.
- Kumar, P., Rishikant, Kumar, R., Kumar, R., Diwakar, R. and Yadav, V. (2018). Heat stress indices, standards and limits with reference for cattle and buffaloes. *Multilogic in Sciences*. 8: 15-17. DOI: 10.5958/2277-940X.2016.00027.9
- Lake, I.R., Hooper, L., Abdelhamid, A., Bentham, G., Boxall, A.B.A., Draper, A., Fairweather, Tait, S., Hulme, M., Hunter, P.R., Nichols, G. and Waldron, K.W. (2012). Climate change and food security: Health impacts in developed countries. *Environmental Health Perspectives*. 120(11), 1520-1526. DOI: 10.1289/ehp.1104424.
- Le Cozler, Y., Lollivier, V., Lacasse, P. and Disenhaus, C. (2008). Rearing strategy and optimizing first-calving targets in dairy heifers: a review. *Animals*. 2:9, pp. 1393-1404. DOI: 10.1017/S1751731108002498.
- Lemus Flores, C. Becerril Pérez, C.M., Ortiz Solorio, C.A. y Espinoza Velázquez, J. (2002). Efecto del porcentaje de color del pelaje en la producción de leche y la reproducción de vacas Holstein de primer parto en algunos climas de México. *Agrociencia*. 36 (1): 23-30.

- Lenis, S.Y., Zuluaga, C.A.M. and Tarazona, M.A.M. (2015). Adaptive responses to thermal stress in mammals. *Revista de Medicina Veterinaria*. 31: 121- 135.
- Loi, F., Pilo, G., Franzoni, G., Re, R., Fusi, F., Bertocchi, L., Santucci, U., Lorenzi, V., Rolesu, S. and Nicolussi, P. (2021). Welfare assessment: correspondence analysis of welfare and hematological and biochemical profiles of dairy cows in Sardinia, Italy. *Animals*. 11 (845): 1-15.
DOI: <https://doi.org/10.3390/ani11030854>
- Lumsden, J.H., Mullen, K. and R. Rowe. (1980). Hematology and biochemistry reference values for female Holstein. *Canadian Journal of Comparative Medicine*. 44: 24-31.
- Mader, T.L., Davis, M.S. and Brown Brandl, T. (2006). Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *Journal of Animal Science*. 84, 712-719.
DOI:10.2527/2006.843712x.
- Marcillac Emberstone, N.M., Robinson, P.H., Fadel, J.G. and Mitloehner, F.M. (2009). Effects of shade and sprinklers on performance, behavior, physiology, and the environment of heifers. *Journal of Dairy Science*. 92: 506-517.
DOI: 10.3168/jds.2008-1012
- Meola, C. and Carlomagno, G.M. (2004). Recent advances in the use of infrared thermography. *Measurement Science and Technology*. 15: R27-R58.
DOI: [10.1088/0957-0233/15/9/R01](https://doi.org/10.1088/0957-0233/15/9/R01)
- Meyers, W., & Kalaitzandonakes, N. (2012). World Population Growth and Food Supply. In J. Popp, M. Jahn, M. Matlock, & N. Kemper (Eds.), *The Role of Biotechnology in a Sustainable Food Supply* (pp. 1-16). Cambridge: Cambridge University Press.
- Mondragón, C.A. (2016). Características corporales, zoométricas, metabólicas y reproductivas asociadas con la fertilidad a primer servicio en vaquillas Holstein. [Tesis de Maestría en Ciencias en Sistemas de Producción Animal. Universidad Autónoma de Baja California. Mexicali, B.C., México]

- Morales, A.C. y Rodriguez, N. (2005). Hormonas tiroideas en la reproducción y en la producción láctea de ganado lechero: revisión de literatura. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 18 (2): 136-148.
- Morar, D., Ciulan, V., Simiz, F., Mot, T., Hutu, I. and Vaduva, C. (2018). Effect of heat stress on haematological parameters in dairy cows. *Lucrari Stiintifice Medicine Veterinara*. 2 (2): 65-70.
- Mormede, P., Foury, A., Terenia, E. and Knap, P.W. (2010). Breeding for robustness: the role of cortisol. *Animals*. 5 (5): 651-657.
DOI: 10.1017/S1751731110002168
- Nardone, A., Ronchi, B., Lacetera, N., Ranieri, M. S., & Bernabucci, U. (2010). Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livestock Science*. 130(1-3): 57–69.
DOI: 10.1016/j.livsci.2010.02.011
- Nedic, S., Pantelic, M., Vranjes Duric, S., Nedic, D., Jovanovic, L., Cebulj Kadunc, N., Kobal, S., Snoj, T. and Kirovski, D. (2017). Cortisol concentrations in hair, blood, and milk of Holstein and Busha cattle. *Slovenian Veterinary Research*. 54 (4): 163-172. DOI:10.26873/SVR-398-2017
- Nelson, G.C., Valin, H., Sands, R.D., Havlik, P., Ahammad, Helal., Deryng, D., Elliott, J., Fujimori, S., Hasegawa, T., Heyhoe, E., Kyle, P., Von Lampe, M., Lotze-Campen, H., d’Croz, D.M., Meijl, H.V., Mensbrugghe, D., Muller, C., Popp, A., Robertson, R., Robinson, S., Schmid, E., Schmitz, C., Tabeau, A. and Willenbockel, D. (2013). Climate change effects on agriculture: Economic responses to biophysical shocks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 111 (9): 3274-3279. DOI:10.1073/pnas.1222465110
- Nonaka, I., Takusari, N., Higuchi, K., Enishi, O. and M. Kurihara. (2012). Effects of hot and humid environment on the performance of Holstein Heifers. *Japan Agricultural Research Quarterly*. 46 (3): 221-226.
DOI:10.1016/j.livsci.2007.02.010

- Nonaka, I., Takusari, N., Tajima, K., Suzuki, T., Higuchi, K., Kurihara, M. (2008). Effects of high environmental temperatures on physiological and nutritional status of prepubertal Holstein heifers. *Livestock Science*. 113: 14-23. DOI: 10.1016/j.livsci.2007.02.010
- Osorio, J.H., Suarez, Y.J. y Uribe Velázquez, L.F. (2014). Hormonas tiroideas en pequeños rumiantes: artículo de revisión y actualización de literatura. *Biosalud*. 13 (1): 85-95.
- Oreskes, N. (2004). Scientific consensus on climate change. *Science*. 306 (5702): 1686. DOI: [10.1126/science.1103618](https://doi.org/10.1126/science.1103618)
- PEACC-BC. 2015. Programa estatal de acción ante el cambio climático de Baja California: *Cuantificación socioeconómica y ambiental de las políticas de mitigación de GEI*. Disponible en: <https://cambioclimatico.gob.mx/wp-content/uploads/2018/11/Documento-2-Programa-Estatal-De-Acci%c3%b3n-Baja-California-2015.pdf#page=82&zoom=100,93,676>
- Pereira, A.M.F., Baccari Jr, F., Titto, E.A.L. and Alfonso Almeida, J.A. (2008). Effect of thermal stress on physiological parameters, feed intake and plasma thyroid hormones concentration in Alentejana, Mertolengam Frisian and Limousine cattle breeds. *International Journal of Biometeorology*. 52: 199-208. DOI: 10.1007/s00484-007-0111-x
- Phandarathil Rashamol, V., Sejian, V., Bagath, M., Kshnan, G., Ravindranathan Archana, P. and Bhatta, R. (2018). Physiological adaptability of livestock to heat stress: an updated review. *Journal of Animal Behavior and Biometeorology*. 6: 62-71. DOI: doi.org/10.31893/2318-1265jabb.v6n3p62-71
- Place, S. E. (2014). Climate Change: Animal Systems. *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*. 2: 244–255. DOI: 10.1016/B978-0-444-52512-3.00006-1
- Polsky, L. and von Keyserlingk, A.G. (2017). Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *Journal of Dairy Science*. 100: 8645-8657. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12651>

- Purwanto, B.P., Nakamasu, F. and Yamamoto, S. (1993). Effect of environmental temperatures on heat production in dairy heifers differing in feed intake level. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 6 (2): 275-279. DOI: <https://doi.org/10.5713/ajas.1993.275>
- Pusta, D., Sobolu, R. and Pasca, I. (2012). Determination of the cutaneous temperature by infrared thermometry in Holstein cows. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary, Romania*. DOI: <http://dx.doi.org/10.15835/buasvmcn-vm:69:1-2:8425>
- Radkowska, I. and Herbut, E. (2014). Hematological and biochemical blood parameters in dairy cows depending on the managements system. *Animal Science Papers and Reports*. 32 (4): 317-325.
- Raheja, K.L., Burnside, E.B. and Schaeffer, L.R. (1989). Heifer Fertility and its relationship with cow fertility and production traits in Holstein Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science*. 72: 2665-2669. DOI:10.3168/jds.S0022-0302(89)79407-8.
- Rasooli, A., Nouri, M., Khadjeh, G.H. and Rasekh, A. (2004). The influence of seasonal variation on thyroid activity and some biochemical parameters of cattle. *Irianian Journal of Veterinary Research*. 5 (2): 10.
- Rodríguez, H. K. (2019). *Crianza de becerras y vaquillas de reemplazo: si la oportunidad no toca a tu puerta, construye una*. Ganaderia.com 10 de junio de 2019. Disponible en: <https://www.ganaderia.com/destacado/Crianza-de-becerras-y-vaquillas-de-reemplazo-si-la-oportunidad-no-toca-a-tu-puerta-construye-una>
- Roland, L., Drillich, M. and M. Iwersen. (2014). Hematology as a diagnostic tool in bovine medicine. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*. 26 (5): 592-598. DOI:10.1177/1040638714546490.
- Roldan, V.P., Gasparotti, M.L., Luna, M., Piérola, F., Sola, J.M., Gapel, C. y Pinto, M. (2015). Análisis del perfil hematológico de vacas gestantes de la región de Santa Fe. *Revista Electrónica de Veterinaria*. 6 (12): 1-4.

- Romero Peñuelas, M.H., Uribe Velásquez, L.F. y Sánchez, V.J.A. 2011. Biomarcadores de estrés como indicadores de bienestar animal en ganado de carne. *Biosalud*. 10 (1): 71-87.
- Ronchi, B., Stradaoli, G., Verini Supplizi, A., Bernabucci, U., Lacetera, N., Accorsi, P.A., Nardone, A., and Seren, E. (2001). Influence of heat stress or feed restriction on plasma progesterone, oestradiol-17 β , LH, FSH, prolactin and cortisol in Holstein heifers. *Livestock Production Science*. 68: 231-241. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(00\)00232-3](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(00)00232-3)
- Rosenberg, M., Herz, Z., Davidson, M. and Folman, Y. (1977). Seasonal variations in post-partum plasma progesterone levels and conception in primiparous and multiparous dairy cows. *Journal of Reproduction & Fertility*. 51: 363-367. DOI: <https://doi.org/10.1530/jrf.0.0510363>
- Ruiz C., J. A., G. Díaz P., S. D. Guzmán R., G. Medina G., y M. M. Silva S. (2006). Estadísticas climatológicas básicas del estado de Baja California (Período 1961-2003). Libro Técnico Núm. 1. INIFAP-CIRNO. Cd. Obregón, Son., México. 165 p.
- Saeed, O.A., Jaber, B.T., Mohammed, M.T.A., Sani, U.M. Ziara, K.S. and Saad, H.M. (2021). Impacts of heat stress on blood metabolic in different periods of lactation and pregnancy in Holstein cows. *Earth and Enviromental Science*. 779. DOI: 10.1088/1755-1315/779/1/012013
- Sammad, A., Wang, J., Umer, S., Lirong, H., Khan, I., Khan, A., Ahmad, B. and Wang, Y. (2020). Nutritional physiology and biochemistry of dairy cattle under the influence of heat stress: consequences and opportunities. *Animals*. 10: 793. DOI: 10.3390/ani10050793
- Sanchez, W.K., McGuire, M.A. and Beede, D.K. (1994). Macromineral nutrition by heat stress interactions in dairy cattle: review and original research. *Journal of Dairy Science*. 77: 2051-2079. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)77150-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)77150-2)

- Sartori, R., Sartor-Bergfelt, R., Martens, a., Guenther, J.N., Parrish, J.J. and Wiltbank, M.C. (2002). Fertilization and early embryonic development in heifers and lactating cows in summer and lactating and dry cows in winter. *Journal of Dairy Science*. 85: 2803-2812. DOI:10.3168/jds.S0022-0302(02)74367-1.
- Schroeder, J.W. (2015). Water needs and quality guideliness for dairy cattle. *North Dakota State University*. (AS1369). Disponible en: www.ag.ndsu.edu.
- Segnalini, M., Bernabucci, U., Vitali, A., Nardone, A. and Lacetera, N. (2013). Temperature humidity index scenarios in the Mediterranean basin. *International Journal of Biometeorology*. (57): 451-458. DOI: 10.1007/s00484-012-0571-5
- Sellier, N., Guettier, E. and Staub, C. (2014). A review of methods to measure animal body temperature in precision farming. *American Journal of Agricultural Science, Engineering and Technology*. 2 (2): 74-99. DOI:[10.7726/ajast.2014.1008](https://doi.org/10.7726/ajast.2014.1008)
- Seok Joo, S., Jin Lee, S., Som Park, D., Hyeon Kim., D., Gu, B.H., Ju Park, Y., Yun Rim, C., Kim, M. and Tae Kim, E. (2021). Changes in blood metabolites and immune cells in Holstein and Jersey dairy cows by heat stress. *Animals*. 11: 974. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani11040974>
- Shaffer, L., Roussel, J.D. and Koonce, K.L. (1981). Effects of age, temperature-season, breed on blood characteristics of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 64: 62-70. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(81)82529-5.
- Siazi, T., Mpayipheli, M. and Ayodeji Idowu, P. (2019). Heat tolerance level in dairy herds: a review on coping strategies to heat stress and ways of measuring heat tolerance. *Journal of Animal Behavior Biometorology*. 7: 39-51. DOI:doi.org/10.31893/2318-1265jabb.v7n2p39-51
- Silanikove, N. (2000). Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livestock Production Science*. 67: 1-18. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(00\)00162-7](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(00)00162-7)

- Srikandakumar, A. and Johnson, E.H. (2004). Effect of heat stress on milk production, rectal temperature, respiratory rate and blood chemistry in Holstein, Jersey and Australian Milking Zebu cows. *Tropical Animal Health and Production*. 36 (7): 685-692. DOI: [10.1023/b:trop.0000042868.76914.a9](https://doi.org/10.1023/b:trop.0000042868.76914.a9)
- St-Pierre, N.R., Cobanov, B. and G. Schnitkey. (2003). Economic losses from heat stress by US livestock industries. *Journal of Dairy Science*. 86: (E. Suppl.): E52-E77. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)74040-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)74040-5)
- Suthar, V., Burfeind, O., Maeder, B. and Heuwieser, W. (2013). Agreement between rectal and vaginal temperature measurements with temperature loggers in dairy cows. *Journal of Dairy Research*. 80: 240-245. DOI: [10.1017/S0022029913000071](https://doi.org/10.1017/S0022029913000071)
- Tian, H., Liu, J., Chen, X., Li, S., Li, X., Mengal, K., Lu, Y. and Wang, D. (2021). Effects of ambient temperature and humidity on body temperature and activity on heifers, and a novel idea of heat stress monitoring. *Animal Production Science*. 61: 1584-1591. DOI: <https://doi.org/10.1071/AN20156>
- Tozer, P. R., and A. J. Heinrichs. (2001). What affects the costs of raising replacement dairy heifers: A multiple-component analysis. *Journal of Dairy Science*. 84:1836–1844. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)74623-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)74623-1)
- Tuckova, K. and Filipcik, R. (2019). Effect of heat stress on age in conception of Holstein heifers. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 67 (17): 173-177. DOI: <https://doi.org/10.11118/actaun201967010173>
- Unalan, A. (2016). Seasonal effects on behavioral estrus signs and estrus detection efficiency in Holstein heifers. *Indian Journal of Animal Research*. 50 (2): 185-189. DOI: [10.18805/ijar.8594](https://doi.org/10.18805/ijar.8594)
- Unruh, E.M., Theurer, M.E., White, B.J., Larson, R.L., Drouillard, J.S. and Schrag, N. (2017). Evaluation of infrared thermography as a diagnostic tool to predict heat

- stress events in feedlot cattle. *American Journal of Veterinary Research*. 78 (7): 771-777. DOI: 10.2460/ajvr.78.7.771.
- Vicentini, R.R., Montanholi, Y.R., Veroneze, R., Oliveira, A.P., Lima, A.L.P., Ujita, A. and El Faro, L. (2020). Infrared thermography reveals Surface body temperature changes during proestrus and estrus reproductive phases in Gyr (*Bos Taurus indicus*) heifers. *Journal of Thermal Biology*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102662>
- Wadgymar, S. M., MacTavish, R., & Anderson, J. T. (2019). Evolutionary consequences of climate change. *Ecosystem Consequences of Soil Warming*. 29–59. DOI:10.1016/b978-0-12-813493-1.00003-x
- Walsberg, G.E. (1983). Coat color and solar heat gain in animals. *BioScience*. 33 (2): 88-91. DOI: 10.2307/1309169
- Wang, J., Li, J., Wang, F., Xiao, J., Wang, Y., Yang, H., Li, S., and Cao, Z. (2020). Heat stress on calves and heifers: a review. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 11:79. DOI: [10.1186/s40104-020-00485-8](https://doi.org/10.1186/s40104-020-00485-8)
- Weltzel, J.M., Vlergutz, T., Albrecht, D., Bruckmaler, R., Schmlcke, M., Tuchscherer, A., Koch, F. and Kuhla, B. (2017). Hepatic thyroid signaling of heat-stressed late pregnant and early cows. *Journal of Endocrinology*. 234: 129-141. DOI: 10.1530/JOE-17-0066
- West, J.W. (2003). Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 86: 2131-2144. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73803-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73803-X)
- Wheelock, J.B., Rhoads, R.P., Van Baale, M.J., Sanders, S.R. and Baumgard, L.H., (2010). Effects of heat stress on energetic metabolism in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 93: 644-655. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2295>
- Wilson, S.J., Kirby, C.J., Koenigsfeld, A.T., Keisler, D.H. and Lucy, M.C. (1998). Effects of controlled heat stress on ovarian function of dairy cattle. 2. Heifers.

Journal of Dairy Science. 81: 2132-2138.
DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75789-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75789-3)

Wise, M.E., Armstrong, D.V., Huber, J.T., Hunter, R. and Wiersma, F. (1988). Hormonal alteration in the lactating dairy cow in response to thermal stress. *Journal of Dairy Science.* 71: 2480-2485. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(88)79834-3.

Wolfenson, D., Bartol, F.F., Bandiga, L., Barros, C.M., Marple, D.N., Cummins, K., Wolfe, D., Lucy, M.C., Spencer, T.E. and Thatcher, W.W. (1993). Secretion of PGF 2α and oxytocin hyperthermia in cyclic and pregnant heifers. *Theriogenology.* 39: 1129-1141. DOI: [https://doi.org/10.1016/0093-691X\(93\)90012-T](https://doi.org/10.1016/0093-691X(93)90012-T)

Wolfenson, D., Sonogo, H., Bloch, A., Shaham Albalancy, A., Kaim, M., Folman, Y. and Meidan, R. (2002). Seasonal differences in progesterone production by luteinized bovine thecal and granulosa cells. *Domestic Animals Endocrinology.* 22: 81-90. PII:S0739-7240(01)00127-8. DOI: 10.1016/s0739-7240(01)00127-8.

Zachut, M., Kra, G., Nemes Navon, N., Ben Aharon, N., Moallem, U., Lavon, Y. and Jacoby, S. (2020). Seasonal heat load is more potent than the degree of body weight loss in dysregulating immune function by reducing white blood cell populations and increasing inflammation in Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science.* 103: 10809-10822. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18547>