
Variables climáticas asociadas a la producción de leche en vacas Holstein criadas bajo condiciones de estrés por calor del Valle del Yaqui, México.

J.C. Leyva-Corona¹, D. I. Armenta-Castelo¹, R. Zamorano-Algandar¹, M.G. Thomas², G. Rincon³, J. F. Medrano³, F. Rivera-Acuña¹, J.R. Reyna-Granados¹ y P. Luna-Nevárez^{1*}

¹Departamento de Ciencias Agronómicas y Veterinarias del Instituto Tecnológico de Sonora.

²Departamento de Ciencia Animal, Colorado State University.

³Departamento de Ciencia Animal, University of California, Davis CA.

Climatic variables related to milk yield in Holstein cows raised under heat stress conditions of the Yaqui Valley, México.

Abstract

Milk yield of Holstein cattle is challenged during summer because the regular conditions of high temperature and humidity common in northwest Mexico; then, a cooling system is recommended to alleviate heat stress in milking cows. Thus, the objective of this study was to evaluate association among climatic factors, milk yield and physiological markers indicative of heat stress in dairy cattle managed under two artificial cooling systems during summer in the Yaqui Valley. Twenty-eight multiparous Holstein cows with ~150 d in milk were randomly assigned to one of two experimental treatments as climatic scenarios: cooling prior milking (EPO, n=14) and additional cooling (EA, n=14). From May 7 to July 23 of 2011, the cows from EPO group were cooled only before milking (0700 and 1700) and cows in EA received an intensive cooling program in the waiting parlor. Milk production (PL) was recorded daily using an electronic system. Rectal temperature (TR) and respiratory frequency (FR) were measured twice per week. Ambient temperature (TA), relative humidity (HR), wind speed (VV) and solar radiation (RS) records were collected (d=day and n= night). All statistical analysis were performed in SAS (2004). The CORR procedure was performed to correlate TR, FR and PL with all climatic variables. To measure the units of change in those associations, a regression model was used through the procedure PROC REG. All climatic variables were correlated with the physiological markers of heat stress or PL in both climatic scenarios, but HR was the main climatic variable that explained the PL during the day (EPO: $r = -0.53$; $P < 0.05$ and EA: $r = -0.28$; $P < 0.05$) and night (EPO: $r = 0.54$; $P < 0.001$ and EA: $r = 0.29$; $P < 0.05$). The PL model include HRd ($R^2 = 0.92$; $P < 0.001$) in EPO and FR ($R^2 = 0.92$; $P < 0.001$) in EA. According to the climatic conditions of southern Sonora, it is important to consider all climatic variables for a cooling system setting, but it should be mainly configured to the humidity removal with forced ventilation and soaking with large droplets of water in order to avoid the intensification the moisture gradient of the cow.

Key words: respiratory frequency, cattle, temperature, summer, milk.

Resumen

Durante el verano la producción de leche del ganado Holstein es desafiada por las condiciones de alta temperatura y humedad comunes en el noroeste de México, por lo que un sistema de enfriamiento es recomendado para aliviar el estrés por calor en la vaca lechera. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio

*Autores de correspondencia
Email: pablo.luna@itson.edu.mx

fue evaluar la relación entre factores climáticos, producción de leche y marcadores fisiológicos indicativos de estrés calórico, en ganado bovino productor de leche manejado bajo dos sistemas de enfriamiento artificial durante el verano en el Valle del Yaqui. Para ello se utilizaron 28 vacas multíparas de raza Holstein con ~150 días en leche. Las vacas fueron asignadas aleatoriamente a uno de dos tratamientos experimentales como escenario climático: enfriamiento previo al ordeño (EPO; n=14) y enfriamiento adicional (EA; n=14). De Mayo 7 a Julio 23 de 2011, las vacas del grupo EPO fueron enfriadas sólo antes de cada ordeña (0700 y 1700) y las del EA recibieron un programa intensivo de enfriamiento en la sala de espera a la ordeña. Las vacas de ambos tratamientos fueron alojadas en corrales con sombra durante el estudio. La producción de leche (PL) fue registrada diariamente usando un sistema electrónico. La temperatura rectal (TR) y frecuencia respiratoria (FR) fueron medidas dos veces por semana. La temperatura ambiental (TA), humedad relativa (HR), velocidad del viento (VV) y radiación solar (RS) fueron recolectadas (d= día y n= noche). Todos los análisis estadísticos se realizaron en SAS (2004). El procedimiento CORR se utilizó para correlacionar TR, FR y PL con todas las variables climáticas. Para medir las unidades de cambio en esas asociaciones se usó un modelo de regresión (PROC REG). Todas las variables climáticas se correlacionaron ($P < 0.05$) con los marcadores fisiológicos de estrés por calor o con PL, pero HR fue la principal variable que explicó PL durante el día (EPO: $r = -0.53$; $P < 0.05$ y EA: $r = -0.28$; $P < 0.05$) y la noche (EPO: $r = 0.54$; $P < 0.001$ y EA: $r = 0.29$; $P < 0.05$). El modelo de PL incluyó HRd ($R^2 = 0.92$; $P < 0.001$) en EPO y FR ($R^2 = 0.92$; $P < 0.001$) en EA. De acuerdo a las condiciones ambientales que prevalecen durante el verano en el sur de Sonora, es importante considerar todas las variables climáticas en la instalación de sistemas de enfriamiento, y principalmente se debe configurar el equipo en función de la remoción de humedad con ventilación forzada y baños para evitar la intensificación del gradiente de humedad de la vaca.

Palabras clave: frecuencia respiratoria, ganado, temperatura, verano, leche.

Introducción

El clima es el principal modelador de la producción animal debido a un estado de cercana interacción entre la complejidad de los procesos físicos y químicos de su propio cuerpo ante un determinado escenario climático (Johnson, 1987). La fisiología, el comportamiento y la salud del ganado, estarán influenciados por el medioambiente en el que vive la vaca y puede afectar significativamente su desempeño productivo (Finch, 1991).

Cada verano en el noroeste de México, el ganado lechero especializado es expuesto a las drásticas condiciones climáticas (Avendaño-Reyes *et al.*, 2007; Correa-Calderon *et al.*, 2009; Leyva *et al.*, 2009) y se caracteriza la pérdida de la eficiencia productiva en la vaca hasta en 25% (Schneider *et al.*, 1984). Altas temperaturas ambientales, intensa radiación y aumento de la humedad son factores ambientales que ocasionan estrés calórico. En este estado, el animal debe realizar cambios conductuales, fisiológicos, hormonales y metabólicos, para mantener su equilibrio térmico, sin embargo, esta termorregulación es insuficiente en lugares como en el sur de Sonora (Leyva *et al.*, 2008).

La principal estrategia de las vacas lecheras para disminuir el calor corporal es la reducción voluntaria de materia seca, con la consecuente reducción en la producción de leche (West, 2003), siendo las vacas altas productoras las más susceptibles a los efectos del calor (Must *et al.*, 1972). Esto trae la tendencia hacia una estacionalidad productiva, lo cual es indeseable para el abastecimiento de leche al mercado para cubrir las necesidades de consumo en esta región.

El estrés calórico (EC), provoca un descenso en la producción de leche en vacas, tanto en volumen como en el contenido de grasa y proteína (Flamenbaum, 1998). Se han realizado diversos estudios en el Sur de Sonora, donde se reporta que el nivel de estrés por calor es dinámico en verano, por lo que el nivel y las horas de EC pueden extenderse o disminuir durante el día o la noche por la intensidad y duración de la temperatura ambiental (TA) o la humedad relativa (HR) que predominen en un mes determinado (Leyva *et al.*, 2008).

El incremento en la frecuencia respiratoria (FR) en ganado lechero es un efecto directo de la alta temperatura y humedad ambientales que elevan la temperatura corporal, medida indirectamente como temperatura rectal (TR) (Seath y Miller; 1946;

Collier *et al.*, 1982; Chan *et al.*, 1997; West, 2003), por lo que tanto la FR y TC han sido considerados como indicadores fisiológicos de la carga calórica en animales durante verano (Hahn, 1999; (Avendaño-Reyes *et al.*, 2007; Correa-Calderon *et al.*, 2009).

Bajo esta situación, la vaca acumula calor y por lo tanto EC que podrá ser liberado hasta que el gradiente lo permita; esto ocurre regularmente en la noche. En ocasiones las horas frescas de la noche no son suficientes para deshacerse de la carga calórica y es cuando la vaca experimenta un estrés calórico continuo. Ante esto, uno de los métodos efectivos de enfriamiento artificial es el uso de regaderas de baja presión, que consiste mojar el lomo del animal para generar un intercambio de calor a nivel de piel, que combinado con ventilación forzada, se remueve el calor en forma de vapor. El número repetido en ciclos de aspersión y ventilación puede mejorar la respuesta fisiológica y productiva de la vaca (Berman, 2010; Honig *et al.*, 2012).

El comportamiento climático en el sur de Sonora, se caracteriza por las precipitaciones pluviales que ocurren entre Julio y Agosto, que aunado a la temperatura ambiental, intensidad en la radiación solar y velocidad del viento, pueden generar diferentes dinámicas en la fisiología y nivel de producción en el ganado lechero ubicado en esta zona. El uso de sombras y enfriamiento artificial de baja presión pueden modificar los marcadores fisiológicos de estrés calórico en la vaca en el noroeste de México (Leyva *et al.*, 2008; Correa-Calderon *et al.*, 2009). Por lo anterior, el presente estudio tiene como objetivo evaluar la relación entre factores climáticos con respecto a la producción de leche y marcadores fisiológicos, en ganado bovino productor de leche sometido a dos tipos de enfriamiento artificial durante el período de verano del Valle del Yaqui, Sonora.

Materiales y métodos

Sitio experimental

El presente estudio se llevó a cabo de mayo a julio de 2011 en la Unidad Académica de Investigación en Producción Lechera del Instituto Tecnológico de Sonora ubicada en el Block 910 del Valle del Yaqui, Sonora a 27° 29' latitud Norte y 109° 56' longitud Oeste a una altura de 46 metros sobre el nivel del mar.

Animales del estudio

A partir de una población de 128 vacas Holstein (nacidas en la misma zona), se seleccionó un grupo de 28 vacas, las cuales fueron homogéneas en días de producción de leche (DEL= 120 a 140 d) y homogéneas en número de partos (Moust *et al.*, 1972; West *et al.*, 2003), alimentación y manejo general.

Escenario climático

Para diferenciar el efecto del ambiente se generaron artificialmente dos escenarios climáticos, asignando aleatoriamente a las vacas a uno de dos tratamientos: enfriamiento previo a la ordeña (EPO; n=14) a las 0700 y 1700 h, y enfriamiento adicional (EA; n=14) cada 2 horas desde las 0700 hasta las 1700 h durante los meses de mayo, junio y julio de 2011. El programa de enfriamiento consistió en 4 series de baños de 5 min, alternado con 10 minutos de ventilación forzada ($\approx 11,000$ CFU), como aire suplementario al natural. El sistema de enfriamiento estaba integrado por 16 regaderas (gasto de ~ 15 L por vaca/serie), y tres abanicos eléctricos de $\frac{1}{2}$ HP colocados a 2.73 m del piso. Las vacas del grupo recibió el manejo tradicional en el establo y ambos grupos recibieron sombra (8.5 m²/vaca), en los corrales de alojamiento.

Variables climáticas

Las variables climáticas de temperatura ambiental (TA; °C), humedad relativa ambiental (HR; %), radiación solar (RS; kilowatt por m²) y velocidad del viento (VV; m/seg) fueron analizadas y agrupadas para ser promediadas por: día (de 9:00 a 17:00 h), noche (de 18:00 a 6:00 h) y acumulado de 24 h (de 00:00 a 23:00h), de acuerdo a las fechas de muestreo. Los registros climáticos fueron obtenidos de la página electrónica www.agroson.org.mx, correspondiente a una estación climática automática (ADCON®, con paquete computacional adVANTAGE®, sensores a 2 m del suelo), la cual está ubicada en el Centro de Investigación Regional del Noroeste (CIRNO). La información climática fue analizada en hojas de cálculo en el programa Excel 2007 para Windows.

Cálculo de la severidad de estrés por calor: ITH

El índice de temperatura-humedad (ITH), fue calculado para las horas del día, noche y 24 h de acuerdo a la siguiente fórmula propuesta por Hahn *et al.* (1999): $ITH = 0.81 (TA^{\circ}C) + HR (TA^{\circ}C - 14.4) + 46.4$, donde T=temperatura ambiental y

HR=humedad relativa ambiental.

Producción de leche

El pesaje de leche (kg), se realizó semanalmente en cada uno de los animales de ambos tratamientos. El registro de producción (Dairy Plan®), se llevó a cabo en cada ordeña mediante un sistema de medición electrónica automatizado (Metatron 21, Westfalia Surge®), integrado al sistema de ordeña del establo.

Marcadores fisiológicos

Por ser indicadores fisiológicos de estrés calórico, la frecuencia respiratoria (FR, res/min) y la temperatura rectal (TR, °C), ambas fueron medidas a las 11:00 h dos veces por semana en cada una de las vacas incluidas en el experimento. Para medir la FR se siguió el procedimiento descrito por Avendaño et al. (2006) a través del conteo visual de los movimientos costales. La TR fue colectada usando un termómetro digital con sonda de contacto (TES-1310®).

Análisis estadístico de la información

El análisis de varianza para las variables producción de leche, FR y TR se realizó a través de un diseño simple completamente al azar, para determinar si existía diferencia ($P < 0.05$) entre medias de tratamientos climáticos (EPO y EA), utilizando para ello el procedimiento PROC GLM. El modelo incluyó el tratamiento como efecto fijo y los días en leche como covariable. Para conocer el grado de asociación entre las variables se realizó análisis de correlación lineal (r), entre variables climáticas, marcadores fisiológicos y producción de leche, utilizando el procedimiento PROC CORR. Para estimar las unidades de cambio en las variables fisiológicas (FR y TR) y la producción de leche debidas al clima, se efectuó un análisis de regresión múltiple usando el procedimiento PROC REG. Las mediciones de cada variable (24 h, día y noche), fueron analizadas usando los comandos Stepwise forward/backward para la generación del mejor modelo (R^2 y $P < 0.05$). Todos los procedimientos estadísticos fueron desarrollados utilizando el paquete estadístico SAS (Statistic Analysis System,

v9.2, 2004).

Resultados y discusión

Condiciones climáticas en el sur de Sonora

La región del sur de Sonora se caracteriza por un clima cálido, donde las condiciones ambientales de temperatura y humedad influyen de manera significativa sobre los parámetros productivos de los establos lecheros (Leyva et al., 2007).

En la figura 1 se muestran los meses en los cuales la vaca experimentó estrés calórico en el sur de Sonora durante el año 2011 respecto a su zona de confort (ZT). Se observa cómo la temperatura ambiental diurna (TAd) rebasó su ZT (25°C) desde marzo a noviembre, mientras que la temperatura nocturna rebasó su ZT de junio a septiembre. La figura 2 muestra las variaciones de humedad relativa diurna (HRd) y nocturna (HRn), observándose que la HRd no es significativa (HRd <45%) en mayo pero sí (HRd >45%) durante julio a septiembre (Berman, 2010). El mes más húmedo del verano fue agosto con una HRd de 54.6%, aunque la evaluación solo llegó hasta julio, cuando inicia la severidad del verano. Esta condición de humedad es debida a las precipitaciones pluviales frecuentes en Agosto en esta zona climática del sur de Sonora.

Las figuras 1 y 2 dan una descripción más adecuada de las condiciones climáticas que experimentaron los animales durante el estudio, lo cual permite visualizar la intensidad que tuvo el clima (día y noche). La humedad y calor pueden ser factores que por sí solos o combinados ocasionan que el ganado sufra una disminución de energía teniendo impacto endócrino, fisiológico y productivo (West et al., 2003; Collier, 2006). Las altas temperaturas ambientales son una preocupación para los productores, sin embargo los grandes avances en los sistemas de refrigeración ambientales han ayudado a reducir las pérdidas de producción durante los meses de verano (Turner et al., 1982; Berman, 2006; Avendaño et al., 2007; Leyva et al., 2009; Honig et al., 2012).

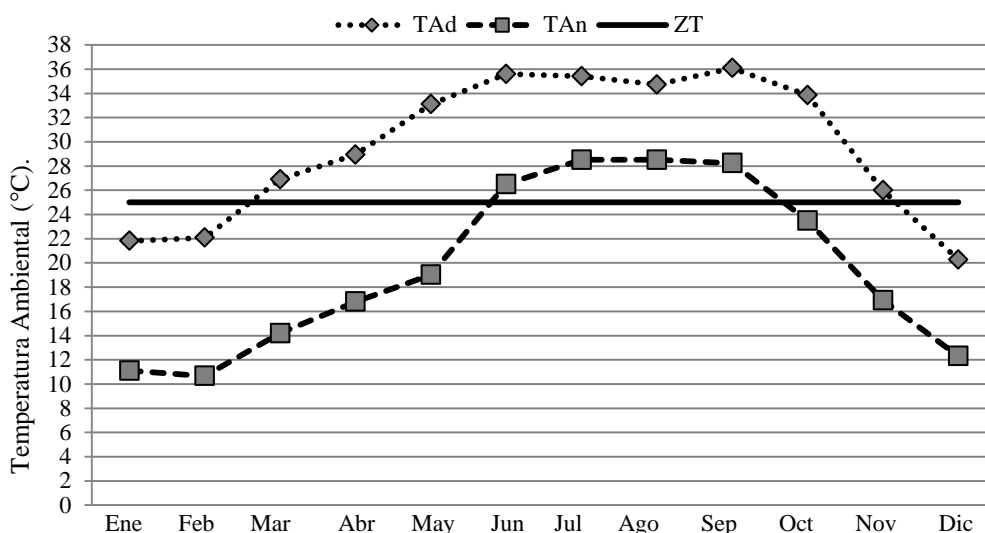


Figura 1. Promedio de la temperatura ambiental día (TAd) y noche (TAn) durante el año respecto a la zona termoneutral (ZT).

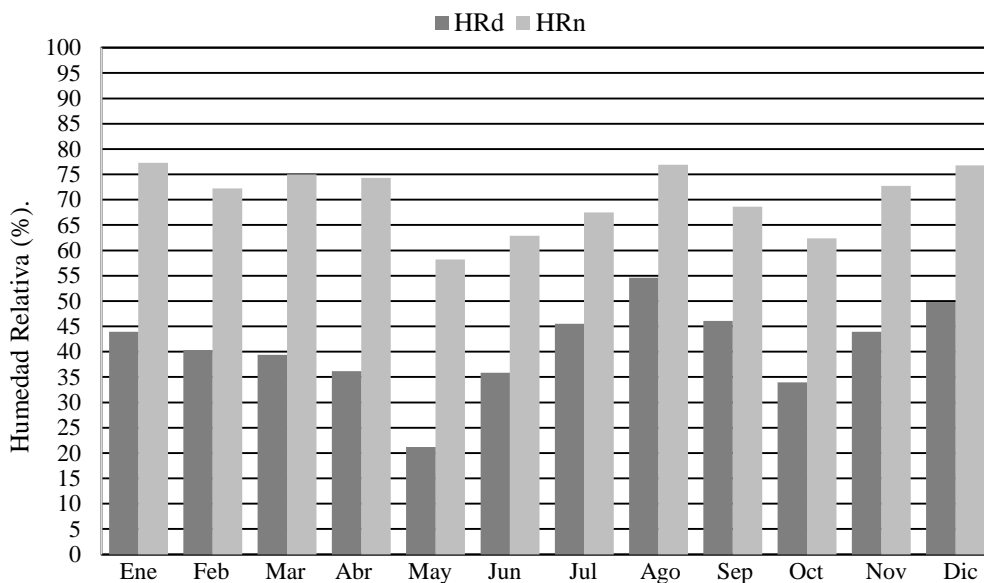


Figura 2. Promedio de la humedad relativa día (HRd) v noche (HRn), registrada durante todo el año.

El clima de verano en el Valle del Yaqui es un factor que tiene un alto grado de asociación con la conducta y fisiología del ganado poniendo en peligro el bienestar animal. El aumento de la carga de calor puede ser causado por una sola variable climática o por la combinación de la temperatura del aire, humedad relativa, el movimiento del aire y

la radiación solar; estos son factores que influyen en el aumento de la temperatura corporal, rectal y la tasa de respiración, reduciendo el consumo de alimento y producción de leche (West, 2003; Hahn, 1999). West (2003), menciona que la vaca lechera puede presentar 100 a 120 respiraciones por minuto cuando hay una temperatura ambiental de 35°C. Si

la vaca se encuentra dentro de la zona termoneutral, la FR oscila entre 40 a 50 res/min. De esta forma el aumento de la FR facilita la eliminación por calor (Kolb, 1987; Seath y Miller, 1946). De acuerdo con Hanh (1999), el umbral térmico máximo de la vaca Holstein en producción es de 25°C, momento en el cual se activan los mecanismos de pérdida de calor por vía sensible (ej. radiación, convección y conducción) y al no ser suficiente se activa la vía evaporativa (sudoración y jadeo). Collier *et al.* (2006) indican que cuando la temperatura corporal de la vaca se encuentra por encima de los 35°C los métodos de pérdida de calor por vía sensible y evaporativa resultan ineficaces.

El tabla 1 muestra los registros de las variables ambientales durante el periodo de estudio, correspondiente al verano. Se observa que en la fecha 1 se registró una TAd de 30.4°C, una HRd de 19.2% y un índice de temperatura-humedad día (ITHd) de 74.0 unidades, lo que representa un estrés por calor (EC) ligero (Armstrong, 1994). A partir de la fecha 4, el EC es continuo durante día y noche, ya que el ITH supera 78.5 y 73.6 unidades, respectivamente.

En la fecha 4 se registró un aumento continuo de la RS de 0.6 a 0.7 Kilowatts m⁻² y una VVd de 4.1 a 2.5 m s⁻¹. La velocidad del viento y radiación solar, son variables de importancia ya que respectivamente influyen sobre la temperatura ambiental y humedad relativa (West, 2003; Berman, 2010). La velocidad del viento interfiere en los mecanismos convectivos para el intercambio de calor entre la vaca y el medio ambiente (Mader *et al.*, 1997), mientras que la exposición directa a la

radiación solar incrementa la carga calórica en la vaca (Brown-Brand *et al.*, 2005). La fecha 6 fue la más caliente durante el estudio con una TAd de 36.2°C y una HRd 28.3% e ITHd de 81.9, provocando EC moderado en el día y ligero por la noche (Armstrong, 1994), por lo que fue el periodo más crítico. En la fecha 7, se registró una TAd de 34.9°C y una HRd de 32.8%, el ITHd superó las 80 unidades, lo cual genera una condición de EC moderado y continuo.

Armstrong (1994) indica que por debajo de 71 unidades de ITH la vaca se encuentra sin estrés, mientras que a partir de 72 a 79 la vaca empieza a experimentar un estrés ligero; conforme incrementan las unidades en el ITH, pasando de 80 a 89, 90 a 98, el estrés será moderado a severo, respectivamente. Por lo tanto las vacas de alta producción presentan mayor susceptibilidad a los cambios de temperatura ya que generan más calor por la gran cantidad de alimento consumido, perdiendo energía en el metabolismo y producción láctea. Cabe señalar que, trabajos recientes han determinado que debido al metabolismo productivo de la vaca moderna, ésta ya experimenta una situación de estrés ligero a partir de un ITH de 68 unidades (Zimbelman y Collier, 2011).

Estos datos se vuelven importantes para el ganado manejado bajo condiciones cálidas, ya que el contenido de agua en forma de vapor en el aire, resultado de las precipitaciones pluviales de esos meses, es continuo de junio a julio, teniendo un impacto sobre la tasa de pérdida por evaporación a través de la piel y pulmones. Cuando la temperatura media diaria cae fuera de la ZT, la cantidad de

Tabla 1. Condiciones climáticas durante el verano de estudio en el Valle del Yaqui, Sonora México.

Fecha	TAd	TAn	HRd	HRn	RS	VVd	VVn	ITHd	ITHn
1	30.4	17.0	19.2	50.7	0.8	2.1	0.3	74.0	61.5
2	36.6	28.0	18.1	52.8	0.8	0.3	0.1	80.1	76.3
3	32.8	24.6	19.6	50.1	0.7	2.5	1.8	76.6	71.5
4	34.2	26.5	21.9	47.1	0.6	4.1	1.9	78.5	73.6
5	36.3	27.3	24.5	43.4	0.8	2.7	0.4	81.2	74.2
6	36.2	29.4	28.3	38.9	0.6	2.4	0.3	81.9	76.0
7	34.9	27.1	32.8	34.1	0.5	2.5	3.9	81.4	72.7

TA= Temperatura Ambiental, HR= Humedad Relativa, ITH=Índice de Temperatura-Humedad, VV= Velocidad del viento, RS= Radiación Solar. Día (d: 09:00 a 17:00h) y noche (n: 18:00 a 04:00h).

humedad en el aire se convierte en un elemento importante para el mantenimiento de la homeostasis del animal (Bohmanova *et al.*, 2007).

Análisis de correlación

Temperatura rectal

La tabla 2 muestra las correlaciones simples entre las mediciones climáticas con respecto a las variables fisiológicas y la producción de leche, de acuerdo a los tratamientos. En el EPO, la TR mostró una correlación positiva con HRd ($r= 0.95$; $P<0.001$), ITHd (0.80 ; $P<0.05$) y se asoció negativamente con HRn ($r= -0.95$; $P<0.001$). La TR del EA se asoció positivamente con HRd ($r= 0.87$; $P<0.001$), TAn ($r= 0.77$; $P<0.05$) e ITHd ($r= 0.88$; $P<0.05$). La RS muestra una correlación negativa ante la TR de ambos grupos, lo cual no es lo esperado, sin embargo, esto puede ser por el efecto de la sombra al que los animales estuvieron resguardados.

Frecuencia respiratoria

En el EPO, las variables mayormente asociadas a FR fueron HRd ($r= 0.98$; $P<0.001$), HRn ($r= -0.98$; $P<0.001$) y RSd ($r= -0.89$; $P<0.05$). En el EA las variables mayormente asociadas a FR fueron HRd ($r=0.86$; $P<0.001$), HRn ($r= -0.88$; $P<0.001$) e ITHd ($r= 0.69$; $P<0.05$). La correlación negativa entre FR y HR durante el día indica que a mayor HR aumenta la FR y debido a que por la noche desciende ligeramente la temperatura, la correlación de FR ante la TAn y HRn es negativa. Aún con EA se mantiene la relación negativa entre FR y HR, lo

cual indica que las altas temperaturas durante el día siguen afectando al animal de manera continua por la acumulación de calor.

Otra variable que se mostró alta correlación con FR fue RSd ($r= -0.89$; $P<0.001$) en el grupo EPO, mientras que en EA la RSd ($r= -0.80$; $P<0.001$) también se asoció de manera negativa con FR, lo que nos indica que a mayor RS menor es la capacidad de respiración por el efecto de la radiación. Sin embargo, el efecto sombra puede confundir la correlación positiva esperada. En EA, la VVd afectó negativamente la FR ($r= 0.62$; $P<0.05$), ya que al incrementarse la velocidad del viento incrementaba la ganancia de calor por la temperatura del ambiente. El efecto de la temperatura del aire es un efecto que ha sido analizado en ganado de carne, ya que es necesario bloquear corrientes de aire cálido para evitar el incremento del EC en el animal (Mader *et al.*, 1997).

Producción de leche

En EPO, la PL se relacionó negativamente con la TR y FR ($P<0.001$), climáticamente con la HRd ($r= -0.53$; $P<0.001$) pero positivamente con HRn ($r=0.54$; $P<0.001$). La TAd y TAn, así como ITHd, se correlacionaron moderadamente con PL de forma antagónica. En el EA, las variables HRd, HRn, TAn, así como las fisiológicas TR y FR, mostraron correlaciones significativas ante PL, sin embargo, la variable que afectó mayormente a PL fue la VV ($r= -0.74$; $P<0.001$). Ante esto, se entiende que existe protección ante radiación solar durante el día, sin

Tabla 2. Correlación (r) entre variables fisiológicas, producción de leche y variables climáticas durante el estudio

Trat	Var	TR	FR	PL	TAd	TAn	HRd	HRn	RS	VVd	VVn	ITHd	ITHn
EPO	TR		.97**	-.55**	.54*	.67*	.95**	-.95**	-0.86**	0.34	0.5	.80*	.53*
	FR	.97**		-.53**	.39**	.52*	.98**	-.98**	-0.89**	0.32	0.61	.69*	.38*
	PL	-.53**	-.55**		-.26*	-.31	-.53*	.54**	-0.75	-0.38	-0.38	-.42**	-.24*
EA	TR		.93**	-.34**	.69*	.77*	.86**	-.87**	-0.73**	0.37	0.42	.88*	.66*
	FR	.93**		-.37**	.42*	.59*	0.84**	-.87**	-0.80**	0.62*	0.51	.67*	.47*
	PL	-.37**	-.34**		-.15	-.21*	-.28*	.29*	-0.71	-0.74**	-0.44	-.23*	.21

E= Enfriamiento (07:00 and 17:00 h), EA= Enfriamiento Adicional cada dos horas, TR= Temperatura Rectal, FR= Frecuencia Respiratoria, PL= Producción de leche, TA= Temperatura Ambiental, HR= Humedad Relativa, ITH= Índice de Temperatura-Humedad, VV= Velocidad del viento, RS= Radiación Solar. Día (d: 09:00 a 17:00h) y noche (n: 18:00 a 04:00h). PROC CORR (SAS, 2004).

* $P<0.05$, ** $P<0.001$.

embargo, no existe protección contra la temperatura del aire.

La relación negativa de PL ante FR ($r = -0.34$; $P < 0.001$), indica que a medida que incrementa la FR, desciende la producción láctea, no directamente por el aumento de la FR, sino que bajo condiciones de estrés calórico la ingesta de alimento disminuye y por lo tanto la PL baja. A esto se suma el gasto energético por tratar de eliminar y disipar el calor a través del incremento de la tasa respiratoria. Con el enfriamiento se puede reestablecer la producción de leche, su efecto en primer lugar es restaurar el consumo de alimento que puede ser disminuido cerca de 10% por EC (Chen *et al.*, 1993). Numerosos estudios realizados durante verano los cuales evaluaron diferentes sistemas de enfriamiento, coinciden en que la producción de leche se incrementa de 1 a 5 kg vaca⁻¹ día⁻¹ (Berman y Wolfenson, 1992, Hall (2000)). Estos resultados indican que un sistema de enfriamiento con aspersores y abanicos es una alternativa efectiva para incrementar la eficiencia productiva y reproductiva de vacas Holstein en producción en condiciones de altas temperaturas.

Como se observa en la comparación de las correlaciones de los dos grupos de estudio EPO y EA las correlaciones de las variables de EPO mostraron una mayor relación que en EA; esto se puede explicar porque EPO recibía dos baños al día lo que ayudó a que los animales lograran una aclimatación por la exposición a altas temperaturas regulando sus funciones productivas y fisiológicas. Mientras en EA, los baños adicionales causaron que los animales cursaran por un estrés oscilante y de pocas horas, lo cual afectó su la capacidad de aclimatación y esto explicaría la diferencia en los

resultados estadísticos del tratamiento.

Resultados opuestos han sido reportados en ganado lechero en climas secos donde la humedad no es un factor que influya negativamente en la TR, siendo la temperatura ambiental el factor que más influye en la homeostasia de la vaca. Avendaño-Reyes *et al.* (2007) evaluaron respuestas fisiológicas y productivas posparto en vacas Holstein a los 60 días preparto sometidas a un sistema de enfriamiento de alta presión en un clima árido. No hubo diferencia entre tratamientos en la temperatura rectal por la mañana (38.8 vs 38.3 °C) pero sí por la tarde (39.1 vs 39.3 °C). La temperatura rectal se correlacionó positivamente con temperatura ambiental en ambos grupos. Estos datos demuestran que la temperatura ambiente en cualquier zona geográfica es un factor importante en el estrés calórico. Sin embargo, en regiones cálidas como el sur de Sonora, la humedad se eleva en forma considerable durante el verano y una vez que se combina con temperaturas elevadas, crean condiciones climáticas muy desfavorables, sobre todo para animales en producción que son alojados en sistemas abiertos expuestos al medio ambiente, como los estables lecheros. West (2003) menciona que la HR pone en peligro el enfriamiento evaporativo y que la vaca lechera no puede disipar el calor de la superficie corporal para evitar un aumento de la temperatura corporal.

Análisis de regresión

Modelo para temperatura rectal

La tabla 3 muestra las variables climáticas que explican en mayor medida (R^2) las unidades de cambio en la variable TR en cada grupo experimental. Las variables que más influyeron en el aumento de la TR del EPO fueron HRn ($R^2 =$

Tabla 3. Resumen de análisis de regresión mediante el procedimiento Stepwise para la variable TR.

Trat.	Variable	Parámetro estimado	R ² parcial	R ² acumulada	Probabilidad
EPO	<i>Intercepto</i>	46.47 ± 0.350			0.001
	HRn	-0.75 ± 0.110	0.92	0.92	0.001
	TAn	0.08 ± 0.003	0.065	0.987	0.05
EA	<i>Intercepto</i>	38.94 ± 0.043			0.001
	HRd	0.95 ± 0.042	0.86	0.86	0.05
	TAd	0.11 ± 0.001	0.09	0.95	0.10

E= Enfriamiento (07:00 and 17:00 h), EA= Enfriamiento Adicional cada dos horas, TA= Temperatura Ambiental, HR= Humedad Relativa. d= día: 09:00 a 17:00h, n= noche: 18:00 a 04:00h. PROC REG (SAS, 2004).

0.92) y Tan ($R^2= 0.065$). El modelo determinó que por cada unidad de incremento porcentual en la HRn, la TR disminuyó $-0.75 \pm 0.11^\circ\text{C}$ ($P<0.001$) y por cada grado centígrado de incremento en la TAn, la TR aumentó 0.08°C ($P<0.05$).

En el grupo EA, el modelo para TR sólo incluyó como variable significativa a HRd ($R^2= 0.86$), por lo que al aumentar la HRd, la TR tiende a elevarse $0.95 \pm 0.042^\circ\text{C}$.

Modelo para frecuencia respiratoria

La tabla 4 muestra la selección de variables climáticas que explican en mayor medida (R^2) las unidades de cambio en la variable FR en cada grupo de estudio. A través del procedimiento stepwise, se determinó que las variables seleccionadas ($P<0.05$) para el modelo fueron HRd ($R^2=0.96$), RS ($R^2=0.02$), VV ($R^2=0.004$) y Tan ($R^2=0.0003$) en el EPO. En EA las variables climáticas seleccionadas en el modelo de FR fueron HRd ($R^2=0.93$; $P<0.001$) y VV ($R^2=0.04$; $P<0.05$). Este análisis de regresión indica que el EPO fue el más afectado por el clima, donde HRd explica el 96% de la variación de la FR. Seath y Miller (1946) en su estudio observaron que un aumento de la humedad reduce ligeramente la FR ($R^2= -0.06$). Estos mismos autores mencionan que la temperatura de aire es la principal causa del incremento en la temperatura corporal y la tasa de respiración.

La aclimatación es un factor que limitó la diferencia respecto a EA, ya que por tener más baños, se frenó el efecto del estrés pero limitó la capacidad del animal a aclimatarse. La aclimatación al estrés ocurre en 2 fases (aguda y crónica) e implica cambios en la tasa de secreción de hormonas, así como poblaciones de receptores en tejidos. Puede existir la posibilidad de modificar el estado

endócrino de los animales y mejorar su resistencia al calor y estrés por frío (Collier *et al.*, 2006)

Existen numerosos cambios fisiológicos durante el estrés duradero provocando en el organismo animal una aclimatación al entorno en el que se encuentra; al dar más baños en el EA se proporcionó alivio al estrés calórico, pero redujo la capacidad de aclimatación viéndose reflejado en los resultados numéricos.

El incremento en la FR en ganado lechero es un efecto directo de la alta temperatura y humedad ambientales que elevan la TR (Collier *et al.*, 1982; Chan *et al.*, 1997; West, 2003), por lo que tanto FR como TC han sido considerados como indicadores fisiológicos de la carga calórica en animales durante verano (Hahn, 1999).

El calor producido por el organismo animal no sometido a estrés térmico, procede de la energía gastada en el mantenimiento y a la ineficiencia de utilización de la energía consumida en los procesos productivos (ej. crecimiento, lactación, gestación y cambio de las reservas corporales). A partir de los 25°C se aprecian los efectos del calor en la vaca, el calor se pierde o se gana principalmente por vía sensible (radiación, convección y conducción) o por vía evaporativa (jadeo y sudor). A medida que se elevan la temperatura y humedad ambientales, se dificulta la eliminación de calor en la vaca lechera conduciendo a un incremento en su TC. Cuando esto pasa, los medios no evaporativos se vuelven ineficientes y los evaporativos entran para mitigar la carga térmica. Activado este mecanismo, se produce una serie de sucesos como: disminución en el consumo de alimento, reducción en producción, protección de la radiación solar, baja la actividad física, disminuye la tasa de preñez, etc. Dikmen y Hansen (2009) determinaron que al aumentar la

Tabla 4. Resumen de análisis de regresión mediante el procedimiento Stepwise para la variable FR.

Trat.	Variable	Parámetro Estimado	R ² Parcial	R ² Acumulada	Probabilidad
EPO	Intercepto	71.23 ± 0.02	---	---	
	HRd	100.76 ± 0.01	0.96	0.96	<0.0001
	RS	-21.26 ± 0.01	0.02	0.99	0.05
	VVn	-0.95 ± 0.001	0.004	0.99	0.05
	TAn	-0.05 ± 0.0001	0.0003	1.000	0.05
EA	Intercepto	40.02 ± 2.49	---	---	---
	HRd	96.49 ± 9.11	0.93	0.93	0.001
	VVd	0.80 ± 0.18	0.04	0.97	0.05

temperatura ambiente la temperatura rectal aumentaba 0.4 °C y mientras la humedad relativa incrementaba la temperatura rectal descendía 0.29°C.

Modelo para producción de leche

La tabla 5 muestra que en EPO las variables seleccionadas fueron HRn (R2=0.92; P<0.001) y HRd (R2=0.04; P<0.05), mientras que para EA el modelo seleccionó a FR (R2=0.94; P<0.001) y HRac (R2=0.03; P<0.05) indicando una reducción de 1.05 litros de leche por unidad de incremento en la FR y HR. West et al. (2003) observaron una disminución en leche (-0.69 kg) y en consumo de alimento (-0.51 kg) por unidad de cambio en el Índice Temperatura Humedad. Se observa que en EPO no aparece FR como variable de cambio importante, esto se atribuye a que los animales del grupo EPO alcanzaron cierto grado de aclimatación

constantes fisiológicas y nivel productivo. La temperatura ambiental y la humedad, así como su efecto combinado, son marcadores ambientales asociados al estrés calórico en vacas lecheras; sin embargo, la humedad relativa es la variable climática que favorece el incremento de la carga calórica en la vaca, relacionándose negativamente con la frecuencia respiratoria y la producción de leche en ganado.

Los resultados de las correlaciones y regresiones por tratamiento, sugieren que a medida que se incrementa la frecuencia de baños el ganado lechero es menos afectado por condiciones climáticas adversas, pero se vuelve más sensible a cambios en temperatura y humedad comunes durante el verano en el Valle del Yaqui.

Por lo tanto, se recomienda la instalación y configuración de sistemas de enfriamiento en esta zona climática, que favorezcan la remoción de

Tabla 5. Resumen de análisis de regresión mediante el procedimiento Stepwise para la variable PL.

Trat.	Variable	Parámetro estimado	R ² parcial	R ² Acumulada	Probabilidad
EPO	<i>Intercepto</i>	-88.06 ± 21.94			
	<i>HRn</i>	165.27 ± 29.09	0.92	0.92	0.001
	<i>HRd</i>	160.73 ± 37.12	0.04	0.97	0.05
EA	<i>Intercepto</i>	85.80 ± 5.810			
	<i>FR</i>	-1.05 ± 0.120	0.94	0.94	0.001
	<i>HRd</i>	50.01 ± 15.32	0.03	0.98	0.05

E= *Enfriamiento (07:00 and 17:00 h)*, EA= *Enfriamiento Adicional cada dos horas*, FR= *Frecuencia Respiratoria*, TA= *Temperatura Ambiental*, HR= *Humedad Relativa*, VV= *Velocidad del viento*, RS= *Radiación Solar*. d= día: 09:00 a 17:00h, n= noche: 18:00 a 04:00h. PROC REG (SAS, 2004).

mientras que los animales de EA se volvieron más dependientes de los baños para enfriarse por lo que la FR marcó una disminución en la producción láctea.

Todos estos resultados indican que las variables climáticas que más afectan la PL son la HRd y HRn en ambos grupos de estudio y FR la variable fisiológica que puede explicar mayormente el comportamiento de la PL.

Conclusiones

Las variables climáticas del sur de Sonora son lo suficientemente severas para modificar el estatus térmico del ganado lechero, ya que alteran sus

vapor de calor y aseguren el gradiente de humedad que la vaca necesita para el intercambio de calor mediante respiración. Así mismo, se debe considerar que la radiación solar y la velocidad de viento también participan en el estatus fisiológico de la vaca y pueden afectar insensiblemente el nivel productivo.

Bibliografía

- Armstrong, D.V. 1994. Heat stress interaction with shade and cooling. *J. Dairy Sci.* 77:2044-2050.
- Avedaño-Reyes, L., Alvarez-Valenzuela, F.D., Correa-Calderón, A., Saucedo-Quintero, J.S., Rivera-Acuña, F., Verdugo-Zarate, F.J., Aréchiga-Flores, C. y Robinson, P.H. 2007. Evaluation of a cooling system used in the dry period of

- dairy cattle in summer. *Tec. Pec. Mex.*; 45(2):209-225.
- Berman, A. 2010 forced heat loss from body surface reduces heat flow to body surface. *J. Dairy Sci.* 93: 242-248.
- Berman, A. 2006. Extending the Potential of Evaporative Cooling for Heat-Stress Relief. *J. Dairy Sci.* 89:3817-3825
- Berman, A. and D. Wolfenson. 1992. Environmental modifications to improve production and fertility. In: Van Horn, H.H., Wilcox, C.J. Eds. *Large Dairy Herd Management*. American Dairy Science Association, Champaign, IL, pp. 126-134.
- Bohmanova, J., I. Misztal, and J.B. Cole. 2007. Temperature-Humidity Indices as Indicators of Milk Production Losses due to Heat Stress. *J. Dairy Sci.* 90:1947-1956.
- Brown-Brand T., D. Jones, and W.E. Woldt. 2005. Evaluating Modelling Techniques for Cattle Heat Stress Prediction. *Biosystems Engineering* 91 (4): 513-524.
- Buffington, D. E., R. J. Collier and G.H. Canton. 1983. Shade management system to reduce heat stress for dairy cows in hot, humid climates.
- Chan, S. C., J.T. Huber, K.H. Chen, J.M. Simas, and Z. Wu. 1997. Effects of ruminally inter fat and evaporative cooling on dairy cows in hot environmental temperature. *J. Dairy Sci.* 80: 1172-1178.
- Collier, R.J., G.E. Dahl, and M.J. VanBaale. 2006. Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 89: 1244-1253.
- Collier, R. J., H. Doelger, H. Head, W. W. Thatcher, and C. J. Wilcox. 1982. Effects of heat stress during pregnancy on maternal hormone concentrations, calf birth weight and postpartum milk yield of Holstein cows. *J. Anim. Sci.* 54: 309-319.
- Correa-Calderón, A., J.C. Leyva, L. Avedaño, F. Rivera, R. Diaz, F.D. Alvarez, F. Ardon y R. Rodriguez. 2009. Effects of artificial cooling and its combination with timed artificial insemination on fertility of Holstein heifers during summer. *J. Appl. of Animal Res.* 35:109-112.
- Dikmen, S. and P.J. Hansen. 2009. Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? *Journal of Dairy Science.* 92:1109-1116.
- Félix, V.P., C.J.C. Leyva, J.E. Ortiz, J.G. Quintana, J. Grajeda, y O.G. Jimenez. 2008. Comportamiento histórico y tendencia del clima en la zona Agrícola y Pecuaria del sur de Sonora, expectativas ante un cambio climático. CIRNO-CEVY del INIFAP. Libro técnico No.4. ISBN: 978-607-425-109-8.
- Finch, V. A. 1986. Body temperature in beef cattle: its control and a relevance to production in the tropics. *J. Anim. Sci.* 1986. 62: 531-542.
- Flamenbaum, I. 1998. Manejo de ganado lechero en climas cálidos. Curso Internacional de Ganadería Lechera intensiva en diferentes condiciones de producción. CINADCO. Israel.
- Hahn, G.L. 1999. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *Journal of animal science.* American society of animal science. *J. Anim. Sci.* 1999. 77:10-20.
- Honig, H, J. Miron, H. Lehrer, S. Jackoby, M. Zachut, A. Zinou, Y. Portnick, and U. Moallem. 2012. Performance and welfare of high-yielding dairy cows subjected to 5 or 8 cooling sessions daily under hot and humid climate. *J. Dairy Sci.* 95: 3736-3742.
- Johnson, H.D. 1987. Bioclimates and livestock. In: Johnson HD (ed). *World Animal Science B5 Bioclimatology and the adaptation of Livestock*, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, Netherlands.
- Kolb, E. 1987. *Fisiología veterinaria vol.II 3ª edición*. Ed. Acribia Zaragoza, España.
- Leyva, C.J.C, V.P. Félix, A.J.D. Osuna, C.R. Avalos, C.A. Correa, P. Luna, J. Munguía, M.I.P. Morales, y H.I.R. Hernández. 2009. Desempeño productivo del ganado lechero controlando la ventilación y aspersión de agua bajo las condiciones semi-húmedas de verano del sur de Sonora. En la XIX Reunión Internacional sobre Producción de carne y leche en climas cálidos. Pp: 179-181.
- Leyva, J.C.C., P.V. Félix, M.I. Morales, J.G. Grageda, J.G.Q. Quintana, y B.G.G. Ramírez. 2008. Análisis del riesgo al estrés calórico en hatos lecheros del sur de Sonora utilizando la climatología de la región. XVIII Reunión Internacional sobre producción de Carne y Leche en Climas Cálidos, 2 y 3 de Octubre de 2008, Mexicali Baja California México. Pp.1, 2 y 3.
- Leyva. C.J.C., V.P. Félix, M.I. Morales, Q.J.G. Quintana, O.G.M. Jiménez y V.G. Lagarda. 2007. Tendencias a las condiciones climáticas de la zona agrícola y pecuaria del sur de Sonora. XVII Reunión Internacional sobre producción carne y leche en climas cálidos 18 y 19 octubre. Mexicali BC, México. Pp 219-295.
- Mader, T. L., J. M. Dahlquist, and J. B. Gaughan. 1997. Wind protection effects and airflow patterns in outside feedlots. *J. Anim. Sci.* 75:26-36.
- Must, L.E., R.E. McDowell, and N.H. Hooven. 1972. Effect of summer on performance of Holstein cows in three stages of lactation. *J. Dairy Sci.* 58 (8): 1133-1139.
- Rhoads, M.L., J.W. Kim, R.J. Collier, B.A. Crooker, Y.R. Boisclair, L.H. Baumgard, and R.P. Rhoads. 2010. Effects of heat stress and nutrition on lactating Holstein cows: II. Aspects of hepatic growth hormone responsiveness. *J. Dairy Sci.* 93:170-179.
- Schneider P.L., D.K. Beede, C.J. Wilcox, and R.J. Collier. 1984. Influence of dietary sodium and potassium bicarbonate and total potassium on heat stressed lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 67: 2546-2553.
- Seath, D.M., and G.D. Miller. 1946. The relative importance of high temperature and high humidity as factor influencing respiration rate, body temperature and pulse rate of dairy cows. *Journal of dairy Science.* Pages 465-472.
- Turner, L.W., J.P. Chastain, R.W. Hemken, R.S. Gates, and W. L.Crist. 1992. Reducing heat stress in dairy cows through sprinkler and fan cooling. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 8(2): 251-256.
- West, J. W., B.G. Mullinix, and J.K. Bernard. 2003. Effects of hot, humid weather on milk temperature, dry matter intake, and milk yield of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86:232-242.
- West, J.W. 2003. Effect of heat stress on production in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* Vol. 86. P. 2131-2144.
- Zimbelman, R.B., and R.J. Collier. 2011. Feeding Strategies for High-Producing Dairy Cows During Periods of Elevated Heat and Humidity. Tri-State Dairy Nutrition Conference, April 19 and 20 Tucson Az. EU. Pp. 111-126.