

# Respuesta fisiológica y productiva de novillos engordados con un sistema de enfriamiento a espacio abierto en un clima árido y seco

## Physiological and productive response of feedlot steers with an open space cooling system in an arid, dry climate

Abelardo Correa Calderón<sup>a</sup>, Víctor M. Yañez Cantabrana<sup>a</sup>, Francisco J. Verdugo Zárate<sup>a</sup>,  
Leonel Avendaño Reyes<sup>a</sup>, Enrique Alvarez Almora<sup>a</sup>, Carlos F. Árechiga Flores<sup>b</sup>,  
Fernando Rivera Acuña<sup>a</sup>

### RESÚMEN

Con objeto de evaluar el efecto de un sistema de enfriamiento a espacio abierto sobre la ganancia de peso, frecuencia de respiración y niveles sanguíneos de triiodotironina ( $T_3$ ) y tiroxina ( $T_4$ ) durante el verano, 60 novillos Holstein fueron asignados aleatoriamente a un grupo testigo con únicamente sombra y un segundo grupo con sombra, más enfriamiento. Durante el experimento se registró un Índice de temperatura-humedad máximo que osciló entre 82 a 88. El sistema de enfriamiento colocado a 8 m a partir de la sombra, consistió de una hélice de 2.4 m de diámetro produciendo 1,416 m<sup>3</sup>/min de aire con una rotación de 90° y un flujo de agua de 12 L/min. El peso corporal y los niveles de hormonas fueron registrados cada dos semanas, mientras la frecuencia de respiración (1400) en dos ocasiones por semana. Los datos fueron analizados con un diseño de mediciones repetidas, incluyendo el peso inicial como covariable. La ganancia de peso fue mayor ( $P < 0.05$ ) en el grupo con enfriamiento ( $1.43 \pm 0.091$  kg/animal/día) que en el testigo ( $1.25 \pm 0.091$  kg/animal/día). La frecuencia respiratoria expresada en respiraciones por minuto difirió ( $P < 0.01$ ) entre el grupo testigo ( $111 \pm 0.74$ ) y enfriamiento ( $94 \pm 0.74$ ). El grupo con enfriamiento obtuvo mayores ( $P < 0.05$ ) niveles de  $T_3$  ( $1.7 \pm 0.042$  ng/ml) en comparación al testigo ( $1.5 \pm 0.042$  ng/ml); sin embargo, los niveles de  $T_4$  fueron similares entre el enfriamiento ( $79.3 \pm 1.82$  ng/ml) y el testigo ( $78.2 \pm 1.82$  ng/ml). El enfriamiento artificial puede ser una alternativa para incrementar la eficiencia productiva y el confort de novillos Holstein en verano.

**PALABRAS CLAVE:** Estrés calórico, Sistema de enfriamiento, Ganancia de peso, Frecuencia respiratoria, Novillos.

### ABSTRACT

Evaluation of the effects of an open space cooling system on weight gain, respiration rate and serum thyroid hormone ( $T_3$  and  $T_4$ ) levels in feedlot steers was done using 60 Holstein steers (344 kg) allotted randomly in two treatments: a control with only shade in the corral ( $n = 30$ ); and a cooling with an open space cooling system ( $n = 30$ ). Daily maximum temperature-humidity index (THI) ranged from 82 to 88 during the 12-week study period. The open space cooling system consisted of a fan with 2.4 m diameter blade that displaced 1,416 m<sup>3</sup> of air per minute and had a 90° oscillation range, and sprinklers. The fan was installed at 8 m distance on the south side of the shade. Water discharge was 12 L per minute over a 7 h period. Body weight and thyroid hormone levels were measured every two weeks and respiration rate twice a week (1400). Data were analyzed by repeated measures, including initial weight as a covariate. Daily weight gain was different ( $P < 0.05$ ) between the cooling treatment ( $1.43 \pm 0.091$  kg/d) and the control treatment ( $1.25 \pm 0.091$  kg/d). Respiration rate was lower ( $P < 0.05$ ) in steers in the cooling treatment ( $94 \pm 0.74$  breaths per minute) than in those in the control treatment ( $111 \pm 0.74$  breaths per minute). Levels of  $T_3$  were higher ( $P < 0.05$ ) in the cooling treatment ( $1.7 \pm 0.042$ ) than in the control ( $1.5 \pm 0.042$ ). Levels of  $T_4$  were similar between the cooling ( $79.3 \pm 1.82$  ng/ml) and control ( $78.2 \pm 1.82$  ng/ml) treatments. Use of this cooling system improved production performance and comfort in feedlot Holstein steers in a hot, dry climate.

**KEY WORDS:** Heat stress, Cooling system, Weight gain, Respiration rate, Steers.

Recibido el 23 de septiembre de 2005 y aceptado para su publicación el 12 de marzo de 2007.

<sup>a</sup> Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California, Ejido Nuevo León, Baja California. [acorrea@uabc.mx](mailto:acorrea@uabc.mx) Correspondencia al primer autor.

<sup>b</sup> Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Zacatecas.

Los altos niveles de temperatura, humedad ambiental y radiación solar que se registran durante el verano, causan estrés térmico e inclusive la muerte del ganado bovino engordado en corral<sup>(1,2)</sup>. La temperatura corporal está determinada por el calor proveniente del metabolismo del propio animal, de la radiación solar y otras vías como la conducción y la convección. Cuando la pérdida de calor del organismo es menor a la ganancia del mismo, el calor es almacenado, resultando en un incremento de la temperatura corporal<sup>(3)</sup>. Un ajuste fisiológico del ganado bovino durante periodos de estrés calórico es disminuir la producción de calor metabólico, reduciendo su consumo de alimento, lo cual afecta negativamente la productividad del animal<sup>(4)</sup>. En ganado productor de carne esto puede resultar en retraso de su crecimiento<sup>(5)</sup>.

Algunas prácticas de manejo para mejorar la eficiencia del ganado engordado durante el verano han sido alterar la frecuencia y horario de alimentación<sup>(3,6)</sup>, o el uso de enfriamiento artificial<sup>(7)</sup> entre otras. El uso de sistemas de enfriamiento en engordas comerciales no es una práctica común, ya que al parecer no es económicamente redituable. Sin embargo, existen actualmente diferentes sistemas de enfriamiento, los cuales están disponibles en el mercado y que han producido resultados positivos en el ganado productor de leche<sup>(8,9)</sup>, pero no han sido evaluados en el ganado engordado en corral. Un nuevo sistema de enfriamiento a espacio abierto mostró incrementar la producción de leche en vacas Holstein bajo estrés calórico<sup>(10)</sup> y pudiera ser una opción de enfriamiento para ganado de engorda. Con base en lo anterior el objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de un sistema de enfriamiento a espacio abierto sobre la eficiencia productiva y respuesta fisiológica de novillos Holstein engordados en corral durante el verano en una zona de clima árido y seco.

El experimento fue conducido en la engorda San Carlos ubicada en el Valle de Mexicali, Baja California a 15 km al sur de la ciudad de Mexicali. El clima de esta zona es considerado como árido, seco extremo con temperaturas promedio máximas y mínimas entre 43 y 16 °C respectivamente. La precipitación media anual es de 85 mm y la humedad relativa promedio entre 40 y 50 %<sup>(11)</sup>.

High temperature, relative humidity and solar radiation during summer months cause heat stress and even mortality in feedlot cattle<sup>(1,2)</sup>. Animal body heat is determined by the amount of heat generated by its own metabolism, solar radiation and other factors such as conduction and convection. When organism heat loss is less than heat gain, the heat is stored which produces increased body temperature<sup>(3)</sup>. One physiological adjustment made by cattle during periods of heat stress is to decrease production of metabolic heat by reducing feed intake, which negatively affects animal productivity<sup>(4)</sup>. In beef cattle this can cause delays in growth<sup>(5)</sup>.

Management practices used to improve feedlot cattle efficiency during summer include altering feeding frequency and time<sup>(3,6)</sup>, and artificial cooling<sup>(7)</sup>, among others. Cooling systems are not commonly used in commercial feedlots because it is apparently not profitable. There are currently a number of cooling systems on the market, however, that have produced positive results in dairy cattle<sup>(8,9)</sup>, but have not yet been evaluated with feedlot cattle. One new open space cooling system was shown to increase milk production in heat-stressed Holstein cows<sup>(10)</sup> and has potential as a cooling option for feedlot cattle. In response, the present study objective was to determine the effect of an open space cooling system on production efficiency and physiological response in Holstein feedlot steers during summer in a hot, dry climate.

Study site was the San Carlos feedlot in the Mexicali Valley, Baja California, 15 km south of the city of Mexicali. Climate in the region is arid, and extremely dry with an average maximum temperature of 43 °C and an average minimum of 16 °C. Average annual rainfall is 85 mm and average relative humidity is 40 to 50%<sup>(11)</sup>.

Experimental period was 12 wk during the months of June, July and August. Experimental animals were 60 Holstein steers (344 kg average weight) randomly assigned by body weight to one of two treatments (one corral per treatment). The control treatment (n = 30) consisted of shade only in the center of the corral, whereas the cooling treatment (n = 30) included an open space cooling system in conjunction with a shade in the center of the corral.

El experimento tuvo una duración de 12 semanas que comprendieron los meses de junio a agosto. Sesenta novillos Holstein con un peso promedio de 344 kg fueron asignados aleatoriamente de acuerdo a su peso corporal a cada uno de dos tratamientos (un corral por tratamiento): un tratamiento con sombra solamente en el centro del corral (grupo testigo; n= 30) y un segundo tratamiento con un sistema de enfriamiento a espacio abierto más sombra en la parte central del corral (grupo enfriado; n= 30).

El sistema de enfriamiento a espacio abierto consistió en un ventilador oscilatorio con una hélice de fibra de vidrio de alta resistencia, con un diámetro de 2.4 m y un motor eléctrico de 5 HP, produciendo aproximadamente 1,416 m<sup>3</sup> de aire por minuto y una cobertura de oscilación de 90°. La unidad electromecánica fue montada en un tubo de acero de 10 cm de diámetro soportada por una base de metal. La cantidad de agua descargada fue de 12 L/min a través de una pieza especial en forma de piña, donde se montaron siete boquillas de bronce al final de un tubo galvanizado de 1.27 cm de diámetro por 90 cm de largo. El ventilador fue instalado en el lado sur de la sombra, a una distancia de 8 m y operó diariamente mediante un sistema de encendido y apagado automático por 7 h (1000 a 1700). El área del corral modificada en su clima por el sistema de enfriamiento, fue el área de sombra, que comprendió 115.5 m<sup>2</sup>. El sistema de enfriamiento no modificó los valores de humedad relativa, y la temperatura fue reducida entre 3 a 5 °C en la zona de la sombra en comparación al grupo testigo, esto dependiendo de las condiciones ambientales del día, como temperatura, velocidad, y dirección del viento principalmente.

El peso corporal individual fue registrado cada dos semanas, en tanto que la frecuencia respiratoria, medida como los movimientos del flanco por minuto, fue registrada dos veces por semana a las 1400, en 10 animales de cada tratamiento, siendo siempre los mismos animales. El consumo de alimento fue estimado con la diferencia de peso entre la cantidad de alimento ofrecido y el rechazado durante 24 h. Esta medición se realizó por corral dos veces a la semana, con el propósito de obtener los promedios generales de consumo.

The open space cooling system was composed of an oscillating fan and a sprinkler system. The fan had a 2.4 m diameter, high-resistance fiber glass blade and a 5 HP electric motor that displaced approximately 1,416 m<sup>3</sup> of air and had 90° oscillation range. The sprinkler system consisted of an electromechanical unit mounted in a 10 cm diameter tube supported by a metal base. Water was discharged at a rate of 12 L/min through a sprinkler made of seven brass nozzles at the end of a 1.27 diam, 90 cm long galvanized steel pipe. The fan was installed on the south side of the shade at 8 m distance and run daily for seven hours (1000 to 1700) by an automatic switch. The cooling system modified the climate within the 115.5 m<sup>2</sup> area under the shade. It had no effect on relative humidity, but reduced temperature by 3 to 5 °C in the shade versus the control treatment, although this depended on daily environmental conditions, mainly temperature, wind speed and direction.

Individual body weight was recorded every two weeks and respiratory frequency (flank movements per minute) was recorded twice a week at 1400 in the same ten animals per treatment. Feed intake was estimated based on the difference in weight of the feed offered and rejected during a 24 h period. It was recorded twice a week by corral to produce overall intake averages.

Blood samples were taken from the coccygeal vein twice a week at 0600 from ten animals per corral using 10 ml vacutainer tubes without anticoagulant. Once collected, the samples were transported on ice to the laboratory, centrifuged at 3500 xg for 15 min and the resulting sera frozen (-10 °C). Serum samples were later used to determine total T<sub>3</sub> (triiodotironine) and T<sub>4</sub> (thyroxine) levels by ELISA (Biokwitech®). No blood samples were taken during week 10 and therefore no hormone level values were available for this week.

Hourly temperature and relative humidity values were provided by the UABC-Mexicali meteorological station located approximately 20 km from the study site. These data were used to calculate the temperature-humidity index (THI) values with the equation<sup>(12)</sup>:

Se colectaron muestras de sangre de la vena coccígea a las 0600 cada dos semanas en 10 animales por grupo mediante tubos vacutainer (10 ml) sin anticoagulante. Una vez colectadas, las muestras se colocaron en hielo para ser transportadas y llevadas al laboratorio para ser centrifugadas a 3500 xg durante 15 min para la obtención del suero sanguíneo, el cual fue congelado (-10 °C) hasta la determinación de los niveles de T<sub>3</sub> (triodotironina) y T<sub>4</sub> (tiroxina) total por medio de la técnica de ELISA (Biokwitech®). Durante la semana 10 no fue posible la toma de muestras de sangre, por lo que no se reportan resultados sobre los niveles hormonales durante esa semana.

La temperatura ambiental y la humedad relativa fueron registradas cada hora en la estación de meteorología de la Unidad Autónoma de Baja California, ubicada en la ciudad de Mexicali, aproximadamente a 20 km del área de estudio. Con esta información se calcularon los índices de temperatura-humedad (ITH) utilizando la siguiente ecuación<sup>(12)</sup>:

$$ITH = Td - (0.55 - 0.55 \times RH) (Td - 58)$$

Donde: ITH= índice de temperatura-humedad; Td = temperatura de bulbo seco (°F); RH = humedad relativa en decimales.

#### *Instalaciones, alimentación y manejo*

Las instalaciones experimentales consistieron en dos corrales con cerco de cable y tubo, ocupando cada uno una área de 600 m<sup>2</sup> (24.5 x 24.5 m), correspondiendo un espacio de 20 m<sup>2</sup>/animal. Cada corral estaba equipado con un tanque de concreto con flotador que activaba el suministro de agua, además de contar con una sombra que ocupaba una área de 115.5 m<sup>2</sup> (21 x 5.5 m) colocada en la parte central del mismo, correspondiendo una área de sombra de 3.85 m<sup>2</sup>/cabeza. Un comedero de concreto se localizó a lo largo del lado norte del corral, y los animales fueron alimentados en dos ocasiones diariamente (0800 y 1600) con una ración integral para engorda, con la siguiente composición química: materia seca (90.7 %), humedad (9.3 %), grasa (5.7 %), proteína cruda (14.5 %), fibra cruda (21.7 %) y cenizas (6.4 %), la cual aportaba 1.80 Mcal/kg de EN<sub>m</sub> y 1.20 Mcal/kg de EN<sub>g</sub>. El manejo

$$THI = Td - (0.55 - 0.55 \times RH) (Td - 58)$$

Where THI = temperature-humidity index; Td = dry bulb temperature (°F); RH = relative humidity in decimals.

#### *Installations, feeding and management*

The experimental installations were two cable-and-tube fence corrals covering each one 600 m<sup>2</sup> (24.5 x 24.5 m), equal to 20 m<sup>2</sup>/animal. Each corral had a concrete water tank with a float valve and a shade in the center covering 115.5 m<sup>2</sup> (21 x 5.5 m), i.e. 3.85 m<sup>2</sup>/head. Animals were fed in a concrete feeder on the north side of each corral twice daily (0800 and 1600). Feed was a balanced fattening diet: dry matter (90.7 %); humidity (9.3 %); fat (5.7 %); crude protein (14.5 %); crude fiber (21.7 %); and ash (6.4 %). It provided 1.80 Mcal/kg NE<sub>m</sub> and 1.20 Mcal/kg NE<sub>g</sub>. Pre-experiment animal management consisted of a Revalor® implant (140 mg trenbolone acetate + 20 mg 17 b-estradiol)(Intervet), deparasitacion with Valbazen® (25 g albendazole and 325 g cobalt sulfate), vaccination with IBR, P13 with Pasteurella and 8 Clostridium strains (Pfizer), and finally administration of vitamins A, D, E and B<sub>12</sub>.

Response variables (daily weight gain, respiratory frequency and serum T<sub>3</sub> and T<sub>4</sub> concentrations) were analyzed with a repeated measurements design using a model that included treatment, time period and the treatment/time period interaction. The F tests were done using the random effect (experimental unit) of animal within treatment. Statistical analyses were done with the GLM (General Linear Models) procedure in the SAS statistics program<sup>(13)</sup>. Differences were significant at 5% and the adjusted means were compared with Student t tests<sup>(14)</sup>. Due to the lack of repetitions in feed intake, it was not analyzed statistically and only general means per treatment were estimated.

Maximum THI during the experimental period surpassed 74 (Table 1), considered the critical value at which heat stress affects feedlot cattle performance<sup>(6)</sup>. Hahn<sup>(15)</sup> reported that decreases in weight gain begin when minimum daytime temperature is higher than 21 °C, maximum daytime temperature is higher than 32 °C, average daily

de los animales previo al inicio del experimento consistió en implantar a cada novillo con Revalor® (Acetato de Trembolona, 140 mg + 20 mg de 17 b estradiol) de laboratorios Intervet, desparasitación con Valbazen® (Albendazole 25 g y sulfato de cobalto 325 g), y aplicación de las vacunas IBR, P13 con Pasterella y 8 cepas de Clostridium (laboratorio Pfizer) así como vitaminas A, D, E y B<sub>12</sub>.

Las variables de respuesta medidas en distintos periodos de tiempo (ganancia diaria de peso, frecuencia respiratoria, y concentración de T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub> en suero sanguíneo) se analizaron mediante un diseño con mediciones repetidas utilizando un modelo que incluyó los efectos de tratamiento, periodo de tiempo y la interacción tratamiento y periodo de tiempo. Como efecto aleatorio (unidad experimental) se consideró animal dentro de tratamiento, con el cual se obtuvieron las pruebas de F. Los análisis se realizaron usando el procedimiento GLM (General Linear Models) del programa estadístico SAS<sup>(13)</sup>. Las diferencias se declararon significativas al nivel de 5 % y las medias ajustadas se compararon mediante pruebas de “t” student<sup>(14)</sup>. En el caso del consumo de alimento, debido a la falta de repeticiones no se realizó ningún análisis estadístico, por lo que sólo se estimaron medias generales por tratamiento.

El ITH máximo durante el periodo experimental fue superior a 74 (Cuadro 1), lo cual es considerado como el valor crítico en el cual el estrés calórico afecta el rendimiento del ganado de engorda<sup>(6)</sup>. Estudios conducidos por Hahn<sup>(15)</sup>, indicaron que la disminución en la ganancia de peso inicia cuando la temperatura mínima registrada durante el día fue superior a 21 °C, o las máximas mayores a 32 °C, o bien cuando los promedios de temperatura e ITH diarios estuvieron por arriba de 27 y 74 °C, respectivamente. De acuerdo a las temperaturas registradas durante el presente experimento, se puede indicar que los animales se encontraron bajo un estrés calórico continuo durante las horas del día, y un leve alivio durante las horas de la noche en algunas semanas del periodo experimental.

*Ganancia de peso y consumo de alimento*

La ganancia de peso registrada para el grupo con enfriamiento fue de 1.43 kg/día y 1.25 kg/día para

Cuadro 1. Promedios semanales máximos y mínimos del índice de temperatura-humedad (ITH)

Table 1. Weekly average maximum and minimum temperature-humidity index (THI) values during study period

Week	Max THI	Min THI	Average THI
1	87	66	78
2	87	70	82
3	88	64	80
4	83	61	76
5	85	66	77
6	87	68	81
7	88	72	82
8	88	74	82
9	88	70	81
10	87	66	81
11	86	73	81
12	82	62	74
Average	86	68	80

temperature is above 27 °C or the THI is above 74. The temperatures recorded during the present study indicate that the animals were continually heat-stressed during the day with slight relief at night during some weeks.

*Weight gain and feed intake*

Weight gain was 1.43 kg/d for animals in the cooling treatment and 1.25 kg/d for those in the control treatment. Daily weight gain in the cooling treatment was 0.18 kg/d greater (*P* < 0.05) than in the control (Table 2). Some researchers<sup>(16)</sup> state that optimum weight gain in feedlot cattle is 1.5 kg/d between 5 and 15.6 °C. Animals in the cooling treatment had weight gain closer to this optimum than did those in the control. In another study<sup>(17)</sup> with a cooling system (fans and sprinklers) the difference in weight gain between the cooling and control treatments was only 0.09 kg/d, half that reported here. The difference in weight gain in a study<sup>(18)</sup> very similar to the present study (same region, same open space cooling system) was 0.070 kg/d, still notably less than reported here.

Morrison *et al*<sup>(19)</sup> reported overall greater weight gain (+ 0.25 kg/d animal) in animals cooled with

el grupo testigo. El grupo con enfriamiento tuvo una ganancia diaria de 0.18 kg/día mayor ( $P < 0.05$ ) que el grupo con únicamente sombra (Cuadro 2). Algunos investigadores<sup>(16)</sup> estimaron que el rendimiento óptimo de la ganancia de peso del ganado de engorda es 1.5 kg/día entre temperaturas de 5 a 15.6 °C. En este estudio el grupo sometido a enfriamiento estuvo más cercano al rendimiento óptimo en comparación al grupo testigo. En otros trabajos<sup>(17)</sup> reportaron en un grupo bajo un sistema de enfriamiento (ventiladores y aspersores) diferencias en ganancias de peso de sólo 0.09 kg/día en comparación a un grupo testigo, lo cual es inferior a lo encontrado en el presente estudio. Una diferencia similar a la anterior (0.070 kg/día) fue reportada en el valle de Mexicali al utilizar el mismo sistema de enfriamiento empleado en esta investigación, comparado a un grupo con sombra solamente en la parte central del corral<sup>(18)</sup>.

Sin embargo, Morrison *et al.*<sup>(19)</sup> reportaron una mayor ganancia de peso usando aspersores y ventiladores (+ 0.25 kg/día/animal) comparado con el uso de sólo sombra. Un comportamiento observado en cierto periodo del experimento, fue que el grupo con sombra obtuvo una ganancia superior en 0.480 kg con respecto al grupo enfriado (semana 8), pudiéndose atribuirse lo anterior a un efecto de ganancia de peso compensatoria del grupo testigo, como ha sido reportado en algunos otros estudios; este mismo efecto fue observado en un experimento similar al presente<sup>(18)</sup>. Al respecto, Hahn<sup>(20)</sup> indica que existe evidencia de un crecimiento compensatorio posterior a que los animales han sido expuestos a un estrés calórico moderado, o bien a una restricción en su consumo de alimento. Este crecimiento compensatorio puede ser esperado debido a que los animales restringen voluntariamente su consumo de alimento durante periodos de estrés calórico, con el fin de mantener su temperatura corporal normal. Los ITH mínimos entre 61 y 66 registrados en ciertas semanas del experimento, pueden haber permitido un alivio al estrés calórico al cual el animal estuvo expuesto en las horas del día, reflejándose lo anterior en una ganancia de peso compensatoria. Se ha mencionado que en los días calurosos del verano, si durante las horas más frescas se registran ITH de 64 o menores

Cuadro 2. Efecto del sistema de enfriamiento a espacio abierto sobre la ganancia de peso de novillos Holstein (kg)

Table 2. Effect of open space cooling system on weight gain in Holstein steers (kg)

Week	Treatment		SE
	Cooling (LSM)	Control (LSM)	
2	1.58	1.37	0.13
4	1.43	1.47	0.13
6	1.52	1.15	0.13
8	1.24 <sup>a</sup>	1.72 <sup>b</sup>	0.13
10	1.46 <sup>a</sup>	1.03 <sup>b</sup>	0.13
12	1.33 <sup>a</sup>	0.77 <sup>b</sup>	0.13
Average	1.43 <sup>a</sup>	1.25 <sup>b</sup>	0.091

LSM = Least squared means; SE = standard error.

<sup>ab</sup> Different letter superscripts in the same row indicate difference ( $P < 0.05$ ).

fans and sprinklers than in those in shade only. In week 8 of our experiment, however, the control group exhibited weight gain 0.480 kg greater than in the animals in the cooling treatment. We attribute this to compensatory weight gain in the control group, which was also reported in an experiment very similar to the present one<sup>(18)</sup>. Hahn<sup>(20)</sup> stated that evidence exists to support the presence of compensatory growth after animals have been exposed to moderate heat stress or a restriction in feed intake. This is to be expected since animals voluntarily restrict their feed intake when under heat stress to maintain their body temperature at normal levels. Minimum THI values (recorded at night) were below 66 for 6 wk of the 12-wk experimental period, and this may have provided relief from the heat stress experienced by the animals during the day and allowed compensatory weight gain. Even during the extremely hot summer, if the THI is 64 or less for at least 6 h a day, reducing the negative effects of heat stress in dairy cattle<sup>(21)</sup>. A number of factors may affect the expression of compensatory growth, including growth stage, severity and length of heat stress, and animal condition before heat stress<sup>(20)</sup>.

Mean feed intake was  $10.45 \pm 0.7$  kg/animal/d in the cooling treatment, and  $10.27 \pm 0.70$  kg/animal/d

al menos por 6 h, esto reduce los efectos negativos de las altas temperaturas en ganado lechero<sup>(21)</sup>. Existen algunos factores que pueden afectar la expresión del crecimiento compensatorio como la etapa de crecimiento del animal, la severidad y duración del estrés calórico y la condición del animal antes del inicio del estrés<sup>(20)</sup>.

Las medias de consumo de alimento en el grupo bajo enfriamiento fue de  $10.45 \pm 0.7$  kg/animal/día y de  $10.27 \pm 0.70$  kg/animal/día para el grupo testigo. La asociación existente entre los procesos de termoregulación y el consumo de alimento puede ser la causa de la baja respuesta en esta variable, ya que el confort de los animales en respuesta al enfriamiento probablemente no fue suficiente como para elevar el consumo de alimento. Lo anterior pudiera ser explicado por la alta frecuencia respiratoria (94 respiraciones/min) en el grupo con enfriamiento. Sin embargo, la reducción en el número de respiraciones en el grupo enfriado pudo haber permitido más energía disponible para ganancia de peso de acuerdo a lo señalado por el NRC<sup>(22)</sup>.

*Frecuencia respiratoria*

El Cuadro 3 muestra los resultados sobre la frecuencia respiratoria, en donde se observa una disminución ( $P < 0.01$ ) en el grupo bajo enfriamiento (94) en comparación al testigo (111).

En un estudio se reportaron 90 respiraciones por minuto en un grupo de ganado de engorda bajo un sistema de enfriamiento basado en aspersores y ventiladores, y 109 respiraciones por minuto en un grupo con únicamente sombra, lo cual fue muy similar a lo encontrado en este estudio<sup>(23)</sup>. De acuerdo a Hahn<sup>(15)</sup> una frecuencia respiratoria mayor a 60 en ganado bovino productor de carne alimentado a libre acceso, indica que el animal inicia a ser afectado por el estrés térmico. En el presente estudio tanto el grupo con enfriamiento (+ 34) como el grupo testigo (+ 51) sobrepasaron el valor de 60 respiraciones por minuto. Aún y cuando el grupo bajo enfriamiento también presentó una frecuencia respiratoria alta, la reducción en la temperatura registrada bajo la sombra en el grupo con enfriamiento, le permitió estar muy por debajo del grupo testigo (-17). Un incremento en la

in the control. The association between thermoregulation processes and feed intake may have caused the low response in this variable, suggesting that the effect of cooling was probably not sufficient to increase feed intake. This could be explained by the high respiratory frequency (94 respirations/min) in animals in the cooling treatment. However, the relative reduction in respiratory frequency in the cooling *versus* the control treatment may have allowed greater weight gain in the former, as is stated by the NRC<sup>(22)</sup>.

*Respiratory frequency*

This variable was lower ( $P < 0.01$ ) in the cooling treatment (94) compared to the control treatment (111) (Table 3). These results coincide with the 90 respirations/min reported for feedlot cattle in a cooling treatment (fans and sprinklers) versus 109 respirations/min for those in a control with only shade<sup>(23)</sup>. A respiration rate greater than 60 in beef cattle fed *ad libitum* indicates the beginning of

Cuadro 3. Efecto del sistema de enfriamiento a espacio abierto sobre la frecuencia respiratoria (respiraciones/minuto/animal) de novillos Holstein

Table 3. Effect of open space cooling system on respiratory frequency (respirations/min/animal) in Holstein steers

Week	Treatment		SE
	Cooling (LSM)	Control (LSM)	
1	81 <sup>a</sup>	92 <sup>b</sup>	1.1
2	97 <sup>a</sup>	111 <sup>b</sup>	1.1
3	89 <sup>a</sup>	107 <sup>b</sup>	1.1
4	81 <sup>a</sup>	91 <sup>b</sup>	1.1
5	87 <sup>a</sup>	107 <sup>b</sup>	1.1
6	112 <sup>a</sup>	129 <sup>b</sup>	1.1
7	102 <sup>a</sup>	124 <sup>b</sup>	1.1
8	105 <sup>a</sup>	125 <sup>b</sup>	1.1
9	98 <sup>a</sup>	115 <sup>b</sup>	1.1
10	103 <sup>a</sup>	121 <sup>b</sup>	1.1
11	97 <sup>a</sup>	124 <sup>b</sup>	1.1
12	80 <sup>a</sup>	90 <sup>b</sup>	1.1
Average	94 <sup>a</sup>	111 <sup>b</sup>	0.74

LSM = Least squared means; SE = standard error.

<sup>ab</sup> Different letter superscripts in the same row indicate difference ( $P < 0.05$ ).

frecuencia respiratoria trae consigo un mayor gasto de energía, incrementado consecuentemente los requerimientos diarios de energía entre 7 a 25 %<sup>(22)</sup>. La frecuencia respiratoria ha sido usada como un indicador de la carga de calor en periodos de estrés por altas temperaturas, incrementándose cuando los animales requieren disipar el exceso de calor, en este caso por un medio evaporativo.

El uso de la frecuencia respiratoria (jadeo) puede ser una herramienta fácil para caracterizar el estrés calórico y evaluar algunas estrategias de manejo. El jadeo es clasificado en una primera fase como rápido y poco profundo y una segunda fase caracterizada por la boca abierta del animal<sup>(22)</sup>. En el presente estudio la mayoría de los novillos presentaron la primera fase.

#### *Triiodotironina y Tiroxina*

Los Cuadros 4 y 5 presentan los valores de los niveles de T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub>, respectivamente. El grupo con enfriamiento mostró mayores ( $P < 0.05$ ) niveles de T<sub>3</sub> (1.7 ng/ml) en comparación al grupo sólo con sombra (1.5 ng/ml). Para T<sub>4</sub> no se encontró diferencia entre el grupo con enfriamiento (79.3 ng/ml) en

Cuadro 4. Efecto del sistema de enfriamiento a espacio abierto sobre los niveles de triiodotironina (ng/ml) de novillos Holstein

Table 4. Effect of open space cooling system on serum triiodotironine levels (ng/ml) in Holstein steers

Week	Treatment		SE
	Cooling (LSM)	Control (LSM)	
Initial	1.84	1.71	0.134
2	1.67	1.58	0.134
4	1.92 <sup>a</sup>	1.59 <sup>b</sup>	0.134
6	1.47	1.22	0.134
8	1.50	1.47	0.134
10	ND	ND	ND
12	1.92	1.75	0.134
Average	1.71 <sup>a</sup>	1.55 <sup>b</sup>	0.042

LSM = Least squared means; SE = standard error; ND= not determined.

<sup>ab</sup> Different letter superscripts in the same row indicate difference ( $P < 0.05$ ).

heat stress<sup>(15)</sup>. Animals in the present study surpassed this threshold by 34 respirations/min in the cooling treatment and 51 respirations/min in the control treatment. Although animals in the cooling treatment did have high respiration frequencies the lower temperatures recorded under the shade in this group kept their frequency substantially lower (-17) than in the control treatment.

Increased respiratory frequency leads to greater energy use, consequently increasing daily energy requirements by 7 to 25%<sup>(22)</sup>. This factor has been used as an indicator of heat load during high temperature stress periods because it increases when animals need to dissipate excess heat, in this case by evaporation. High respiratory frequency (known as panting) is a simple, useful tool for characterizing heat stress and evaluating management strategies. Panting is classified into two phases, a first phase of rapid, shallow respiration and a second phase with open mouth<sup>(22)</sup>. Most of the steers in the present study exhibited phase one panting.

#### *Triiodotironine and Thyroxine*

Animals in the cooling treatment had higher ( $P < 0.05$ ) T<sub>3</sub> levels (1.7 ng/ml) than those in the control treatment (1.5 ng/ml) (Table 4). In contrast, no difference was observed in T<sub>4</sub> levels between the cooling (79.3 ng/ml) and control treatments (78.2 ng/ml) (Table 5). The intra-analysis variation coefficient for determination of T<sub>3</sub> was 3.6 % and for T<sub>4</sub> it was 1.9 %. The inter-analysis variation coefficient for determination of T<sub>3</sub> was 6.8 % and for T<sub>4</sub> it was 8.7 %.

Blood plasma thyroxine and triiodotironine levels are positively related to growth rate in Holstein steers<sup>(24)</sup>. As mentioned previously, the main response of cattle to heat stress is to reduce feed intake in an effort to decrease metabolism and consequently internal heat production. This reduced feed intake in conjunction with high environmental temperatures may adversely affect production of these thyroid hormones, as demonstrated in a study in which levels of these hormones decreased in Holstein cows in their thermoneutral zone, but with restricted feed, and in Holstein cows fed ad libitum



comparación al grupo testigo (78.2 ng/ml). El coeficiente de variación intra-análisis para la determinación de  $T_4$  y  $T_3$  fue 1.9 y 3.6 % respectivamente, en tanto que el coeficiente de variación Inter-análisis fue 8.7 % para  $T_4$  y 6.8 % para  $T_3$ .

Se ha mencionado una relación positiva entre la concentración de tiroxina y triiodotironina en plasma sanguíneo y la tasa de crecimiento en becerros Holstein<sup>(24)</sup>. Con condiciones de estrés calórico el principal cambio en el ganado bovino es la reducción del consumo de alimento, con el propósito de reducir su metabolismo, y como consecuencia la producción de calor interno. Sin embargo, se ha demostrado que vacas Holstein en su zona termoneutral con restricción de alimento y vacas con alimento *ad libitum* pero sometidas a altas temperaturas ambientales, ambas redujeron sus niveles de hormonas tiroideas, concluyendo que los dos factores (reducción de consumo de alimento y altas temperaturas ambientales) pueden afectar los niveles de estas hormonas<sup>(25)</sup>.

La temperatura ambiental es uno de los principales factores que determina los cambios en la concentración en plasma de  $T_4$  como ha sido demostrado con investigaciones en donde la sombra<sup>(26)</sup> o la zona de enfriamiento<sup>(27)</sup> pueden alterar la actividad de la glándula tiroidea cuando el ganado bovino es expuesto a condiciones de estrés calórico.

En el grupo testigo los niveles de  $T_3$  y  $T_4$  en el muestreo de la semana 6 fueron los más bajos del periodo experimental, lo cual concuerda con la baja ganancia de peso registrada por este grupo en el pesaje de esa misma semana. Sin embargo, el aumento en los niveles de hormonas tiroideas observado en el grupo testigo en el muestreo de la semana 8 indica un posible incremento del metabolismo en ese periodo, lo cual puede estar relacionado con las mayores ganancias de peso del grupo testigo registradas en el pesaje de la semana 8 en comparación al grupo enfriado. Lo anterior también puede tener relación con el efecto del crecimiento compensatorio discutido anteriormente.

Se concluye que el sistema de enfriamiento mejoró el confort de los novillos como fue indicado por

Table 5. Effect of open space cooling system on serum thyroxine levels (ng/ml) in Holstein steers

Cuadro 5. Efecto del sistema de enfriamiento a espacio abierto sobre los niveles de tiroxina (ng/ml) de novillos Holstein

Week	Treatment		SE
	Cooling (LSM)	Control (LSM)	
Initial	83.82	77.21	4.59
2	69.84	74.57	4.59
4	81.19	78.27	4.59
6	63.30	61.45	4.59
8	76.70	81.36	4.59
10	ND	ND	ND
12	100.30	96.49	4.59
Average	79.36	78.22	1.82

LSM = Least squared means; SE = standard error; ND= not determined.

but under heat stress<sup>(25)</sup>. The present results coincide with reports showing that environmental temperature is one of the main factors affecting  $T_4$  plasma levels and that availability of shade<sup>(26)</sup> or a cooled area<sup>(27)</sup> can change thyroid gland activity when cattle are exposed to heat stress.

In week 6, the  $T_3$  and  $T_4$  levels in the control treatment were the lowest recorded during the experiment and coincided with the low weight gain values for this week. Two weeks later (week 8), however, animals in this treatment had increased thyroid hormone levels, suggesting increased metabolism that may have been linked to the greater weight gain in this group during week 8 compared to the cooling treatment. This is probably related to the compensatory growth effect discussed previously.

In conclusion, the cooling treatment improved steer comfort, as indicated by lower respiratory frequency and higher daily weight gain in this treatment. Nonetheless, larger increases in weight gain would be needed to justify the investment in a cooling system. Further research needs to be done using new cooling systems now on the market that could considerably improve animal performance response

una menor frecuencia de respiración y una mayor ganancia diaria de peso. Sin embargo, mayores incrementos en ganancia de peso, se requieren para justificar la inversión. Se sugiere investigación adicional basada en el uso de nuevos sistemas de enfriamiento disponibles en el mercado, los cuales pueden mejorar de una manera considerable los parámetros de importancia económica y a un menor costo.

variables at a lower cost, making it financially viable.

*End of english version*

## LITERATURA CITADA

1. Morrison SR, Prokop M. Beef cattle response to air temperature: Effect on body weight and ration composition. *Trans ASAE* 1983;(26):893-894.
2. Lefcourt AM, Adams WR. Radiotelemetry measurements of body temperatures of feedlot steers during summer. *J Anim Sci* 1996;(74):2633-2640.
3. Brosh A, Aharoni Y, Degen AA, Wright D, Young BA. Effects of solar radiation, dietary energy, and time of feeding on thermoregulatory responses and energy balance in cattle in a hot environment. *J Anim Sci* 1998;(76):2671-2677.
4. Mitlöhner FM, Morrow JL, Dailey JW, Wilson SC, Galyean ML, Miller MF et al. Shade and water misting effects on behavior, physiology, performance and carcass traits of heat-stressed feedlot cattle. *J Anim Sci* 2001;(79):2327-2335.
5. Turner HG. Variation of rectal temperature of cattle in a tropical environment and its relation to growth. *Anim Prod* 1984;(38):417-427.
6. Mader TL, Holt SM, Hahn GL, Davis MS, Spiers DE. Feeding strategies for managing heat load in feedlot cattle. *J Anim Sci* 2002;(80):2373-2382.
7. Ray DE. Heat stress in feedlot cattle. In *Proc Southwest Nutr Mgmt Conf. Tempe Az.* 1991:69-81.
8. Correa-Calderón A, Avendaño Reyes L, Rubio Villanueva A, Armstrong DV, Smith J, DeNise SK. Efecto de un sistema de enfriamiento en la productividad de vacas lecheras bajo estrés calórico. *Agrociencia* 2002;(36):531-539.
9. Correa-Calderón A, Armstrong D, Ray D, DeNise S, Enns M, Howison C. Thermoregulatory responses of Holstein and Brown Swiss heat stressed dairy cows to two different cooling systems. *Int J Biometeorol* 2004;(48):142-148.
10. Howison CM, Armstrong DV, Correa-Calderón A, DeNise SK. Milk production and reproduction response of two breeds of heat stressed dairy cows to an open space cooling system. *J Dairy Sci* 1998;81(Suppl 1):260.
11. CIMIS. Daily Reports. California Irrigation Management Information System, Department of Water Resources. California, EEUU [on line]. [www.cimis.water.ca.gov/cimserv/Dailyreport](http://www.cimis.water.ca.gov/cimserv/Dailyreport). Accessed Oct 20, 2004.
12. West JW. Managing and feeding lactating dairy cows in hot weather. In *management of dairy cattle. Agri-Practice* 1995:III-3-1.
13. SAS. SAS/STAT User's Guide. Software (Released 9.1.2). SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA: SAS Institute Inc. 2004.
14. SAS Institute Inc. 1986. SAS for linear models. A Guide to the ANOVA and GLM Procedures. Cary, NC: SAS Institute. 1986.
15. Hahn GL. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *J Anim Sci* 1998;77( Suppl 2):10-20.
16. Hahn GL Nygaard A, Simmens E. Toward establishing rational criteria for selecting and design of livestock environments. *ASAE. St Joseph MI, EEUU.* 1983(Conf paper):83-4517.
17. Garner JC, Bucklin RA, Kunkle WE, Nordstedt RA. Sprinkled water and fans to reduce heat stress of beef cattle. *Trans ASAE* 1989;5(1):99-101.
18. Correa-Calderón A, Yañez V, Verdugo F, Pérez A, Avendaño L, Gonzalez VM et al. Efecto de un sistema de enfriamiento a espacio abierto en la eficiencia productiva de novillos Holstein durante el verano. *Interciencia* 2004;29(2):86-88.
19. Morrison SR, Prokop M, Lofgreen GP. Sprinkling cattle for heat stress relief: activation temperature, duration of sprinkling and pen area sprinkled. *Trans ASAE* 1981;25(5):1299-1301.
20. Hahn GL. Compensatory performance in livestock. In: Moberg GP editor. *Limiting the effects of stress on cattle.* Western Reg Res Pub #009. Utah Agric Exp Sta, Utah State University, Logan, Utah;1986:7-10.
21. Igono MO, Bjotvedt G, Sanford-Crane HT . Environmental profile and critical temperature effects on milk production of Holstein cows in desert climate. *Int J Biometeorol* 1992;(36):77-87.
22. NRC. National Research Council. *Effect of environment on nutrient requirements of domestic animals.* Washinton, DC, USA: National Academy Press; 1981.
23. Morrison SR, Givens RL, Lofgreen GP. Sprinkling cattle for relief from heat stress. *J Anim Sci* 1973;(36):428-431.
24. Kahl S, Bitman J. Relation of plasma thyroxine and triiodothyronine to body weight in growing male and female Holstein cattle. *J Dairy Sci* 1983;66:2386-2390.
25. McGuire MA, Beede DK, Collier RJ, Buonomono FC, DeLorenzo MA, Wilcox CJ, et al. Effects of acute thermal stress and amount of feed intake on concentrations of somatotropin insuline-growth factor (IGF)-1 and IGF-II, and thyroid hormones in plasma of lactating Holstein cows. *J Anim Sci* 1991;69:2050-2056.
26. Collier RJ, Beede DK, Thatcher WW, Israel LA, 3 Wilcox CJ. Influences of environment and its modification on dairy animal health and production. *J Dairy Sci* 1982;65:2213-2227.
27. Gomila LF, Roussel JD, Beatty JF. Effect of zone cooling on milk yield, thyroid activity, and stress indicators. *J Dairy Sci* 1977;60:129-132.