

El índice temperatura-humedad máximo y la producción de leche de los establos en Lima-Perú

Ruiz-García, L.F.¹; Carcelén-Caceres, F.²; y Sandoval-Monzón, R.S.^{1@}

¹Clínica de Animales Mayores. Facultad de Medicina Veterinaria. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima. Perú.

²Laboratorio de Bioquímica. Nutrición y Alimentación Animal. Facultad de Medicina Veterinaria. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima. Perú.

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue determinar si el incremento del índice temperatura-humedad máximo (ITHmax) disminuye significativamente la producción de leche diaria de las vacas de los establos intensivos del departamento de Lima. El estudio se realizó en cuatro establos en un periodo de tres años. Se emplearon 8245 registros de producción diaria de 2488 vacas. El ITHmax fue calculado utilizando los registros diarios de las estaciones meteorológicas. Se realizó un análisis de regresión para la producción diaria de leche, se calculó el coeficiente de correlación y de determinación del modelo para determinar la bondad de ajuste del modelo. Se realizó el análisis de varianza del modelo de regresión y se estimaron los coeficientes de regresión y se calcularon los coeficientes de regresión estandarizados. El modelo de regresión presentó un coeficiente de determinación ajustado de 34,4% y un error estándar de la estimación de 7,65. Asimismo, el análisis de varianza de la regresión nos indica que el modelo presenta una alta significancia ($P < 0,001$). El coeficiente de regresión de ITHmax fue de -0,36, siendo este altamente significativo ($P < 0,001$). Esto nos indica que el ITHmax afecta significativamente la producción de leche diaria de las vacas de los establos de Lima, y por cada incremento del ITHmax, podemos observar una disminución de 0,36 kg. de la producción de leche diaria.

The maximum temperature-humidity index and dairy production of the farms in Lima-Peru

SUMMARY

The objective of the study was to determine whether the increase in the maximum temperature-humidity index (ITHmax) significantly reduced the daily milk production of cows in the intensive farms of Lima department. The study was conducted in four dairy farms over a three-year period. 8245 records of daily production of 2,488 cows were used. ITHmax was calculated using the daily records of the meteorological stations. A regression analysis was performed for daily milk production, the correlation coefficient and model determination were calculated to determine the goodness of fit of the model. We performed the analysis of variance of the regression model and estimated the regression coefficients and calculated the standardized regression coefficients. The regression model had an adjusted coefficient of determination of 34,4% and a standard error of the estimate of 7,65. Likewise, the analysis of variance of the regression indicates that the model has a high significance ($P < 0,001$). The ITHmax regression coefficient was -0,36, being this highly significant ($P < 0,001$). This indicates that the ITHmax significantly affects the daily milk production of the cows in Lima, and for each increase of the ITHmax, we can observe a decrease of 0,36 kg. of daily milk production.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES

Estrés calórico.
Bovinos.
Productividad.
Curva de lactación.

ADDITIONAL KEYWORDS

Heat stress.
Bovine.
Productivity.
Lactation curve.

INFORMATION

Cronología del artículo.
Recibido/Received: 12.03.2017
Aceptado/Accepted: 01.06.2017
On-line: 15.01.2018
Correspondencia a los autores/Contact e-mail:
rocio.sandoval@unmsm.edu.pe

INTRODUCCIÓN

La homeotermia es el resultado del equilibrio del calor producido por el organismo con la pérdida o ganancia de calor proveniente del ambiente (West 1999,

p. 21). La transmisión del calor ambiental depende de la temperatura y la humedad relativa del ambiente (St. Pierre et al. 2003, p. E52; West 2003, p. 2131). El índice temperatura-humedad (ITH) es el indicador del estrés calórico más utilizado que representa el efecto

combinado de la temperatura ambiental y la humedad relativa (West 2003, p. 2133).

Cuando el ITH es óptimo, el animal puede mantener su temperatura corporal dentro de los límites normales y logra un adecuado crecimiento y producción empleando el mínimo consumo de alimento. Al rango óptimo del ITH se le conoce como zona termoneutral. La zona termoneutral varía según la especie, la raza y el estado productivo del animal. Cuando los animales se encuentran en un ambiente que está por debajo o por encima de su zona termoneutral, el ritmo metabólico tiende a aumentar o disminuir (West 1999, p. 23).

Un animal manifiesta hipertermia cuando no puede disipar el excedente de la suma del calor producido por su metabolismo y el calor recibido del medio ambiente (West 2003, p. 2132-3). Durante el estrés calórico, la hipertermia se convierte en una condición persistente (Wheelock et al. 2010, p. 649). El estrés calórico se inicia cuando el ITH supera el límite mayor del ITH de la zona termoneutral, este punto se conoce como el ITH umbral. El ITH umbral de las vacas lecheras se encuentra entre las 68 a 72 unidades (Collier et al. 2012, p. 82). Por otra parte, parece ser que la temperatura diaria máxima del aire y la humedad diaria mínima parecen ser las variables más críticas para cuantificar el estrés calórico. Ambas variables pueden ser combinadas en el ITH máximo (ITHmax) (Ravagnolo et al. 2000, p. 2125).

El estrés calórico ha sido ampliamente reconocido como uno de los factores que afectan la productividad y la eficiencia reproductiva de los animales de producción en diferentes partes del mundo (Bernabucci et al. 2014, pp. 471-86; Bouraoui et al. 2002, pp. 479-91; St-Pierre et al. 2003, pp. E52-77). Cuando el periodo de estrés es corto, una leve disminución en la producción de leche se observa en el ganado lechero, pero cuando el periodo de estrés es prolongado, la producción y reproducción de los animales puede sufrir graves consecuencias (Arias y Mader 2010, p. 33). El ganado vacuno responde al estrés calórico agudo de varias maneras, por ejemplo: reduciendo el consumo de alimento e incrementando la pérdida de agua por evaporación, el consumo de agua, la frecuencia respiratoria y la temperatura corporal (Thatcher 1974, p. 363; West et al. 2003, pp. 232-42; Wheelock et al. 2010, p. 648). El grado en que la producción de leche se ve afectada por el estrés calórico en el ganado lechero varía entre paridades. Las vacas multiparas son más susceptibles al estrés térmico, y la disminución en la producción de la leche puede llegar hasta 1 kg /d (Bernabucci et al. 2014, p. 485).

Las pérdidas económicas producidas por el estrés calórico en países como EE.UU. son significativas. Se estima que las pérdidas anuales son de US \$897 a US\$ 1500 millones para la industria de productos lácteos y \$369 millones para la producción de carne, respectivamente (St-Pierre et al. 2003, p. E73). En dicho país, se han realizado numerosos estudios para cuantificar los efectos adversos del estrés calórico en el ganado lechero y determinar cuándo se deben aplicar las medidas de control (Amundson et al. 2006, pp. 3415-20; Ravagnolo et al. 2000, pp. 2120-5; West et al. 2003, pp. 232-42; Wheelock et al. 2010, pp. 644-55). Sin embargo,

en el Perú no se han realizado estudios que cuantifiquen el efecto del estrés calórico sobre la productividad del ganado vacuno lechero. Se sabe que ciertas épocas del año y regiones del Perú presentan algún grado de estrés calórico debido a una combinación de factores tales como el manejo, la nutrición y el medio ambiente (Contreras 2009, pp. 1-26; Domínguez 2008, pp. 1-37; Rodríguez, et al. 2005, pp. 1-12).

El departamento de Lima posee importantes localidades de producción lechera intensiva (INEI 2012). Al revisar los registros climatológicos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrografía (SENAMHI) de los años 2010 a 2013, encontramos que la temperatura máxima promedio registrada en los meses de verano (Enero – Marzo) fue de 28°C y la humedad relativa mínima promedio fue de 68%, por lo que el ITH máximo promedio encontrado en dicha época fue de 78 (Ruiz 2017, p. 37). Esto significa que las vacas lecheras de los establos de Lima se encontrarían en estrés calórico durante dicha época del año, ya que el ITH es mayor a 70. Como ha sido mencionado, periodos prolongados de alta temperatura del aire juntos a alta humedad relativa comprometen la capacidad de los animales lecheros para disipar el exceso de calor corporal que afecta la ingesta de alimentos, la producción de leche y la eficiencia reproductiva y reducen la rentabilidad de los productores lecheros (Das et al. 2016, p- 265). Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue determinar si el incremento del ITHmax disminuye significativamente la producción de leche diaria de las vacas de los establos intensivos del departamento de Lima.

MATERIAL Y MÉTODOS

DATOS

El presente trabajo se realizó en las tres provincias del departamento de Lima de mayor importancia para la ganadería lechera intensiva (INEI 2012). Las provincias evaluadas fueron la provincia de Huaura, Lima y Cañete. El presente trabajo fue realizado entre los meses de enero de 2010 y diciembre del 2013.

El índice temperatura-humedad máximo se calculó mediante el promedio aritmético del índice temperatura humedad máximo de cada día de cada zona de cada mes de estudio. Para esto, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{ITHmax} = 0,81 \times T^{\circ}\text{max} + \text{HRmin}/100 \times (T^{\circ}-14, 4) + 46, 4$$

Dónde:

$T^{\circ}\text{max}$ es la temperatura máxima registrada en el día en grados centígrados.

HRmin es la humedad relativa mínima registrada en el día en porcentaje.

Además, se recolectaron los datos productivos y reproductivos de cuatro establos de lechería intensiva que fueron: la producción de leche en el día del control de ordeño, la fecha del control de ordeño, el número de partos, el número de ordeños realizados en el establo, el mes del parto y la fecha de parto, para determinar el número de días en lactación.

Se estimaron los promedios mensuales del índice temperatura humedad máximo, utilizando los registros diarios de 4 estaciones meteorológicas de SENAMHI desde agosto de 2010 a julio de 2013. También se emplearon 8245 registros de producción diaria de 2488 vacas procedentes de 4 establos en los 3 años de estudio. Las vacas empleadas en este estudio se caracterizaron por tener estabulación permanente, recibir una dieta mixta completa *ad libitum*, recibir ordeño mecánico, contar con sombras en los corrales y sistemas de enfriamiento en las salas de espera, con una producción de leche por campaña a 305 días en estos establos que se encuentra entre los 7500 a 10500 kg.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para esto se empleó un modelo general lineal, el cual corrigió la producción de leche según días en lactación, número de ordeños, número de partos y mes de partos, utilizando la siguiente ecuación:

$$Y_i = b_0 + b_1 \times x_1 + b_2 \times x_2 + b_3 \times x_3 + B_2 \times X_2 + B_3 \times X_3 + B_4 \times X_4 + B_5 \times X_5 + e_i$$

Donde:

Y_i es la producción de leche diaria de la observación i -ésima ($i = 1, 2, 3, \dots, 8245$).

b_0 es el intercepto.

b_1, b_2, b_3 son coeficientes de regresión para x_1, x_2, x_3 .

x_1 es el ITHmax promedio del mes en la observación i -ésima.

x_2 son los días en lactación de la vaca en la observación i -ésima.

x_3 es el logaritmo natural de los días en lactación de la vaca en la observación i -ésima.

B_2, B_3, B_4, B_5 son el vector de los coeficientes de regresión para las matrices X_2, X_3, X_4 y X_5 respectivamente.

X_2 es la matriz de codificación de los establos con dimensiones 3×4 , empleando el establo 4 como grupo de referencia.

X_3 es la matriz de codificación del número de ordeños dentro de establo con dimensiones 1×2 , empleando los dos ordeños como grupo de referencia.

X_4 es la matriz de codificación del mes de parto con dimensiones 11×12 , empleando los dos ordeños como grupo de referencia.

X_5 es la matriz de codificación del número de partos con dimensiones 9×10 , empleando las vacas con 10 partos como grupo de referencia.

e_i es el error aleatorio de la observación i -ésima.

Para el análisis estadístico se empleó el software IBM SPSS Statistics 22. Se realizó un análisis de regresión para la producción diaria de leche. El modelo de regresión empleado se encuentra descrito líneas arriba en la sección diseño de estudio. Se calculó el coeficiente de correlación y de determinación del modelo para

determinar la bondad de ajuste del modelo. Se realizó el análisis de varianza del modelo de regresión y se estimaron los coeficientes de regresión. Se realizó la prueba de t de Student para determinar si los coeficientes de regresión eran diferentes de 0 y se calcularon los coeficientes de regresión estandarizados. Para comprobar si los modelos cumplían los supuestos de normalidad de los residuos, se realizó un histograma de frecuencia y el gráfico P-P de los residuos estandarizados. Se consideró como significativo un nivel de significancia de 5%.

RESULTADOS

En la **Figura 1**, se puede apreciar la relación entre la producción lechera y el ITHmax en los diferentes meses del año. Se puede apreciar que los meses que tienen un ITHmax mayor a 70, presentan una disminución en la producción de leche diaria. Del mismo modo, se puede observar que el ITHmax fue mayor a 70 durante los meses de octubre a junio. El pico de producción de leche ocurre en el mes de octubre, mes en el cual se inicia el incremento del ITHmax, por lo que se observa una disminución considerable de la producción de leche en el mes de noviembre. El ITHmax continúa incrementándose hasta el mes de febrero, y se mantiene alto hasta el mes de abril, meses en los cuales, la producción de leche de los establos de Lima encuentra su punto más bajo. Finalmente, el ITHmax comienza a disminuir y la producción de leche comienza a incrementarse hasta llegar a su pico en el mes de octubre.

Los residuos del modelo de regresión para la producción de leche diaria de las vacas Holstein de los cuatro establos lecheros de Lima durante el periodo de 2010 a 2013 siguieron la distribución normal. Los estimados de bondad de ajuste y el análisis de varianza del modelo de regresión para la tasa de preñez pueden ser revisadas en la **Tabla I**. El modelo de regresión presentó un coeficiente de determinación ajustado de 34,4% y un error estándar de la estimación de 7,65. Este coeficiente de determinación nos indica que más del 34% de la variabilidad de la producción de leche diaria de los cuatro establos del departamento de Lima es explicado por el modelo. Asimismo, el análisis de varianza de la regresión nos indica que el modelo presenta una alta significancia ($P < 0,001$). Por lo cual la producción de leche diaria puede ser explicada por el modelo.

En la **Tabla II** podemos observar los resultados del análisis de regresión del modelo de regresión lineal múltiple para la producción de leche diaria de las vacas Holstein para los cuatro establos lecheros de Lima durante el periodo de 2010 a 2013. Como podemos observar, el coeficiente de regresión de ITHmax fue de -0,36, siendo este altamente significativo ($P < 0,001$). Esto nos indica que el ITHmax afecta significativamente la producción de leche diaria de las vacas Holstein de los establos de Lima, por lo que por cada incremento del ITHmax, podemos observar una disminución de 0,36 kg. de la producción de leche diaria. Asimismo, podemos observar que los coeficientes de regresión de los diferentes establos al emplear el establo 4 como grupo de referencia fueron significativos. El coeficiente de regresión del establo 3 fue de 1,3, mientras que los

Tabla I. Estimados de bondad de ajuste del modelo de regresión para la producción de leche diaria de las vacas de los 4 establos lecheros de Lima durante los años 2010-2013 (Goodness of fit estimates of the regression model for the daily milk production of cows from the 4 dairy farms of Lima during the years 2010-2013).

Modelo	R	R ²	R ² ajustado	Error estándar de la estimación
Producción de leche diaria	0,588	0,346	0,344	7,64921

R: coeficiente de correlación, R²: coeficiente de determinación, R² ajustado: coeficiente de determinación ajustado.

coeficientes de regresión del establo 1 y 2 fueron de -2,9 y -3,5, siendo todos estadísticamente significativos al compararlos con el establo 4 ($P < 0,05$). Esto nos indica que el establo 3 presenta un mejor promedio de producción de leche que el establo 4, y que las vacas del establo 4 producen más leche que las vacas de los establos 1 y 2.

Los días en lactación tuvieron un efecto significativo sobre la producción de leche, encontrándose un coeficiente de regresión de -0,02 ($P < 0,001$), lo que indica que la producción de leche de las vacas disminuye conforme avanzan los días en lactación. El establo 3 presentaba la particularidad que contaba con dos grupos de vacas con diferente frecuencia de ordeño (2 ó 3 ordeños/día), por lo que la variable número de ordeños dentro del establo 3 fue incorporada en el modelo. Como podemos observar en el cuadro 1, las vacas que recibieron 3 ordeños en el establo 3 presentaban una mayor producción de leche por día que las vacas que solo recibían 2 ordeños ($\beta = 11,82$; $p = < 0,001$).

Por otra parte, no se encontró efecto significativo del número de parto en la producción de leche diaria al emplear las vacas con 10 partos como grupo de referencia, ni tampoco se observó un efecto significativo de los meses de parto, a excepción del mes de enero, al ser comparado con el mes de diciembre como grupo de referencia ($\beta = -1,08$; $p = 0,026$). Esto nos indica que las vacas paridas en enero producen 1 kg. de leche menos en comparación con las vacas paridas en diciembre.

Con respecto a los coeficientes de regresión estandarizados (cuadro 1), podemos mencionar que para la variable ITHmax presentó un coeficiente de regresión estandarizado de -0,17. La variable ITHmax presenta una relación inversa con la producción de leche diaria de las vacas de los establos lechero de Lima. Por lo que el incremento en una unidad de desviación estándar del ITHmax, produce una reducción en 0,17 unidades de desviación estándar de la producción de leche diaria.

En la **Figura 2**, se puede apreciar el gráfico de dispersión de puntos entre la producción de leche diaria de los cuatro establos de Lima y el índice temperatura-humedad máximo durante el periodo de 2010 a 2013. Como se observa, la producción de leche diaria disminuye conforme se incrementa el índice temperatura-humedad máximo. Lo que concuerda con lo encontrado en el modelo de regresión lineal múltiple, donde se encontró que por cada incremento de una unidad del índice temperatura-humedad máximo, la producción de leche diaria de los establos de Lima disminuía un 0,36 kg.

En la **Figura 3**, se puede apreciar el gráfico de dispersión de puntos entre la producción de leche diaria

de los cuatro establos de Lima y los días en lactación durante el periodo de 2010 a 2013. Empleando el modelo de regresión se han estimado tres curvas para tres niveles de estrés calórico (sin estrés, estrés moderado y estrés severo), como podemos observar, las vacas en estrés calórico moderado y severo tienen una producción de leche mucho menor que las vacas sin estrés calórico, pudiendo observarse una disminución de 1,8 y 3,6 kg de leche por día respectivamente.

DISCUSIÓN

Los resultados del estudio demostraron que la producción de leche promedio día de los establos lecheros del departamento de Lima se encuentra afectada negativamente por el incremento del índice temperatura-humedad máximo. Por cada incremento de una unidad del índice temperatura-humedad máximo, la producción de leche promedio día de los establos lecheros disminuía en 0,36 kg por día, lo que equivale a una disminución de 108,58 kg de leche por campaña de 305 días. Por lo que podemos estimar que, en las vacas en el mes de febrero, donde el índice temperatura-humedad máximo promedio es de 78, tendrían una producción diaria de leche 3,92 kg más bajo por día que si estas mismas vacas se hubieran encontrado en agosto, donde el índice temperatura-humedad máximo promedio es de 67.

Según lo reportado por Barrera et al. (2015, p. 893), indican que el estrés calórico tiene un profundo efecto sobre los indicadores clínicos y que causa una reducción en la producción de leche en vacas Holstein. En un trabajo en el cual vacas lecheras fueron sometidas experimentalmente a estrés calórico se encontró que, las vacas sometidas a estrés calórico presentan un incremento de la temperatura rectal (39,9 frente a 38,9 °C, $P < 0,001$), consumen menos alimento (16,9 frente a 19,7 kg/día, $P < 0,05$) y producían menos leche (17,03 frente a 21,98 kg/día, $P < 0,01$) que las vacas en un entorno termoneutral (Cowley et al. 2015, pp. 2361-63). La disminución de la producción de leche esperada según los datos del presente trabajo es similar a la reportada por Cowley et al. (2015, pp. 2356-68), al comparar la producción de leche de una vaca en un ambiente termoneutral (ITH < 70) con una vaca en un ambiente con estrés calórico (ITH = 78). Además, el estrés calórico se asocia con concentraciones más bajas de proteína de leche y lactosa y el aumento del recuento de células somáticas (Barrera et al. 2015, p. 893).

Los efectos directos del estrés calórico sobre la producción de leche son difíciles de cuantificar, ya que la producción de leche es también fuertemente afectada por otros factores, como el manejo nutricional (Fuquay 1981, pp. 168-70), que pueden o no estar directamente

Tabla II. Resultados del análisis del modelo de regresión para la producción de leche diaria de las vacas Holstein para los cuatro establos lecheros de Lima durante el periodo de 2010 a 2013 (Results of the regression model analysis for the daily milk production of Holstein cows for the four dairy farms of Lima during the period from 2010 to 2013).

Variable independiente	β	Error estándar	β est.	t	Sig.	Límite inferior al 95%	Límite superior al 95%
(Constante)	53.22	3.41		15.63	<0.001	46.55	59.90
DEL	-0.02	0.00	-0.30	-18.43	<0.001	-0.03	-0.02
lnDEL	1.19	0.15	0.13	7.93	<0.001	0.90	1.49
ITH Máximo	-0.36	0.02	-0.17	-15.07	<0.001	-0.40	-0.31
Establo 1	-2.89	0.25	-0.14	-11.61	<0.001	-3.38	-2.40
Establo 2	-3.48	0.29	-0.16	-11.92	<0.001	-4.06	-2.91
Establo 3	1.28	0.35	0.06	4.35	<0.001	0.70	1.85
Establo 4	Ref.						
N° Ord.: 2x (Establo 3)	Ref.						
N° Ord.: 3x (Establo 3)	11.82	0.35	0.36	34.00	<0.001	11.14	12.50
Mes Parto 1	-1.08	0.49	-0.03	-2.23	0.026	-2.03	-0.13
Mes Parto 2	-0.36	0.48	-0.01	-0.75	0.451	-1.30	0.58
Mes Parto 3	-0.49	0.45	-0.02	-1.09	0.275	-1.38	0.39
Mes Parto 4	-0.71	0.45	-0.02	-1.58	0.113	-1.58	0.17
Mes Parto 5	-0.13	0.44	-0.00	-0.30	0.764	-0.99	0.73
Mes Parto 6	-0.15	0.44	-0.01	-0.35	0.728	-1.01	0.70
Mes Parto 7	0.20	0.44	0.01	0.45	0.652	-0.67	1.07
Mes Parto 8	0.26	0.45	0.01	0.58	0.561	-0.62	1.14
Mes Parto 9	0.10	0.46	0.00	0.22	0.828	-0.80	0.99
Mes Parto 10	0.71	0.49	0.02	1.46	0.145	-0.24	1.66
Mes Parto 11	0.07	0.49	0.00	0.16	0.876	-0.89	1.04
Mes Parto 12	Ref.						
N° Parto 1	-3.77	2.90	-0.19	-1.30	0.194	-9.46	1.92
N° Parto 2	-1.59	2.90	-0.07	-0.55	0.584	-7.28	4.10
N° Parto 3	-1.23	2.91	-0.05	-0.42	0.673	-6.92	4.47
N° Parto 4	-0.58	2.91	-0.02	-0.20	0.842	-6.29	5.13
N° Parto 5	-2.12	2.92	-0.05	-0.73	0.468	-7.83	3.60
N° Parto 6	-2.32	2.93	-0.05	-0.79	0.429	-8.07	3.42
N° Parto 7	-4.02	2.96	-0.06	-1.36	0.175	-9.82	1.78
N° Parto 8	-3.74	2.98	-0.05	-1.25	0.210	-9.58	2.11
N° Parto 9	-3.57	3.07	-0.03	-1.161	0.246	-9.58	2.45
N° Parto 10	Ref.						

β : coeficientes de regresión, β est.: coeficiente de regresión estandarizado, t: prueba de t de Student, Sig.: significancia, DEL: días en lactación, lnDEL: logaritmo natural de los días en lactación, N° Ord.: Número de ordeños, 2x: dos ordeños/día, 3x: tres ordeños/días, Ref.: grupo de referencia.

vinculados a los factores ambientales. La reducción del consumo de materia seca en vacas con estrés de calor no es suficiente para explicar la disminución total de la producción de leche inducida por incremento del ITH (Gorniaka et al. 2014, p. 367). Se ha demostrado que, el estrés calórico tiene efectos negativos en la función secretora de la ubre (Silanikove et al. 2009, p. 12) y que disminuye la eficiencia de utilización de la energía para fines productivos (Rhoads et al 2009, pp. 1195-6; Wheelock et al. 2010, pp. 653-4). En los bovinos bajo estrés calórico, la energía disponible es el nutriente

más limitante para las vacas lecheras lactantes (West 2003, p. 2140). Del mismo modo, en respuesta a la temperatura elevada, in vitro, las células epiteliales de la glándula mamaria bovina muestran una morfología anormal y presentan una reducción en la proliferación celular (Collier et al. 2006, p. E13), lo que sugiere que la hipertermia inducida por el estrés calórico compromete la función de las células mamaras.

El efecto más evidente del estrés calórico sobre los indicadores metabólicos es el aumento de la proteína total y la albúmina, probablemente debido a la deshi-

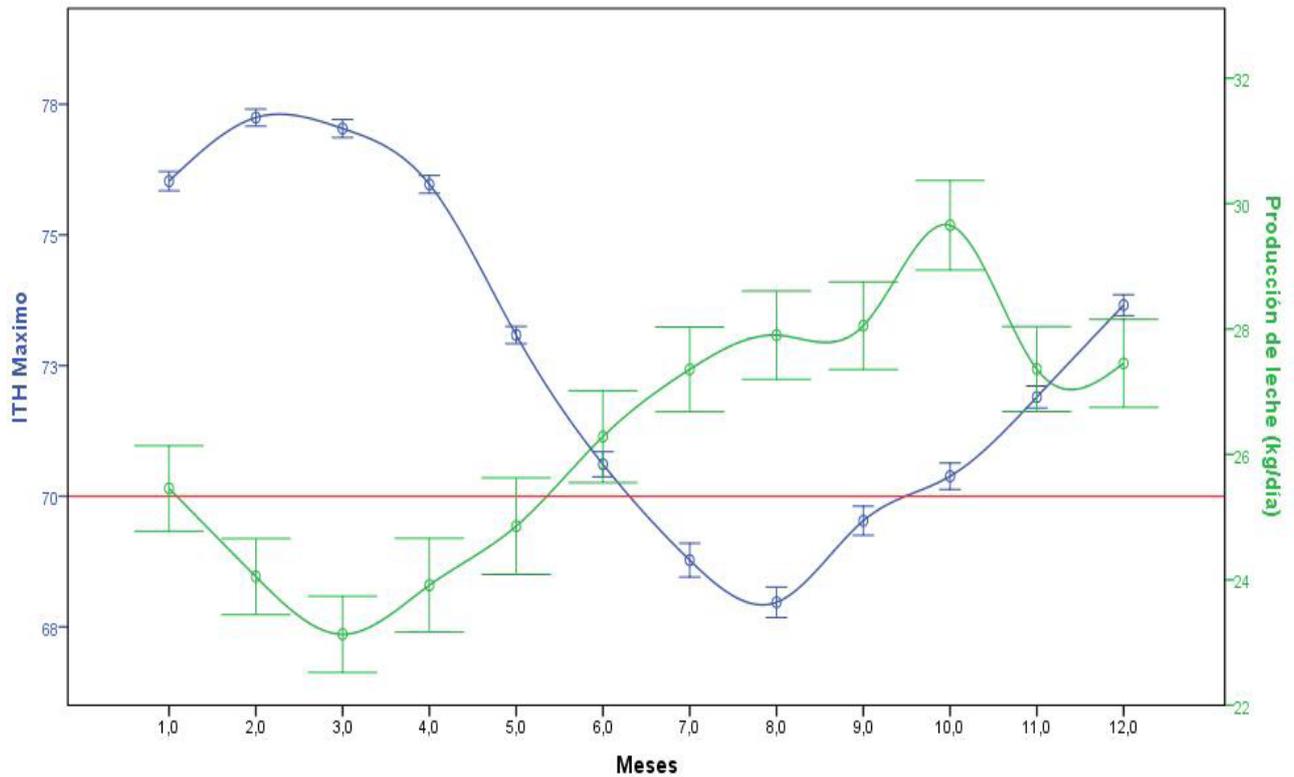


Figura 1. Relación entre la producción de leche diaria (kg/día) y el índice temperatura-humedad máximo en los diferentes meses del año. La línea roja representa el umbral del ITH a partir del cual las vacas lecheras sufren estrés calórico (ITH=70) (Relationship between daily milk production (kg / day) and the maximum temperature-humidity index in the different months of the year. The red line represents the ITH threshold from which dairy cows undergo heat stress (ITH = 70)).

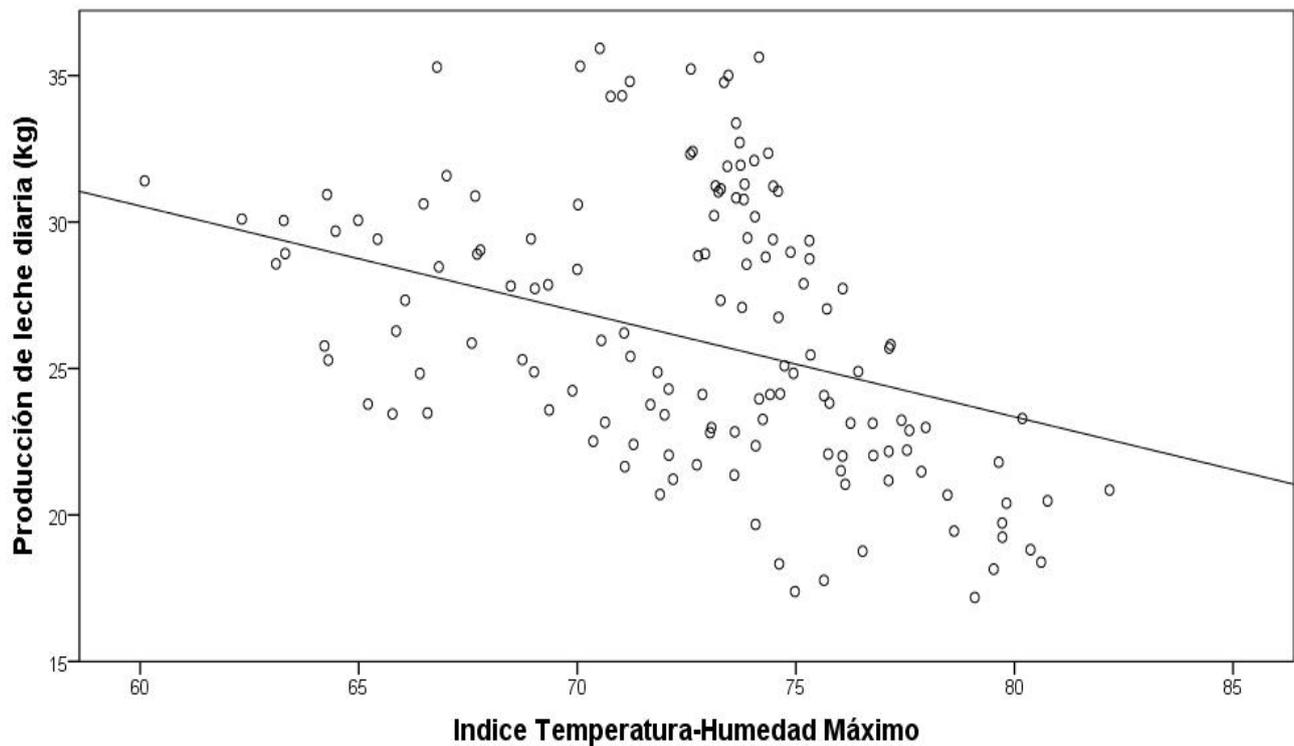


Figura 2. Diagrama de dispersión de puntos entre la producción de leche diaria y el índice temperatura-humedad máximo y curva estimada de la producción de leche diaria según el índice temperatura-humedad máximo ($P_x = 52.15 - 0.36 * ITH \text{ Máx}$) (Scatter plot between daily milk production and maximum temperature-humidity index and estimated curve of daily milk production according to the maximum temperature-humidity index ($P_x = 52.15 - 0.36 * ITH \text{ Máx}$)).

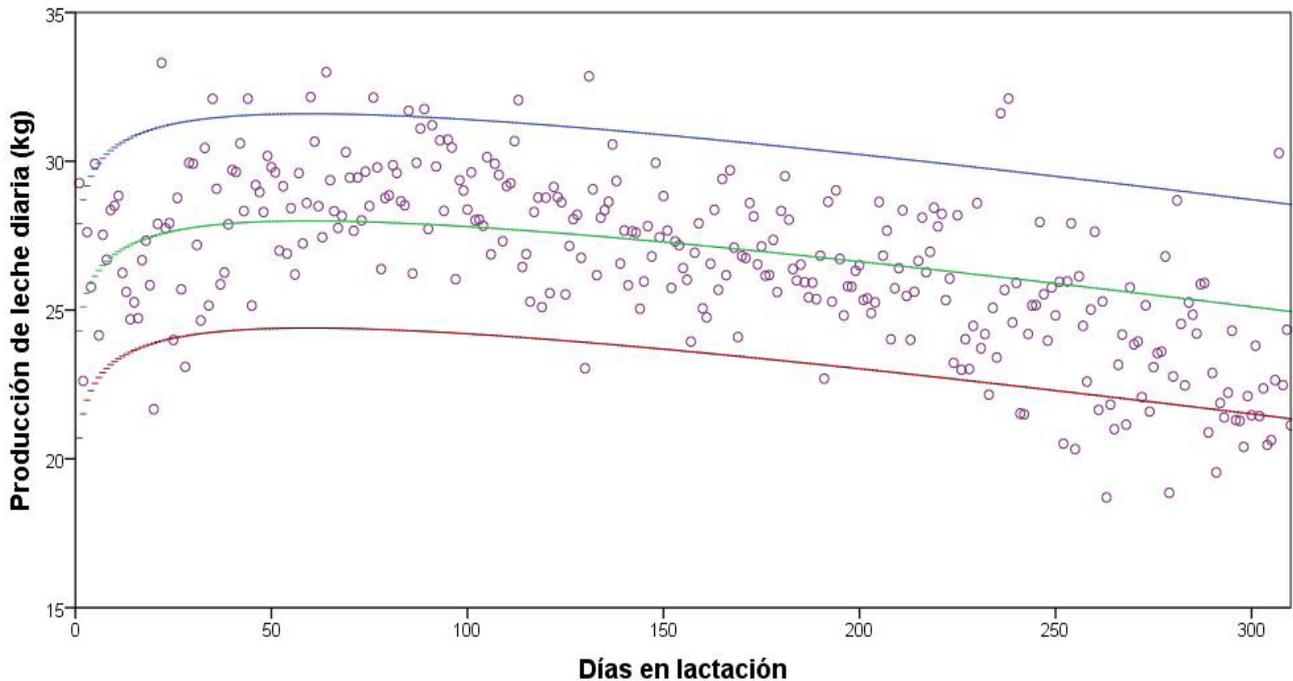


Figura 3. Diagrama de dispersión de puntos entre la producción de leche diaria y los días en lactación y curvas estimadas de la producción de leche diaria según los días en lactación en tres niveles de estrés calórico (Sin estrés: línea color azul [ITH Máx = 60]; Estrés moderado: línea color verde [ITH Máx = 70]; Estrés severo: línea color rojo [ITH Máx = 80]; $P_x = 49.52 - 0.36 * ITH \text{ Máx} - 0.02 * DEL + 1.19 * \ln DEL$) (Scatter plot between daily milk production and lactation days and estimated curves of daily milk production according to lactation days in three levels of caloric stress (No stress: blue line [ITH Máx = 60]; Stress Moderate: green color line [ITH Máx = 70] Severe stress: red line [ITH Máx = 80], $P_x = 49.52 - 0.36 * ITH \text{ Máx} - 0.02 * DEL + 1.19 * \ln DEL$)).

dratación (Barrera et al. 2015, p. 893). Asimismo, también se presenta una pérdida de electrolitos a través de las secreciones de la piel (Das et al. 2016, p. 265). Además, el aumento de las concentraciones de glucosa y colesterol sugieren que existen efectos endocrinos que están relacionados con el estrés calórico (Barrera et al. 2015, p. 893). A nivel metabólico, el animal sometido a estrés calórico inicia una variedad de cambios postabsorptivos que son en gran medida independientes a la reducción del consumo de materia seca y al equilibrio energético del animal (Baumgard y Rhoads 2013, p. 328).

Los cambios postabsorptivos en el metabolismo de los nutrientes son aparentemente mecanismos adaptativos empleados para priorizar el mantenimiento de eutermia (Baumgard y Rhoads 2013, p. 328). Según lo indicado por Baumgard y Rhoads (2013, p. 328), la principal diferencia entre un animal térmico-neutral y un animal estresado por calor en un estado energético similar es la incapacidad del animal hipertérmico de emplear mecanismos de ahorro de glucosa para dar prioridad a la síntesis de producto (leche y carne).

La temperatura corporal y el ITH se correlacionan con el comportamiento de la vaca. Las vacas con mayor temperatura corporal permanecerán menos tiempo acostadas y estarán de pie por más largo tiempo (Allen et al. 2015, p. 125), lo que también afecta su ingesta y el metabolismo de la materia seca. Sin embargo, al disminuir la temperatura corporal, se podría fomentar una mayor ingesta de alimento. Además, la eficiencia con la que los nutrientes son utilizados por la vaca

para la producción también podría ser mejorada (Das et al. 2016, p- 265). Según lo publicado por Perano et al. (2015, p. 5260) demuestra que cuando las vacas fueron enfriadas conductivamente con agua a 4,5°C, la temperatura rectal disminuyó en 1,0°C, la producción de leche aumentó en un 5% y el consumo de materia seca aumentó en un 14% en comparación con las vacas sin enfriamiento conductivo. Lo que demuestra que el enfriamiento conductivo mitiga efectivamente el estrés calórico en vacas lecheras lactantes (Perano et al. 2015, p. 5260).

Lo encontrado en el presente estudio concuerda de alguna manera con lo encontrado en otros estudios en el Perú (Contreras 2009, pp. 1-26; Rodríguez, et al. 2005, pp. 1-12). Por ejemplo, Rodríguez, et al. (2005, p. 9), encontraron que los partos en verano en los establos de Lima tuvieron un efecto negativo sobre la producción inicial, la tasa de descenso, la producción al pico de lactación y el rendimiento total de la campaña a 305 días, esto se ve agudizado cuando esta estación coincide con el fenómeno de El Niño (Rodríguez, et al. 2005, p. 9). En Trujillo también se ha encontrado que las vacas lecheras tienen una menor producción láctea en los meses de verano (Contreras 2009, p. 22). Un punto importante a recalcar, es que, en las principales localidades de lechería intensiva del departamento de Lima, el estrés calórico no solo está presente en los meses de verano, encontrándose presente desde el mes de octubre hasta el mes de junio de cada año (Ruiz 2017, pp. 35-43).

Según lo mencionado por Flamenbaum (2011, p. 12), la implementación de sistemas de enfriamiento apropiados en los establos lecheros del Perú tiene el potencial de incrementar en 10% la producción anual de las vacas y la eficiencia nutricional de las mismas; además, mejora la tasa de concepción, incrementa el contenido de grasa y proteína en la leche, mejora la calidad de la leche y la salud de la ubre de las vacas durante el verano. Otra alternativa es la selección genética por tolerancia al calor. Sin embargo, está se ve obstaculizada, ya que existe una correlación genética negativa con la producción de leche (Bernabucci et al. 2014, p. 485). Sin embargo, lo presentado por Bernabucci et al. (2014, p.485) demuestran que la inclusión de los efectos del ITH en la estimación del valor genético del toro cambia la clasificación de los toros, al comparar toros con similares valores genéticos, ya que responden de manera diferente a medida que aumenta el ITH.

Sin embargo, no sólo se trata de implementar sistemas de enfriamiento, sino que debemos implementar programas de enfriamiento que estén acorde con las condiciones climatológicas de cada época del año (Ruiz 2017, pp. 55-6). Todas las personas vinculadas a la ganadería lechera intensiva de Lima, hemos visto como los ganaderos sólo se acuerdan de la importancia de las sombras y de los sistemas de enfriamiento en los meses de verano (Flamenbaum 2011, pp. 10-12), y no han tomado conciencia que las vacas lecheras por ser animales con un alto metabolismo y alta producción tienen un ITH umbral más bajo que el de otras especies animales (St-Pierre et al. 2003, p E55). Estos resultados pueden contribuir a una mejor gestión (estrategias de manejo, sistemas de enfriamiento de ventiladores, alimentación y nutrición, etc.) del ganado lechero para aliviar los efectos negativos de las épocas en que se presenta el estrés calórico.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrografía (SENAMHI) de Perú por las facilidades brindadas con el acceso a la información meteorológica necesaria para poder realizar el presente trabajo; a los dueños de los establos y al personal a cargo por facilitar la información necesaria para poder realizar el presente trabajo; y a los estudiantes integrantes del Taller de la Clínica de Animales Mayores que participaron en el presente trabajo por su contribución con la recolección y el procesamiento de la información.

BIBLIOGRAFÍA

- Allen, JD, Hall, LW, Collier, RJ & Smith, JF 2015, 'Effect of core body temperature, time of day, and climate conditions on behavioral patterns of lactating dairy cows experiencing mild to moderate heat stress', *Journal of Dairy Science* vol. 98, no. 1, pp. 118-27, <<http://dx.doi.org/10.3168/jds.2013-7704>>.
- Amundson, JL, Mader, TL, Rasby, RJ & Hu, QS 2006, 'Environmental effects on pregnancy rate in beef cattle', *Journal of Animal Science*, vol. 84, no. 112, pp. 3415-20, <http://dx.doi.org/10.2527/jas.2005-611>
- Arias, RA & Mader, TL 2010, 'Determination of potential risk of heat stress of cattle in four locations of central and southern Chile', *Ar-*

- chivos De Medicina Veterinaria*, vol. 42, no. 1, pp. 33-9, <<http://mingaonline.uach.cl/pdf/amv/v42n1/art05.pdf>>.
- Barrera, A, Angeli, N, Machado, L, Cardoso, F & Gonzalez, F 2015, 'Relationships between heat stress and metabolic and milk parameters in dairy cows in southern Brazil', *Tropical Animal Health and Production* vol. 47, no. 5, pp. 889-94, <<http://dx.doi.org/10.1007/s11250-015-0804-9>>.
- Baumgard, LH & Rhoads, RP 2013, 'Effects of Heat Stress on Post-absorptive Metabolism and Energetics', *Annual Review of Animal Biosciences*, vol. 1, no. 1, pp. 311-37, <<http://dx.doi.org/10.1146/annurev-animal-031412-103644>>.
- Bernabucci, U, Biffani, S, Buggiotti, L, Vitali, A, Lacetera, N & Nardone, A 2014, 'The effects of heat stress in Italian Holstein dairy cattle', *Journal of Dairy Science*, vol. 97, no. 1, pp. 471-86, <<http://dx.doi.org/10.3168/jds.2013-661>>.
- Bouraoui, R, Lahmar, M, Majdoub, A, Djemali, M & Belyea, R 2002, 'The relationship of temperature-humidity index with milk production of dairy cows in a Mediterranean climate', *Animal Research*, vol. 51, no. 3, pp. 479-91, <<https://doi.org/10.1051/animres:2002036>>.
- Collier, RJ, Hall, LW, Rungruang, S, Zimbleman, RB 2012, 'Quantifying heat stress and its impact on metabolism and performance', Department of Animal Science University of Arizona, pp. 74-84, <https://www.researchgate.net/profile/Robert_Collier/publication/267844201_Quantifying_Heat_Stress_and_Its_Impact_on_Metabolism_and_Performance/links/547713770cf245eb43729c84.pdf>.
- Collier, RJ, Stiening, CM, Pollard, BC, Van Baale, MJ, Baumgard, LH, Gentry, PC & Coussens, PM 2006, 'Use of gene expression microarrays for evaluating environmental stress tolerance at the cellular level in cattle', *Journal of Animal Science*, vol. 84, no Supl E, pp. E1-E13, <http://dx.doi.org/10.2527/2006.8413_supplE1x>.
- Contreras, MA 2009, 'Efecto del estrés calórico sobre la producción en un establo lechero de la zona de Trujillo', Tesis de Ingeniero Zootecnista, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Cowley, FC, Barber, DG, Houlihan, AV, Poppi, DP 2015, 'Immediate and residual effects of heat stress and restricted intake on milk protein and casein composition and energy metabolism', *Journal of Dairy Science*, vol. 98, no. 4, pp. 2356-68, <<http://dx.doi.org/10.3168/jds.2014-8442>>.
- Das, R, Sailo, L, Verma, N, Bharti, P, Saikia, J, Imtiwati & Kumar R 2016, 'Impact of heat stress on health and performance of dairy animals: A review', *Veterinary World*, vol. 9 no. 3, pp. 260-8, <<http://dx.doi.org/10.14202/vetworld.2016.260-268>>.
- Domínguez, CE 2008, 'Efectos del estrés calórico en vacas lecheras de lima', Tesis de Ingeniero Zootecnista, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Flamenbaum, I 2011, 'Relación costo - beneficio del sistema de enfriamiento de vacas lecheras en el verano en la zona costera de Perú', *Mundo Ganadero*, vol. 2, no. 1, pp. 10-2, <http://infolactea.com/wp-content/uploads/2015/03/684.pdf>
- Fuquay, JW 1981, 'Heat stress as it affects animal production', *Journal of Animal Science*, vol. 52, no. 1, pp. 164-74, <<http://dx.doi.org/10.2527/jas1981.521164x>>.
- Gorniaka, T, Meyera, U, Südekumb, KH & Dänicke, S 2014, 'Impact of mild heat stress on dry matter intake, milk yield and milk composition in mid-lactation Holstein dairy cows in a temperate climate', *Archives of Animal Nutrition*, vol. 68, no. 5, pp. 358-69, <<http://dx.doi.org/10.1080/1745039X.2014.950451>>.
- [INEI] Instituto Nacional de Estadística e Informática 2012, IV Censo nacional agropecuario 2012, visto el 14 Setiembre 2014, <<http://desa.inei.gob.pe/cenagro/redatam/?id=censosnacionales#>>.
- Perano, KM, Usack, JG, Angenent, LT & Gebremedhin, KG 2015, 'Production and physiological responses of heat-stressed lactating dairy cattle to conductive cooling', *Journal of Dairy Science*, vol. 98, no. 8, pp. 5252-61, <<http://dx.doi.org/10.3168/jds.2014-8784>>.
- Ravagnolo, O, Misztal, I & Hoogenboom, G 2000, 'Genetic component of heat stress in dairy cattle, development of heat index function',

- Journal of Dairy Science*, vol. 83, no. 9, pp. 2120–2125, <[http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)75094-6](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)75094-6)>.
- Rhoads, ML, Rhoads, RP, Van Baale, MJ, Collier, RJ, Sanders, SR, Weber, WJ, Crooker, BA & Baumgard, LH 2009, 'Effects of heat stress and plane of nutrition on lactating Holstein cows: I. Production, metabolism, and aspects of circulating somatotropin', *Journal of Dairy Science*, vol. 92, no. 5, pp. 1986–97, <<http://dx.doi.org/10.3168/jds.2008-1641>>.
- Rodríguez, L, Ara, M, Huamán, H & Echevarría, L 2005, 'Modelos de ajuste para curvas de lactación de vacas en crianza intensiva en la cuenca de Lima', *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, vol. 16, no. 1, pp. 1-12., <<http://www.scielo.org.pe/pdf/rirep/v16n1/a01v16n1.pdf>>.
- Ruiz, LF 2017, 'Efecto climático sobre la producción y la reproducción en los establos lecheros de Lima', Tesis Maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Silanikove, N, Shapiro, F & Shinder, D 2009, 'Acute heat stress brings down milk secretion in dairy cows by up-regulating the activity of the milk-borne negative feedback regulatory system', *BMC physiology*, vol. 9, no. 1, pp. 5-13, <<http://dx.doi.org/10.1186/1472-6793-9-13>>.
- St-Pierre, NR, Cobanov, B & Schnitkey, G 2003, 'Economic losses from heat stress by us livestock industries', *Journal of Dairy Science*, vol. 86, no. Supl E pp. E52-E77, <[http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)74040-5](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)74040-5)>.
- Thatcher, WW 1974, 'Effects of season, climate, and temperature on reproduction and lactation', *Journal of Dairy Science*, vol. 57, no. 3, pp. 360–68, <[http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(74\)84894-0](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(74)84894-0)>.
- West, JW 1999, 'Nutritional strategies for managing the heat-stressed dairy cow', *Journal of Animal Science*, vol. 77, no. Sup 2, pp. 21-35, <http://dx.doi.org/10.2527/1997.77suppl_221x>.
- West, JW 2003, 'Effects of heat-stress on production in dairy cattle', *Journal of Dairy Science*, vol. 86, no. 1, pp. 2131-44, <[http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73803-X](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73803-X)>.
- 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*, vol. 86, no. 1, pp. 232-42, <[http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73602-9](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73602-9)>.
- Wheelock, JB, Rhoads, RP, Vanbaale, MJ, Sanders, SR & Baumgard, LH 2010, 'Effects of heat stress on energetic metabolism in lactating holstein cows', *Journal of Dairy Science*, vol. 93, no. 2, pp. 644-55, <<http://dx.doi.org/10.3168/jds.2009-2295>>.