

Efecto de la temperatura ambiente en la temperatura superficial de zonas negras y blancas del pelaje de un hato de vacas holstein en el departamento de Antioquia, Colombia

Diego Mauricio Echeverri Echeverri¹ / Luis Fernando Galeano-Vasco² / Jennifer Paola Ramírez Arias³ / Mario Fernando Cerón-Muñoz⁴ / Sara María Márquez Girón⁵

- 1 Zootecnista. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Estudiante de Maestría, Medellín, Colombia.
✉ dme-zoo@hotmail.com
- 2 Zootecnista. MSc. PhD. Investigador del Grupo Investigación en Genética, Mejoramiento y Modelación Animal GaMMA, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
✉ gavo76@gmail.com
- 3 Zootecnista. Joven Investigador e Innovador Colciencias 2014. Integrante del Grupo Investigación en Genética, Mejoramiento y Modelación Animal GaMMA, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
✉ jpaola.ramirez@udea.edu.co
- 4 Zootecnista. MSc. PhD. Coordinador del Grupo Investigación en Genética, Mejoramiento y Modelación Animal GaMMA, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
✉ cerongamma@gmail.com
- 5 Ingeniera Agrícola. MSc. PhD. Investigador del Grupo investigación en sistemas agroambientales sostenibles GISAS, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
✉ saramariamarquez@gmail.com

Resumen

El artículo reporta la evaluación del efecto de la temperatura ambiente, la humedad relativa, la radiación solar y la velocidad del cuerpo bajo el índice THSW en la temperatura superficial de áreas blancas y negras del pelaje de vacas holstein. Se utilizó información de 5 vacas holstein en producción de la finca El Recreo, ubicada en el municipio de Abejorral, Colombia. Se les tomó la temperatura superficial cada 2 h durante 15 días en 10 sitios diferentes: línea dorsal anterior, media y posterior, flanco derecho e izquierdo, pecho, cuello derecho e izquierdo, vulva y glándula mamaria, con termómetro infrarrojo. Para evaluar el efecto de la temperatura ambiente en la corporal se utilizó un índice que involucra la temperatura, la humedad, la radiación y la velocidad del viento (THSW) y para el análisis estadístico se utilizó un modelo mixto aditivo generalizado suavizado. El THSW encontrado fue de 10 y 27 °C. Las áreas muestreadas tuvieron una diferencia en la temperatura; las de color negro fueron las de mayor temperatura superficial. Oscilaron entre 32,5 y 35,8 °C para zonas blancas, y entre 34,5 y 40,5 °C para zonas negras. Los mayores valores de temperatura superficial para ambas zonas en todos los puntos se presentaron a mayores valores de THSW. Se concluye que el índice THSW tiene efecto diferenciado en la temperatura superficial corporal de acuerdo con el color del pelaje; los puntos negros fueron los que presentaron mayores temperaturas.

Palabras clave: ganado de leche, humedad relativa, pelaje, temperatura.

Effect of ambient temperature on the surface temperature of black and white areas of the coat in a herd of Holstein cows in the department of Antioquia, Colombia

Abstract

The article evaluates the effect of ambient temperature, relative humidity, solar radiation, and wind speed according to the THSW index on the surface temperature of the white and black areas of the coat of Holstein cows. The study used information of five Holstein dairy cows from the El Recreo farm, located in the municipality of Abejorral, Colombia. Surface temperature was measured with an infrared thermometer every 2 h during 15 days in 10 different sites: anterior, middle, and posterior dorsal line, right and left flank, chest, right and left neck, vulva, and mammary gland. To evaluate the effect of ambient temperature on body temperature, an index that involves temperature, humidity, solar radiation, and wind speed (THSW) was used, and for statistical analysis,

Cómo citar este artículo: Echeverri Echeverri DM, Galeano-Vasco LF, Ramírez Arias JP, Cerón-Muñoz MF, Márquez Girón SM. Efecto de la temperatura ambiente en la temperatura superficial de zonas negras y blancas del pelaje de un hato de vacas holstein en el departamento de Antioquia, Colombia. *Rev Med Vet.* 2018;(36):97-107. doi: <http://dx.doi.org/10.19052/mv.5176>

a mixed generalized additive model. THSW was 10 and 27 °C. The sampled areas had a difference in temperature; being the black spots that had higher surface temperature. Temperature oscillated between 32.5 and 35.8 °C for white areas, and between 34.5 and 40.5 °C for black areas. Higher surface temperature values for both zones at all points had higher THSW values. It is concluded that the THSW index has a differentiated effect on body surface temperature according to the color of the coat, the black spots having higher temperatures.

Keywords: dairy cattle, relative humidity, temperature, coat.

Efeito da temperatura ambiente na temperatura superficial de zonas negras e brancas da pelagem de um rebanho de vacas holstein no estado de Antioquia, Colômbia

Resumo

O artigo reporta a avaliação do efeito da temperatura ambiente, a umidade relativa, a radiação solar e a velocidade do corpo sob o índice THSW na temperatura superficial de áreas brancas e negras da pelagem de vacas Holstein. Utilizou-se informação de 5 vacas Holstein em produção do sítio El Recreo, situada no município de Abejorral, Colômbia. Tomou-se a temperatura superficial destas a cada 2 horas durante 15 dias em 10 lugares diferentes: linha dorsal anterior, media e posterior, flanco direito e esquerdo, peito, pescoço lado direito e esquerdo, vulva e glândula mamária, com termômetro infravermelho. Para avaliar o efeito da temperatura ambiente na corporal utilizou-se um índice que envolve a temperatura, a umidade, a radiação e a velocidade do vento (THSW) e para a análise estatístico utilizou-se um modelo misto aditivo generalizado suavizado. O THSW encontrado foi de 10 e 27 °C. As áreas amostradas tiveram uma diferença na temperatura; as de cor negra foram as de maior temperatura superficial. Oscilaram entre 32,5 e 35,8 °C para zonas brancas, e entre 34,5 e 40,5 °C para zonas negras. Os maiores valores de temperatura superficial para ambas zonas em todos os pontos, se apresentaram a maiores valores de THSW. Conclui-se que o índice THSW tem efeito diferenciado na temperatura superficial corporal de acordo com a cor da pelagem; os pontos negros foram os que apresentaram maiores temperaturas.

Palavras chave: gado de leite, umidade relativa, temperatura, pelagem.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción lechera en Suramérica se caracterizan por ser generalmente en pastoreo. Por eso los animales se encuentran expuestos permanentemente al ambiente, lo que afecta de manera directa las respuestas fisiológicas y productivas, y de forma indirecta la nutrición, debido a alteraciones en la calidad y cantidad de pasturas y material vegetal disponible para la alimentación.

La producción de leche se encuentra estrechamente influenciada por la meteorología (1); la variabilidad de la temperatura ambiente es el factor principal que afecta negativamente la producción, seguida, en orden de importancia, por la radiación solar, la humedad del aire y el viento (2). Estos factores ambientales afectan de manera particular a animales de alto mérito genético, debido a la alta producción lechera que consecuentemente implica alta producción de calor metabólico, lo que los hace más sensibles a estrés por calor. Además influyen

factores intrínsecos del animal como el color oscuro del pelaje, que potencializa los efectos de las altas temperaturas, ya que este capta mayor calor respecto a los pelajes claros (3,4). Las vacas con alto porcentaje de color de capa blanca tienen una asociación lineal positiva con la producción de leche (5), y además absorben de 40 a 50% menos radiación solar que los animales con pelaje oscuro (6,7).

En la actualidad es posible medir el estrés calórico mediante el índice biometeorológico que tiene en cuenta la temperatura y la humedad del aire (ITH) desarrollado por Thom (8). Este índice demuestra que la zona de confort térmico para vacas lecheras en producción tiene un ITH entre 35 y 70; es crítico en vacas holstein a partir de 72 (1), lo que quiere decir que con base en este valor comienza a alterarse de manera negativa tanto la fisiología, el confort térmico y el bienestar como la productividad del animal. Sin embargo, este no es aplicable para determinados ambientes como en la zona tropical (9). Existe otro índice que relaciona las variables temperatura ambiente, humedad relativa, radiación y velocidad del viento denominado índice THSW (temperatura/humedad/sol/viento); este usa la humedad y la temperatura, incluye los efectos de calentamiento del sol y los de enfriamiento del viento para calcular una temperatura aparente de la que se sentiría expuesto al sol (10).

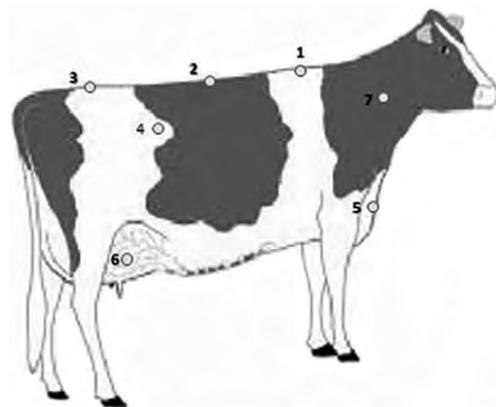
El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de la temperatura ambiente, la humedad relativa, la radiación solar y la velocidad del viento mediante el índice THSW sobre la temperatura superficial en zonas negras y blancas del pelaje de vacas holstein.

MATERIALES Y MÉTODOS

La información se tomó de un hato de vacas holstein en la finca El Recreo, ubicada en el municipio de Abejorral, Antioquia, Colombia, correspondiente a una zona de vida de bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB), con una altura de 2416 a 2494 m s. n. m. y con las coordenadas N 5° 51' 30.95" y O 75° 22' 00.59".

Se evaluaron cinco vacas holstein sanas de alta producción, con un promedio de 105 días en leche, entre tres y cinco partos. Como criterios de exclusión se establecieron: vacas cojas, con mastitis clínica, cuartos perdidos y que hayan presentado abortos en el periodo productivo actual. Estas se alimentaron con pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus* [Hochst. ex Chiov.] Morrone) por medio de un sistema de pastoreo rotacional intensivo, en una rotación de potreros de 40 a 45 días. La oferta de pasto se realizó en franjas luego de cada ordeño; no se presentan en las áreas internas de las franjas de pastoreo, árboles o espacios donde las vacas puedan mitigar los efectos climáticos. Se realizó un balance nutricional de la dieta; el déficit de energía se suplementó con un concentrado que contenía 18% de proteína cruda, 1,82 Mcal de energía neta por kilogramo y una humedad del 12%; este se suministró individualmente en dos raciones diarias, de acuerdo con la producción de leche y la condición corporal de cada animal. La oferta mineral se realizó con sal al 8% de fósforo a voluntad. A las vacas se les tomó la temperatura superficial con un termómetro infrarrojo Fluke 59-MAX (Fluke Corporation, WA, USA), a una distancia no mayor a 30 cm, cada 2 h durante 15 días consecutivos las 24 h del día, en 10 sitios diferentes, como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Puntos anatómicos muestreados para temperatura superficial y color del pelaje en vacas holstein



1) Línea dorsal anterior; 2) línea dorsal media; 3) línea dorsal posterior; 4) flanco (derecho e izquierdo); 5) pecho; 6) glándula mamaria; 7) cuello (derecho e izquierdo); 8) vulva.

Los puntos 1, 2 y 3 fueron tomados en la línea dorsal en la cruz, parte media del dorso y la punta del anca, respectivamente. El 4 fue tomado en ambos flancos de la vaca, en el triángulo que forma el borde posterior de la escápula, la penúltima costilla y el codo; el punto 5, en la parte media del pecho entre cuello, cinchera y encuentros; el punto 6, en el punto medio lateral de la glándula mamaria; el punto 7, a ambos lados del punto medio del cuello; y el punto 8, en la cara interna de la vulva. Además de medir la temperatura superficial en los diferentes puntos anatómicos, se tuvo en cuenta el color del pelaje en el punto evaluado (blanco = B o negro = N) para determinar su influencia.

También se midieron las variables temperatura ambiental (T), radiación solar (R), velocidad del viento (W) y humedad relativa (HR), y se calculó el índice THSW durante las 24 h del día, cada 10 min por la central meteorológica Vantage® pro 2. Con la información recolectada se hicieron correlaciones entre los puntos anatómicos para descartar los que no se relacionaban entre sí; con los que tuvieron altas correlaciones, se realizó y analizó la curva de la temperatura superficial durante el día y su relación con el THSW y el color del pelaje. En el análisis estadístico de cada temperatura superficial en las diversas partes del cuerpo se utilizó un modelo mixto aditivo generalizado suavizado (11,12). El modelo para temperatura superficial en diferentes partes del cuerpo fue el siguiente:

$$y_{ijklmn} = \alpha + s(D_i H_j C_l) + \gamma_m + \varepsilon_{ijklmn}$$

Donde:

y_{ijklmn} = temperatura superficial

α = intercepto

$s(D_i H_j C_l)$ = funciones suavizadas no parametrizadas a diferentes horas del día (j) con el índice THSW (D), con k grados de suavización dentro del l-ésimo color de pelaje (blanco o negro)

γ_m = efecto aleatorio de vaca

ε_{ijklmn} = efecto residual

Para el análisis se usó la biblioteca “mgcv” de Wood (2011) del *software* R-project (13).

RESULTADOS

La figura 2 muestra la relación de las variables T, H, R y W con el índice THSW durante el día, y se observa que los mayores valores para el THSW (color naranja) se concentraron entre las 9 y 17 h con un valor máximo de 27 °C entre las 10 y 15 h y un valor mínimo de 10 °C entre las 2 a 6 h (tabla 1). Los mayores valores de THSW coinciden, según la figura 2, con los mayores valores de temperatura ambiente T, radiación solar R y velocidad del viento W, al igual que con los valores más bajos de humedad relativa. Esto evidencia el efecto que la alta temperatura ambiente y la alta radiación solar ejerce sobre el índice THSW a estas horas del día. Los valores más altos para T, H, R, W fueron 22 °C, 98 %, 1172 W/m² y 12 m/s, respectivamente. Las horas de mayor presentación de temperatura fueron entre las 13 y 15 h, de 6 a 8 h para la humedad; entre las 12 y las 13 h se presentó el mayor valor para radiación solar y entre las 11 y la 15 horas para velocidad del viento. Los valores más bajos fueron 10 °C para T, 50 % para H y 0 para R y W. Las horas de mayor presentación fueron de 2 a 7 para temperatura, 13 a 15 h para la humedad, y 18 a 6 h para radiación solar; las horas de 0 vientos se presentaron a intervalos variables durante todo el día (tabla 1). El índice THSW indica que a estas horas del día (13 a 15 h) la temperatura aparente estuvo por encima del umbral térmico máximo para la vaca holstein al presentar un valor de 27 °C.

Figura 2. Relación durante el día de las variables ambientales temperatura ambiente, radiación solar, humedad relativa y velocidad del viento con el índice THSW (escala desde 0 °C con color amarillo hasta 30 °C con color rojo)

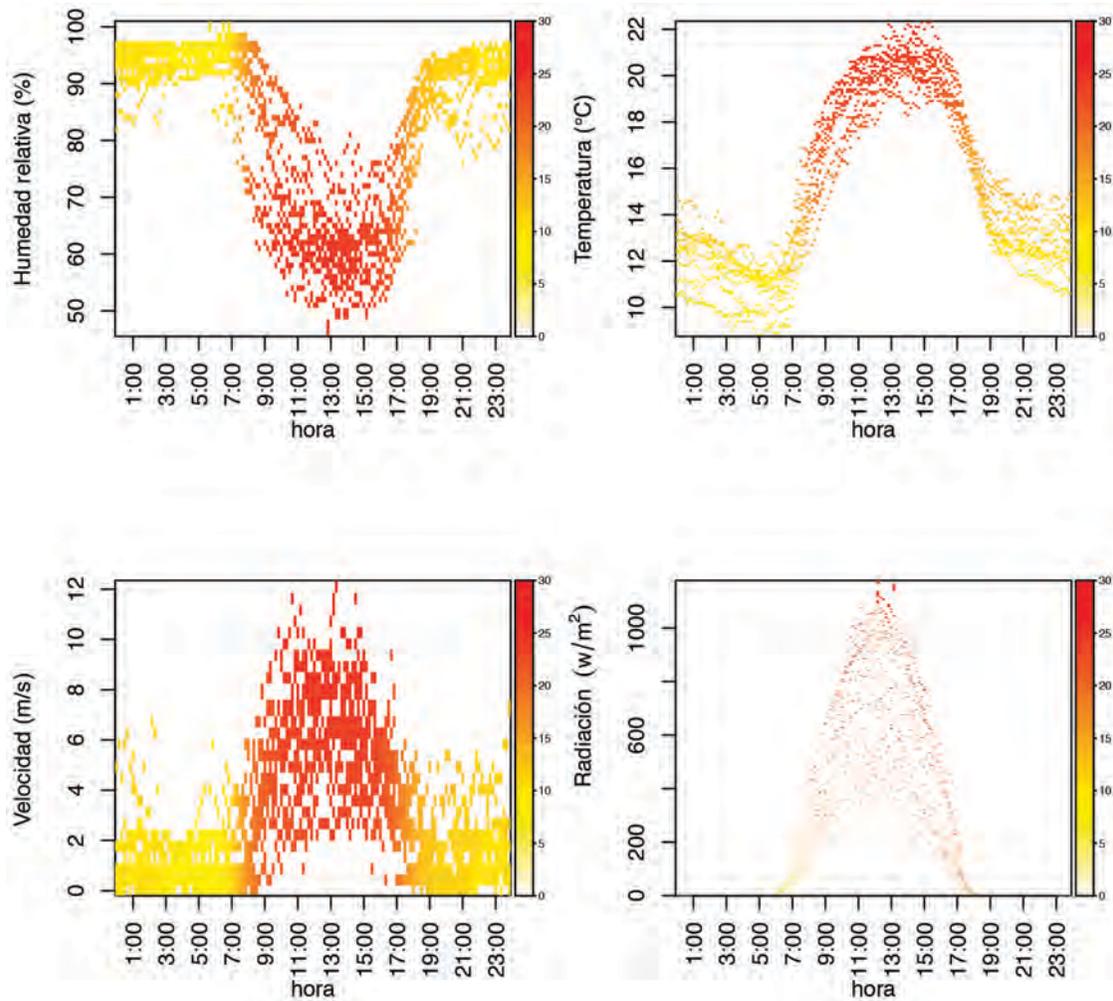


Tabla 1. Valores máximos y mínimos de las variables climatológicas temperatura ambiente, humedad relativa, radiación solar, velocidad del viento y del índice THSW con el rango de tiempo en el que se presenta

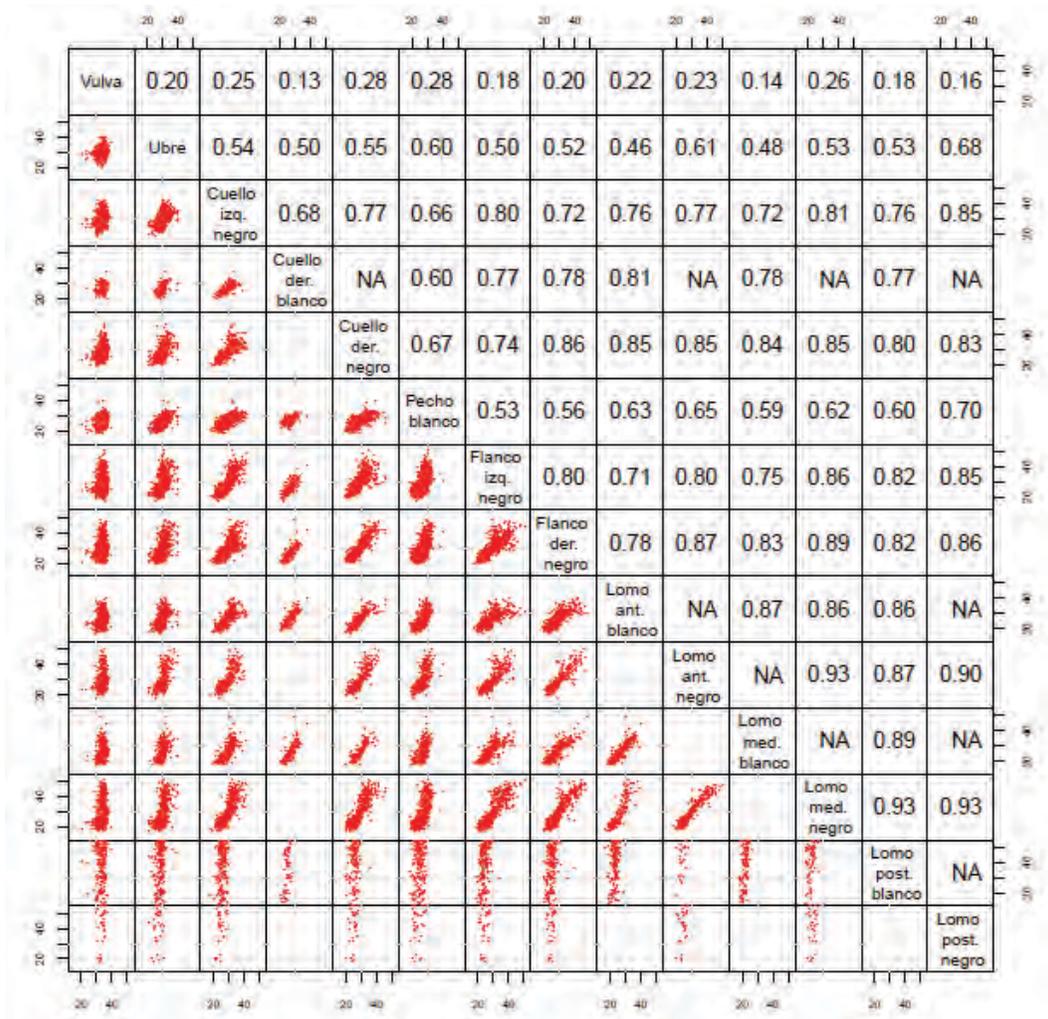
Variable	Valor máximo	Hora	Valor mínimo	Hora
Temperatura (°C)	22	13-15	10	2-7
Humedad (%)	98	6-8	50	13-15
Radiación (W/m²)	1172	12-13	0	18-6
Velocidad (m/s)	12	11-15	0	-
THSW*	27	10-15	10	2-6

* Índice temperatura/humedad/radiación/viento en grados Celsius.

Las correlaciones calculadas entre las temperaturas superficiales de los diferentes puntos anatómicos evaluados (figura 3) muestran correlaciones bajas de la temperatura superficial de la vulva (0,13 a 0,28) y medias para la glándula mamaria (0,48 a 0,68) respecto a los otros puntos anatómicos, por lo que no se tuvieron en cuenta para el análisis respecto a la influencia del THSW. Los demás puntos (cuello derecho e izquierdo

blanco y negro, lomo anterior, medio y posterior) mantuvieron correlaciones altas entre sí; fue mayor (0,93) entre lomo anterior negro y lomo medio negro y entre lomo medio negro con lomo posterior blanco y negro. El pecho mantuvo una correlación media alta con los demás puntos anatómicos, 0,53 con flanco izquierdo y 0,7 con lomo posterior negro.

Figura 3. Correlaciones entre temperaturas superficiales del cuello, pecho, flanco y lomo de pelaje blanco y negro, la vulva y la ubre de vacas holstein



En las figuras 4, 5, 6 y 7 se muestra la relación del THSW y hora del día con la temperatura superficial máxima del cuello, LA, LM y LP en los colores blanco y negro. En la figura 4 se observa que a horas de mayor THSW (27 °C entre las 13 y las 15 h) se presentó la máxima temperatura superficial del cuello color blanco (32,5 °C), diferen-

te a la máxima temperatura superficial del cuello negro (34,5 °C), que se presentó a un THSW de 18 °C a las 9 h. La temperatura superficial del LA también fue mayor a horas de mayor THSW (figura 5); fue de 36,5 °C en color negro y 34,1 °C en color blanco, ambas mayores con respecto a la temperatura superficial del cuello.

Figura 4. Relación del índice de temperatura, humedad, velocidad del viento y radiación (THSW) y hora del día con la temperatura superficial (escala de 20 °C en amarillo hasta 45 °C en rojo) del cuello de color negro y blanco en vacas holstein

Figura 5. Relación de temperatura, humedad, velocidad del viento y radiación (THSW) y hora del día con la temperatura superficial (escala de 20 °C en amarillo hasta 45 °C en rojo) en la parte anterior del lomo de color negro o blanco en vacas holstein

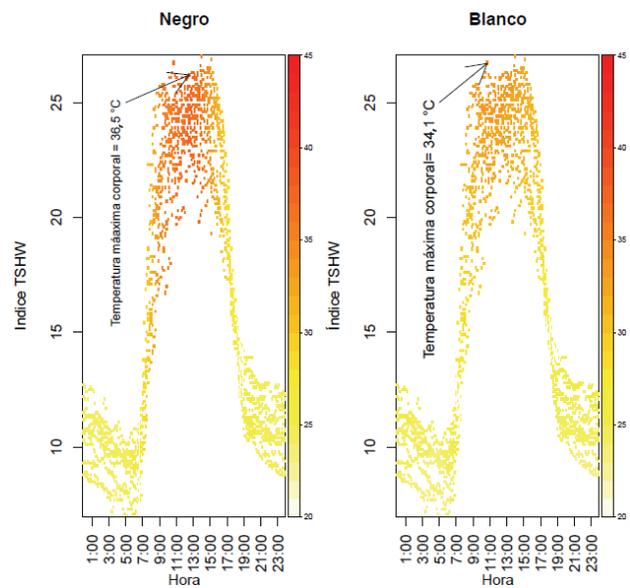
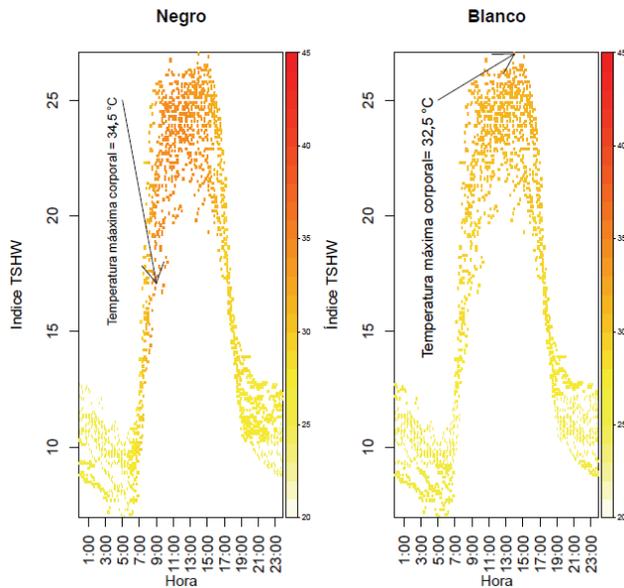


Figura 6. Relación de temperatura, humedad, velocidad del viento y radiación (THSW) y hora del día con la temperatura superficial (escala de 20 °C en amarillo hasta 45 °C en rojo) en la parte media del lomo de color negro o blanco en vacas holstein

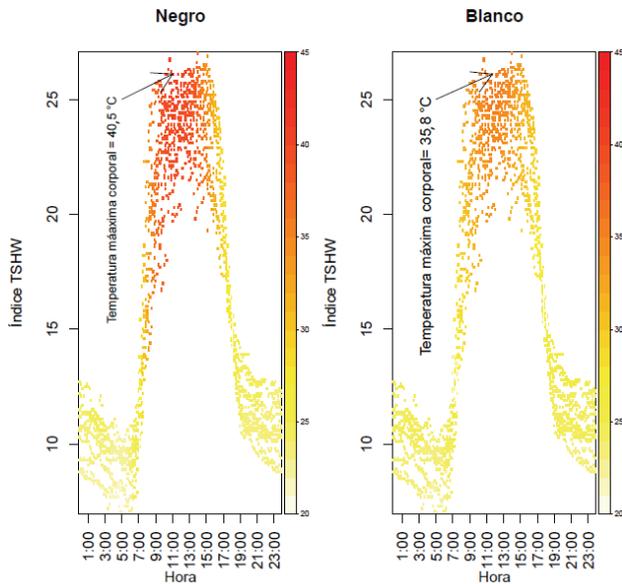
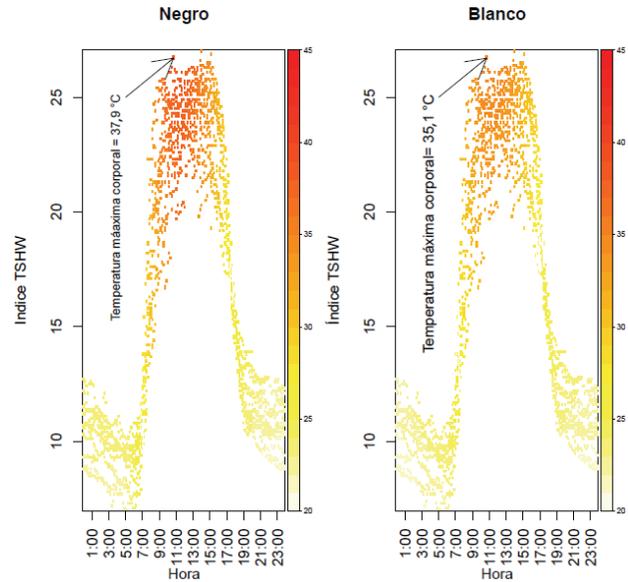


Figura 7. Relación de temperatura, humedad, velocidad del viento y radiación (THSW) y hora del día con la temperatura superficial (escala de 20 °C en amarillo hasta 45 °C en rojo) en la parte posterior del lomo de color negro o blanco en vacas holstein



Por su parte, la temperatura superficial del LM (figura 6), al igual que el cuello y el lomo anterior, es mayor a horas de mayor THSW; fue de 40,5 °C en color negro y 35,8 °C en color blanco. Se destaca que además de ser mayores con respecto a cuello y lomo anterior, la diferencia entre lomo medio de color negro y lomo medio de color blanco (5 °C) es también mucho mayor que la diferencia entre cuello negro y cuello blanco (2 °C) y entre lomo anterior negro y lomo anterior blanco (3 °C).

Finalmente, la temperatura superficial del lomo posterior también fue mayor a horas de mayor THSW (figura 7): 37,9 °C para el color negro y 35,1 °C para el color blanco, una diferencia de temperatura superficial entre colores muy similar a la del lomo anterior (3 °C), aunque las temperaturas superficiales fueron mayores para LP con respecto a LA.

DISCUSIÓN

En la tabla 1 la trayectoria de las variables T, H, R, W durante las horas de la tarde (13 a 15 h) indican temperaturas ambientales por encima de la zona de confort térmico (5 a 15 °C), pero no del umbral térmico máximo (25 °C) en la vaca holstein (14); valores mínimos de H se presentaron en las de mayor T a partir de la cual según Berman (15), la eficiencia de las vías respiratorias para eliminar calor y la del enfriamiento evaporativo se reducen (> 45 % y 55 %, respectivamente).

Las altas temperaturas superficiales del LM (figura 6) pueden deberse a que esta es la región anatómica donde está ubicado el rumen, por lo que se combinan efectos tanto del pelaje como de la fisiología del animal, debido al calor metabólico producido. Por eso es importante

ofrecer sombra a los animales, independiente de su color de pelaje, pues a pesar de que los animales de color negro tienden a aumentar mucho más su temperatura corporal con respecto a los de color blanco, generalmente presentan pieles bien pigmentadas, lo que los hace más resistentes a la radiación ultravioleta. Esto es contrario al caso de animales blancos, pues a pesar de disipar mucho mejor el calor, suelen tener pieles despigmentadas, lo que los hace susceptibles a desarrollar lesiones cutáneas y tumores (16).

El color de la capa de pelo tiene un efecto sobre la temperatura superficial en el cuello y el lomo, ya que está directamente relacionado con la cantidad de calor absorbida de la radiación solar (17), la cual tuvo el mismo comportamiento a lo largo del día que la temperatura ambiental y el THSW. Se destaca en todos los casos la prevalencia de temperatura superficial más alta para el color negro respecto al color blanco, independientemente del punto anatómico evaluado. Esto concuerda con algunos estudios que han demostrado que los colores oscuros en el pelaje del ganado *Bos taurus* captan mayor calor ambiental respecto a los claros (3,4).

Esto cobra mayor importancia si se tiene en cuenta que los animales con colores claros son menos sensibles al ambiente cálido que aquellos en los que predomina el color negro. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Leyva et al. (18), quienes evaluaron el efecto del color del pelaje sobre la frecuencia respiratoria en ganado lechero en condiciones cálidas, y encontraron también que los animales con pelaje predominantemente oscuro presentaron mayor frecuencia respiratoria que los animales con predominancia de color claro. Otros autores han evaluado el efecto del color del pelaje en vacas holstein y su influencia en diferentes variables. Hansen (19), por ejemplo, encontró interacciones entre el color y el medio ambiente; las vacas blancas expuestas al sol sin sombra mostraron pequeños cambios en las variables fisiológicas y pérdidas menores en la producción de leche, en comparación con las vacas que eran de color negro. Maia et al. (20), por otro lado, reportaron que la producción de leche en su mayoría (> 70%) proveniente de vacas de pelaje

blanco tiende a ser mayor que en vacas en las que predomina el pelaje negro, mientras que el número de inseminaciones por concepción disminuyó cuando aumentó el porcentaje de zonas de pelaje negras en los animales (21).

Es importante tener en cuenta, además, que en ganado holstein la coloración del pelaje es altamente heredable; es una alternativa de selección en hatos lecheros para contrarrestar los efectos negativos de los climas cálidos. Sin embargo, Bertipaglia, Silva y Maia (21) concluyeron que el color no es la característica principal que se debe observar para elegir el fenotipo de vacas holstein que toleran mejor el calor, sino que depende también del grosor y largo del pelo, ya que aquellos con cabellos menores a 2 mm son los más aptos para ambientes tropicales. Esto coincide en parte con Pellecer (22), quien encontró en un estudio en el que se evaluó si el corte del pelaje influía en la producción y la frecuencia respiratoria, que la producción de leche fue mayor en vacas cuyo pelaje había sido cortado con 17,6 kg/d en comparación con las de pelaje largo con 16,6 kg/d; la temperatura rectal fue menor con 38,38 vs. 38,7 °C, y la frecuencia respiratoria con 69,6 vs. 81,4 respiraciones por minutos fueron menores. Este mismo autor también encontró que las vacas testigo (sin corte del pelaje) presentaron menor temperatura sobre el cuello con 36,4 vs. 36,8 °C, sobre la fosa paralumbar izquierda con 36,9 vs. 37,4 °C, y en el color blanco sobre su lomo con 36,3 vs. 37,3 °C, lo que sugiere que, además del color, el largo del pelo influye en la temperatura superficial de los animales.

CONCLUSIONES

Se concluye que el índice THSW tiene efecto diferenciado en la temperatura superficial corporal de acuerdo con el color del pelaje de las vacas (blanco o negro); los puntos negros fueron los que registraron mayores temperaturas. Por eso es importante realizar estudios en los que se incluya, además del efecto de la temperatura y otros factores meteorológicos, el color y largo del pelaje sobre las respuestas fisiológicas, como la frecuencia respiratoria y la productividad en el entorno.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero al Grupo Investigación en Sistemas Agroambientales Sostenibles (GISAS) y a la Estrategia para la Sostenibilidad 2016, del Grupo de Investigación en Genética, Mejoramiento y Modelación Animal (GaMMA). Igualmente agradecen a la Fundación Universitaria San Martín por su apoyo a la formación de estudiantes de posgrado y al Programa Jóvenes Investigadores e Innovadores de Colciencias (convocatoria 645 de 2014).

REFERENCIAS

- Johnson H, Kibler H, Ragsdale A, Berry I, Shanklin M. Role of heat tolerance and production level in responses of lactating Holsteins to various temperature-humidity conditions. *J Dairy Sci.* 1961;44(supl.):1191.
- Legates J, Farthing B, Casady R, Barrada M. Body temperature and respiratory rate of lactating dairy cattle under field and chamber conditions. *J Dairy Sci.* 1991;74(8):2491-500. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78426-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78426-9)
- Brown-Brand T, Eigenberg R, Nienaber J. Heat stress risk factors of feedlot heifers. *Liv Sci.* 2006;105(1-3):57-68. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.04.025>
- Brown-Brand T, Jones D. Development and validation of an animal susceptibility model. An American Society Agricultural and Biological Engineers Meeting Presentation [internet]; 2007 [citado 2016 abr 21]. Disponible en http://www.ars.usda.gov/sp2UserFiles/Place/54380560/Publications/animal_model.pdf
- Becerril C, Campos M, Wilcox C, Hansm P. Effects of white coat color percentage on milk and fat productions of Holstein cows. *J Dairy Sci.* 1991;74(supl. 1):226. (Abstr.)
- Stewart R. Absorption of solar radiation by the hair of cattle. *J Agr Eng Res.* 1953;34:235-238
- Shearer J, Beede D. Heat stress. 2. Effects of high environmental temperature on production, reproduction, and health of dairy cattle. *Agri-Practice.* 1990;11:5-17. <https://doi.org/10.1080/00431672.1959.9926960>
- Thom E. The discomfort index. *Weatherwise.* 1959;12(2):57-61.
- Lenis Sanin, Zuluaga A, Tarazona M. Adaptive responses to thermal stress in mammals. *Rev Med Vet.* 2016;(31):121-35.
- Steadman R. The assessment of sultriness. Part II: effect of wind, extra radiation and barometric pressure on apparent temperature. *J Appl Meteorol.* 1979;18:874-85. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1979\)018<0874:TAOSPI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1979)018<0874:TAOSPI>2.0.CO;2)
- Hastie T, Tibshirani R. Generalized additive models. Londres: Chapman & Hall; 1990.
- Wood S. Mixed GAM computation vehicle with GCV/AIC/REML smoothness estimation and GAMMs by REML/PQL [internet]. 2011 [citado 2016 abr 21]. Disponible en: <http://stat.ethz.ch/R-manual/R-patched/library/mgcv/html/mgcv-package.html>
- R Core Team. RA language and environment for statistical computing [internet]. Viena, Austria; 2016 [citado 2016 abr 21]. Disponible en: <https://www.R-project.org/>
- Hahn G. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *J Dairy Sci.* 1999;82:10-20.
- Berman A. Extending the potential of evaporative cooling for heat-stress relief. *J Dairy Sci.* 2006;89:3817-25. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72423-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72423-7)
- Silva R. Estimativa do balanço térmico por radiação em vacas Holandesas expostas ao sol e à sombra em ambiente tropical. *Rev Bras Zoot.* 1999;6:1403-11. <https://doi.org/10.1590/S1516-35981999000600031>
- Finch V. Body temperature in beef cattle: its control and relevance to production in the tropics. *J Anim Sci.* 1986;62(2):531-42. <https://doi.org/10.2527/jas1986.622531x>
- Leyva Corona J, Osuna J, Avalos R, Morales I. Frecuencia respiratoria en ganado holstein con diferente color de pelaje. Memorias del XX Congreso Internacional sobre Producción de Carne y Leche en Climas Cálidos. Sitio Argentino de Producción Animal [internet]; 2010 [citado 2016 abr 2016]. Disponible en: http://www.produccion-animal.com.ar/clima_y_ambientacion/67-Respiracion_vacas.pdf

19. Hansen P. Effects of coat colour on physiological responses to solar radiation in Holsteins. *Vet Rec.* 1990;127(13):333-4.
20. Maia A, Silva R, Bertipaglia E, Cerón-Muñoz M. Genetic variation of the hair coat properties and the milk yield of Holstein cows managed under shade in a tropical environment. *Braz J Vet Res An Sci.* 2005;42(3):180-7.
21. Bertipaglia E, Silva R, Maia A. Fertility and hair coat characteristics of Holstein cows in a tropical environment. *Anim Reprod.* 2005;2(3):187-94.
22. Pellecer H. Efecto del corte de pelo en ganado lechero sobre el consumo de alimento y la producción de leche [proyecto especial de graduación del Programa de Ingeniería Agrónoma]. Zamorano, Honduras: Escuela Agrícola Panamericana; 2010.