

**EFEECTO 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)**

**EFFECT OF METEOROLOGICAL CONDITIONS ON PRODUCTIVE,
BEHAVIORAL AND BODY SURFACE TEMPERATURE IN HOLSTEIN COWS
FROM TWO DAIRY HERD IN ANTIOQUIA (COLOMBIA)**

Diego Mauricio Echeverri Echeverri. Zoot.

TUTOR

Sara María Márquez Girón. Ing Agrícola Msc. DR.

COMITÉ TUTORIAL

Mario Fernando Cerón Muñoz, Zoot, MSc, DR.

Luis Fernando Galeano Vasco, Zoot, MSc; DR.

**Trabajo presentado como requisito parcial para optar al título de Magister en
Ciencias Animales**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS ANIMALES.
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
MEDELLÍN**

2015

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	2
RESUMEN GENERAL	5
INTRODUCCIÓN GENERAL	7
OBJETIVOS	10
OBJETIVO GENERAL.....	10
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	10
MARCO TEÓRICO	10
CAPITULO 1	20
EFFECTO DE LAS VARIABLES CLIMATOLÓGICAS SOBRE LA PRODUCCIÓN DE LECHE DE VACAS HOLSTEIN	20
CAPITULO 2	35
Efecto de la temperatura ambiente sobre la temperatura superficial en zonas negras y blancas del pelaje de vacas Holstein.....	35
Resumen	35
Introducción.....	37
Materiales y métodos	38
Conclusiones	49
Referencias	50
CAPITULO 3	50
Caracterización del comportamiento de vacas Holstein según la temperatura ambiente.....	52
Resumen	52
Introducción.....	54
Materiales y métodos	55

Resultados y discusión	56
Conclusiones	63
Referencias.....	63
CONSIDERACIONES GENERALES	63
RECOMENDACIONES GENERALES	66
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS GENERALES.....	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Relación de temperatura y la humedad relativa durante el día en la Hacienda la Montaña, municipio de San Pedro de los Milagros, departamento de Antioquia.....	27
Figura 1.2. Relación de la producción de leche de vacas Holstein en el ordeño de la mañana con respecto a la temperatura y humedad ambiental a las 2:00 p.m. del día anterior y 5 a.m.....	28
Figura 1.3. Relación de la producción de leche de vacas Holstein en el ordeño de la tarde con respecto a la temperatura y humedad ambiental a las 5:00 a.m. y 2:00 p.m.....	30
Figura 2.1. Puntos anatómicos muestreados para temperatura superficial (Ts) y color del pelaje en vacas Holstein.....	39
Figura 2.2. Relación durante el día de las variables ambientales temperatura ambiente, radiación solar, humedad relativa y velocidad del viento con el índice THSW	42
Figura 2.3. Correlaciones entre temperaturas superficiales del cuello, pecho, flanco y lomo de pelaje blanco y negro, la vulva y la ubre de vacas Holstein	44

Figura 2.4. 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.....	45
Figura 2.5. 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.....	46
Figura 2.6. 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.....	47
Figura 2.7. 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.....	48
Figura 3.1. Diagrama de cuartiles de las temperaturas ambientales durante el día en la Finca “El Recreo”, ubicada en el municipio de Abejorral (Antioquia, Colombia) para agrupamiento de horas/día con menor y mayor temperatura	58
Figura 3.2. Curva de las conductas relacionadas con el consumo de alimento de vacas Holstein cuando la temperatura ambiente era mayor (a) o menor (b) durante las horas del día.....	60
Figura 3.3. Curva de las conductas relacionadas con el descanso y caminatas de vacas Holstein cuando la temperatura ambiente era mayor (a) o menor (b) durante las horas del día	62

RESUMEN GENERAL

Las vacas en sistemas de producción láctea intensiva son retadas diariamente a producir gran cantidad de leche en ambientes cada vez más desfavorables. La temperatura ambiente, la humedad relativa y la radiación solar, son algunos de los factores ambientales que pueden afectar la vida productiva de las vacas en sistemas de pastoreo. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de las condiciones meteorológicas sobre la producción de leche, el comportamiento y la temperatura superficial de vacas Holstein en sistemas de pastoreo. Se utilizó información de dos hatos de vacas Holstein, el primero ubicado en la Hacienda “La Montaña” propiedad de la Universidad de Antioquia, ubicada en el municipio de San Pedro de los Milagros (Antioquia, Colombia), correspondiente a una zona de vida bosque húmedo Montano Bajo (bh-MB), con una altura sobre el nivel del mar de 2471 a 2499 m, temperatura promedio de 16°C y coordenadas N6°27'094; W 75°32'678, en ésta se evaluó un lote de 43 vacas Holstein en producción. El segundo en la Finca “El Recreo”, ubicada en el municipio de Abejorral (Antioquia, Colombia), correspondiente a una zona de vida bosque muy húmedo Montano Bajo (bmh-MB), con una altura sobre el nivel del mar de 2416 a 2494 m y coordenadas N5°51'30.95”; O75°22'00.59”, donde se evaluó un lote de 12 vacas de alta producción. Las vacas de ambos hatos se alimentaron con pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone). La oferta de pasto se realizó en franjas luego de cada ordeño. Se realizó un balance nutricional de la dieta, el déficit de energía se suplementó con un concentrado comercial que se suministró individualmente en dos raciones diarias de acuerdo a la producción de leche y la condición corporal de cada animal. La oferta mineral se realizó con sal al 8% de fósforo a voluntad. También se tuvo en cuenta en los dos sistemas de producción los valores de las variables de temperatura ambiental (T), y humedad relativa (H) durante las 24 horas del día, tomadas cada 10 minutos con la central meteorológica Vantage pro 2®. Para el análisis estadístico se utilizó un modelo mixto aditivo generalizado suavizado. Cuando se presentaron temperaturas y humedades altas, en la tarde del día anterior y a la hora de ordeño; se redujo la producción de leche en el ordeño de la mañana, a pesar de que las vacas estuvieron dentro del rango de confort. En el experimento de

temperatura corporal según el color del pelaje, la temperatura ambiente, la humedad relativa, radiación solar y la velocidad del viento (relacionadas como índice THSW) tiene efecto diferenciado sobre el cuerpo de la vaca, de acuerdo al color del pelaje (blanco o negro), siendo los valores de temperatura superficial más altos para zonas negras que para zonas blancas. En el tercer experimento, se encontró que el comportamiento de las vacas de leche Holstein es claramente influenciado por la temperatura ambiente, así, a mayores temperaturas ambientales, los animales manifestaron disminución del tiempo en el cual los animales estaban echados, menor tiempo de pastoreo y tiempo de rumia, a diferencia de los días más fríos, donde el estado de confort y descanso fue más prolongado y cercano al comportamiento normal de los animales.

Palabras clave: *estrés calórico, ganado de leche, variables climáticas.*

GENERAL ABSTRACT

Cows of high milk yield breeding are challenged daily to produce lots of milk increasingly unfavorable environments. Environment temperature, relative humidity and solar radiation are some of the environmental factors that can affect the productive life of cows in grazing systems. The aim of this study was to evaluate the effect of weather conditions on milk yield, behavior and body surface temperature of Holstein cows in grazing systems. Information from two herds of Holstein cows was used, the first located in the Hacienda "La Montaña" owned by the University of Antioquia, located in the municipality of San Pedro de los Milagros (Antioquia, Colombia), corresponding to a life area of low montane moist forest (LM-mf), with a height above sea level of 2471-2499 m, average temperature of 16 ° C and coordinates N6 ° 27'094; W 75 ° 32'678, in which was evaluated a herd of 43 Holstein cows. The second in the farm "El Recreo" located in the municipality of Abejorral (Antioquia, Colombia), corresponding to a life area of low montane very moist forest (LM-vmf), with a height above sea level of 2416 to 2494 m, coordinates N5 ° 51'30.95 "; O75 ° 22'00.59 ", where were evaluated 12 high milk yield cows. Both herds fed kikuyu grass (*Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone). The offer was made in grass strips after each milking. Nutritional balance of the diet was made, the energy deficit was supplemented with a commercial concentrate that was individually provided in two daily

rations according to milk production and body condition of each animal. The mineral offer was made with salt with 8% of phosphorus *ad libitum*. It was also taken into account, in the two production systems the values of the ambient temperature (T) and relative humidity (H) variables, 24 hours per day, taken every 10 minutes with the weather station Vantage pro 2™. For statistical analysis, a smoothing generalized additive mixed model was used. When temperatures and high humidities were presented in the afternoon of the day before and at the time of milking; milk yield was reduced in the next morning milking, even though the cows were within the comfort range. In the coat color experiment, the temperature, humidity, radiation and wind velocity (related as THSW index) had distinct effect on the cow body according to the coat color (white or black), so temperature surface was higher in black areas than white areas. In the third experiment, behavior of Holstein milk cows is clearly influenced by the ambient temperature, so, at higher ambient temperatures the animals were more stressed, manifesting itself in decreased time in which animals were lying, shorter grazing and rumination time, unlike the coldest days, where the state of comfort and relaxation was longer and close to normal animal behavior.

Keywords: *Climatic variables, dairy cattle, heat stress.*

INTRODUCCIÓN GENERAL

En la actualidad, un componente importante del cambio climático es el calentamiento global derivado de la actividad humana desde finales del siglo XVIII. El calentamiento del sistema climático se ve evidenciado ya en los aumentos en el promedio mundial de la temperatura del aire y del océano (IPCC, 2007) encontrándose que durante los últimos 30 años la temperatura media del planeta ha aumentado entre 0,5° y 3°C (Sanfuentes, 2012). El consenso científico actual predice que si no se cambia la dinámica humana en las próximas décadas, la temperatura media global aumentará en 2°C y en una centena de años hasta 8°C (Grain, 2009), lo cual afectaría profundamente, entre otros, la producción agropecuaria.

Los efectos climáticos sobre los animales han sido estudiados desde hace aproximadamente medio siglo (Arias *et al.*, 2008), lo que ha generado un conocimiento más amplio sobre el

entendimiento de las respuestas fisiológicas y comportamentales del animal tanto para condiciones de termoneutralidad como para situaciones de estrés calórico. Se ha comprobado que los factores meteorológicos afectan el desempeño productivo de los animales, y si a estos factores se suman los intrínsecos del animal, como el color del pelaje, raza, capacidad de termorregulación, entre otros, puede hacer más compleja la determinación del estado de confort de los animales.

Generalmente, los animales homeotermos tienen una zona termoneutral, esta se define como el rango de temperatura ambiente en la cual se requiere un mínimo gasto energético para mantener la temperatura corporal constante sin comprometer las reservas corporales, no obstante, variaciones en los factores ambientales como en la temperatura, humedad, radiación y velocidad del viento, pueden inducir al estrés térmico entendido como el proceso de activación de mecanismos fisiológicos como respuesta a incrementos o disminuciones de temperatura (Lenis *et al.*, 2015). Estos mecanismos fisiológicos conllevan al animal a experimentar cambios en requerimientos nutricionales, acortamiento de los periodos de descanso, alteración de la tasa de respiración, disminución en el consumo de materia seca, disminución de la rumia, menor desempeño productivo y reproductivo (Atrian y Shahryar, 2012).

Los factores climáticos de mayor importancia que afectan el ganado de leche, definidos por Hahn, *et al.* (2003), hacen parte de una interacción compleja entre la temperatura ambiente, humedad relativa, radiación solar, velocidad del viento, pluviosidad, presión atmosférica, luz ultravioleta y polvo. Las fluctuaciones de estas variables pueden generar diferentes grados de estrés por calor en los animales, definiendo éste como la respuesta negativa de los animales a condiciones medioambientales adversas. Entre los modelos para cuantificar estos efectos negativos están: índice de temperatura- humedad por su sigla en inglés (ITH) (Thom, 1959), ITH ajustado por velocidad del viento y radiación solar (Mader *et al.*, 2005; 2006), índice de humedad de globo negro (Buffington, 1981), índice de carga de calor (Gaughan y Goopy, 2002; Gaughan *et al.*, 2007) y tasa de respiración (Hahn, *et al.*, 1997).

Debido a lo anterior y teniendo en cuenta que la zona de vida en la que tiene lugar la lechería especializada en Antioquia, correspondiente a ecosistemas de climas fríos y húmedos (temperaturas entre 5 y 25°C, humedad >90%), es importante monitorear las

condiciones de las empresas ganaderas e identificar los diferentes aspectos que puedan alterar la zona de termoneutralidad de las razas bovinas que allí se manejan y que generalmente son imperceptibles para los productores tradicionales. Aunque muchos países, especialmente los estacionarios, han realizado estudios acerca del impacto meteorológico sobre diferentes características de los animales; en condiciones tropicales, poca atención se le ha prestado a los efectos climáticos. Los sistemas intensivos de producción láctea especializada en nuestro país representa más del 40% de la producción nacional de leche (FEDEGAN, 2011), por lo que se hace necesario evaluar el entorno de los animales con la finalidad de mejorar la productividad, eficiencia y rentabilidad de los sistemas.

Generalmente, los factores ambientales que pueden tener un efecto negativo en los animales, son imperceptibles para los productores, por lo cual mediante el monitoreo y la medición de variables meteorológicas, además de la observación de cambios comportamentales, es posible identificar si los individuos se encuentran en confort de acuerdo al ambiente que les rodea, y de ser necesario, implementar estrategias de mitigación para el desempeño óptimo. Con este trabajo de investigación se pretende evaluar el efecto de las condiciones meteorológicas sobre el desempeño productivo, comportamental y temperatura corporal superficial de las vacas Holstein, en dos hatos lecheros del departamento de Antioquia (Colombia). En el capítulo I se presenta la investigación titulada “Efecto de las variables climatológicas sobre la producción de leche de vacas holstein”, donde el objetivo fue evaluar la influencia de la temperatura y la humedad sobre la producción de leche en un sistema intensivo de ganadería especializado en el norte de Antioquia; el capítulo II se titula “Efecto de la temperatura ambiente, la humedad, la radiación solar y velocidad del viento sobre la temperatura superficial en zonas negras y blancas del pelaje de un hato de vacas Holstein en el departamento de Antioquia (Colombia)”, el cual tuvo como objetivo evaluar el efecto de la temperatura ambiente, la humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento considerados bajo un índice de temperatura aparente THSW sobre la temperatura superficial en diferentes zonas anatómicas de color blanco y negro del pelaje de un hato de vacas Holstein en el departamento de Antioquia (Colombia); el capítulo III lleva como título “Caracterización del comportamiento de un hato de vacas Holstein según la temperatura ambiente y la

humedad relativa en el departamento de Antioquia (Colombia)”, en el cual el objetivo fue evaluar el efecto de la temperatura ambiente y la humedad relativa sobre diferentes comportamientos de un hato de vacas Holstein en el departamento de Antioquia (Colombia).

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de las condiciones meteorológicas sobre el desempeño productivo, comportamental y temperatura corporal superficial de las vacas Holstein, en dos hatos en el departamento de Antioquia (Colombia).

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el efecto de la humedad relativa y la temperatura ambiente sobre la producción de leche.
- Determinar el efecto de la temperatura ambiente, humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento sobre la temperatura superficial en zonas negras y blancas del pelaje de vacas Holstein.
- Evaluar el efecto de la temperatura ambiente sobre actividades comportamentales en pastoreo (comer, descansar y rumiar) de vacas Holstein.

HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

Las condiciones meteorológicas afectan el desempeño productivo, el comportamiento de vacas Holstein de alta producción y el color del pelaje influye en la temperatura superficial.

MARCO TEÓRICO

En los últimos años uno de los temas que ha tomado más fuerza a nivel mundial es el calentamiento global, fenómeno que se caracteriza por el aumento de la temperatura de la superficie terrestre, debido al aumento de los gases de efecto invernadero en la atmósfera

(Alonso *et al.*, 2012). Los modelos que para el análisis del clima se han construido recientemente, reportados por la IPCC (2013), indican una mayor presencia de días y noches más cálidos, aumentos a corto plazo en la duración, la intensidad y la extensión espacial de las olas de calor, resultando en un incremento pronunciado de las temperaturas de verano. Una de las especies más susceptibles a los cambios ambientales como variaciones en la temperatura y la humedad relativa son las vacas productoras de leche, las cuales son más sensibles a estrés causado por altas temperaturas (West, 2003) debido a su acelerado metabolismo, actividad física y actividad fisiológica para producir leche lo que aumenta su temperatura corporal la cual se hace más difícil disipar cuando el ambiente tiene una alta temperatura (Gebremedhin *et al.*, 2016). La temperatura corporal promedio de los bovinos es de 38 °C, esta experimenta un cambio moderado en el transcurso del día decreciendo usualmente en la mañana y aumentando hacia la noche, pero si la temperatura interna cambia en forma moderada con respecto a la temperatura normal, el animal puede morir relativamente rápido (Cunningham y Acker, 2000).

Temperatura ambiente y su efecto en las vacas lecheras

Las vacas de leche de alta producción generan una gran cantidad de calor metabólico fruto de la actividad física, la digestión de alimentos y la actividad fisiológica de producir leche, por lo que deben regular su temperatura corporal para mantener una temperatura metabólica en un rango favorable que le permita realizar todos sus procesos fisiológicos (Gebremedhin *et al.*, 2016; Cunningham y Acker, 2000), por lo tanto, los cambios en las condiciones medioambientales como la temperatura hacen que estos bovinos recurran a una serie de procesos fisiológicos y necesiten de un eficiente mecanismo para adecuar la pérdida de calor y no disminuir la persistencia y nivel productivo (Valle, 1985). Además hay que tener en cuenta, que los efectos de la temperatura sobre el comportamiento y productividad de la vaca no dependen de la temperatura ambiente propiamente dicha sino de la denominada temperatura efectiva, entendida esta como la sensación de calor o frío (sensación térmica) del animal, esta resulta de la interacción de la temperatura ambiente, la radiación solar, la velocidad del viento y la humedad relativa entre otros factores. A título de ejemplo, la exposición directa a la radiación solar puede resultar en una temperatura efectiva entre 3 y 5°C superior a la del ambiente (Manteca, 2006). Existen diferentes mecanismos de ganancia

o pérdida de calor en los animales que les permite regular su temperatura corporal: conducción, convección, radiación y evaporación (Lenis *et al.*, 2015).

Conducción

Es la transferencia de energía calórica a través de un cuerpo sin que exista desplazamiento de materia; para presentarse, tiene que haber contacto directo y del elemento más cálido fluye energía al más frío. Por ello, cuando hay un incremento en la temperatura ambiente, el animal cambia su comportamiento modificando la postura del cuerpo permitiéndose un contacto directo con superficies más frías como el suelo o paredes, así transfieren calor a esas superficies y disminuyen su temperatura corporal (Lenis *et al.*, 2015). Este mecanismo también se evidencia en el caso contrario (disminuciones en la temperatura ambiente), cuando se aprovecha por ejemplo, el efecto positivo de la cama de paja o viruta de madera que se utiliza en diferentes especies y circunstancias, se debe en gran parte al efecto aislante que disminuye la pérdida de calor por conducción, creando una especie de microclima, que disminuye también la pérdida de calor por convección (Echavarria y Miazso, 2002).

Convección

La convección es el flujo o transferencia de calor mediante el movimiento del aire o del agua, se debe a la redistribución de moléculas dentro del fluido en cuestión (aire, agua). En los animales la transferencia de calor por convección ocurre entre la superficie externa del cuerpo y el aire que lo rodea. El incremento de las pérdidas de calor por convección, como consecuencia de las corrientes de aire, es uno de los medios eficaces para luchar contra las temperaturas muy elevadas (Forcada Miranda, 1997). Bajo condiciones de viento, el calor es removido por convección forzada, en una magnitud que depende de la velocidad y dirección del viento. En condiciones de aire quieto o calmo, el movimiento del aire alrededor del cuerpo animal es consecuencia del movimiento ascendente natural del aire (el aire caliente asciende) y el calor se remueve, mínimamente, por convección libre.

Radiación

Es el intercambio de energía térmica entre dos objetos o animales que no están en contacto a través de la transferencia de ondas electromagnéticas (Lenis *et al.*, 2015). En este caso,

cobra gran importancia la radiación solar, ya que es uno de los factores que influye con mayor rigor en la temperatura ambiental, la cual puede provenir no sólo del sol, sino también del suelo y algunos elementos del medio, y su efecto suele sumarse al de la temperatura ambiente ya existente (Shell *et al.*, 1995). También se define como la energía que emiten los campos magnéticos y eléctricos e intercambia calor entre dos cuerpos que no están en contacto, el calor fluye desde el objeto más caliente al más frío; por ejemplo, un ternero parado al sol, en un día claro de invierno, recibe calor solar mediante radiación. La radiación solar se transforma en energía térmica al entrar en contacto con el animal, de esta forma un animal puede percibir calor en un día luminoso de invierno, especialmente si se encuentra en un lugar protegido del viento. Cualquier cuerpo que esté a una temperatura superior al cero absoluto emite energía en forma de radiación. La mayoría de las superficies naturales, incluyendo la “capa” externa de los animales, se comportan como “cuerpos negros” en el sentido óptico, siendo emisores de radiación de onda larga (Whates y Charles, 1994).

Cuando la radiación solar es absorbida sin posibilidades de ser irradiada, aumenta la temperatura corporal y disminuye la fertilidad (Finch, 1986). Esto tiene relación directa con el color del pelaje (Hansen, 1990): vacas con pelajes claros reflejan más la luz y absorben menos radiación solar que vacas de color oscuro (Stewart, 1953; Shearer, 1990). Según Valle (1988), un porcentaje menor al 50% de color negro mejora el comportamiento productivo y reproductivo, con 10% más de producción de leche. En otro estudio Becerril *et al.* (1994) indicaron que el porcentaje de color blanco tuvo una relación lineal con la producción de leche 2.75 ± 1.13 kg por incremento de unidad porcentual de color blanco en vacas Holstein de primera lactancia.

Evaporación

Es la pérdida de calor corporal a través de la evaporación del agua (sudoración, jadeo) ya que cada gramo de agua absorbe 0,58 Kcal de energía libre que permanece como calor latente de vaporización y favorece la termorregulación. Es el principal mecanismo de termorregulación cuando la temperatura ambiente esta cerca a la temperatura corporal (Lenis *et al.*, 2015).

La alta radiación solar, temperatura extrema y velocidad del viento, limitan la eficiencia termorregulatoria de los medios no evaporativos de pérdida de calor (conducción, convección y radiación), mientras que los evaporativos (jadeo y sudoración) se limitan a gradientes altos de humedad (Berman, 2006). Las altas temperaturas ambientales alteran los procesos metabólicos en la vaca debido a la estrecha relación entre el calor metabólico y su elevada producción de leche, un ejemplo es la disminución en el umbral de temperatura para estrés por calor de 5°C, cuando la producción de leche aumenta de 35 a 45 kg/día (Kadzere, 2002; Berman, 2005); además, la posibilidad de disipar calor de las vacas de leche contemporáneas es mucho menor al compararlas con sus antepasados, debido a su alta producción (Hansen, 2000). Cuando las temperaturas ambientales son mayores que la temperatura corporal normal, la evaporación es la única forma de pérdida de calor, constituyéndose en un mecanismo esencial para el mantenimiento de la homeotermia (Echavarria y Miazzo, 2002).

Humedad Relativa y su efecto en la vaca lechera

La humedad relativa adquiere importancia para la homeostasis de la vaca de leche cuando la temperatura media sale de los límites del rango de confort, aunque es posible que también actúe individualmente sobre el ganado cuando está combinada con alta precipitación (Villagómez *et al.*, 2000). La humedad del aire interviene directamente al enfriamiento por evaporación de la piel y el tracto respiratorio, si la humedad es baja en tiempos cálidos y secos, la evaporación es rápida; pero si la humedad es alta en tiempos cálidos y húmedos, la evaporación es lenta reduciendo las pérdidas de calor alterando el equilibrio térmico de la vaca (Hafez, 1972). En los Estados Unidos Bohmanova *et al.* (2007) utilizando datos de producción de leche demostró que la humedad relativa fue un factor determinante en el cambio de la producción, pues cuando se presentaron humedades altas hubo detrimento, mientras que cuando la humedad ponderada fue menor hubo una mejor producción.

Efecto de la temperatura ambiente en el consumo de alimento

Las condiciones inherentes al animal, el medio ambiente y la dieta, afectan el consumo voluntario de materia seca de las vacas de leche (Albright, 1993). En pastoreo, al caminar

para alimentarse tienen más gasto energético que las que se encuentran en confinamiento, lo que se traduce también en un mayor consumo de materia seca para mantenerse y producir igual cantidad de leche (Oshita *et al.*, 2008); el aumento del desplazamiento puede ser una medida etológica valiosa para el estudio del bienestar en el ganado (Lidfors, 1989). Cuando la temperatura ambiente sobrepasa los 26°C las vacas disminuyen el pastoreo hasta un 40%, por esto, en las horas de la noche el pastoreo es porcentualmente mayor 60% (Hafez, 1975). También, se ha encontrado que a temperaturas medioambientales superiores a 26°C, hay una disminución del consumo de materia seca de un 55% e incremento de los requerimientos nutricionales totales (NRC, 1981), y las vacas primíparas disminuyen 9% el consumo de materia seca a diferencia de las multíparas que lo hacen en un 22% (Holter *et al.*, 1997).

En los días más calurosos las vacas consumen más pasto en las horas de la noche (Charlton *et al.*, 2011) y en los días más nublados disminuyen los tiempos de consumo en la mañana y la noche; por su parte, lluvias y vientos fuertes pueden provocar disminuciones en el consumo de alimento en pastoreo, ya que los bovinos toman posiciones específicas para mitigar la adversidad de estas condiciones quedándose quietas, alargando el cuello o tomando la dirección del viento, contrario a las razas bovinas de carne (Blackshaw, 1984).

En cuanto al consumo de agua de una vaca para mitigar el estrés por calor, un bovino adulto en general consume entre 3 y 4 L por kg de materia seca, mientras que la vaca lechera requiere entre 4 a 4.5 por L de leche producida (Castle y Thomas, 1975). Algunos factores que afectan el consumo de agua son la raza, el nivel de producción, el estado fisiológico, el tipo y cantidad de alimento consumido, la concentración de sales en el agua, la temperatura y la humedad ambiental. La temperatura del agua entre 17 y 28°C se considera de confort, valores menores y superiores afectan el consumo de materia seca (Andersson, 1987). Cuando los pastos son más succulentos las necesidades de agua de consumo son menores (Arnold y Dudzinski, 1978) y la evapotranspiración con finalidad de termorregulación aumenta las necesidades de agua por parte de los bovinos (Blackshaw, 1984).

Estrés por calor

Está definido como la incapacidad de un animal para enfrentar el medio ambiente (Dobson *et al.*, 2000), o también como la incapacidad que tiene el animal para mantener en

homeostasis su temperatura corporal (Broom y Molento, 2004), en vacas lecheras ha sido ampliamente estudiado en zonas tropicales y sub tropicales debido a que los efectos negativos son más evidentes, sin embargo en los climas moderados de medianas latitudes también se puede alcanzar niveles evidentes de estrés por calor (Schuller *et al.*, 2013). El estrés por calor es actualmente considerado uno de los tópicos de mayor interés relacionado con el bienestar animal (Gallardo y Valtorta, 2011) puesto que afecta la rentabilidad dentro del negocio ganadero.

Cuando los mecanismos de termorregulación no evaporativos son insuficientes, el aumento de la temperatura ambiental para las razas lecheras desencadena eventos fisiológicos y comportamentales con el objetivo de mantener la homeostasis del cuerpo, en detrimento de la producción y la reproducción (Columbiano, 2007). Entre los principales cambios fisiológicos se encuentra el incremento de la temperatura corporal, frecuencia respiratoria, vasodilatación (Arias *et al.*, 2008), alteración en el estatus ácido-básico en el animal (West, 2003), cetosis y déficit nutricional (Lanthier y Leclercq, 2014).

La alteración en el estatus ácido-básico en el animal es una consecuencia del aumento en la frecuencia respiratoria hasta llegar al jadeo para perder calor, con este mecanismo se incrementa la pérdida de dióxido de carbono (CO₂) exhalado, reduciendo la concentración de ácido carbónico (H₂CO₃), con el consecuente aumento de la concentración de bicarbonato (HCO₃⁻) (West, 2003; Álvarez, 2009), resultando en una alcalosis respiratoria, y posteriormente se desencadena una acidosis metabólica por sobre excreción de HCO₃⁻, así como también acidosis ruminal, por disminución en la cantidad de bicarbonato disponible en la saliva y su flujo hacia el rumen (Nardone *et al.*, 2010).

Entre los efectos a nivel reproductivo se encuentra el mecanismo de reconocimiento materno del feto en gestación, ya que se puede interrumpir las cantidades de interferón- τ y otros productos celulares para este efecto (Salvador, 2010), además temperaturas uterinas superiores a 40°C producen grados de infertilidad ya que reduce el flujo sanguíneo al útero, afectando al óvulo fertilizado y al espermatozoide (Jordan, 2003). En el parto los corticoesteroides son importantes porque al final de la gestación la hipoxia sensibiliza el eje corticotropo fetal, y puede suprimir la producción de progesterona (Caraviello, 2004).

Existen diversos índices que predicen con alguna precisión si el ambiente es un factor potencial para generar estrés en el animal; de estos los más usados son el índice compuesto

que relaciona la temperatura ambiental y la humedad relativa del aire (ITH), índice de humedad de globo negro e índice de temperatura equivalente (Lenis *et al.*, 2015). El ITH propuesto por Thom (1959), se ha utilizado ampliamente aun considerando falencias derivadas del hecho de no incluir elementos tales como velocidad del viento y la radiación, relaciona la temperatura y la humedad relativa de la siguiente forma: $ITH = (1.8 Ta + 32) - (0.55 - 0.55 HR/100) (1.8 Ta - 26)$; donde; Ta: temperatura del aire (°C) y HR: Humedad del aire (%) (Gallardo y Valtorta, 2011); según este, el confort animal se puede evaluar de acuerdo a los siguientes rangos de ITH, menor o igual a 74 no hay presencia de estrés calórico, entre 75 -79 leve estrés calórico, entre 80 - 83 estrés calórico medio y mayor a 84 estrés calórico grave (Mujika, 2005). Según González (2000) el aumento de cada punto en el ITH por encima de los 18°C significa en ganado de leche una disminución de 0.26 kg de leche por día, disminución del consumo de 0.23 kg de forraje por día y un incremento de 0.12°C en la temperatura corporal. A pesar de lo anterior, algunos investigadores como Silva y colaboradores no han encontrado ninguna correlación entre ITH, temperatura y tasa respiratoria, por lo que es posible que bajo algunas condiciones ambientales como en el trópico, este índice, podría no ser útil (Lenis *et al.*, 2015).

El índice de humedad de globo negro además de relacionar la temperatura y la humedad, tiene en cuenta la radiación, siendo más útil cuando se evalúa estrés térmico en animales en pastoreo como se da en la región tropical (Lenis *et al.*, 2015). Por último, el índice de temperatura equivalente combina la temperatura, la humedad y la velocidad del viento, según Silva y colaboradores, es el índice que mejor se aplica a condiciones tropicales ya que tiene una alta correlación con la temperatura corporal y la tasa respiratoria de los animales. Según su escala, valores entre 18-27 reflejan confort en los animales, entre 28-32 nivel de precaución, 33-38 precaución extrema, 39-44 peligro y >44 extremo peligro (Lenis *et al.*, 2015). Existe otro índice que relaciona las variables temperatura ambiente, humedad relativa, radiación y velocidad del viento, denominado índice THSW (temperatura/humedad/sol/viento), este incluye los efectos de calentamiento del sol y los efectos de enfriamiento del viento para calcular una temperatura aparente de la que se sentiría expuesto al sol (Steadman, 1979).

Para mitigar el estrés por calor (Preez *et al.* 1990), recomiendan sombra en los potreros, comederos ventilados, agua a voluntad en lugares sombreados y evitar el desplazamiento en

horas críticas, procurando adaptar los ordeños y el ofrecimiento de pasto a horarios de temperatura e ITH bajos, ya que las vacas tienden a consumir las dos terceras partes del total de la materia seca en las horas más frescas del día (Hall, 2000). También, con la manipulación de la dieta se puede disminuir el estrés por calor en vacas de alta producción, al utilizar grasas protegidas que no son metabolizadas por el animal a nivel ruminal, pero sí a nivel intestinal y no se incrementa la energía corporal (Gallardo, 2001); es importante además, incrementar el suministro de Na y K debido al desbalance electrolítico, ya que la vaca cuando presenta estrés por calor tiende a presentar disminución de la salivación y acidosis ruminal (West, 2003).

Comportamiento de las vacas en pastoreo

El confort de la vaca lechera impacta en una mayor rentabilidad económica, mayor consumo de alimento, mejores parámetros de salud, producción de leche y reproducción. Un ambiente óptimo combinado con una nutrición adecuada asegura que el presupuesto de tiempo de la vaca se cumpla y que sea óptimo su comportamiento de alimentación y por ende el consumo de alimento sea adecuado. Las interacciones entre el descanso y la rumia son críticos para el confort, al igual que el entorno administrativo que es poderoso modulador en el comportamiento y rendimiento de la vaca lechera ya que estas sacrifican 1 minuto de tiempo de alimentación por cada 3,5 minutos de tiempo en reposo (Grant, 2012).

Las vacas normalmente gastan por día en promedio 5 horas para pastorear, 10 a 14 horas descansando echadas, 2 a 3 horas paradas, caminando, aseándose e interactuando con otros animales, 0.5 horas consumiendo agua y el resto lo gastan en el tiempo de ordeño (2.5 a 3.5 horas) (Grant, 2012). Las vacas de leche a las cuales se les restringe el tiempo de descanso presentan un mayor cortisol sérico, mayores problemas podológicos y a veces menor producción de leche (Munksgaard y Lovendahl, 1993; Singh *et al.*, 1993; Grant, 2004; Calamari y Col, 2009).

Las condiciones meteorológicas afectan el descanso de las vacas, al igual que las condiciones del terreno (Fisher *et al.*, 2003), en condiciones muy lluviosas y presencia de vientos las vacas pasan menos de 4 horas acostadas (Tucker *et al.*, 2007), cuando en condiciones normales, si los animales no están consumiendo forraje deberían de estar acostadas (descansando o rumiando) (Overton *et al.*, 2002).

Hill (2006) encontró que al aumentar la densidad de animales en un espacio, el % de grasa en la leche se reduce y el % de células somáticas se incrementa, de hecho las vacas consumen un 25% más rápido y rumian una hora menos por día, además, Schefers *et al.* (2010) observó una reducida tasa de concepción al incrementar el número de vacas en el área de estar. Las vacas de leche de primer parto consumen bocados más pequeños, comen más poco a poco, pasan más tiempo alimentándose y se demoran más tiempo al desplazarse para consumir agua (Grant y Albright, 2001). Otro estudio realizado por Betancourt *et al.* (2005) evaluaron el efecto de la sombra sobre el comportamiento animal, evidenciando un mayor tiempo de pastoreo y mayor producción de leche en los grupos en los cuales los potreros tenían una adecuada cantidad de árboles, en comparación con las que permanecían en potreros sin sombra.

Modelos aditivos generalizados suavizados (GAMs)

Los modelos aditivos generalizados son una extensión de los modelos lineales generalizados (GLMs), con la diferencia que a éstos se les adiciona términos y donde algunos de los factores del modelo pueden ser fijados como funciones paramétricas o no paramétricas suavizadas (Gu, 2002; Hastie y Tibshirani, 1986; Wood, 2008), permitiendo la especificación de parte del predictor lineal como una suma de funciones suaves de variables predictoras (Wood, 2008). Es así como se establece una relación entre una variable respuesta y la función suavizada de las variables explicativas, con lo que se consigue un mejor ajuste de los datos, reduciendo la dispersión de las variables estudiadas (Guisan *et al.* 2002; Katsanevakis y Maravelias, 2009). Una de sus tantas ventajas radica en que es un método preciso para evaluar datos longitudinales, es decir, que se repiten en un mismo individuo. Este método semiparamétrico, además permite mediante funciones suavizadas, determinar la forma de la relación entre variables ambientales y bióticas (Swartzman, 1997; Piet, 2002; Cianelli *et al.*, 2008); útiles para modelar relaciones no lineales entre variables de respuesta y covariables (Dominici *et al.*, 2002; Terzi *et al.*, 2009); su estructura aditiva permite evaluar las variables por separado, para proporcionar mayor explicación de los resultados (Wood SN, 2006).

CAPITULO 1

Capítulo I referente al primer objetivo específico, este presenta la investigación titulada “Efecto de las variables climatológicas sobre la producción de leche de un hato de vacas Holstein en Antioquia (Colombia)”, donde el objetivo fue evaluar la influencia de la temperatura y la humedad sobre la producción de leche en un sistema intensivo de ganadería especializado en el norte de Antioquia.

Efecto de las variables climatológicas sobre la producción de leche de vacas Holstein

Effect of climatic variables on milk yield in Holstein cows

Mauricio Echeverri, Luis Galeano-Vasco¹, Mario Cerón-Muñoz¹ y Sara María Márquez Girón²

Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

dme-zoo@hotmail.com

¹Grupo investigación GaMMA, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

²Grupo investigación en sistemas agroambientales sostenibles GISAS, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

Resumen

El microclima influye en la eficiencia y productividad de las vacas de alta producción. Se evaluaron los efectos de las variables ambientales temperatura y humedad relativa sobre la producción de leche en un sistema intensivo de ganadería especializado en el norte de

Antioquia. El lugar de estudio fue en el municipio de San Pedro de los Milagros. Se llevaron registros diarios de producción de leche (PL) de 43 vacas Holstein en los dos ordeños 5:00 a.m. y 2:00 p.m.; los datos de humedad relativa y temperatura ambiente fueron tomados con la central meteorológica cada 10 minutos. La producción fue analizada mediante un modelo aditivo generalizado suavizado, incluyendo los efectos de vaca, mes de lactancia, número de parto, la temperatura y la humedad a diferentes horas del día. Las variables que afectaron significativamente la producción de leche, fueron el número de partos y mes de lactancia ($p < 0.01$); mientras que las variables temperatura y humedad afectaron con mayor significancia la producción de leche en el ordeño de la mañana, a las 2:00 p.m. del día anterior y 5:00 a.m. del mismo día, es decir las horas en las que se realizan los ordeños en la tarde y en la mañana, respectivamente. Similarmente a temperaturas superiores a 20°C y humedades cercanas al 50%, la producción fue superior a los 17 L/vaca; sin embargo, a humedades superiores al 70%, la producción fue inferior de 16 L/vaca. Se concluye que aunque la temperatura y la humedad estén en un rango de confort para la raza Holstein, estas influyen en la producción de leche.

Palabras claves: *estrés, humedad relativa, temperatura.*

Summary

Microclimates in dairy herds have significant impact on overall production and efficiency. The effect of environmental variables on milk production in an intensive dairy system of the northern Antioquia was studied in “Hacienda la Montaña” located in the municipality of San Pedro de los Milagros. A total of 43 *Holstein* cows was used. Milk production was taken daily for each individual cow. Animals were milked twice a day at 5:00 a.m. and 2:00 p.m. and data were collected from December of 2013 to May of 2014. The data of relative humidity and temperature were taken every 10 minutes. For data analysis, a generalized additive model was used.

At temperatures above 20°C and relative humidity close to 50% milk production was higher than 17 L/cow. Nevertheless, at a relative humidity over 70%, milk production was less than 16 L/cow. It is concluded that although the temperature and humidity were in a range of comfort for the Holstein breed, these factors influenced milk production.

Keywords: *relative humidity, stress, temperature.*

Introducción

De acuerdo a la ubicación geográfica del predio varia el impacto del clima sobre los sistemas agropecuarios (Isbell, 2011), afectando la producción de los animales (Settivari *et al.*, 2007). En este sentido, los animales de mayor producción son los más sensibles al estrés ambiental, ya que deprimen el consumo de materia seca y presentan mayor descenso en la producción de leche (West *et al.*, 2003); este efecto se explica porque la energía para mantener la homeotermia se incrementa debido a que el organismo prioriza en ambientes adversos el equilibrio de los fluidos corporales, la normalidad de la temperatura corporal y el crecimiento, por encima de la producción de leche y la reproducción (Gallardo y Valtorta, 2011); por lo tanto, el balance energético negativo se incrementa en el animal (Khalifa, 2003). Además, las vacas de leche de alta producción transforman hasta el 40% de energía consumida al día en calor corporal y el 60% en leche (Osorio-Arce y Segura Correa, 2006); el estrés por calor disminuye el consumo de materia seca, produciendo un balance energético negativo y disminución de la producción de leche sobre todo en vacas recién paridas que requieren mayor cantidad de glucosa (Wheelock *et al.*, 2010).

Las vacas en cuadros de estrés por calor no muestran el perfil metabólico típico (Shwartz *et al.*, 2009); una alta carga térmica por mecanismos que son desconocidos e independientes al consumo de materia seca de la vaca, pueden disminuir la producción de leche, ya que el estrés por calor interfiere en el metabolismo de proteínas que participan en el transporte de nutrientes en las células epiteliales mamarias (Collier *et al.*, 2008).

La humedad relativa y la radiación solar son variables que acentúan el efecto que la temperatura ejerce sobre el estrés del ganado, así entonces, la disipación del calor en altas temperaturas, es afectada por la alta humedad relativa que reduce la posibilidad de transpiración, y la radiación solar suma más calor al ya existente (Da Silva, 2006). La zona de confort se encuentra entre los 6 y los 21°C con cualquier humedad relativa (Shearer y Bray, 1995), y una temperatura superior a 28.4 °C refleja reducción de la producción (Dikmen y Hansen, 2009). Un ejemplo de lo anterior, es que cuando se presentan

temperaturas superiores a 30°C con humedades relativas de 80%, la producción promedio de cada vaca puede llegar a disminuir de 2.6 a 11.9 kg/día (Fox y Tylutki, 1998).

En cuanto a la selección de vacas tolerantes al calor se encontró en los Estados Unidos una alta variabilidad genética (Misztal y Ravagnolo, 2002); pero los toros que transmiten características tolerantes al estrés por calor, transmiten bajas producciones de leche a sus hijas, por esta razón los ganaderos seleccionan sus vacas por producción de leche agravando el problema de estrés calórico (Bohmanova *et al.*, 2005).

Para medir el estrés calórico del ganado en condiciones de pastoreo existe un ajuste lineal que relaciona la temperatura ambiente y la humedad relativa, denominado índice de temperatura-humedad (ITH) (Hahn, 1999). Armstrong (1994) identificó como zona de confort por debajo de 71 de ITH, entre 72 y 79 estrés leve, entre 80 y 89 el estrés es moderado y por encima de 90 estrés severo. Huhnke *et al.* (2001) dividió el ITH en dos categorías entre 79 y 83 situación peligrosa, y ITH superior a 84 emergencia. Sin embargo, otros autores reportaron umbrales mucho más bajos de ITH para vacas de leche en los que se presentan estrés (<72%) (Collier *et al.*, 2011).

La respuesta individual a las condiciones meteorológicas depende de las características propias de cada uno de los animales, como el potencial genético, la raza, el peso, el tamaño y el estado nutricional (Hall, 2000) y también de las propias condiciones ambientales como la temperatura, la humedad relativa (Sharma *et al.*, 2000), la radiación solar y la velocidad del viento (Flamenbaum, 1994). Así por ejemplo, las vacas al sentir cambios en el ambiente reaccionan para que la tasa de calor fluya y así puedan mantenerse en la zona de confort, el calor que se produce es entonces disipado por radiación, conducción o convección que son mecanismos no evaporativos (McDowell, 1996).

Este trabajo tuvo como objetivo evaluar la influencia de la temperatura y la humedad sobre la producción de leche en un sistema intensivo de ganadería especializado en el norte de Antioquia.

Materiales y métodos

La información se tomó de un hato de vacas Holstein de la Hacienda La Montaña propiedad de la Universidad de Antioquia, ubicada en el municipio de San Pedro de los Milagros (Antioquia, Colombia), correspondiente a una zona de vida Bosque Húmedo Montano Bajo (bh-MB), con una altura sobre el nivel del mar de 2471 a 2499 m, temperatura promedio de 16°C y coordenadas N6°27'094; W 75°32'678.

Se evaluaron 43 vacas Holstein del lote de alta producción con número variable de días en leche y entre 1 y 10 partos. Como criterios de exclusión se establecieron: vacas cojas, con mastitis clínica, cuartos perdidos y que hayan presentado abortos en el período productivo actual.

Las vacas se alimentaron con pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone) bajo un sistema de pastoreo rotacional intensivo, en una rotación de potreros de 30 a 45 días. La oferta de pasto se realizó en franjas luego de cada ordeño, los cuales se llevaron a cabo a las 5:00 am y 2:00 pm. Se realizó un balance nutricional de la dieta, el déficit de energía se suplementó con un concentrado que contenía 17% de proteína cruda, 1.8 Mcal de energía neta por kg y una humedad del 10%; este se suministró individualmente en dos raciones diarias de acuerdo a la producción de leche y la condición corporal de cada animal. La oferta mineral se realizó con sal al 8% de fósforo a voluntad.

Se tomaron registros diarios de producción de leche del ordeño de la mañana y de la tarde durante los meses de diciembre a mayo (181 días en total). También se tuvo en cuenta los valores de las variables temperatura ambiental (T), y humedad relativa (H) durante las 24 horas del día, tomadas cada 10 minutos por la central meteorológica Vantage pro2 (Davis Instruments, CA,U.S.A).

Para el análisis estadístico se utilizó un modelo mixto aditivo generalizado suavizado (Hastie y Tibshirani 1990; Wood 2011). Incluyendo los efectos de vaca, mes de lactancia, número de parto, temperatura y humedad a diferentes horas del día; el modelo para producción de leche en el ordeño de la mañana o de la tarde es el siguiente:

$$y_{ijrlm} = \alpha + P_i + C_j + \sum_r s(T_r + H_r) + y_l + \varepsilon_{ijrlm}$$

Donde

y_{ijrlm} = Producción de leche (L) en el ordeño de la mañana o de la tarde

α = intercepto

P_i = Efecto fijo del número de partos de la vaca

C_j = Efecto fijo de mes de lactancia

$s(T_r + H_r)$ = funciones suavizadas no parametrizadas a diferentes horas del día (r) de la temperatura (T) y humedad (H) con k grados de suavización

y_l = Efecto aleatorio de vaca

ε_{ijrlm} = Efecto residual

Para el análisis se usó la librería “mgcv” de Wood (2011) del software R-project (R core Team 2012).

Resultados y discusión

Según el análisis de varianza, los efectos fijos de número de partos y mes de lactancia fueron los de mayor significancia ($p < 0.01$) en la producción de leche (Wood, 2011; Djemali y Berger, 1992; Cordeiro *et al.*, 1991), sin embargo, las variables temperatura y humedad relativa tuvieron también un efecto significativo.

Según la figura 1.1, la temperatura fluctúa entre los 5 y 15°C en las horas de la noche y la madrugada, presentando los rangos inferiores más bajos entre las 4:00 y 7:00 a.m., hora después de la cual, el rango empieza a incrementar situándose entre los 10 y 15°C a las 9:00 a.m. y alcanzando un máximo de 15 a más de 20°C al medio día, este se mantiene hasta las 4:00 p.m., donde el rango empieza a descender. De acuerdo al rango propuesto por Shearer y Bray (1995), en las horas de la noche y la mañana no se presentó estrés por alta

temperatura ambiental, pero al medio día se presentó un leve incremento sobre la zona termo-neutral. En este punto, la vaca de leche reacciona disipando el calor por mecanismos no evaporativos (McDowell 1996). Aunque se presentaron temperaturas inferiores a 5°C en horas de la madrugada (Figura 1.1), estas sólo se registraron en 3 de los 181 días que duró el estudio durante no más de 1 hora, por lo que no se identificó afectaciones en la producción (Figura 1.2).

La humedad fue superior a 90% entre las 7:00 p.m. a 6:00 a.m., hora después de la cual empieza a variar con tendencia a disminuir a medida que aumenta la temperatura, alcanzando valores inferiores al 50% a las 2:00 y 3:00 p.m. y se mantuvo entre 50 y 90% hasta las 5:00 p.m. Esto se puede explicar porque en la madrugada el suelo y los elementos del ambiente no tienen la energía suficiente para irradiar calor, mientras que en la mañana cuando aumenta la radiación también aumenta la temperatura a causa de los rayos del sol y el calor que acumulan los elementos del medio, estabilizándose a las 11:00 a.m. y 12:00 p.m. cuando el aire llega a estar más seco, la humedad relativa baja y la temperatura y la radiación solar alta; al final de la tarde (6:00 p.m.), cuando se esconde el sol, vuelve y aumenta la humedad y la radiación y la temperatura disminuyen (Whates y Charles, 1994).

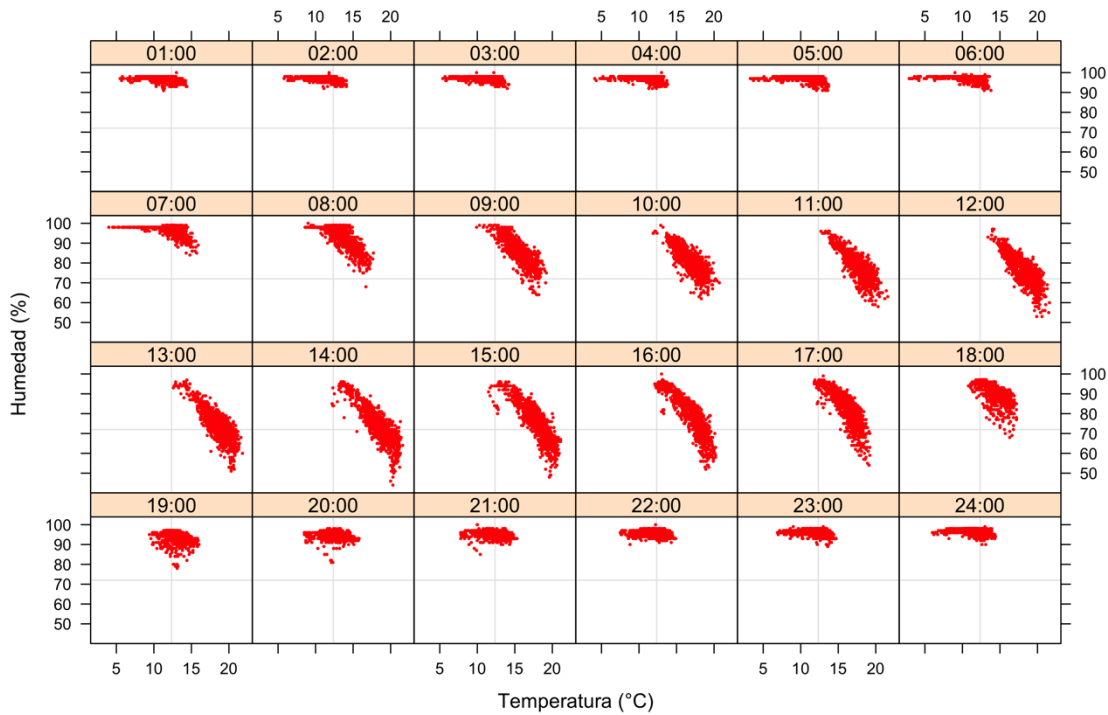


Figura 1.1. Relación de temperatura y la humedad relativa durante el día en la Hacienda la Montaña, municipio de San Pedro de los Milagros, departamento de Antioquia.

En la figura 1.1 se muestra un incremento considerable de la humedad relativa en las horas de la noche, la cual no tiene un efecto negativo sobre el estrés de las vacas de leche, ya que ésta afecta cuando se presenta combinada con temperaturas altas, superiores a las de la zona termo-neutral, debido al efecto que la humedad ambiental ejerce en la no disipación del calor por intercambio de gases, dificultad en la sudoración y respiración (Da Silva, 2006); es la velocidad del viento la que afecta la percepción de la temperatura del aire a temperaturas bajas al remover el aire caliente que rodea el cuerpo, cuanto más fuerte sopla el viento, más rápido se lleva el calor y más frío se siente (sensación térmica), así por ejemplo, un novillo expuesto a un viento de 32 km/hora a 0° C, estará expuesto a una temperatura efectiva de -12° C, experimentando una considerable pérdida de calor por convección (Cunningham y Acker, 2000).

Para evaluar el impacto de la temperatura y la humedad en la producción de leche, se probaron funciones suavizadas de estas variables a las horas previas del ordeño. En el caso del ordeño de la mañana, se probaron las funciones suavizadas a las 2:00 pm del día anterior hasta las 5:00 a.m. (hora del ordeño), de las cuales se construyó un modelo final con las horas 2:00 p.m. y 6:00 p.m. del día anterior y 1:00, 4:00 y 5:00 a.m. Las funciones suavizadas de las relaciones temperatura y humedad a las 2:00 p.m. del día anterior al ordeño de la mañana y a las 5:00 a.m. (hora del ordeño) fueron altamente significativas ($p < 0.01$) para la producción de leche en la mañana. Esto se explica ya que las vacas expuestas a condiciones climáticas naturales adversas, como las que se presentan en estos horarios, presentan requerimientos de mantenimiento superiores, diferente distribución de la energía y como resultado una menor producción de leche (NRC, 1981). La figura 1.2 muestra el efecto que la humedad y la temperatura ambiental en dos horas distintas (2:00 pm del día anterior y 5:00 am hora del ordeño), ejercen sobre la producción de leche durante el ordeño de la mañana (mayor producción en azul y menor producción en amarillo).

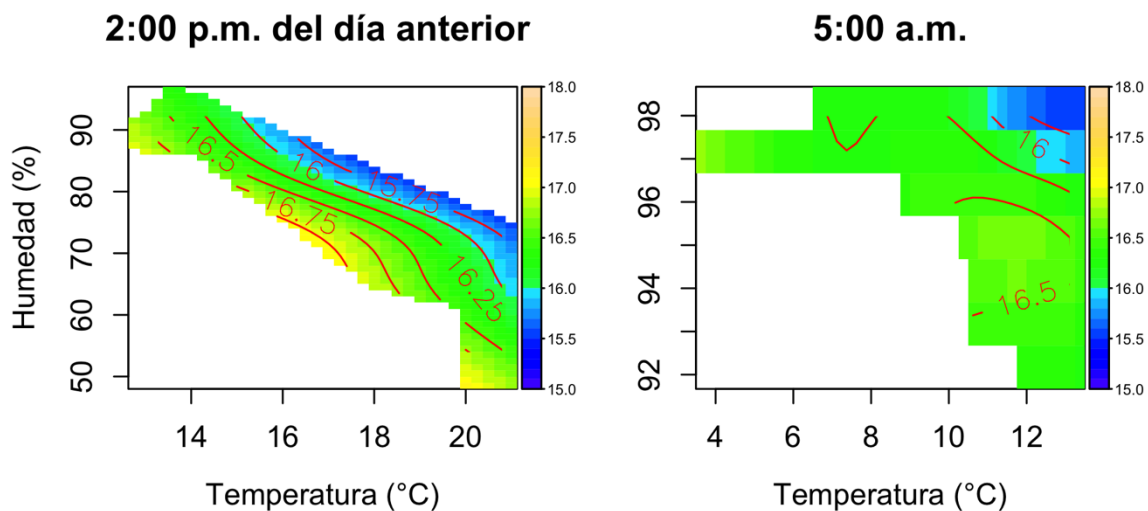


Figura 1.2. Relación de la producción de leche de vacas Holstein en el ordeño de la mañana con respecto a la temperatura y humedad ambiental a las 2:00 p.m. del día anterior y 5 a.m.

Según esta, a las 2:00 p.m. cuando la temperatura fue menor a 15°C, la humedad fue superior al 80%; a los 16°C la humedad estuvo entre 75 y 90%, a los 18°C la humedad estuvo entre 65 y 82% y a temperaturas superiores a 19°C la humedad varió entre 48 y 77%. Además, a temperaturas entre 13 y 14.5°C y humedades entre 80 y 99% la producción de leche varió de 16 a 17 L/vaca, diferente a lo que se observó a temperaturas superiores a 20 °C y humedades cercanas al 50%, donde la producción fue superior a los 17 L/vaca, sin embargo, a humedades superiores al 70%, con la misma temperatura (20°C), la producción fue inferior de 16 L/vaca. Esto se debe a que la síntesis de leche depende de que las glándulas mamarias reciban el abastecimiento necesario de diversos metabolitos a través de la sangre, procedimiento que se ve afectado entre otras variables por las altas temperaturas ambientales (Gallardo y Valtorta, 2011), y por la alta humedad relativa ya que esta entorpece la evaporación por la piel (sudoración) y el tracto respiratorio (jadeo), uno de los mecanismos de termorregulación, lo cual afecta las pérdidas de calor y el equilibrio térmico de la vaca (Hafez, 1972).

A las 5:00 a.m. la temperatura varió entre 3.8 y 13°C. Cuando esta fue menor a 6°C, la humedad estuvo cercana al 97%, entre 6 y 10°C la humedad varió entre 95.5% y 99%, y cuando la temperatura fue mayor a 11°C, la humedad varió entre 92 y 99%. Con respecto a producción de leche, esta fue menor a 16L/vaca, cuando la temperatura y la humedad fueron superiores a 12°C y 97%, respectivamente; mientras que a temperaturas menores a 12°C y humedad menor a 97%, la producción fue superior a 16.25L/vaca. Si bien el rango de confort de temperatura ambiente es de 6 a los 21°C (Shearer y Bray, 1995), se encontró una relación de la temperatura y la humedad con la producción de leche.

Para el ordeño de la tarde se probaron funciones suavizadas de la temperatura y humedad desde la 1:00 a.m. hasta las 2:00 p.m., de las cuales se construyó un modelo final con las horas 1:00, 4:00, 5:00, 11:00 a.m., 12:00 m y 2:00 p.m. Fueron altamente significativas ($p < 0.01$) las relaciones de temperatura y humedad a las 5:00 a.m. y 2:00 p.m., los horarios que corresponden al tiempo del ordeño (Figura 1.3).

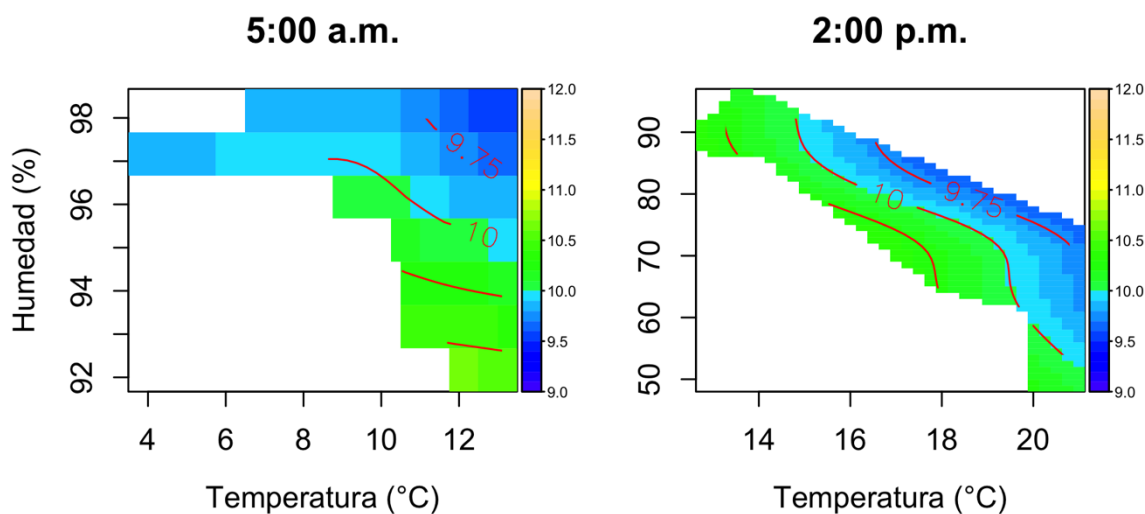


Figura 1.3. Relación de la producción de leche de vacas Holstein en el ordeño de la tarde con respecto a la temperatura y humedad ambiental a las 5:00 a.m. y 2:00 p.m.

A las 5:00 am cuando la temperatura fue menor que 9°C y la humedad fue superior a 96.8%, la producción fue menor que 10 L/vaca; a temperatura superior a los 10°C la humedad varió entre 92% y 99%, con una producción superior a 10 L/vaca cuando la humedad fue menor que 96%. A las 2:00 p.m. la temperatura varió entre 13 a 20°C; cuando esta fue menor que 15°C la humedad fue superior al 85% y la producción de leche fue superior a 10L/vaca, mientras que a temperaturas superiores a 20°C y humedades superiores a 55% la producción de leche fue menor a 10 L/vaca (Figura 1.3). Estos resultados mostraron el gran efecto que ejerce la humedad sobre la producción de leche, lo que respalda Bianca (1965) quién demostró que cuando la humedad relativa disminuye y no se incrementa la temperatura, la producción de leche aumenta. Sin embargo, Sharma *et al* (1988), planteó que la humedad relativa sola no tiene mayor efecto en la producción de leche, pero al interrelacionarse con la temperatura ambiental afecta la producción de manera negativa. West (2003) demostró que los factores medioambientales temperatura ambiente y humedad relativa tanto en conjunto como individualmente, determinan la actividad productiva de las vaca. Bianca (1965) indicó que a una temperatura de 29 °C y 40% de humedad relativa la producción de leche de vacas Holstein, Jersey y Pardo suizo

disminuyó a 97, 93, y 98% de lo normal, pero cuando la humedad relativa se incrementó a 90% los rendimientos fueron 69, 75, y 83% menos de lo normal.

Conclusiones

La producción en el ordeño de la mañana se reduce cuando se presentan temperaturas y humedades altas en la tarde del día anterior y a la hora de ordeño; y la producción en el ordeño de la tarde se ve afectada por las temperaturas y humedades altas en horas de la mañana y la hora de ordeño.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero al Grupo investigación en sistemas agroambientales sostenibles GISAS y a La Estrategia para la Sostenibilidad 2016 Código 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.

Referencias

Armstrong DV, 1994. Heat stress interaction with shade and cooling. *Journal of Dairy Science*; 77(7): 2044–2050. [http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(94\)77149-6/pdf](http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(94)77149-6/pdf)

Bianca W, 1965. Reviews of the progress of dairy science. Section A. Physiology. Cattle in a hot environment. *Journal of Dairy Research*; 32(3):291-345.

Bohmanova JI, Misztal S, Tsuruta D, Norman and Lawlor TJ, 2005. National genetic evaluation of milk yield for heat tolerance of United States Holsteins. *Interbull Bull.* 33:160–162.

Collier RJ, Collier JL, Rhoads RP and Baumgard LH, 2008. Invited review: Genes involved in the bovine heat stress response. *Journal of Dairy Science.* 91(2):445–454. [http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(08\)71386-9/pdf](http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(08)71386-9/pdf)

Collier RJ, Zimelman RB, Rhoads RP, Roads RP and Baumgard LH, 2011. 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. Pages 113-125 in: *Proceedings Western Dairy Management Conference, Reno, NV, March 9-11.*

Cordeiro M, Ferreira A and Milagres N, 1991. Curvas de lactação de raça Holandesa en confinamiento total. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinaria y Zootecnia*; 43: 450-458.

Da Silva RG, 2006. Weather and climate and animal production. In: Update of the guide to agricultural meteorological practices. WMO-No.134 published in 1982. http://www.wamis.org/agm/gamp/GAMP_Chap12.pdf

Dikmen S and Hansen PJ, 2009. Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating cows in a subtropical environment? *Journal of Dairy Science*. 92(1):109–116. [http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(09\)70315-7/pdf](http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(09)70315-7/pdf)

Djemali M and Berger PJ, 1992. Yield and reproduction characteristics on Friesian cattle under North Africa conditions. *Journal of Dairy Science*, 75(12):3568-3575. [http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(92\)78133-8/pdf](http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(92)78133-8/pdf)

Flamenbaum L, 1994. Factores que afectan la producción lechera en zona norte. Informe de consultoría en el (Segundo Proyecto de desarrollo agropecuario). Montevideo: Comisión honoraria del plan de agropecuario; p.18.

Fox DG and Tylutki TP, 1998. Accounting for the effects of environment on the nutrient requirements of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 81:3085-3089. [http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(98\)75873-4/pdf](http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(98)75873-4/pdf)

Gallardo M y Valtorta S, 2011. Producción y bienestar animal estrés por calor en ganado lechero: impactos y mitigación. Buenos Aires: Ed. Hemisferio Sur S.A. p.128

Hahn GL, 1999. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *Journal of Animal Science*. 77 suppl (2):10-20. https://www.animalsciencepublications.org/publications/jas/tocs/77/suppl_2

Hall M, 2000. Meet the challenges of heat stress feeding. *Howard`s Dairyman*. May. p.344.

Hastie and Tibshirani, 1990 Generalized Additive Models. United States of America: Ed. Chapman & Hall. p.352

Huhnke RL, McCowan LC, Meraz LC, Harp SL and Payton ME, 2001. Determining the frequency and duration of elevated temperature-humidity index. ASAE Annual Internacional Meeting, Sacramento, CA. America Society of Agricultural and Biological Engineer, St. Joseph, MI.

- Isbell P, 2011.** What climate change means for Latin America. *Hemisphere* 20:19–21. <https://repository.unm.edu/bitstream/handle/1928/19026/What%20Climate%20Change%20Means%20for%20Latin%20America.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Khalifa HH, 2003.** Bioclimatology and adaptation of farm animals in a changing climate. In: *Interactions between climate and animal production*. Netherland Ed. Wageningen Academic Publisher. 15-29.
- McDowell LR, 1985.** Nutrition of grazing ruminants in warm climates. New York. Ed. Academic Press. p.443
- McDowell RE, Wilk JC and Talbott CW, 1996.** Economic viability of crosses of bostaurus and bosindicus for dairying in warm climates. *Journal of Dairy Science*. 79(7): 1292- 1303. [http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(96\)76484-6/pdf](http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(96)76484-6/pdf)
- Misztal I and Ravagnolo O, 2002.** Studies on genetics of heat tolerance in Holsteins. Proc 7th World Congress on Gen. Appl. Livestock Prod., Montpellier, France 18:1–4. Event Lab. GmbH, Leipzig, Germany.
- NRC, 1981.** National Research Council. Nutrient requirements of goats. Washington DC: National Academy Press.
- Osorio-Arce MM y Segura-Correa JC, 2006.** Relación entre peso corporal, reproducción y producción de leche de vacas cruzadas en un sistema de doble propósito en el trópico húmedo de México. *Livestock Research for Rural Development*. Volume 18, Article #176. Retrieved November 28, 2015, from <http://www.lrrd.org/lrrd18/12/osor18176.htm>
- R core Team, 2012.** A language and environment for statistical computing. Viena, Australia.
- Settivari R, Spain J, Eilersieck M, Byatt J, Collier R and Spiers D, 2007.** Relationship of thermal status to productivity in heat-stressed dairy cows given recombinant bovine somatotropin. *Journal of Dairy Science*. 90(3):1265-1280. [http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(07\)71615-6/pdf](http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(07)71615-6/pdf)
- Sharma AK, Rodríguez LA, Wilcox CJ, Collier RJ, Bachman KC and Martin FG, 1988.** Interactions of climatic factors affecting milk yield and composition. *Journal of Dairy Science* 71(3):819-825. [http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(88\)79622-8/pdf](http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(88)79622-8/pdf)

- Sharma RK, Yadav KR, Maheshwari VL and Kothari RM, 2000.** Baggasse preservation: a need for a biotechnological approach. *Critical Reviews in Biotechnology*. 20(4):237-263.
- Shearer J K, Bray D, 1995.** Manteniendo la salud de la ubre y la calidad de la leche durante periodos calurosos. *Hoard's Dairyman (Abstract)*.1(7):643.
- Shwartz G, Rhoads ML, VanBaale MJ, Rhoads RP and Baumgard LH, 2009.** Effects of a supplemental yeast culture on heat stressed lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science*. 92(3):935–942. [http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(09\)70401-1/pdf](http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(09)70401-1/pdf)
- West JW, 2003.** Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*; 86(6):2131-2144. [http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(03\)73803-X/pdf](http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(03)73803-X/pdf)
- West JW, Mullinix BG, Bernard JK, 2003.** Effects of Hot, Humid Weather on Milk Temperature, Dry Matter Intake and Milk Yield of Lactating Dairy Cows. *Journal of Dairy Science* 86(1):232-242. [http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(03\)73602-9/pdf](http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(03)73602-9/pdf)
- Whates CM and Charles DR, 1994.** Livestock housing. Wallingford: CAB International.37-60.
- Wheelock JB, Rhoads RP, VanBaale MJ, Sanders SR and Baumgard LH, 2010.** Effect of Heat Stress on Energetic Metabolism in Lactating Holstein Cows. *Journal of Dairy Science*, 93(2): 644-655. [http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(10\)71507-1/pdf](http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(10)71507-1/pdf)
- Wood SN, 2011.** Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society*. 73(1):3-36. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1467-9868.2010.00749.x/epdf>

CAPITULO 2

Este capítulo, referente al segundo objetivo específico se titula “Efecto de la temperatura ambiente sobre la temperatura superficial en zonas negras y blancas del pelaje de un hato de vacas Holstein en el departamento de Antioquia (Colombia)”, el cual tuvo como objetivo evaluar el efecto de la temperatura ambiente, la humedad relativa, la radiación solar y la velocidad del viento bajo el índice THSW sobre la temperatura superficial en diferentes zonas anatómicas de color blanco y negro del pelaje de un hato de vacas Holstein en el departamento de Antioquia (Colombia).

Efecto de la temperatura ambiente sobre la temperatura superficial en zonas negras y blancas del pelaje de un hato de vacas Holstein en el departamento de Antioquia (Colombia)

Effect of ambient temperature on body temperature in black and white areas of the hair coat from a herd of Holstein cows in province of Antioquia (Colombia)

Mauricio Echeverri, Luis Galeano-Vasco¹, Mario Cerón-Muñoz¹ y Sara María Márquez Girón²

Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

dme-zoo@hotmail.com

¹Grupo investigación GaMMA, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

²Grupo investigación en sistemas agroambientales sostenibles GISAS, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

Resumen

En este estudio se evaluó el efecto de la temperatura ambiente, la humedad relativa, la radiación solar y la velocidad del viento bajo el índice THSW sobre la temperatura superficial de áreas blancas y negras del pelaje de vacas Holstein. Se utilizó información de un hato de vacas Holstein en la Finca “El Recreo”, ubicada en el municipio de Abejorral (Antioquia, Colombia). Se evaluaron cinco vacas Holstein en producción, a las cuales se les

tomó la temperatura superficial cada dos horas durante 15 días en 10 sitios diferentes: línea dorsal anterior (LA), media (LM) y posterior (AC), flanco derecho (FD) e izquierdo (FI), pecho (P), cuello derecho (CD) e izquierdo (CI), vulva (V) y glándula mamaria (GM) con un termómetro infrarrojo. Para evaluar el efecto de la temperatura ambiente sobre 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 mínimo y máximo encontrados fue de 10 y 27°C, respectivamente. Las áreas anatómicas muestreadas difirieron en la temperatura de acuerdo al color, siendo las de color negro las que tuvieron mayor temperatura superficial. Las temperaturas oscilaron entre 32.5 °C a 35.8 °C para zonas blancas y de 34.5 °C a 40.5 °C para zonas negras. Los mayores valores de temperatura superficial tanto para zonas negras y blancas en todos los puntos anatómicos evaluados se presentaron a mayores valores de THSW. Se concluye que el índice THSW tiene efecto diferenciado en la temperatura superficial corporal de acuerdo al color del pelaje de las vacas (blanco o negro) siendo los puntos negros quienes mayores temperaturas registraron.

Palabras claves: ganado de leche, humedad relativa, temperatura.

Summary

In this study was evaluated the effect of ambient temperature on the body temperature of white or black areas of the hair coat of Holstein cows. It was used Information of a Holstein cows herd from the farm "El Recreo" located in the province of Abejorral (Antioquia, Colombia). Five Holstein cows in production were evaluated, to which were measure surface temperature with an infrared thermometer, every two hours for 15 days at 10 different sites: anterior dorsal line (ADL), medium dorsal line (MDL) and posterior dorsal line (PDL), right flank (RF) and left flank (LF), chest (C), right neck (CD) and left neck (CI), vulva (V) and mammary gland (MG). To evaluate the effect of ambient temperature on body temperature, it was used the temperature/humidity/sun/wind index (THSW) and for statistical analysis was used a smoothing generalized additive mixed model. The minimum and maximum THSW found was 10 and 27 °C, respectively. The anatomical areas sampled differed in temperature according to color, where the black colored had highest surface temperature. The temperatures ranged from 32.5 °C to 35.8 °C

for white hair coat and 34.5 °C to 40.5 °C for black hair coat areas. The results indicate that coat color (white or black) considerably affects body surface temperature when ambient temperature varies. It is concluded that THSW index had distinct effect on the cow body according to the coat color (white or black), so temperature surface was higher in black areas than white areas.

Keywords: Dairy cattle, humidity, temperature.

Introducción

Los sistemas de producción lechera en Suramérica se caracterizan por ser generalmente en pastoreo, por lo cual los animales se encuentran expuestos permanentemente al ambiente, afectando 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 (Johnson, 1961), siendo la variabilidad de la temperatura ambiente, el principal factor que afecta negativamente la producción, seguida, en orden de importancia, por la radiación solar, humedad del aire y finalmente el viento (Legates *et al.*, 1991). 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 de factores intrínsecos del animal como el color oscuro del pelaje, que potencializan los efectos de las altas temperaturas, ya que estos captan mayor calor respecto a los pelajes claros (Brown-Brand *et al.*, 2006; Brown-Brand y Jones, 2007). Vacas con alto porcentaje de color de capa blanca tienen una asociación lineal positiva con la producción de leche (Becerril, 1991); y además absorben 40 a 50% menos radiación solar que animales con pelaje oscuro (Stewart, 1953; Shearer, 1990).

En la actualidad es posible medir el estrés calórico mediante el índice biometeorológico que toma en cuenta la temperatura y la humedad del aire (ITH) desarrollado por Thom (1959), donde demuestra que la zona de confort térmico para vacas lecheras en producción tiene un

ITh entre 35 a 70, siendo crítico, en vacas Holstein a partir de 72 (Johnson *et al.*, 1961), lo que quiere decir que a partir de este valor comienza a alterarse de manera negativa tanto la fisiología, el confort térmico, el bienestar como también la productividad del animal. Sin embargo, este no es aplicable para determinados ambientes como en la zona tropical (Lenis *et al.*, 2015). 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 efectos de enfriamiento del viento para calcular una temperatura aparente de la que se sentiría expuesto al sol (Steadman, 1979). El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de la temperatura ambiente, la humedad relativa, la radiación solar y la velocidad del viento bajo 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 sobre el nivel del mar de 2416 a 2494 m y coordenadas N5°51'30.95"; O75°22'00.59".

Se evaluaron 5 vacas Holstein sanas de alta producción, con un promedio de 105 días en leche, entre 3 y 5 partos. Como criterios de exclusión se establecieron: vacas cojas, con mastitis clínica, cuartos perdidos y que hayan presentado abortos en el período productivo actual. Estas se alimentaron con pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone) bajo 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. 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 kg y una humedad del 12%; este se suministró individualmente en dos raciones diarias de acuerdo a 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 (Ts) con un termómetro infrarrojo - Fluke 59-MAX (Fluke Corporation, WA, USA) a una distancia no

mayor a 30 cm, cada dos horas durante 15 días consecutivos las 24 horas del día, en 10 sitios diferentes como se muestra en la figura 2.1.

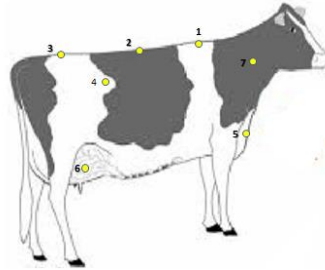


Figura 2.1. Puntos anatómicos muestreados para temperatura superficial (T_s) y color del pelaje en vacas Holstein.

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 tomado 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 horas del día, cada 10 minutos 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 (T_s) 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 (Hastie y Tibshirani 1990; Wood,

2011). El modelo para temperatura superficial en diferentes partes del cuerpo fue el siguiente:

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

Dónde:

y_{ijkl} = 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 librería “mgcv” de Wood (2011) del software R-project (R core Team 2012).

Resultados y discusión

La figura 2.2 muestra la relación de la 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 horas con un valor máximo de 27°C entre las 10 y 15 horas y un valor mínimo de 10°C entre las 2 a 6 horas (Tabla 1). Los mayores valores de THSW coinciden según la figura 2.2 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 son 22°C, 98%, 1172 W/m², 12 m/s respectivamente, a unas horas de mayor presentación entre las 13 y 15 horas para T, 6 a 8 para la humedad, entre las 12 a 13 horas se presentó el mayor valor para radiación solar y entre las 11 a 15 para velocidad del viento. Los valores más bajos fueron 10°C para T, 50% para H y 0 para R y W a unos horarios de mayor presentación de 2 a 7, 13 a 15, 18 a 6 para T, H y R respectivamente, las horas de 0 vientos, se presentó a

intervalos variables durante todo el día (Tabla 1). La trayectoria de estas variables durante las horas de la tarde (13 a 15 horas) 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 (Hahn, 1999) y valores en la H a las horas de mayor T a partir de la cual según Berman, (2006), la eficiencia de las vías respiratorias para eliminar calor y la del enfriamiento evaporativo se reducen (>45 y 55% respectivamente). A pesar de lo anterior, el índice THSW, sí indica que a estas horas del día, la temperatura aparente estuvo por encima del umbral térmico máximo para la vaca Holstein al presentar un valor de 27°C.

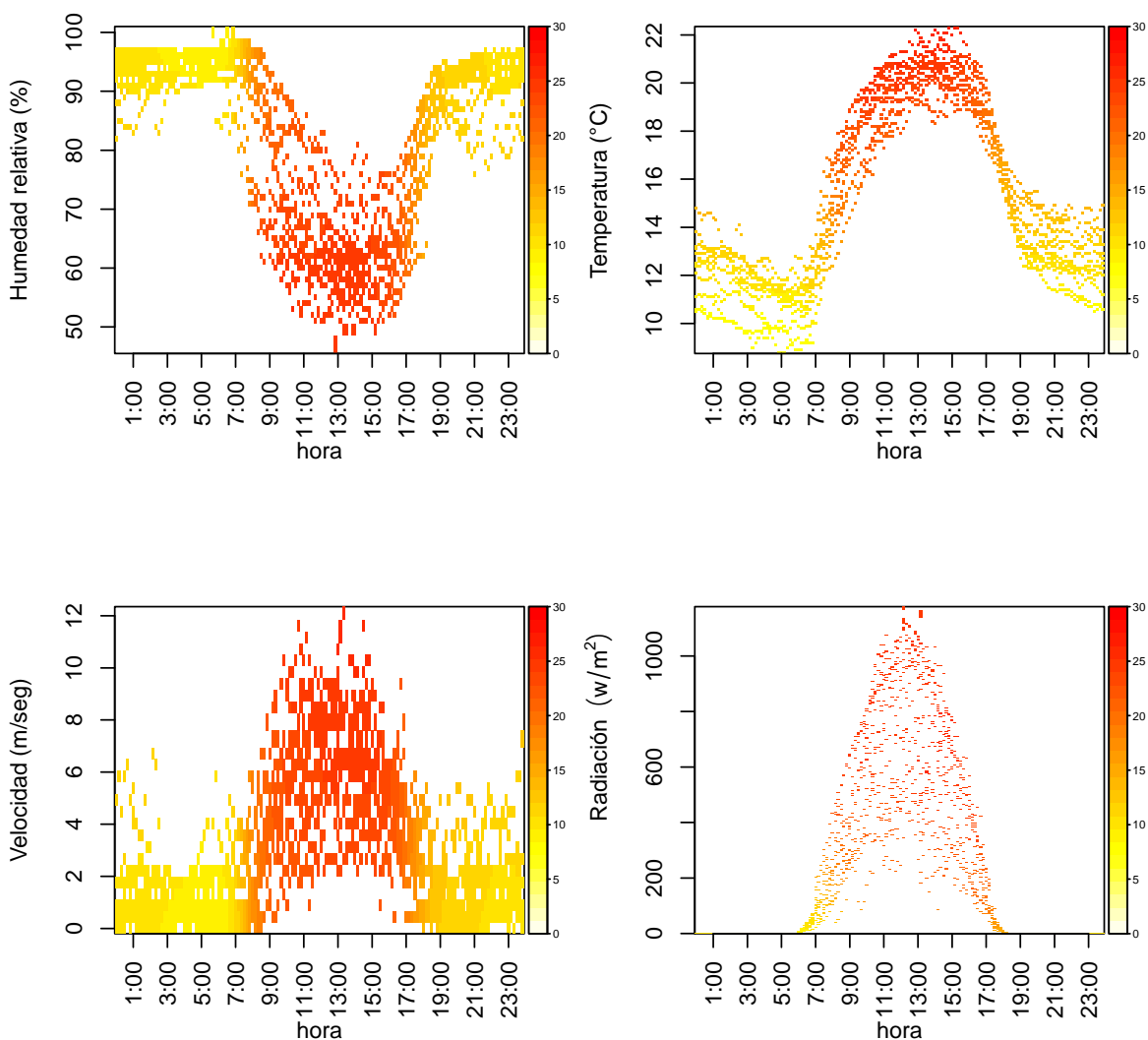


Figura 2.2. Relación durante el día de las variables ambientales temperatura ambiente, radiación solar, humedad relativa y velocidad del viento con el índice THSW (escala desde 0°C con color amarillo hasta 30°C con color rojo).

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

Variable	Valor máximo	Hora	Valor mínimo	Hora
T	22	13-15	10	2-7
H	98	6-8	50	13-15
R	1172	12-13	0	18-6
W	12	11-15	0	-*
THSW	27	10-15	10	2-6

T: temperatura ambiente en °C; H: humedad relativa en %; R: radiación solar en W/m²; W: velocidad del viento en m/s; THSW: índice temperatura/humedad/sol/viento en °C. *El valor mínimo para velocidad del viento (0 m/s), se presentó de forma variable durante todo el día, por lo que no se incluyó un intervalo de hora específica de presentación, patrón que sí fue observable para las demás variables.

Las correlaciones calculadas entre las Ts de los diferentes puntos anatómicos evaluados (Figura 2.3) muestra correlaciones bajas de la Ts 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, siendo 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.

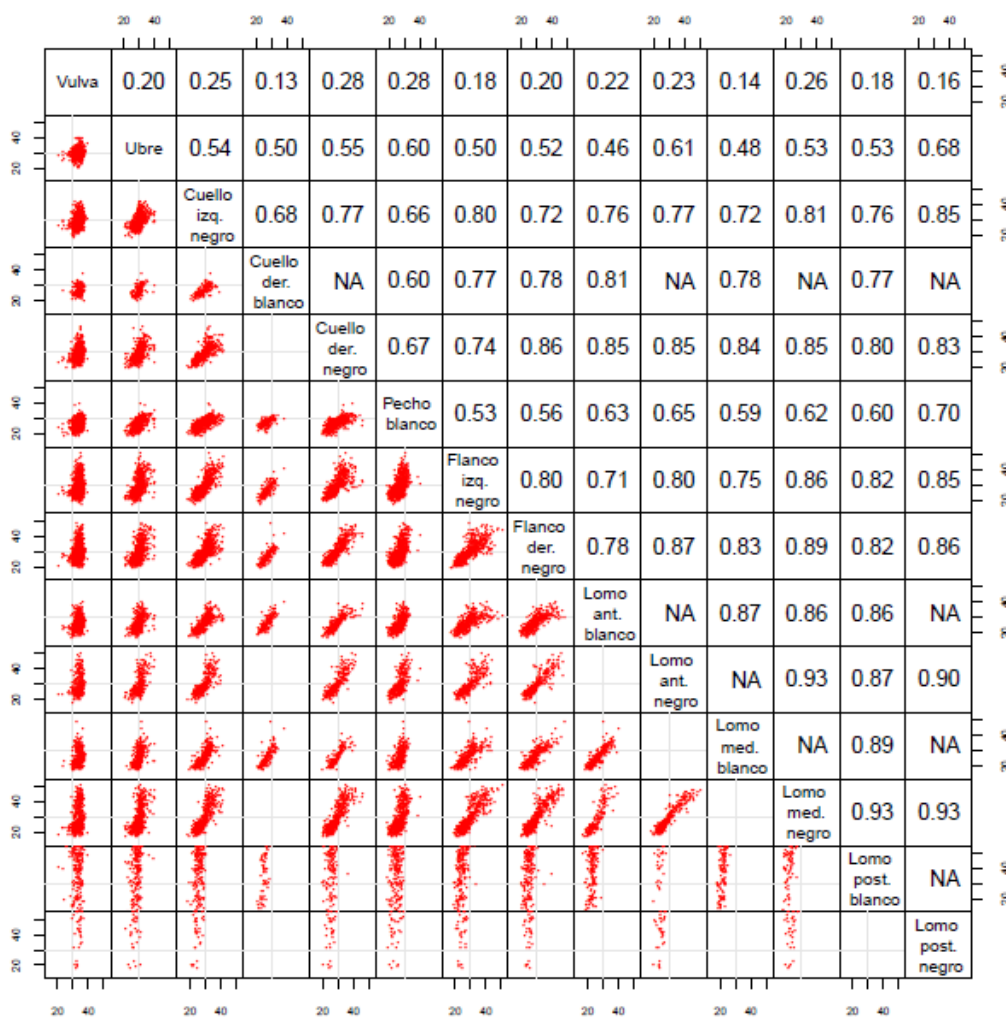


Figura 2.3. Correlaciones entre temperaturas superficiales del cuello, pecho, flanco y lomo de pelaje blanco y negro, la vulva y la ubre de vacas Holstein

En las figuras 2.4, 2.5, 2.6 y 2.7 se muestra la relación del THSW y hora del día con la temperatura T_s máxima del cuello, LA, LM y LP en los colores blanco y negro. En la figura 2.4, se observa que a horas de mayor THSW (27°C entre las 13-15 horas) se presentó la máxima temperatura T_s del cuello color blanco (32.5°C), diferente a la máxima T_s del cuello negro (34.5°C) que se presentó a un THSW de 18°C a las 9 horas. La T_s del LA, también fue mayor a horas de mayor THSW (Figura 2.5) siendo 36.5°C en color negro y 34.1°C en color blanco, ambas mayores con respecto a la T_s del cuello.

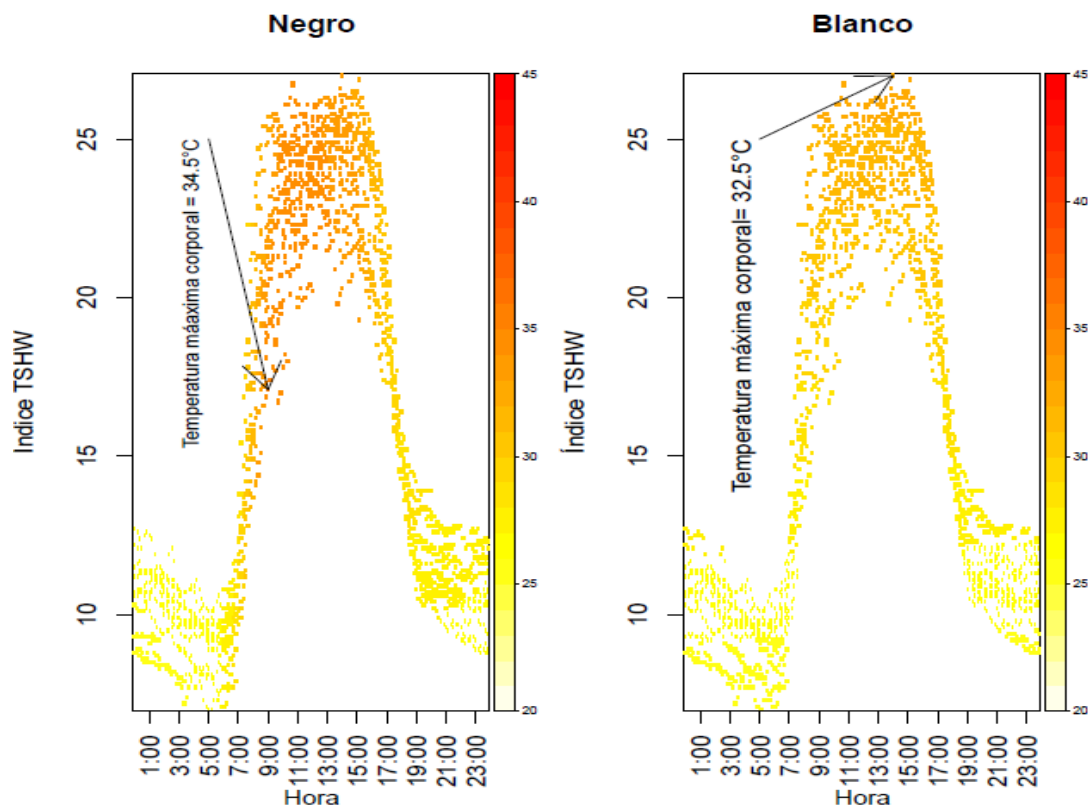


Figura 2.4. Relación del índice de temperatura, humedad, velocidad del viento y radiación (THSW) y hora del día con la temperatura superficial (escala de 20°C en amarillo hasta 45°C en rojo) del cuello de color negro y blanco en vacas Holstein.

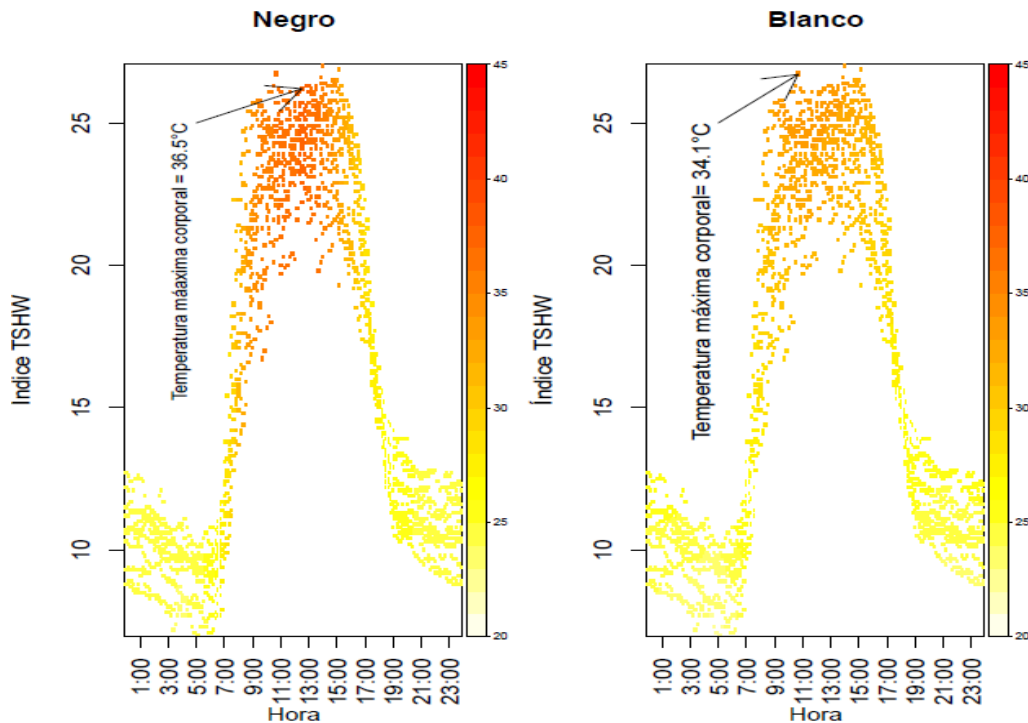


Figura 2.5. Relación de temperatura, humedad, velocidad del viento y radiación (THSW) y hora del día con la temperatura superficial (escala de 20 °C en amarillo hasta 45°C en rojo) en la parte anterior del lomo de color negro o blanco en vacas Holstein.

Por su parte, la T_s del LM (Figura 2.6) al igual que el cuello y el lomo anterior, es mayor a horas de mayor THSW, siendo 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). La alta T_s del LM puede 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, es por ello importante tener en cuenta, ofrecer sombra a los

animales, independiente de su color de pelaje, pues a pesar de que 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; 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 (Silva *et al.*, 1999).

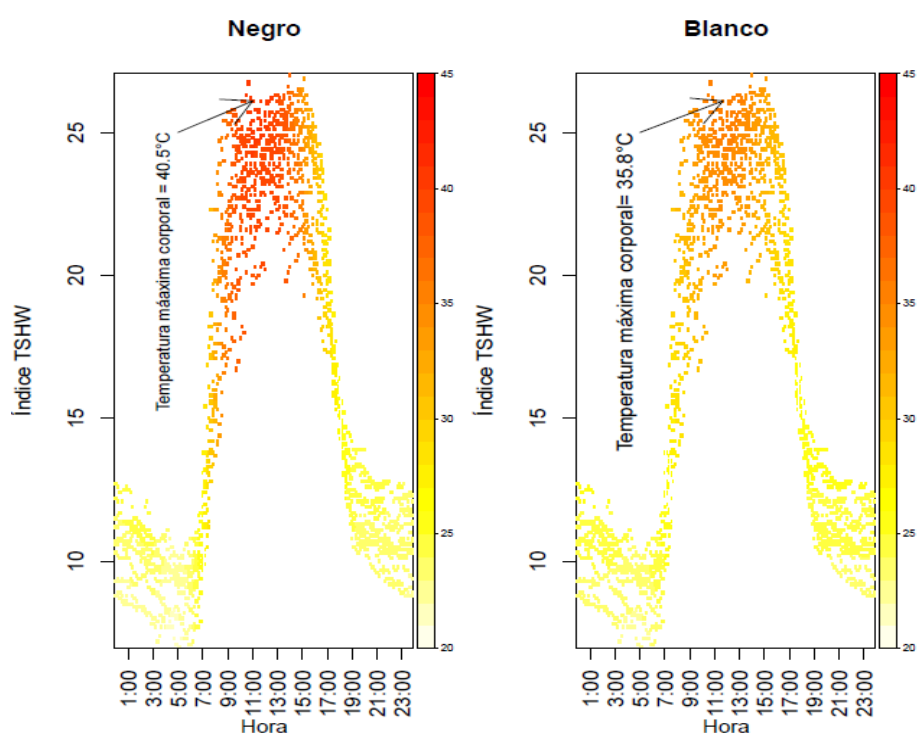


Figura 2.6. Relación de temperatura, humedad, velocidad del viento y radiación (TSHW) y hora del día con la temperatura superficial (escala de 20 °C en amarillo hasta 45°C en rojo) en la parte media del lomo de color negro o blanco en vacas Holstein.

Finalmente, la T_s del lomo posterior también fue mayor a horas de mayor TSHW (Figura 2.7), 37.9°C para el color negro y 35.1°C para el color blanco, una diferencia de T_s entre colores muy similar a la del lomo anterior (3°C), aunque las T_s fueron

mayores para LP con respecto a LA.

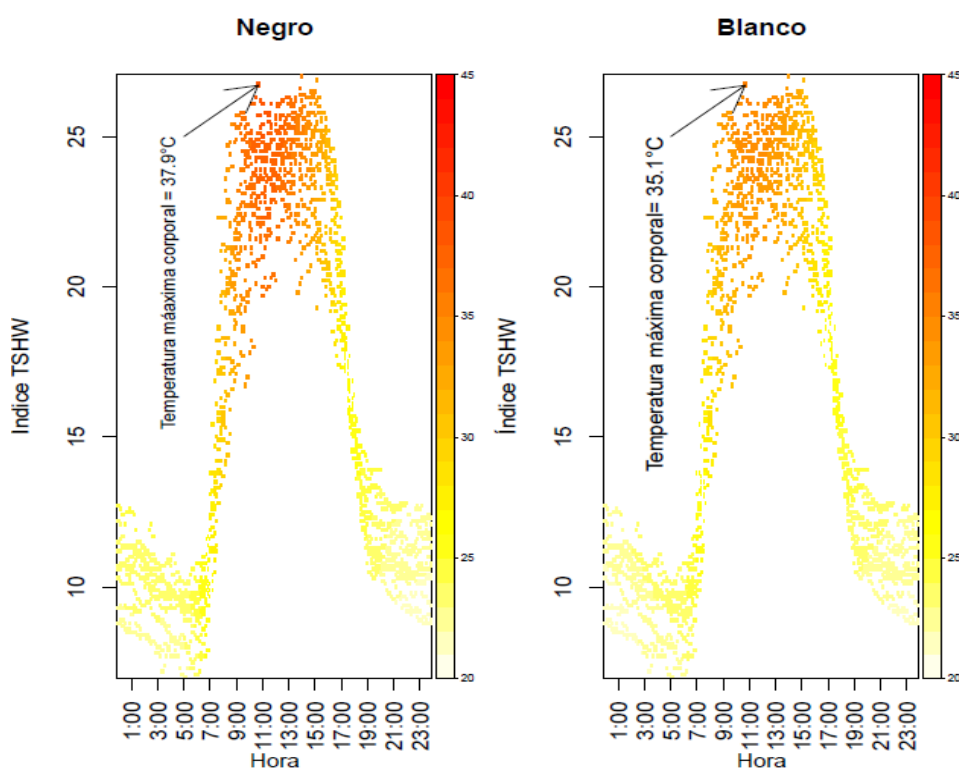


Figura 2.7. Relación de temperatura, humedad, velocidad del viento y radiación (THSW) y hora del día con la temperatura superficial (escala de 20 °C en amarillo hasta 45°C en rojo) en la parte posterior del lomo de color negro o blanco en vacas Holstein.

Lo anterior permite corroborar que el color de la capa de pelo tiene un efecto sobre la Ts en el cuello y el lomo ya que está directamente relacionado con la cantidad de calor absorbida

de la radiación solar (Finch, 1986) la cual tuvo el mismo comportamiento a lo largo del día que la temperatura ambiental T y el THSW. Se destaca en todos los casos, la prevalencia de Ts mas alta para 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 (Brown-Brand *et al.*, 2006; Brown-Brand y Jones, 2007).

Esto cobra mayor importancia si se tiene en cuenta que animales con colores claros, son menos sensibles al ambiente cálido que aquellos predominantemente en negro, resultados obtenidos por Leyva *et al.*, (2010) quienes evaluaron el efecto del color del pelaje sobre la frecuencia respiratoria en ganado lechero bajo condiciones cálidas, encontrando 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 (1990) por ejemplo, encontró interacciones entre el color y el medio ambiente, donde 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 vacas que eran predominantemente negras. Maia *et al.* (2005) 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 donde 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 (Bertipaglia *et al.*, 2005).

Es importante tener en cuenta además, que en ganado Holstein la coloración del pelaje es altamente heredable (Dorshorst, 2015), siendo una alternativa de selección en hatos lecheros para contrarrestar los efectos negativos de los climas cálidos. Sin embargo, Bertipaglia *et al.* (2005) concluyó 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, siendo aquellos con cabellos menores a 2 mm los más aptos para ambientes tropicales, lo que está en parte de acuerdo con Pellecer (2010) quien encontró en un estudio donde 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 17.61 kg/día en comparación con las de pelaje largo 16.57 kg/día, la temperatura rectal fue menor con 38.38°C vs 38.73°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 36.40°C vs 36.78°C, sobre la fosa paralumbar izquierda con 36.90°C vs 37.39°C y en el color blanco sobre su lomo con 36.30 vs 37.30, 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 al color del pelaje de las vacas (blanco o negro) siendo los puntos negros quienes mayores temperaturas registraron. Por lo que es importante realizar estudios donde 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 nuestro entorno.

Los diferentes puntos anatómicos analizados mostraron relación cercana entre sí con respecto a los cambios de temperatura, con excepción de la vulva y la ubre, lo cual indica que al aumentar la temperatura de una zona, independientemente del color, también aumenta en las otras zonas del cuerpo, lo que puede estar ocasionando estrés en las vacas, especialmente si son predominantemente negras, ya que absorben mayor calor con respecto a las blancas.

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

- Becerril C, Campos M, Wilcox CJ and Hansm PJ, 1991.** Effects of white *coat* color percentage on milk and fat productions of Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 7(Suppl. 1):288
- Berman A, 2006.** Extending the Potential of Evaporative Cooling for Heat-Stress Relief. *Journal.Dairy Science.* 89:3817–3825.
- Bertipaglia ECA, Silva RG and Maia ASC, 2005.** Fertility and hair coat characteristics of Holstein cows in a tropical environment. *Animal Reproduction* 2(3):187-194
- Brown-Brandl TM and Jones DD, 2007.** Development and validation of an animal susceptibility model. An ASABE Meeting Presentation. Paper Number: 074081 Minneapolis Convention Center, Minneapolis, Minnesota, EU. pp.17-20. From: http://www.ars.usda.gov/sp2UserFiles/Place/54380560/Publications/animal_model.pdf
- Brown-Brandl TM, Eigenberg RA and Nienaber JA, 2006.** Heat stress risk factors of feedlot heifers. *Livestock Science.* 105(1-3):57-68.
- Dorshorst B, Henegar C, Liao X, Sällman Almén M, Rubin C-J, Ito S, Wakamatsu K, Paul Stothard, Doormaal B, Plastow G, Barsh G, Andersson L, 2015.** Dominant Red Coat Color in Holstein Cattle Is Associated with a Missense Mutation in the Coatomer Protein Complex, Subunit Alpha (COPA) Gene. *PLoS ONE* 10(6): e0128969. doi:10.1371/journal.pone.0128969
- Finch VA, 1986.** Body temperature in beef cattle: its control and relevance to production in the tropics. *Journal of Animal Science* 62:531-542.
- Hahn GL, 1999.** Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *Journal of Dairy Science* 82:10-20.
- Hansen PI, 1990.** Effects of coat colour on physiological responses to solar radiation in Holsteins. *The Veterinary Record* 127:333.
- Hastie, T.J., Tibshirani, R.J., 1990.** *Generalized Additive Models.* Chapman & Hall.
- Johnson HD, Kibler HH, Ragsdale AC, Berry IL and Shanklin MD, 1961.** Role of heat tolerance and production level in responses of lactating Holsteins to various temperature-humidity conditions. *Journal of Dairy Science* 44: 1191.

Legates JE, Farthing BR, Casady RB and Barrada DMS, 1991. Body temperature and respiratory rate of lactating dairy cattle under field and chamber conditions. *Journal of Dairy Science* 74: 2491-2500.

Lenis Sanin Y, Zuluaga Cabrera AM, Tarazona Morales AM, 2015. Adaptive responses to thermal stress in mammals. *Rev Med Vet* 31:121-135.

Leyva Corona JC, Osuna JDA, Avalos RC, Morales IPM, 2010. Frecuencia Respiratoria en Ganado Holstein con Diferente Color de Pelaje. *Memorias del XX° Congreso Internacional sobre Producción de Carne y Leche en Climas Cálidos*. Mexicali, Baja California, México.

Maia ASC, Silva RG, Bertipaglia ECA and Cerón-Muñoz MF, 2005. Genetic variation of the hair coat properties and the milk yield of Holstein cows managed under shade in a tropical environment. *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*. 42 (3): 180-187. From: <http://www.revistas.usp.br/bjvras/article/view/26429/28212>

Pellecer H, 2010. 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 Ingeniero Agrónomo, Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano, Honduras. Disponible en: <http://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/612/1/T2972.pdf>

R Core Team, 2014. R: a language and environment for statistical computing. Vienna, Austria. From: <https://www.R-project.org/>

Saravia C, 2009. Efecto del estrés calórico sobre las respuestas fisiológicas y productivas de vacas holando y jersey. Universidad de la República, Facultad de Agronomía, Uruguay. Disertación Magister. p.p. 12-134. Disponible en: <https://www.colibri.udelar.edu.uy/handle/123456789/1791>

Shearer JK, 1990. Effects of high environmental temperature on production, reproduction, and health of dairy cattle. *Agricultural Practice and Science Journal* 11: 5-17.

Silva RG, 1999. Estimativa do balanço térmico por radiação em vacas Holandesas expostas ao sol e à sombra em ambiente tropical. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 6: 1403- 1411.

Steadman RG, 1979. The Assessment of Sultriness. Part II: Effect of Wind, Extra Radiation and Barometric Pressure on Apparent Temperature. Textiles and Clothing Department, Colorado State University

Stewart RE, 1953. Absorption of solar radiation by the hair of cattle. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 34:235.

Thom EC, 1959. The discomfort index. *Weatherwise* 12(2): 57-61.

Wood S, 2011. Mixed GAM Computation Vehicle with GCV/AIC/REML smoothness estimation and GAMMs by REML/PQL. From: <http://stat.ethz.ch/R-manual/R-patched/library/mgcv/html/mgcv-package.html>

CAPITULO 3

Capitulo referente al tercer objetivo específico, lleva como título “Caracterización del comportamiento de un hato de vacas Holstein según la temperatura ambiente y la humedad relativa en el departamento de Antioquia (Colombia)”, en el cual el objetivo fue evaluar el efecto de la temperatura ambiente sobre diferentes comportamientos de un hato de vacas Holstein en el departamento de Antioquia (Colombia).

Caracterización del comportamiento de vacas Holstein según la temperatura ambiente

Characterization of Holstein cows behaviour according to ambient temperature

Mauricio Echeverri, Luis Galeano-Vasco¹, Mario Cerón-Muñoz¹ y Sara María Márquez Girón²

Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

dme-zoo@hotmail.com

¹Grupo investigación GAMMA, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

²Grupo investigación en sistemas agroambientales sostenibles GISAS, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el comportamiento de vacas Holstein en pastoreo según la temperatura ambiente en el transcurso del día. La información se tomó de

un lote de 12 vacas Holstein en la Finca “El Recreo”, ubicada en el municipio de Abejorral (Antioquia, Colombia). Durante 15 días del estudio y cada dos horas, se evaluaron seis parámetros comportamentales: vacas pastoreando, rumiando de pie y rumiando echadas, descansando de pie, descansando echadas y caminando. Los datos de temperatura ambiente fueron tomados con una central meteorológica cada 10 minutos durante el tiempo que duró el estudio. Para el análisis estadístico se utilizó un modelo aditivo generalizado con suavizaciones, donde se incluyó el efecto suavizado de regresión cíclica cúbica de la hora del día dentro de dos grupos de temperaturas ambientales. El agrupamiento de la temperatura estuvo definido por temperaturas por encima (mayor) y por debajo de la mediana (menor) en cada hora de observación. Existió variación en el comportamiento de las vacas Holstein a diferentes temperaturas, pues cuando los días fueron más cálidos los animales mostraban más señales de estrés; pastoreaban menos tiempo en el día, disminuía el tiempo de rumia y las caminatas, además estaban más tiempo de pie, caso contrario a los días más fríos. El efecto de la temperatura ambiente influye en el comportamiento, confort y bienestar de las vacas Holstein, es así como los animales mostraban mejores patrones comportamentales a medida que se encontraban o acercaban a la zona temoneutral.

Palabras clave: Bienestar animal, estrés calórico, ganado de leche

Summary

The present study has as objective to evaluate the behaviour of grazing Holstein cows according to the ambient temperature during the day. The information was taken from a herd of 12 Holstein cows in the farm "El Recreo" located in the province of Abejorral (Antioquia, Colombia). For a 15 days period of the study were evaluated every two hours behavioural parameters of cows. The behaviours were grazing, stand rumination and lying rumination, stand rest, lying rest and walking. The temperature data were taken with a meteorological center every 10 minutes during the period of the study. For statistical analysis, a generalized additive model with smoothness. The smooth effect included were the cyclic cubic regression of the time of the day within the two groups of ambient temperature. The clustering of temperatures was above (greater) and below (lower) the median at each hour of observation. There was a behavioural variation of Holstein cows at different temperatures. Since the days were warmer, the animals showed more stress signals, as less

grazing time in the day, decreased rumination rate and walks, also were longer standing, otherwise the coldest days. The effect of the ambient temperature influences the behaviour, comfort and well-being of Holstein cows. As well as the animals showed better behavioural patterns as they were or neared to the thermo-neutral area.

Keywords: Animal welfare, dairy cattle, heat stress.

Introducción

El comportamiento en vacas de leche es la expresión fenotípica de una información genética influenciada por el medio ambiente (Petryna 2002; Grandin 2000); la duración y la frecuencia al estar de pie, echadas, pastando o rumiando, es analizada como un patrón para medir el confort del animal (Miller y Wood-Gush, 1991). Las vacas normalmente gastan por día en promedio 5 horas para pastorear, 10 a 14 horas descansando echadas, 2 a 3 horas paradas, caminando, aseándose e interactuando con otros animales, 0.5 horas consumiendo agua y el resto lo gastan en el tiempo de ordeño (2.5 a 3.5 horas) (Grant, 2012). Las condiciones meteorológicas afectan el descanso de las vacas, al igual que las condiciones del terreno (Fisher *et al.*, 2003); en condiciones muy lluviosas y presencia de vientos las vacas pasan menos de 4 horas acostadas (Tucker *et al.*, 2007), cuando en condiciones normales, si los animales no están consumiendo forraje deberían de estar acostadas (descansando o rumiando) (Overton *et al.*, 2002).

Generalmente la temperatura corporal de los animales es más alta que la temperatura ambiente, con el fin de garantizar que el calor generado por el metabolismo fluya hacia el aire (Collier *et al.*, 2006). No obstante, cuando la temperatura ambiente sobrepasa la zona termoneutral (> 25 °C) genera aumentos en el metabolismo en reposo, modificaciones en la bioquímica y fisiología celular, así como en el comportamiento del animal (Shearer y Beede, 1990).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la temperatura ambiente sobre diferentes comportamientos de vacas Holstein en pastoreo.

Materiales y métodos

La información se tomó de un hato de vacas Holstein de 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 sobre el nivel del mar de 2416 a 2494 m y coordenadas N5°51'30.95"; O75°22'00.59".

Se evaluó un lote de 12 vacas Holstein sanas de alta producción, con un promedio de 120 días en leche y un entre 1 a 8 partos. Como criterios de exclusión se establecieron: vacas cojas, con mastitis clínica, cuartos perdidos y que hayan presentado abortos en el período productivo actual. Estas se alimentaron con pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone) bajo un sistema de pastoreo rotacional intensivo, en una rotación de potreros 40 a 45 días. La oferta de pasto se realizó en franjas luego de cada ordeño. 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 kg y una humedad del 12%; este se suministró individualmente en dos raciones diarias de acuerdo a 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 los animales se les hizo una observación del comportamiento utilizando la técnica de "muestreo de barrido" a intervalos regulares registrando la conducta de cada individuo en ese momento (Martín y Bateson, 1991), la regla de registro fue de muestreo temporal, realizando observaciones cada 2 horas durante 15 días las 24 horas del día por dos zootecnistas, uno en el día y otro en la noche. . Las acciones de comportamiento registradas por observación directa fueron: cantidad de vacas pastoreando, rumiando de pie, rumiando echadas, descansando paradas y caminando a las horas de observación.

Los valores de la temperatura ambiental (T) fueron tomados con una central meteorológica Vantage pro 2®. En cada hora del día se realizó un agrupamiento por temperaturas superiores o inferiores a la media (Figura 1) .

Se utilizó un modelo aditivo generalizado con suavizaciones (Hastie y Tibshirani, 1990; Wood, 2011), donde se incluyó el efecto suavizado de la regresión cíclica cúbica de la hora

del día dentro de dos grupos de temperaturas ambientales, con una estructura similar para cada una de las conductas, donde los grados de suavización variaron entre 3 y 9, dependiendo de su significancia. El modelo general fue:

$$y_{ijl} = \alpha + s(H; T_j) + \varepsilon_{ijl}$$

Donde:

y_{ijl} = variable respuesta;

α = intercepto;

$s(H_i; T_j)$ = Funciones suavizadas cíclica cúbica no parametrizadas a diferentes horas del día (i) con la temperatura, con k grados de suavización dentro de la l-ésima temperatura (mayor o menor)

ε_{ijlmn} = Efecto residual.

Para el análisis se usó la librería “mgcv” de Wood (2011) del software R-project (R core Team 2012).

Se probaron los supuestos de normalidad de residuos para los modelos mediante el método de Shapiro-Wilk utilizando la librería “stats” (R Project Core Team)

Resultados y discusión

Durante el transcurso del día hubo variaciones en la temperatura ambiente (Figura 3.1), donde se evidencian las temperaturas máximas y mínimas con respecto a la media (16°C). Estas temperaturas fueron agrupadas en tres rangos de acuerdo a su fluctuación en el día. El primer rango se encontró entre 1:00 y 7:00 horas, donde la temperatura máxima fue cercana a los 15 °C y la mínima de aproximadamente 9 °C; el segundo rango estuvo marcado por temperatura máxima de casi 22 °C y mínima cercana a 15 °C, el cual se presentó entre las 9:00 y las 17:00 horas; y por último, el tercer rango se presentó entre las 19:00 y las 23:00 horas, con temperaturas máximas y mínimas de aproximadamente 15 °C y 10 °C, respectivamente.

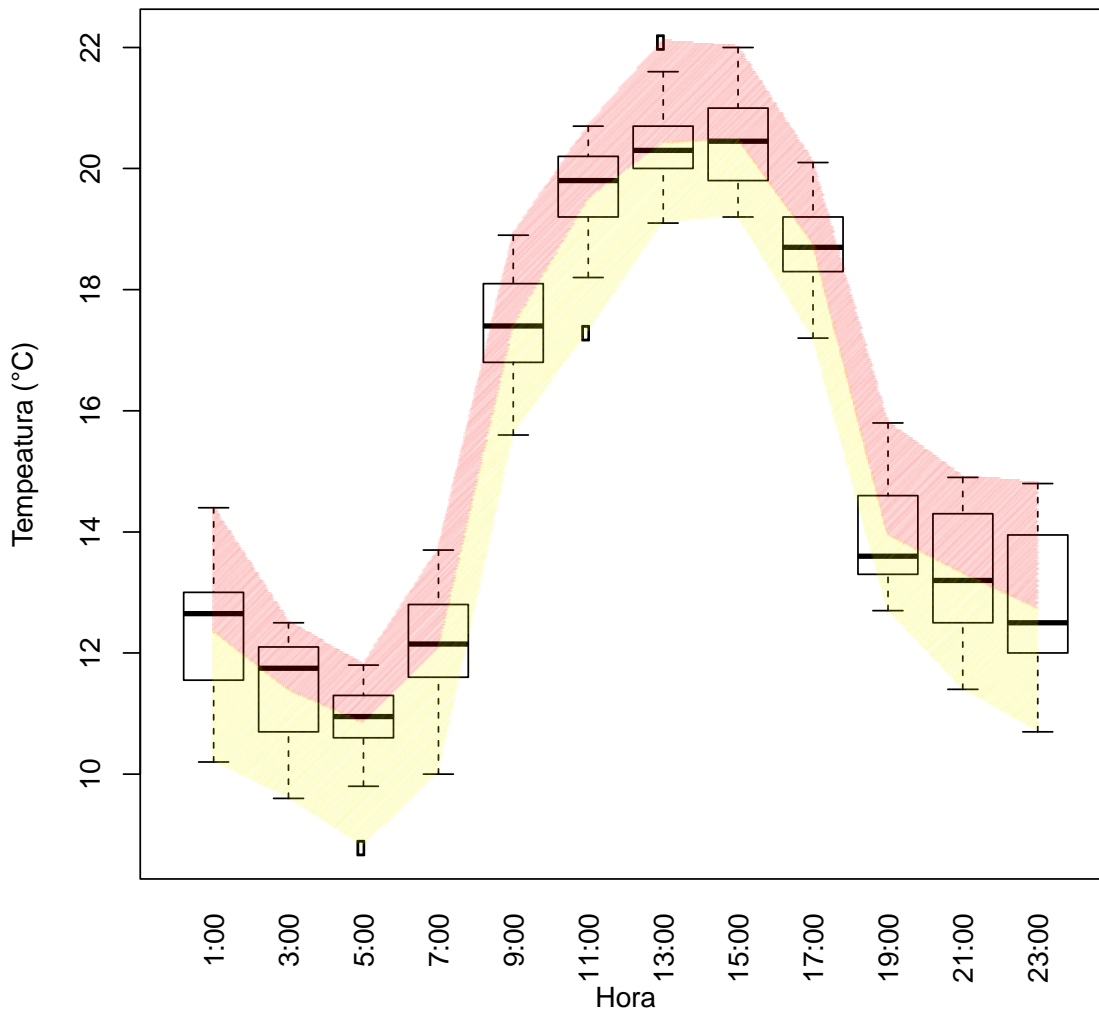


Figura 3.1. Diagrama de cuartiles de las temperaturas ambientales durante el día en la Finca “El Recreo”, ubicada en el municipio de Abejorral (Antioquia, Colombia) para agrupamiento de horas/día con menor y mayor temperatura (amarillo y rojo, respectivamente).

En la figura 3.2 se observa el porcentaje de vacas pastoreando y rumiando en horas de mayor (A) y menor (B) temperatura durante el día. Con respecto al pastoreo, cuando los días eran mas cálidos, hubo mayor porcentaje de animales pastoreando (después del

ordeño (50% entre las 8:00-9:00 am y 6:00-7:00 pm), a diferencia de cuando los días fueron más fríos, donde posterior al ordeño en la mañana el porcentaje de vacas pastoreando fue mayor (60%) en un 10% y en la tarde fue menor (40%). Tanto para temperaturas altas y bajas, el porcentaje de animales pastoreando en horas de la noche y madrugada fue inferior al 20%. El comportamiento de rumia en cambio, presentó mayor variación durante el día en días de menor temperatura, mientras que a temperaturas altas el porcentaje de animales rumiando tanto paradas como echadas fue más estable y más reducido (alrededor de un 10% durante todo el día). A temperaturas menores, los mayores porcentajes (30%) de animales rumiando echados se observó posterior a las horas de mayor incidencia de animales pastoreando (11:00 am -12:00 pm), porcentaje no alcanzado durante los días de mayor temperatura.

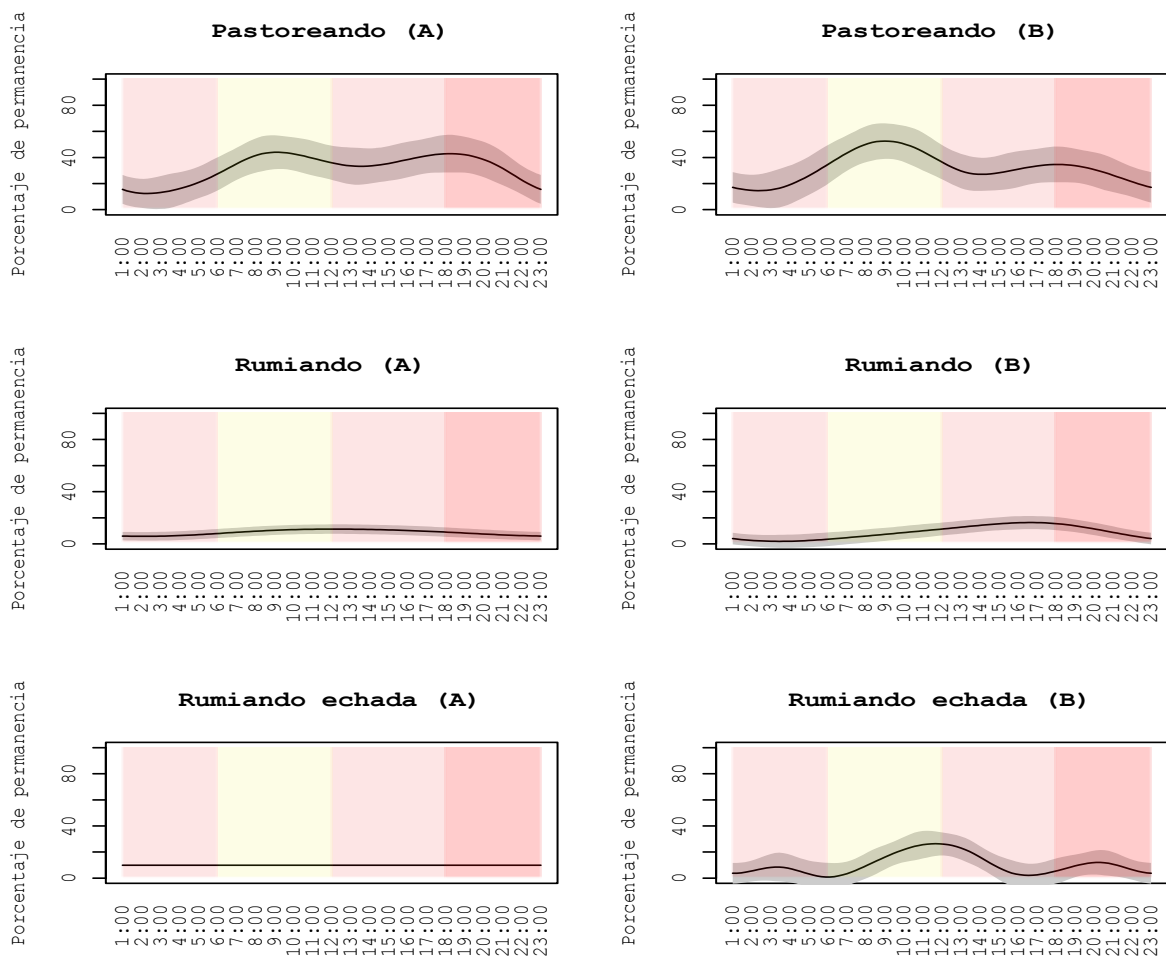


Figura 3.2. Curva de las conductas relacionadas con el consumo de alimento de vacas Holstein cuando la temperatura ambiente era mayor (a) o menor (b) durante las horas del día.

La incidencia de animales descansando parados, descansando echados y caminando durante las horas de mayor (A) y menor (B) temperatura se puede ver en la figura 3.3. Se observa que el comportamiento de vacas descansando echadas es similar en días de mayor y menor temperatura destacando que en horas de la noche y la madrugada (10:00 pm a 2:00 am) donde el porcentaje de vacas expresando este comportamiento presentan el pico de mayor incidencia, cuando los días son fríos el porcentaje de vacas es de 60%, mientras cuando son cálidos este se reduce a 45%. Durante los días más cálidos, el comportamiento de descansar parada se presentó en mayor porcentaje de animales (30%) en horas de la madrugada, mientras que en horas de la mañana y la tarde fue notablemente inferior; en los días fríos en cambio, el pico de porcentaje de animales expresando este mismo comportamiento se presentó en dos momentos durante el día, al amanecer (5-6 am) y al atardecer (4 pm) con un porcentaje de presentación del 40%. Para ambos rangos de temperatura los animales permanecieron parados más tiempo en las horas anteriores al ordeño, y a pesar de que en ambos casos caminaron poco, lo hicieron más repetidamente a bajas temperaturas. Cuando la temperatura es menor a 16°C en el transcurso del día; las vacas están alejadas de las zonas umbrales críticas, y requieren menores ajustes fisiológicos y metabólicos para mantener la temperatura corporal (Gutiérrez, 1991), por eso cuando las temperaturas fueron mayores a 16°C, las actividades caminar y rumiar estuvieron reducidas como consecuencia de activaciones fisiológicas tendientes a mantener la homeotermia (Gallardo y Valtorta, 2011).

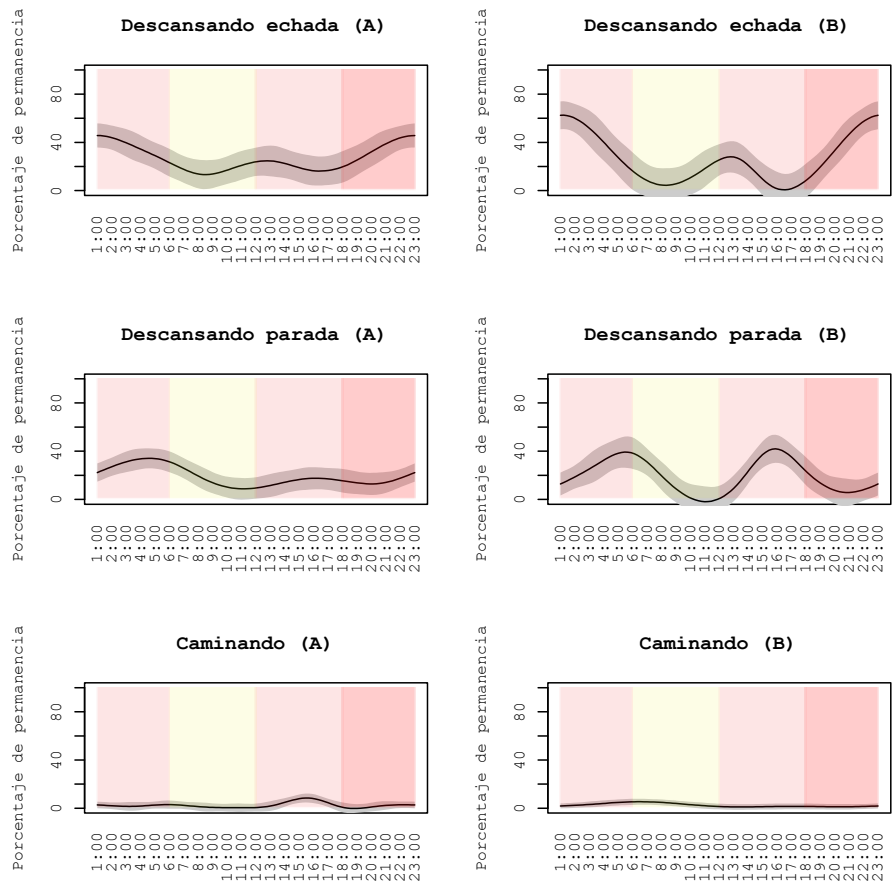


Figura 3.3. Curva de las conductas relacionadas con el descanso y caminatas de vacas Holstein cuando la temperatura ambiente era mayor (a) o menor (b) durante las horas del día

Según Kilgour Y Robert (2012), las vacas pasan la mayor parte de su tiempo pastoreando, en segundo lugar rumiando y en tercer lugar descansando; el pastoreo lo realizan principalmente durante el día y es un comportamiento asociado al momento del amanecer y el atardecer, mientras que la rumia la realizan principalmente cuando están echados más que cuando están parados y se observa más en la noche al igual que el descanso. Comparando esto con lo encontrado en este estudio, el comportamiento de las vacas de leche Holstein es claramente influenciado por la temperatura ambiente (Figura 3.2 y 3.3); los días que presentaron mayor temperatura, la cantidad de vacas pastoreando fue mayor (50%) en horas posteriores a los ordeños, y cuando se presentaron días fríos la mayor

cantidad de vacas pastoreando fue en el transcurso del día, especialmente en la mañana (60%). Las vacas rumiaron con mayor avidez (20% respecto a 10%) en horas de la tarde con temperaturas más bajas y además se observaron que permanecían más tiempo rumiando echadas, lo que se puede interpretar como un mayor estado de confort (Miller y Wood Gush, 1991) y expresión de su comportamiento natural (Kilgour, 2012).

Entre las 3:00 y 5:00 horas, y entre las 14:00 a 19:00 horas del día, las vacas descansaron más tiempo paradas (40%); esto puede deberse al estímulo que representa el ordeño para los animales, lo que causa que el animal esté expectante y esperando el suministro de alimento concentrado (Figura 3.3). Esto refleja que el ordeño altera su comportamiento natural.

El comportamiento en pastoreo varió a medida que la temperatura ambiente fluctuaba a lo largo del día, es así como a temperaturas mayores a 16°C en la mañana, las vacas permanecieron menor tiempo consumiendo alimento., y a temperaturas menores lo hacían de manera más constante durante el día (Figura 3.2). Estudios han demostrado que a pesar de que las vacas son animales crepusculares (mayor actividad horas antes del amanecer y atardecer), pueden ajustar el tiempo de pastoreo según se modifique la temperatura ambiente (Albright 1993; Kendall, *et al.* 2006; Tucker, *et al.* 2008).

En condiciones climáticas normales, aproximadamente el 60% del tiempo de pastoreo ocurre entre las 7:00 y las 15:00 horas y el restante 40% entre las 17:00 y 4:45 horas (Albright, 1993), en este estudio se puede evidenciar este patrón de comportamiento, es más recurrente cuando las temperaturas fueron menores (Figura 2B), no obstante a temperaturas mayores también se presentó, con la diferencia que éste se presentó por un lapso más corto.

Uno de los comportamientos más estudiados es el de descanso echados (Fisher *et al.*, 2003; Allen *et al.*, 2013), pues está asociado positivamente con la sensación de bienestar y confort del animal, y a su vez correlacionada negativamente con el riesgo de desarrollar laminitis (Chaplin *et al.*, 2000), además cuando los animales permanecen más tiempo de pie se activan respuestas hormonales de estrés lo que genera frustración en el animal (Grant, 2012).

Las vacas generalmente prefieren rumiar echadas y por periodos de entre 7 a 10 horas al día (Grant y Albright, 2001) pero en el caso de este estudio, solo a bajas temperaturas se presentó con más frecuencia este comportamiento.

Tapki y Sahin (2006) en un estudio realizado en vacas Holstein en Turquía, encontraron que cuando la temperatura pasaba de 25 °C hasta los 40 °C, disminuía la rumia en un 22% y al mismo tiempo aumentaba el tiempo parada en un 34%. Otros estudios han demostrado que los comportamientos que implican que el animal se encuentre echado, se debe a una serie de interacciones y variaciones de la temperatura corporal con respecto a la temperatura ambiente (Grant, 2012; Allen *et al.*, 2013), así, cuando el animal alcanza una temperatura corporal superior a 38.9 °C permanece más tiempo de pie con el objetivo de disipar calor, y cuando la temperatura corporal se encuentra por debajo de 38.3 °C se vuelve a echar, pese a que es un rango de temperatura muy estrecho, marca la diferencia entre un animal estresado y uno en confort.

Según Atrian y Shahryar (2012) existe una serie de mecanismos de tipo comportamental, fisiológicos y metabólicos que el animal emplea para mantener su temperatura corporal con respecto a la temperatura ambiente. Cuando hay estrés por calor, la eficiencia productiva disminuye, así cuando la temperatura ambiente es mayor a la corporal, el animal permanece más tiempo de pie, en un esfuerzo por disipar calor; lo que puede aumentar el riesgo de generar problemas podales, además aumentan los requerimientos nutricionales, disminuye el consumo de alimento y su desempeño reproductivo, y finalmente se ve afectada la producción de leche.

El comportamiento de caminata fue el que tuvo menor variación para ambas temperaturas. Algunos estudios relacionan las caminatas de los animales con la palatabilidad y disponibilidad de pasto (Albright, 1993; Grant, 2012), caminando mayores distancias cuando las características del pasto no son atractivas para las vacas. Es entonces como se puede observar que las condiciones en las cuales se llevó a cabo este estudio ofrecían comodidad para los animales, pues en ninguno de los dos casos caminaron largas distancias ni con mucha frecuencia.

Conclusión

Este estudio permitió evidenciar que la temperatura ambiente influye de manera relevante en el comportamiento de los animales, a mayores temperaturas ambientales los animales disminuyen el tiempo en el cual estaban echados, pastoreando o rumiando, lo cual es un indicador de un mayor nivel de estrés.

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

- Albright JL, 1993.** Feeding behaviour of dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 76 (2): 485-498
- Allen JD, Anderson SD, Collier RJ and Smith JF, 2013.** Managing heat stress and its impact on cow behaviour. *Proceedings of Western Dairy Management Conference, Reno, Nevada, E.E.U.U. March 6-8.* 150-162 p. From:
<http://www.wdmc.org/2013/Managing%20Heat%20Stress%20and%20Its%20Impact%20on%20Cow%20Behavior.pdf>.
- Atrian P and Shahryar HA, 2012.** Heat stress in dairy cows (a review). *Research in Zoology.* 2:31-37.
- Chaplin SJ, Tement HE, Offer JE, Logue DN and Knight CH, 2000.** A comparison of hoof lesions and behaviour in pregnant and early lactation heifers at housing. *The Veterinary Journal.* 159: 147- 153
- Collier RJ, Dahl GE and VanBaale MJ, 2006.** Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. *Journal of Dairy Science.* 89: 1244-1253.

Fisher AD, Stewart M, Verkerk GA, Morrow CJ and Matthews LR, 2003. The effects of surface type on lying behaviour and stress responses of dairy cows during periodic weather-induced removal from pasture. *Animal Behaviour Science*. 81: 1-11.

Gallardo M y Valtorta S, 2011. Producción y bienestar animal estrés por calor en ganado lechero: impactos y mitigación. Buenos Aires: Ed. Hemisferio Sur S.A. p.128

Grandin T, 2000. Principios de comportamiento animal para el manejo de bovinos y otros herbívoros en condiciones extensivas. Disponible en: www.produccion-animal.com.ar

Grant R, 2012. Economic benefits of improved cow comfort. Agriculture Research Institute. From:
http://www.dairychallenge.org/pdfs/2015_Northeast/NOVUS_Economics_of_Cow_Comfort_by_Rick_Grant_rev_May_2013.pdf

Grant RJ and JL Albright, 2001. Effect of animal grouping on feeding behaviour and intake of dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 84(Suppl.): 156-163.

Gutiérrez, A. J.L. 1991. Hábitos de pastoreo, en: *Nutrición de rumiantes en pastoreo*. UACH. pp 229 –239.

Hastie TJ, Tibshirani RJ, 1990. *Generalized Additive Models*. Chapman & Hall.

Hillman PE, Lee CN and Willard ST, 2005. Thermoregulatory responses associated with lying and standing in heat-stressed dairy cows. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. 48:795-801.

Kendall PE, Nielsen PP, Webster JR, Verkerk GA, Littlejohn RP and Matthews LR, 2006. The effects of providing shade to lactating dairy cows in a temperate climate. *Livestock Science*. 103: 148-157

Kilgour, Robert J, 2012. In pursuit of “normal”: A review of the behaviour of cattle at pasture

Martín, P. y Bateson, P, 1991. *La medición del comportamiento*. Madrid: Alianza.

Miller K, Wood-Gush DGM, 1991. Some effects of housing on the social behaviour of dairy cows. *Animal Production*. 53: 271–278.

Overton MW, Sisco WM, Temple GD, Moore DA, 2002. Using time-lapse video photography to assess dairy cattle lying behaviour in a free-stall barn. *Journal of Dairy Science*. 85:2407-2413.

Petryna A. 2002. Etología. Sitio Argentino de Producción Animal Consultada el 30-08-09.
En: www.produccion-animal.com.ar

R core Team, 2012. A language and environment for statistical computing. Viena, Australia. From: <https://www.R-project.org/>

Shearer JK and Beede DK, 1990. Thermoregulation and physiological responses to dairy cattle in hot weather. *Agricultural Practice* 11:5-17.

Tapki I and Sahin A, 2006. Comparison of the thermoregulatory behaviours of low and high producing dairy cows in a hot environment. *Journal of Applied Animal Behaviour Science* 99:1-11.

Tucker C, Rogers AR, Verkerk GA, Kendall PA, Webster JR, Matthews LR, 2007. Effects of shelter and body condition on the behaviour and physiology of dairy cattle in winter. *Animal Behaviour Science*. 105: 1-13.

Tucker CB, Rogers AR and Schutz KE, 2008. Effect of solar radiation on dairy cattle behaviour, use of shade and body temperature in a pasture-based system. *Journal of Applied Animal Behaviour Science*. 109: 141-154.

Wood S, 2011. Mixed GAM Computation Vehicle with GCV/AIC/REML smoothness estimation and GAMMs by REML/PQL. From: <http://stat.ethz.ch/R-manual/R-patched/library/mgcv/html/mgcv-package.html>

CONSIDERACIONES GENERALES

A pesar de que el ITH en las vacas de la Hacienda La Montaña no evidenció estrés por calor, el estudio realizado muestra que las altas temperatura y la alta humedad afectaron significativamente la producción de leche en los dos ordeños, por lo que se corrobora que este índice no es aplicable a las condiciones del trópico.

Se reduce la producción de leche en el ordeño de la mañana, cuando se presentan temperaturas y humedades altas en la tarde del día anterior y a la hora de ordeño; y el ordeño de la tarde por las temperaturas y humedades altas en horas de la mañana y la hora de ordeño, así estén dentro del rango de confort de la raza Holstein.

Se concluye que la temperatura ambiente tiene efecto diferenciado de acuerdo con el color del pelaje de las vacas (blanco o negro), por lo que es importante seleccionar los toros adecuadamente para obtener descendientes de colores más adecuados para nuestro medio.

Si bien, todos los animales se encontraron en su zona de confort térmico, es importante brindar condiciones ambientales que garanticen el desempeño óptimo de los animales; se deben de tener en cuenta las variables meteorológicas para realizar las ofertas alimento, sobre todo en modelos pastoreo rotacional, ya que las horas de consumo son afectadas por la temperatura y la humedad.

Sin importar la temperatura ambiental, en las horas previas a los ordeños se encontraron mayor cantidad de vacas paradas sin rumiar, solo a la expectativa del ordeño.

RECOMENDACIONES GENERALES

Proporcionar sombra en los potreros mediante la siembra de árboles y polisombra en las salas de espera antes del ordeño, para evitar el efecto negativo de las altas temperaturas sobre la producción de leche y sobre el comportamiento de los animales, que perjudica el tiempo de pastoreo, rumia y reposo.

Seleccionar animales con mayor proporción de pelaje blanco ya que este presenta menor temperatura superficial, esto permitiría reducir el impacto de la temperatura ambiente,

humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento sobre la sensación térmica del animal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS GENERALES

- Albright JL, 1993.** Feeding behavior of dairy cattle. *J Dairy Sci*; 76: 485-498.
- Alonso S M, Ramírez N R and Taylor P J, 2012.** El cambio climático y su impacto en la producción de alimentos de origen animal. *Revista electrónica de Veterinaria* 13 (11): 1 – 25. <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n111112/111204.pdf>
- Álvarez L, 2008.** Efectos negativos del estrés sobre la reproducción en animales domésticos. *Arch Zootec*;57 (R):39-59.
- Andersson M, 1987.** Effects of number and location of water bowls and social rank on drinking behaviour and performance of loose-housed dairy cows. *Livest prod Sci* 1987; 17:19-31.
- Arias RA, Mader TL and Escobar PC, 2008.** Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Archivos de Medicina Veterinaria* (40) 7-22
- Armstrong, D.V, 1994.** Heat stress interaction with shade and cooling. *J. Dairy Sci.* ; 77: 2044–2050
- Arnold G y Dudzinski M, 1978.** Ethology of free Ranging domestic animals. CSIRO, Developments in Animal and Veterinary Sciences. Australia: Elsevier; 1978.
- Atrian P and Shahryar HA, 2012.** Heat stress in dairy cows (a review). *Research in Zoology.* 2:31-37.
- Becerril C, Campos M, Wilcox CJ and Hansm PJ, 1991.** Effects of white *coat* color percentage on milk and fat productions of Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 7(Suppl. 1):288
- Becerril, CM, 1994.** Wilcox CJ, Wiggans GR, Sigmon KN. Transformation of measurements percentage of white coat color for Holstein and estimation of heritability. *J Dairy Sci*; 77: 2651- 2657.
- Berman A, 2006.** Extending the Potential of Evaporative Cooling for Heat-Stress Relief. *Journal.Dairy Science.* 89:3817–3825.

- Berman, A., 2005.** Estimates of heat stress relief needs for Holstein dairy cows, *J. Anim. Sci.* 83 (2005) 1377–1384.
- Betancourt, K.; Ibrahim, M.; Villanueva, C.; Vargas, B. 2005.** Efecto de la cobertura arbórea sobre el comportamiento animal en fincas ganaderas de doble propósito en Matiguás, Matagalpa, Nicaragua. *Livestock Research for Rural Development.* 17, Article #81.
- Blackshaw JK.1984.** Notes on some topics on applied animal behavior. Brisbane: University of Queensland. 1984. p. 131.
- Bohmanova J, Misztal I, and J. B. Cole, 2007.** Temperature-Humidity Indices as Indicators of Milk Production Losses due to Heat Stress. *J. Dairy Sci.* 90:1947–1956.
- Bohmanova, J., I. Misztal, S. Tsuruta, D. Norman, and T. J. Lawlor, 2005.** National genetic evaluation of milk yield for heat tolerance of United States Holsteins. *Interbull Bull.* 33:160–162.
- Broom, D., e C. Molento, 2004.** Bem-estar animal: conceito e questões relacionadas–revisão. *Arch. Vet. Sci.* 9(2):1-11.
- Buffington DE, Collazo-Arocho A, Canton GH, Pitt D, Thatcher WW, Collier RJ, 1981.** Black globe-humidity index (BGHI) as a comfort equation for dairy cows. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 24: 711-714.
- Calamari, L., F. Calegari, and L. Stefanini, 2009.** Effect of different free stall surfaces on behavioural, productive and metabolic parameters in dairy cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 120:9-17.
- Caraviello, G. 2004** Tópicos de fertilidad en vacas de alta producción. Universidad de Wistonsin. Reproducción y genética (No. 611) Nota técnica.
- Castle, ME y Thomas TP, 1975.** The water intake of British Friesiam cows on rations containing various forages. *Anim Prod* 1975; 20:181-189.
- Charlton, GL, Rutter SM, East M, Sinclair LA, 2011.** Preference of dairy cows: I door cubicle housing with access to a total mixed ration vs. access to pasture. *Appl Anim Behav Sc* 2011; 130: 1-9.
- Cianelli, L; Fauchald, P; Chan, K; Agostini, V; Dingsør, G, 2008.** Spatial fisheries ecology: Recent progress and future prospects. *J. Mar. Sys.* 71:223-236.

- Columbiano VS 2007.** Identificação de QTL's nos cromossomas 10, 11 e 12 associados ao stress calórico em bovinos. Thesis Masters Science. Univ. Fed. Viçosa. Brasil. 60p.
- Cunningham, M. and Acker, 2000.** Animal Science and Industry. Six Edition. Prentice Hall.
- Dobson, H. and Smith, R.F, 2000.** What is stress, and how does it affect reproduction. Anim. Reprod. Sci., 60-61: 743-752.
- Dominici F, McDermott A, Zeger SL, Samet JM, 2002.** On the use of generalized additive models in time-series studies of air pollution and health. Am J Epidemiol.; 156(3):193–203. pmid:12142253 doi: 10.1093/aje/kwf062
- Echavarría, Alberto I. y Miazzi, 2002.** El ambiente en la producción animal, Raúl. Ref 5, p. 1.
- FEDEGAN, 2011.** La Ganadería Colombiana y las Cadenas Láctea y Cárnica. Recuperado de: <http://www.sic.gov.co/drupal/masive/datos/estudios%20economicos/Documentos%20%20elaborados%20por%20la%20Delegatura%20de%20Protecci%C3%B3n%20de%20la%20Competencia/2011/Leche2012.pdf>
- Finch, VA, 1986.** Body temperature in beef cattle: Its control and relevance to production in the tropics. J Anim Sci; 62: 531-542.
- Fisher, A. D.; Stewart, M.; Verkerk, G. A.; Morrow, C. J.; Matthews, L. R., 2003.** The effects of surface type on lying behaviour and stress responses of dairy cows during periodic weather-induced removal from pasture. *Animal Behaviour Science*, 81, 1-11.
- Flamenbaum L, 1994.** Factores que afectan la producción lechera en zona norte. Informe de consultoría en el (Segundo Proyecto de desarrollo agropecuario). Montevideo: Comisión honoraria del plan de agropecuario; p.18.
- Forcada Miranda, F., 1997.** Alojamientos para ganado porcino. Mira Editores. España
- Gallardo M y Valtorta S, 2011.** Producción y bienestar animal estrés por calor en ganado lechero: impactos y mitigación. Buenos Aires: Ed. Hemisferio Sur S.A. p.128
- Gallardo MR, 2001.** Valtorta SE, Maiztegui JA. Corn by-products to feed grazing dairy cows in summer. En: Stowell RR, Bucklin R, Bottcher RW. Livestock Environment. St. Joseph (MI); 2001. p. 419-425.

- Gallardo, M.R, 1998.** Manejo nutricional. En: Producción de leche en verano. Publicaciones Universidad Nacional del Litoral.
- Gaughan JB and Goopy JP, 2002.** Behaviour of lot fed cattle when exposed to hot environmental conditions. 15th Conference on Biometeorology and Aerobiology, and 16thInternational Congress of Biometeorology, Vancouver, British Columbia, Canada.
- Gaughan JB, Mader TL, Holt SM and Lisle A, 2007.** A new heat load index for feedlot cattle. *Journal of Animals Science* 2007(1): 226-234
- Gebremedhin G K, Binxin W and Perano K, 2016.** Modeling conductive cooling for thermally stressed dairy cows. *Journal of thermal Biology* 56 (1): 93 – 99. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030645651530142X>
- González J, 2000.** El estrés calórico en los bovinos. Sitio argentino de Producción Animal. Disponible en: www.produccionbovina.com.ar/etologia_y_bienestar/bienestar_en_bovinos/14-stres.pdf (Consultado el 05/09/2007).
- Grain, 2009.** “Cuidar el suelo”, “La crisis climática es una crisis alimentaria. La agricultura campesina puede enfriar el planeta”, “El fracaso del sistema alimentario transnacional”. En *Biodiversidad, sustento de culturas*, n° especial.
- Grant, R.J, 2004.** Incorporating dairy cow behavior into management tools. Pages 65-76 in *Proc. Cornell Nutr. Conf. for Feed Manufac.* East Syracuse, NY. Cornell University, Ithaca, NY.
- Gu, C., 2002.** Cross-validating non-Gaussian data. *Journal of Computational and Graphical Statistics* 1:169-179.
- Guisan A, Thomas C. Edwards Jr and Trevor Hastie, 2002.** Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. *Ecological Modelling* 157 (89): 100, from http://www.stanford.edu/~hastie/Papers/GuisanEtAl_EcolModel-2003.pdf
- Hafez ESE, 1975.** The behaviour of domestic animals. 3 ed. Baltimore: Willians y Wilkins; p. 532.
- Hafez HJ, 1972.** Adaptación de los animales de granja. Herrero. México. 350 pp.
- Hahn GL and Mader TL, 1997.** Heat waves and their relation to thermoregulation, feeding behavior and mortality of feedlot cattle. *Proceedings of 5th Int Livestock*

Environ Symp, Minneapolis, USA, American Society of Agricultural Engineers (ASAE), St. Joseph, MO, p 563-567.

Hahn GL, 1999. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *Journal of Dairy Science* 82:10-20.

Hahn GL, TL Mader, RA Eigenberg. 2003. Perspectives on development of thermal indices for animal studies and management. *Proc Symp Interactions between climate and animal production*, EAAP Technical series N° 7, Pp 31-44

Hahn GL, AM Parkhurst, JB Gaughan. 1997. Cattle respiration rate as a function of ambient temperature. *ASAE Paper N° MC97-121*, St. Joseph, Michigan, USA.

Hall M, 2000. Meet the challenges of heat stress feeding. *Howard`s Dairyman*. May. p.344.

Hansen PI, 1990. Effects of coat colour on physiological responses to solar radiation in Holsteins. *The Veterinary Record* 127:333.

Hansen, 2000. Consequences of selection for milk yield from a geneticist's viewpoint, *J. Dairy Sci.* 83 (2000) 1145–1150 (Review).

Hastie, T. and Tibshirani, R, 1986. Generalized additive models. *Statistical Science* 1:297-318.

Hastie, T.J, Tibshirani, R.J, 1990. *Generalized Additive Models*. Chapman & Hall.

Hill, C.T., P.D. Krawczel, H.M. Dann, C.S. Ballard, R.C. Hovey, and R.J. Grant, 2007. Effect of stocking density on the short-term behavior of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 90 (Suppl. 1):244.

Holter JB, West JW, McGilliard ML, 1997. Predicting ad libitum dry matter intake and yield of Holstein cows. *J Dairy Sci* 1997; 80: 2188–2199.

Intergovernmental panel on climate change (ipcc), 2007. *Cambio climático 2007. Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al cuarto informe de evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático.* Suiza: ipcc.

IPCC, Climate Change, 2013. The physical science basis, in: T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P.M. Midgley (Eds.), *Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the*

Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Jordan, E. R. 2003. Effects of heat stress on reproduction. *J. Dairy Sci.* 86:(E. Suppl.):E104-114

Kadzere, 2002. M.R. Murphy, N. Silanikove, E. Maltz, Heat stress in lactating dairy cows: a review, *Livest. Prod. Sci.* 77 59–91.

Katsanevakis S and Maravelias C D, 2009. Bathymetric distribution of sixteen demersal fish in the Aegean and Ionian Seas, based on generalized additive modelling. *Fisheries Science* 75(1): 13–23

Lanthier, N. y Leclercq, I.A, 2014. “Adipose tissues as endocrine target organs”. *Best Pract Res Clin Gastroenterol.* 28:545-558.

Lenis Sanin Y, Zuluaga Cabrera AM, Tarazona Morales AM, 2015. Adaptive responses to thermal stress in mammals. *Rev Med Vet* 31:121-135.

Lidfors L, 1989. The use of getting up and lying down movements in the evaluation of cattle environments. *Vet Res Commun;* 13: 307-324.

Mader TL, Davis MS and Brown-Brandl TM, 2006. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *Journal of Animal Science* 84: 712-719.

Mader TL, Davis MS, Gaughan JB and Brown-Brandl TM, 2005. Wind speed and solar radiation adjustments for the temperature-humidity index. *Proceedings of:* 16th conference in Biometeorology and Aerobiology. Vancouver, British Columbia, Canada

Manteca. X, 2006. Comportamiento de alimentación del bovino lechero, Facultad de Veterinaria, Universitat Autònoma de Barcelona. www.produccion-animal.com.ar

Mujika A, Imanol, 2005. El estrés calórico: efecto en las vacas lecheras. *Navarra Agrarí* 2005; Mayo- Junio: p. 36-44.

Munksgaard, L., and P. Lovendahl, 1993. Effects of social and physical stressors on growth hormone levels in dairy cows. *Can. J. Anim. Sci.* 73:847-853.

Nardone, A., B. Ronchi, N. Lacetera, M.S. Ranieri, and U. Bernabucci, 2010. Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livest. Sci.* 130:57-69.

NRC (National Research Council), 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th Rev. Ed. Natl. Acad. Sci., Washington, DC.

NRC. 1981. National Research Council. Nutrient requirements of goats. Washington DC: National Academy Press.

Oshita T, Sudo K, Nonaka K, Kume S, Ochiai K, 2008. The effect of feed regimen on chewing time, digesta passage rate and particle size distribution in Holstein non-lactating cows fed pasture ad libitum. *Livest Sci*; 113: 243-250.

Overton, M. W.; Moore, D. A.; Sisco, W. M., 2003. Comparison of commonly used indices to evaluate dairy cattle lying behaviour. Proceedings of the Fifth International Dairy Housing Conference, Texas (USA).

Overton, M.W.; Sisco, W. M.; Temple, G. D.; Moore, D. A., 2002. Using time-lapse video photography to assess dairy cattle lying behaviour in a free-stall barn. *Journal of Dairy Science*, **85**, 2407-2413.

Piet, G, 2002. Using external information and GAMs to improve catch-at-age indices for North Sea plaice and sole. – *ICES J. Mar. Sci.*, 59: 624–632.

Preez JH, Giesecke WH, Hattingh PJ, 1990. Heat stress in dairy cattle and other livestock under Southern African conditions: I. Temperature-humidity Index mean values during the four main seasons. *Onderstepoort J Vet Res* 1990; 57: 77-86.

Salvador A, 2010. “Efectos del estrés calórico en vacas lecheras”. Venezuela: engormix.com; Disponible en: <http://www.midiatecavipec.com/manejo/manejo161208.htm>

Sanfuentes, Camila, Sierra-Almeida, Angela, & Cavieres, Lohengrin A, 2012. Efecto del aumento de la temperatura en la fotosíntesis de una especie alto-andina en dos altitudes. *Gayana. Botánica*, 69(1), 37-45. Recuperado en 23 de febrero de 2016.

Schefers, J.M., K.A. Weigel, C.L. Rawson, N. R. Zwald, and N. B. Cook, 2010. Management practices associated with conception rate and service rate of lactating Holstein cows in large, commercial dairies. *J. Dairy Sci.* 93:1459-1467.

Schuller LK, Burfeind O, Heuwieser W, 2013. Short communication: comparison of ambient temperature, relative humidity, and temperature-humidity index between on-farm measurements and official meteorological data. *J Dairy Sci* 2013; 96: 7731-8.

Shearer JK, 1990. Effects of high environmental temperature on production, reproduction, and health of dairy cattle. *Agricultural Practice and Science Journal* 11: 5-17.

- Shearer, J.K.; Bray, D, 1995.** Manteniendo la salud de la ubre y la calidad de la leche durante periodos calurosos. *Hoard's Dairyman (Abstract)*.1(7):643.
- Shell M T, Early R J, Carpenter J R, Vicent D I and Buckley, 1995.** Prepartum nutrition and solar radiation in beef cattle: I relationships of body fluid compartments, packed cell volume, plasma urea nitrógeno and estrogens to prenatal development. *Journal of Animal Sciences* 73: 1289-1302.
- Silva RG, 1999.** Estimativa do balanço térmico por radiação em vacas Holandesas expostas ao sol e à sombra em ambiente tropical. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 6: 1403- 1411.
- Singh SS, Ward WR, Lautenbach K, Hughes JW and Murray RD, 1993.** Behaviour of first lactation and adult cows while housed and at pasture and its relationship with sole lesions. *Veterinary Record*. 133: 469- 474.
- Steadman RG, 1979.** The Assessment of Sultriness. Part II: Effect of Wind, Extra Radiation and Barometric Pressure on Apparent Temperature. Textiles and Clothing Department, Colorado State University
- Stewart RE, 1953.** Absorption of solar radiation by the hair of cattle. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 34:235.
- Swartzman, G, 1997.** Analysis of the summer distribution of fish schools in the Pacific Eastern Boundary Current. *ICES J. Mar. Sci.* 54,1: 106–116.
- Terzi Y, Cengiz MA, 2009.** Using of generalized additive model for model selection in multiple poisson regression for air pollution data. *Sci Res Essays*.4(9):867–71.
- Thom EC, 1959.** The discomfort index. *Weatherwise* 12(2): 57-61.
- Tucker, C.; Rogers, A. R.; Verkerk, G. A.; Kendall, P. A.; Webster, J. R.; Matthews, L. R., 2007.** Effects of shelter and body condition on the behaviour and physiology of dairy cattle in winter. *Animal Behaviour Science*, 105, 1-13.
- Valle A, 1988.** Importancia de área negra en animales Holstein sobre el proceso adaptativo. *Producción y reproducción. Zoot Trop*; 6: 11-18.
- Valle A., 1985.** Comportamiento productivo de vacas mestizas en cinco fincas de la región de Carora. Estado Lara. Venezuela. *Zootecnia Tropical*. 1(1-2):3-22.
- Valtorta SE y Gallardo MR, 1996.** El estrés por calor en producción lechera. En: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria; 1996; 81: 173-185.

- Villagómez A.M.E., Castillo R.H., Villa-Godoy A., Román P.H. y Vázquez P.C, 2000.** Influencia estacional sobre el ciclo estral y el estro en hembras cebú mantenidas en clima tropical. *Tec Pecu Méx* 38 (2): 89-103.
- West J.W., 2003.** Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*; 86(6):2131-2144. [http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(03\)73803-X/pdf](http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(03)73803-X/pdf)
- West J.W., Mullinix B.G., Bernard J.K., 2003** – Effects of Hot, Humid Weather on Milk Temperature, Dry Matter Intake and Milk Yield of Lactating Dairy Cows. *Journal of Dairy Science* 86,232-242.
- Whates C M and Charles D R, 1994.** *Livestock housing*. Wallingford: CAB International.37-60.
- Wood S N, 2011.** Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society*
- Wood S, 2011.** Mixed GAM Computation Vehicle with GCV/AIC/REML smoothness estimation and GAMMs by REML/PQL. From: <http://stat.ethz.ch/R-manual/R-patched/library/mgcv/html/mgcv-package.html>
- Wood SN, 2006.** *Generalized Additive Models: an introduction with R*: Taylor & Francis; 2006. 384 p.
- Wood, S. N. 2008.** Fast stable direct fitting and smoothness selection for generalized additive models. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B Statistical Methodology* 70:495-518.