

THE JOURNAL OF AGRICULTURE OF THE UNIVERSITY OF PUERTO RICO

Issued biannually by the Agricultural Experiment Station of the University of Puerto Rico, Mayagüez Campus, for the publication of articles and research notes by staff members or others, dealing with scientific agriculture in Puerto Rico and elsewhere in the Caribbean Basin and Latin America.

VOL. 100

JANUARY 2016

No. 1

Evaluación de la capacidad termorreguladora en bovinos lecheros Holstein pelona puertorriqueña, Holstein normal y Jersey^{1,2}

*Jaime E. Curbelo-Rodríguez³, Valeria Rodríguez-Cruz⁴
y Abel Almeida-Montenegro⁴*

J. Agric. Univ. P.R. 100(1):1-12 (2016)

RESUMEN

Se evaluó la capacidad termorreguladora de vacas lecheras Holstein de pelo normal (HLS; n=4), Holstein pelona puertorriqueña (HPP; n=4) y Jersey (JRS; n=4) bajo un sistema comercial de producción de leche en el trópico. La temperatura vaginal (TV) se monitoreó utilizando 'HOBO data loggers' por un periodo de cuatro días consecutivos bajo manejo regular del hato. Además, se determinó la temperatura superficial de cada animal por dos horas bajo un sistema de enfriamiento evaporativo utilizando una cámara termográfica. Las vacas HPP tuvieron menor TV promedio que las vacas HLS ($p < 0.05$) en cada uno de los días y cada hora durante un ciclo diurno de 24 horas, mientras las JRS presentaron TV intermedia relativo a HPP y HLS. La TV promedio abarcando los 4.7 días de estudio difirió entre los tres grupos raciales ($p < 0.0181$), siendo 38.87 ± 0.02 , 39.18 ± 0.03 y 39.35 ± 0.02 °C los valores promedio \pm error estándar de HPP, JRS y HLS, respectivamente. Al exponerse a enfriamiento evaporativo, las vacas HPP y JRS presentaron menor TV que las HLS ($p < 0.0001$), sin embargo, no se registraron diferencias en temperatura superficial entre los grupos raciales. Los resultados indican que las vacas HPP poseen capacidad termorreguladora superior a la de

¹Manuscrito sometido a la junta editorial el 18 de septiembre de 2015.

²Este trabajo fue financiado por el 'USDA-National Institute of Food and Agriculture', bajo el número de otorgación 2011-36100-0609, proyecto AH-02. Se agradece a la empresa Tai South Farm por facilitar sus instalaciones para esta investigación.

³Catedrático Asociado, Departamento de Ciencia Animal. Especialista en Ganado Lechero, Servicio de Extensión Agrícola. Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez. e-mail: jaimee.curbelo@upr.edu.

⁴Exestudiante Graduado, Departamento de Ciencia Animal. Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez.

las HLS y JRS bajo condiciones locales de manejo, siendo la raza HLS la de inferior capacidad termorreguladora. Es necesario realizar estudios donde se cuantifique el efecto de la capacidad termorreguladora superior observada en HPP sobre la eficiencia alimenticia, desempeño productivo y reproductivo, relativo a HLS, para determinar si es justificable o no el uso de HLS en sistemas de producción de leche en regiones tropicales.

Palabras clave: Puerto Rico, termografía infrarroja, estrés por calor, temperatura vaginal, enfriamiento evaporativo

ABSTRACT

Evaluation of the thermoregulatory capacity of Puerto Rican slick Holstein, normal Holstein and Jersey cows

This study assessed the thermoregulatory capacity of normal-haired Holstein (HLS; n=4), Puerto Rican slick-haired Holstein (HPP; n=4) and Jersey (JRS; n=4) cows in a tropical commercial dairy herd. The vaginal temperature (VT) was monitored using HOBO data loggers for a period of 4.7 consecutive days under regular herd management. In addition, the surface temperature of each animal was determined for two hours under an evaporative cooling system using a thermography camera. The HPP cows had a lower mean VT relative to HLS cows ($p < 0.05$) on each day and hourly during a 24-h diurnal cycle, while JRS cows presented intermediate values relative to HPP and HLS cows. Overall, the 4.7-day study differed among the three groups ($p < 0.0181$), with mean \pm standard error values for HPP, JRS and HLS of 38.87 ± 0.02 , 39.18 ± 0.03 and $39.35 \pm 0.02^\circ \text{C}$, respectively. When exposed to an evaporative cooling system, the HPP and JRS cows showed lower VT than HLS ($p < 0.0001$); however, no differences were found in surface temperature among racial groups. The results indicate that HPP cows have a greater thermoregulatory capacity relative to HLS and JRS under local management conditions, while HLS cows have the poorest. Additional studies are needed to determine the effect of the superior thermoregulatory capacity observed in HPP cows on feed efficiency, productive and reproductive performance to justify the use of HLS in tropical dairy production systems.

Key words: Puerto Rican slick Holstein, infrared thermography, heat stress, vaginal temperature, evaporative cooling

INTRODUCCIÓN

Las condiciones ambientales tropicales, como lo son altas temperaturas combinadas con alta humedad, limitan la eficiencia termorreguladora en el ganado bovino lechero (West, 2003). Durante escenarios prolongados de estrés por calor, este ganado exhibe reducción en el consumo de materia seca, inactividad física y aumentos en la tasa respiratoria, flujo de sangre periférica y la transpiración (West, 2003). Estas respuestas están asociadas a la vez con reducción en la producción de leche (Bourauoi et al., 2002); disminución en la eficiencia reproductiva (Jordan, 2003); detrimento del estado inmunológico (do Amaral et al., 2011); alteraciones metabólicas (Wheelock et al.,

2010); y deterioro al bienestar animal (National Animal Welfare Advisory Committee, 2010); entre otros factores. St-Pierre et al. (2003) estimaron las pérdidas económicas de las principales industrias ganaderas en los Estados Unidos por estrés hipertérmico en \$900 millones anuales. Según Wheelock et al. (2010), el estrés por calor se tornará en una preocupación aún mayor en sistemas de producción de leche bovina debido a la progresiva tendencia hacia ambientes más cálidos mientras la producción de calor metabólico (calor corporal) también aumenta. Sobre todo, animales seleccionados intensivamente para rasgos de producción, como el ganado de raza Holstein, son más vulnerables al estrés por calor debido a que el calor metabólico aumenta según el nivel de producción aumenta (Berman et al., 1985; Hahn, 1995).

A pesar de múltiples estrategias implementadas para aliviar los efectos negativos del estrés por calor, el ganado lechero en Puerto Rico continúa experimentando los efectos del mismo y las consiguientes pérdidas en producción de leche y pobre eficiencia reproductiva, especialmente durante los meses de verano. En trabajos colaborativos entre la Universidad de Florida (Gainesville) y el Servicio de Extensión Agrícola de la Universidad de Puerto Rico, realizados por el Dr. José Pantoja (Especialista en Ganado Lechero, retirado), se identificaron varios ejemplares de ganado de la raza Holstein de fenotipo pelo corto en Puerto Rico. Se teoriza que estos animales resultaron de cruces entre ganado Criollo y Holstein a través de múltiples generaciones. Ganaderos de la región de Arecibo (región al norte de la isla y alta en producción de leche) atribuyen a vacas con dicho fenotipo mayores tasas de concepción, dedicación de más tiempo a pastorear durante el día y mayor producción de leche relativo a sus contemporáneas Holstein de pelo normal. Estos planteamientos recibieron apoyo adicional por estudios realizados utilizando registros del DHIA (Dairy Herd Improvement Association) (Pantoja, J., retirado, Servicio Extensión Agrícola, Comunicación Personal).

Las razas de ganado bovino lechero comúnmente empleadas en Puerto Rico son la Holstein y Jersey. Mundialmente, el ganado bovino Holstein representa la raza de mayor producción de leche por vaca, sin embargo, relativo a sistemas lecheros en regiones templadas, la producción local alcanzada por esta raza es significativamente menor, al menos en parte a causa del estrés por calor. La raza Jersey es de menor tamaño corporal y de nivel productivo intermedio, relativo a la raza Holstein. Sin embargo, su menor tamaño y características del pelaje (relativamente corto) pudieran proveer superior capacidad termorreguladora. En el presente estudio se comparó la capacidad termorreguladora entre tres grupos raciales: vacas Holstein de fenotipo normal

(HLS), Holstein pelona puertorriqueña (HPP) y Jersey (JRS) bajo un sistema de producción lechera tropical.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo durante siete días consecutivos del mes de junio de 2014 en un hato lechero comercial (Tai South Farm) ubicado en el municipio de Lajas, al suroeste de Puerto Rico. La temperatura ambiental promedio durante este periodo fue de 29.4° C y la humedad relativa de 71%. Del total de vacas lactantes del hato, se escogieron cuatro de cada grupo de vacas HLS, HPP y JRS. Estas fueron balanceadas según el número de lactancias (HLS=2.75±0.5; HPP=2.5±0.57; JRS=2.75±0.5); producción de leche, en L/día (HLS=10.6± 0.62; HPP=10.5±1.27; JRS=7.9±0.50); peso vivo, en kg (HLS=540±17.4, HPP=589±33.5, JRS=421±18.6); y días en leche (HLS=155.5±40.0, HPP=185.89±33.5, JRS=128.8±31.8). Todas las vacas estaban vacías (no preñadas) durante el periodo del estudio.

Para medir la temperatura vaginal (TV), se utilizaron termómetros 'HOBO Water Temp Pro' (Onset Computer Corp; Bourne, MA)⁵ introducidos en la cavidad vaginal. Se programaron los mismos para registrar la temperatura cada 15 min. Cada termómetro fue empotrado en un sistema de anclaje de látex con ocho brazos (octopus) para evitar que saliera de la cavidad vaginal. El octopus y los termómetros se desinfectaron con detergente, se secaron y luego se rociaron con alcohol 24 horas antes de introducirse en la cavidad vaginal. Cada termómetro fue introducido en un octopus y guardado en una bolsa individual previamente identificada. Asépticamente se añadió lubricante a cada bolsa para reducir la contaminación del termómetro durante su manipulación antes de introducirlo en la cavidad vaginal. El área perivulvar se limpió vigorosamente con una toalla de tela que fue sumergida en solución de agua tibia con detergente suave antes de introducir los termómetros. Una vez libre de materia orgánica, se roció el área perivulvar con solución de yodo (25 ml/L), secándola posteriormente con toalla de tela individual. Una vez introducido el termómetro, se roció nuevamente el área con solución de yodo. Se mantuvo cada vaca bajo observación durante las primeras 48 h (periodo de aclimatización). Ningún animal mostró vaginitis ni secreciones purulentas. Los datos obtenidos luego del periodo de aclimatización (día 3 al día 7) fueron utilizados para determinar diferencias en TV entre los grupos raciales.

⁵Los nombres de compañías y de marcas registradas solo se utilizan para proveer información específica y su uso no constituye garantía por parte de la Estación Experimental Agrícola de la Universidad de Puerto Rico, ni endoso sobre otros productos o equipo que no se mencionan.

A las 14:00 h del día 7 del estudio, las vacas se movieron a la sala de espera (complejo de ordeño) donde estuvieron por 30 min a la sombra y luego se expusieron a un sistema de enfriamiento evaporativo por 2 h consecutivas. Este sistema constó de ventilación continua por abanicos y rociadores de agua accionados por 2 min a intervalos de 15 min. Antes y durante la exposición al sistema de enfriamiento, cada 30 min se registró la temperatura superficial del lado derecho de cada animal, utilizando una cámara termográfica FLIRe50 (FLIR Systems, Inc.; Oregon, EE.UU.). Las imágenes termográficas se analizaron con el programa FLIR Tools plus para Windows (FLIR Systems, Inc.). Se utilizaron los valores de temperatura infrarroja máxima (TIR_{max}), mínima (TIR_{min}) y promedio (TIR_{prm}) para el análisis estadístico.

Se utilizó un termómetro U23-01 HOBO T°/HR Logger (Onset Computer Corp; Bourne, MA). El índice temperatura-humedad (THI) fue calculado utilizando la siguiente fórmula (Ravagnolo y Misztal, 2000):

$$\text{THI} = (1.8 \times T + 32) - [(0.55 - 0.0055 \times \text{RH}) \times (1.8 \times T - 26)]$$

donde T=temperatura bulbo seco (°C) y RH= humedad relativa.

Para el análisis estadístico se utilizó un modelo lineal mixto con el PROC GLIMMIX considerando la variable vaca como efecto aleatorio al evaluar el efecto grupo racial y tiempo sobre la TV y la temperatura superficial, durante los periodos bajo manejo regular y bajo exposición al sistema de enfriamiento. Los valores promedio de temperatura para cada raza en cada tiempo se compararon para detectar posibles diferencias significativas ($p < 0.05$) utilizando la prueba de Tuckey.

RESULTADOS

Los parámetros ambientales registrados durante los cinco días de estudio y expresados como promedios diarios se presentan en la Figura 1. Se encontró un efecto interactivo ($p < 0.0001$) entre día y hora para cada una de las tres variables de temperatura, RH y THI. En cuanto a variación total en lecturas individuales, la temperatura fluctuó entre límites de 22.04 y 33.70° C; la HR entre 52.4% y 99.03%; y el THI varió 13.53 puntos a lo largo del estudio, entre 70.97 y 75.3.

Se observó un efecto interactivo de grupo racial por día ($p < 0.0001$) sobre la TV promedio a lo largo del estudio, al subir progresivamente los valores de HLS y HPP mientras los de JRS mostraron una tendencia decreciente, muy paralela a la curva de THI (Figura 2). Las vacas HPP presentaron menor TV en cada día del estudio relativo a las HLS (Figura 2); en cambio, sólo se observaron diferencias entre HPP y JRS durante los primeros dos días.

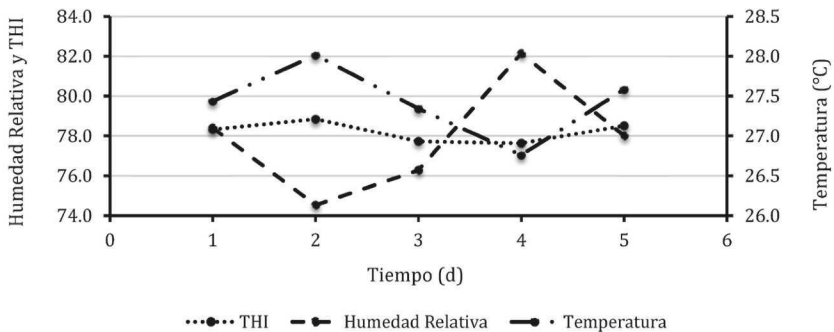


FIGURA 1. Promedio diario de tres parámetros ambientales observados durante el periodo de estudio.

También se encontró un efecto interactivo de hora del día por grupo racial ($p=0.0002$) sobre la TV, quedando la curva de JRS similar a las HLS durante las primeras tres horas y similarmente desde las 11:00 hasta las 24:00 h, mientras entre las 5:00 y las 9:00 h se acercó a la curva de HPP (Figura 3). El 87.5% del día (21 de las 24 horas individuales), las vacas HPP presentaron TV promedio significativamente menor que las HLS, mientras diferencias entre HPP y JRS ocurrieron únicamente durante los periodos con menor THI (21:00 a 04:00 h). La disminución en TV en todas las vacas experimentales durante las horas 6:00 y 18:00 corresponde a los intervalos de ordeños de la vaquería, cuando los animales son expuestos al sistema de enfriamiento evapora-

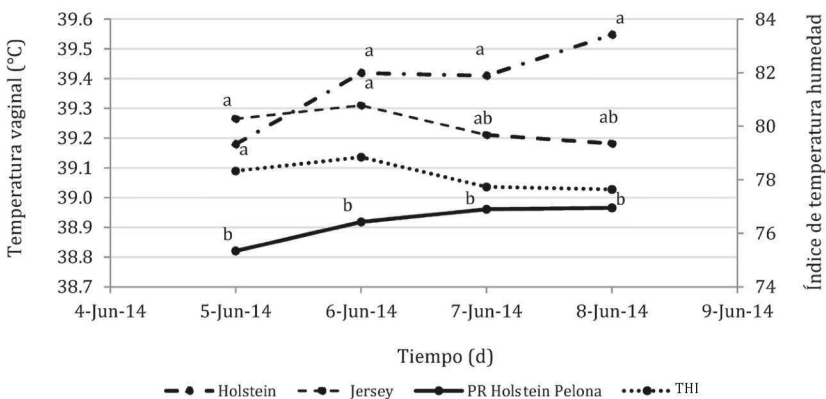


FIGURA 2. Promedios diarios de TV por grupo racial y el índice de temperatura-humedad durante cuatro días de estudio. Promedios de TV correspondientes a cada día con diferentes letras difieren significativamente ($p<0.05$).

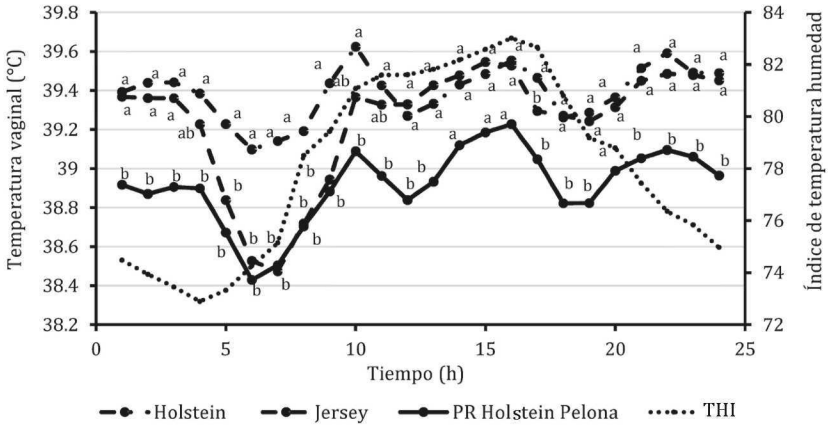


FIGURA 3. Temperatura vaginal promedio por hora diurna en vacas de tres grupos raciales durante el estudio y el índice de temperatura-humedad. Promedios a cada hora con diferentes letras difieren significativamente ($p < 0.05$).

tivo. Durante el ordeño de la mañana dicho efecto fue más marcado en vacas JRS (-0.89° C) relativo a las HPP (-0.47° C) y las HLS (-0.35° C). Sin embargo, durante el ordeño de la tarde (17:00-19:00), se observó un menor grado de pérdida de calor corporal, pero la TV disminuyó más en las vacas HPP (-0.40° C) relativo a las HLS (-0.29° C) y JRS (-0.25° C).

La TV promedio durante todo el estudio (4.7 días totales; incluyendo el periodo bajo sistema de enfriamiento) difirió entre los tres grupos raciales estudiados (Figura 4; $p < 0.0001$), siendo $38.87 \pm 0.02^\circ \text{C}$, $39.18 \pm 0.03^\circ \text{C}$ y $39.35 \pm 0.02^\circ \text{C}$ el promedio \pm error estándar de HPP, JRS y HLS, respectivamente. En promedio, las vacas HPP mantuvie-

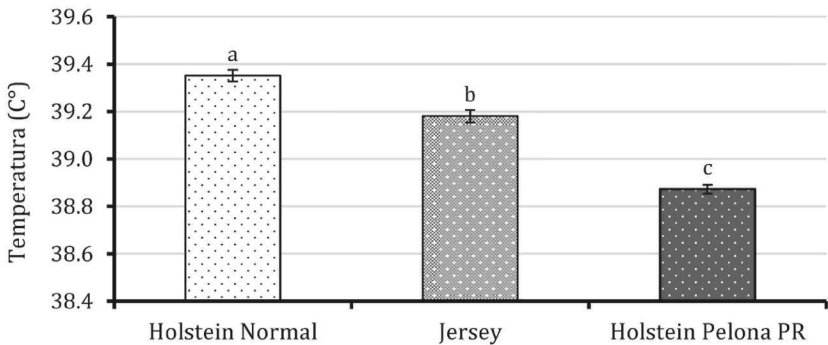


FIGURA 4. Temperatura vaginal promedio durante 4.7 días de observaciones de tres grupos raciales. Promedios con diferentes letras difieren significativamente ($P < 0.05$).

ron su TV 0.33°C menor que las JRS y 0.47°C menor que las HLS; mientras que las JRS tuvieron 0.14°C menos que las HLS.

Al movilizar los animales desde sus respectivos ranchos de alimentación a un rancho con sombra, donde estuvieron por 30 min, y posteriormente a la sala de espera, donde fueron expuestas al sistema de enfriamiento evaporativo, no se detectó interacción entre grupo racial y tiempo ($p=0.9883$) ni efecto principal de tiempo ($p=0.0531$) sobre la TV (Figura 5). Sin embargo, hubo un efecto principal de grupo racial ($p<0.0001$), con vacas HPP y JRS presentando menores valores que las HLS ($p<0.0001$), mientras estos dos últimos grupos no difirieron entre sí ($p=0.7318$), a excepción del tiempo 0.0. La determinación de la temperatura superficial de cada animal con una cámara termográfica a intervalos de 30 min durante 2.5 h no permitió establecer diferencias significativas entre los grupos raciales (Figura 6), encontrándose probabilidades para TIRmax, TIRmin y TIRprm de $p=0.1575$, $p=0.0952$ y $p=0.1575$, respectivamente. Las correlaciones entre la TV y TIRmax, TIRmin, y TIRprm, con su probabilidad, fueron $r=0.20$ ($p=0.1121$); $r=0.40$ ($p=0.0013$); $r=0.30$ ($p=0.0206$), respectivamente; por lo tanto, estas dos últimas correlaciones aunque solo módicamente altas, alcanzaron significancia.

DISCUSIÓN

El estrés por calor afecta negativamente la salud, bienestar, desempeño reproductivo y productivo en los vacunos lecheros. Se ha fijado el THI de 68 puntos como valor de partida del cual esta clase de animal

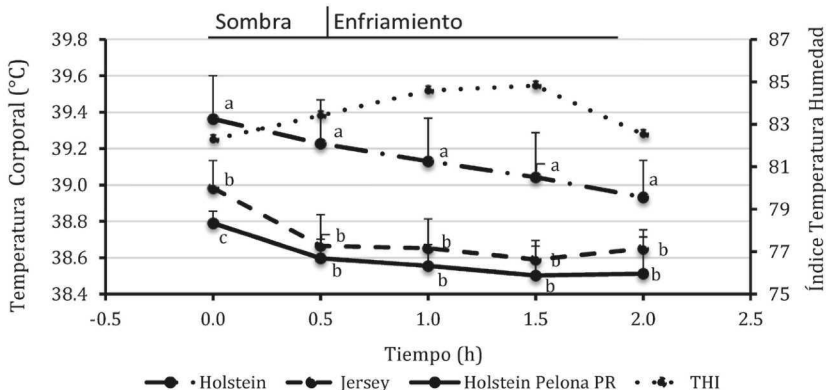


FIGURA 5. Temperatura vaginal promedio de vacas de tres grupos raciales a la sombra y luego de expuestas a enfriamiento evaporativo por 0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 horas y el índice temperatura-humedad. Promedios a cada hora con diferentes letras difieren significativamente ($p<0.05$).

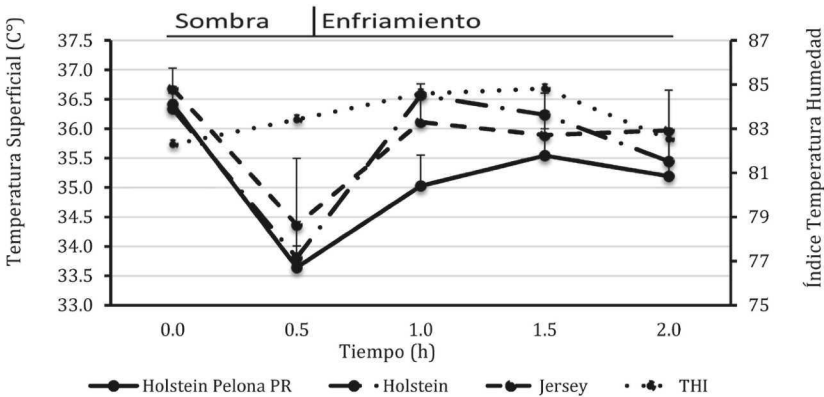


FIGURA 6. Temperatura superficial infrarroja máxima promedio de vacas de tres grupos raciales a la sombra y luego de expuestas a enfriamiento evaporativo por 0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 h. No se observó diferencia significativa ($p>0.05$) entre grupos raciales.

comienza a experimental estrés hipertérmico (Zimelman et al., 2009). Bajo las condiciones de la presente investigación, las vacas estuvieron expuestas a estrés por calor durante todo el día, incluso durante los periodos más frescos. Aún el THI mínimo registrado durante el periodo de estudio (70.9) representa un estrés leve, mientras los valores máximos observados (75.5) imponen al ganado un estrés moderado. Comparativamente, en la región noroeste de Puerto Rico durante la misma época (mayo a junio), el THI mínimo y máximo registrado en un hato lechero comercial fue de 71.7 y 82.9. El presente THI refleja menor HR, característica del sur de Puerto Rico (Lajas).

Un hallazgo fundamental del presente estudio fue la menor TV promedio por día observada en vacas HPP relativo a las HLS (Figura 2). Castro et al. (2015) reportaron que vacas lecheras con pelaje corto, además de poseer menor TV, también presentan menor tasa respiratoria relativa a sus contemporáneas de pelo normal. Características anatómicas del pelaje (Olson et al., 2003) y mayor tasas de sudoración (Dikmen et al., 2008) pudieran explicar en parte la diferencia en TV observada entre HPP y HLS. Diferencias análogas entre HPP y JRS solo ocurrieron los primeros dos días, coincidiendo con los días de mayor THI (Figura 2). Este resultado pudiera indicar que el ganado HPP posee superior capacidad termorreguladora a THI elevados (i.e., 78; Figura 2). El grado de respuesta (TV) al THI promedio por día varió entre los grupos raciales. De hecho, la TV de las vacas HLS no mostró asociación con el THI y tiempo actual ($r=0.066$; $p=0.19$) ni con el THI de dos días antes ($r=0.11$; $p=0.25$). En cambio, se observó dicha asociación para el THI del mismo día en vacas HPP ($r=0.24$; $p<0.0001$) y JRS

($r=0.27$; $p<0.0001$). Esta respuesta pudieran explicarse en parte por las características del pelaje. El principal mecanismo de disipación de calor del ganado bovino en sistemas tropicales de producción de leche lo es el enfriamiento evaporativo (Gebremedhin y Wu, 2002). Sin embargo, este proceso es afectado por las condiciones ambientales y factores del animal, tales como características del pelaje (e.g., densidad, longitud, color; Gebremedhin et al., 2008). Vacas HPP poseen un pelaje más corto relativo a las HLS, lo cual permite una mayor tasa de evaporación (Dikmen et al., 2008). La mayor densidad y largo del pelaje en vacas HLS disminuye su capacidad de disipar el calor corporal expeditamente. El almacenamiento de calor por periodos prolongados podría relacionarse con la falta de asociación detectable entre los parámetros ambientales estudiados y la TV. En vacas lecheras adaptadas a regiones tropicales, Boonkum y Duangjinda (2015) observaron disminución en la producción de leche a partir de un THI de 74, lo que es mayor al previamente propuesto valor de 68 puntos (Zimbelman et al., 2009). Este resultado sugiere que el THI crítico debe ser evaluado en vacas HPP para orientar el desarrollo de protocolos de enfriamiento en hatos lecheros donde se incorpore este grupo racial.

Mientras las vacas HPP presentaron TV promedio por hora significativamente menor que las HLS, se observaron diferencias entre HPP y JRS únicamente durante los periodos más frescos del día (04:00 a 22:00; Figura 3). La mayor pérdida de calor corporal observada durante la exposición a sistema de enfriamiento durante horas de la mañana en vacas JRS, relativo a las HPP y HLS, podría ser resultado de una combinación de características del pelaje y tamaño corporal. Las vacas JRS poseen un pelaje más corto y son de menor tamaño relativo a las vacas Holstein (respectivos valores de 539.8 ± 17.4 kg, versus 421 ± 18.6 kg en el presente caso).

Diferencias en el patrón de TV entre grupos raciales como respuesta al enfriamiento recibido durante los dos ordeños diarios (AM vs. PM) pudieran deberse al efecto de las condiciones ambientales. La mayor pérdida de calor observada durante el periodo de enfriamiento matutino pudo relacionarse al menor THI durante este periodo relativo al observado durante la exposición a enfriamiento vespertino (Figura 3). Los ambientes con HR elevada disminuyen la capacidad termorreguladora por evaporación del ganado lechero (West, 2002). Durante el periodo de enfriamiento PM, los animales permanecían expuestos a una HR de aproximadamente 83% (dato sin presentar). Las vacas HPP se mostraron menos influenciadas por este escenario relativo a las JRS, lo que sugiere la presencia de mecanismos alternos termorreguladores. La TV de estos grupos raciales fue similar durante el periodo de enfriamiento acompañado por una menor HR, mien-

tras al exponerse a elevada HR, las vacas HPP evidenciaron mayor pérdida de calor corporal relativo a las JRS. El alza en TV en vacas HPP luego del ordeño PM fue menor comparado con la del ordeño AM; lo que refleja la reducida capacidad de disipación de calor cuando los bovinos lecheros son expuestos a alta HR. El bovino lechero pelón utiliza la evapotranspiración (mayor tasa de sudoración) como su principal mecanismo de disipación de calor corporal (Dikmen et al., 2008), por lo que métodos alternos de enfriamiento, tales como ventilación y sombra, pudieran proveer mayor beneficio tanto al ganado (bienestar), como al productor (económicamente) y al ambiente (menos utilización de agua).

Se observó que todos los animales tendieron a disminuir su TV y superficial de manera similar inmediatamente expuestos al enfriamiento evaporativo (Figura 6). La TV de vacas HPP fue menor que las de JRS y HLS. La temperatura del pelaje registrada a tiempo 0.0 y 0.5 h corresponde a las observaciones antes y después de la exposición al agua rociada, respectivamente. La temperatura de la piel de los animales fue aproximadamente 2.0° C menor que la vaginal (Figura 6). La temperatura registrada en el tiempo 0.5 h corresponde a la del agua de riego. A medida que aumentó el tiempo de contacto con agua sobre la piel, la temperatura de esta aumentó hasta reflejar la TV del animal, la cual se alcanzó luego del tiempo 1.0 h. A dicho punto, la temperatura de la piel fue menor en las vacas HPP relativo a las HLS, pero no a las JRS ($p=0.17$). Estos efectos de pelaje corto concuerdan con observaciones de Dikmen et al. (2014). Luego de 1 h de contacto del agua de riego sobre la piel, se observó una disminución en la temperatura superficial. Posiblemente, la pérdida de calor por el mecanismo conductivo alcanza su máximo luego de 1 h de contacto con el agua.

El perfil térmico de las vacas HPP evaluadas hasta el presente es prometedor, pero debe ser caracterizado utilizando un mayor número de animales y bajo diferentes escenarios ambientales con miras a desarrollar estrategias de enfriamiento evaporativo de manera costo eficiente. La superior capacidad de disipar calor bajo exposición a un sistema de enfriamiento en condiciones de THI bajo, observada en las vacas JRS, sugiere que esta raza de menor tamaño corporal que la Holstein representaría una ventaja para uso en hatos lecheros implementando sistemas de enfriamiento evaporativo. Otra posible estrategia para implementar en sistemas de producción lechera tropical podría ser usar animales cruces de los dos grupos raciales Holstein, el HPP de superior características termorreguladoras y el HLS de superior mérito genético, procurando a la vez reducir el tamaño corporal. Los presentes resultados colocan en perspectiva el uso de ganado lechero Holstein (de pelo normal) para la producción de leche en regiones tropicales.

LITERATURA CITADA

- Berman, A., Y. Folman, M. Kaim, M. Mamen, Z. Herz, D. Wolfenson, A. Arieli y Y. Graber, 1985. Upper critical temperatures and forced ventilation effects for high-yielding dairy cows in a subtropical climate. *J. Dairy Sci.* 68: 1488-1495.
- Boonkum, W. y M. Duangjinda, 2015. Estimation of genetic parameters for heat stress, including dominance gene effects, on milk yield in Thai Holstein dairy cattle. *J. Anim. Sci.* 86: 245-250.
- Bouroufi, R., M. Lahmar, A. Majdoub, M'N. Djemali y R. Belyea, 2002. The relationship of temperature-humidity index with milk production of dairy cows in a Mediterranean climate. *Anim. Res.* 51(6): 479-491.
- Castro, A., G. Muñiz, J. Curbelo, M. Pagán, A. Mesonero, A. de Jesus, N. Lluch y H. Sánchez, 2015. Effect of the environmental conditions over the vaginal temperature and respiration rate on wild type and slick-haired Puerto Rican Jersey cows. Joint Annual Meeting ADSA ASAS. 12-16 de julio de 2015, Orlando, Fla.
- Dikmen, S., E. Alava, E. Pontes, J. M. Fear, B. Y. Dikmen, T. A. Olson y P. J. Hansen, 2008. Differences in thermoregulatory ability between slick-haired and wild-type lactating Holstein cows in response to acute heat stress. *J. Dairy Sci.* 91(9): 3395-402.
- Dikmen, S., F. A. Khan, H. J. Huson, T. S. Sonstegard, J. I. Moss, G. E. Dahl y P. J. Hansen, 2014. The SLICK hair locus derived from Senepol cattle confers thermotolerance to intensively managed lactating Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 97(9): 5508-20.
- do Amaral, B. C., E. E. Connor, S. Tao, M. J. Hayden, J. W. Bubolz y G. E. Dahl, 2011. Heat stress abatement during the dry period influences metabolic gene expression and improves immune status in the transition period of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 94: 86-96.
- Gebremedhin, K. G. y B. Wu, 2002. Sensible and latent heat losses from wet-skin surface heat fur layer. *J. Thermal Biology* 27(4): 291-297.
- Gebremedhin, K. G., P. E. Hillman, C. N. Lee, R. J. Collier, S. T. Willard, J. Arthington y T. M. Brown-Brandl, 2008. Sweating rates of dairy and beef heifers in hot conditions. *Transactions of the ASABE* 51(6): 2167-2178.
- Hahn, G. L., 1995. Environmental management for improved livestock performance, health and well-being. *Japanese J. Livest. Manag.* 30: 113-12.
- Jordan, E. R., 2003. Effects of heat stress on reproduction. *J. Dairy Sci.* 86: E104-E114.
- National Animal Welfare Advisory Committee, 2010. Animal welfare (dairy cattle) code of welfare 2010 report. Animal Welfare Act 1999 (the Act).
- Olson, T. A., C. Lucena, C. C. Chase y A. C. Hammond, 2003. Evidence of a major gene influencing hair length and heat tolerance in *Bos taurus* cattle. *J. Animal Sci.* 81(1): 80-90.
- Ravagnolo, O. e I. Misztal, 2000. Genetic component of heat stress in dairy cattle, parameter estimation. *J. Dairy Sci.* 83: 2126-2130.
- St-Pierre, N. R., B. Coban y G. Schmitkey, 2003. Economic losses from heat stress by US livestock industries. *J. Dairy Sci.* 86, Suppl. (0): E52-E77.
- West, J. W., 2003. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 86(6): 2131-2144.
- Wheelock, J. B., R. P. Rhoads, M. J. VanBaale, S. R. Sanders y L. H. Baumgard, 2010. Effects of heat stress on energetic metabolism in lactating Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 93: 644-655.
- Zimbelman, R. B., R. P. Rhoads, M. L. Rhoads, L. H. Baumgard y R. J. Collier, 2009. A re-evaluation of the impact of temperature humidity index (THI) and black globe humidity index (BGHI) on milk production in high producing dairy cows. Proc. 24th Annual Southwest Nutrition and Management Conf.