

Evaluación de un sistema de enfriamiento aplicado en el periodo seco de ganado lechero durante el verano

Evaluation of a cooling system used in the dry period of dairy cattle in summer

Leonel Avendaño Reyes^a, Francisco Daniel Álvarez Valenzuela^a, Abelardo Correa Calderón^a, J. Salomé Saucedo Quintero^a, Fernando Rivera Acuña^a, Francisco Javier Verdugo Zárate^a, Carlos Fernando Aréchiga Flores^b, Peter H. Robinson[†]

RESUMEN

Con el objeto de evaluar algunas respuestas fisiológicas preparto y productivas posparto, se asignaron 24 vacas Holstein multiparas a dos tratamientos: con (n= 12) y sin (n= 12) sistema de enfriamiento durante su periodo seco en verano. Vacas enfriadas tuvieron menor ($P < 0.05$) tasa respiratoria (77.5 vs 83.7) y menor ($P < 0.05$) temperatura rectal (39.1 vs 39.3 °C) por la tarde, que vacas no enfriadas. Los niveles de T₃ y T₄ fueron mayores ($P < 0.05$) en vacas enfriadas sobre no enfriadas (38.0 vs 30.2 y 0.857 vs 0.681 ng/ml, respectivamente). El peso nacimiento fue sólo numéricamente mayor ($P = 0.421$) en vacas con enfriamiento (36.1 vs 34.6 kg). La producción de leche tendió a ser mayor ($P = 0.144$) en vacas enfriadas (28.1 kg) sobre vacas no enfriadas (25.2 kg), mientras que el porcentaje de grasa fue mayor ($P < 0.05$) en vacas enfriadas (3.2 %) sobre vacas testigo (2.9 %); como resultado, la producción de leche ajustada fue mayor ($P < 0.01$) en vacas enfriadas sobre no enfriadas (28.6 vs 25.7 kg). Reproductivamente, sólo la concepción total fue mayor ($P < 0.05$) en vacas enfriadas sobre no enfriadas (100 vs 63.6 %). El grupo no enfriado presentó 42 % de tasa de desecho, y en el grupo enfriado fue de cero. El análisis económico mostró un beneficio de \$ 770.50 vaca/año. Estos resultados demuestran que el uso de sistemas de enfriamiento 60 días preparto reduce el estrés calórico en vacas Holstein, y puede impactar positivamente en la productividad posparto, lo cual origina mayores beneficios económicos para el productor.

PALABRAS CLAVE: Ganado lechero, Estrés calórico, Producción de leche, Sistema de enfriamiento.

ABSTRACT

In order to determine some physiological responses 60 d prepartum and production responses postpartum to a cooling system in summer, 24 multiparous Holstein cows were allocated to two groups: one group with (n=12) and a second group without (n=12) cooling. Cooled cows showed a lower ($P < 0.05$) respiration rate (77.5 vs 83.7 breaths/min) and rectal temperature (39.1 vs 39.3 °C) in the afternoon, than non-cooled (control) cows. Serum thyroxin and triiodothyronine levels were higher ($P < 0.05$) in cooled cows than in non-cooled cows (38.0 vs 30.2 ng/ml and 0.857 vs 0.681 ng/ml, respectively). Calf birth weight showed only a numerical trend to be higher ($P = 0.421$) in cooled cows (35.7 vs 32.9). Milk production showed a tendency ($P = 0.144$) to be higher in the cooled (28.1 kg) than in the non-cooled group (25.2 kg), while fat content ($P < 0.05$) was greater in the cooled (3.2 %) than in the non-cooled group (2.9 %); therefore, average fat-corrected milk production at week eight postpartum was higher ($P < 0.01$) for the cooled group (28.6 vs 25.7 kg) compared to control. However, milk production and protein percent were similar ($P > 0.05$). Reproductively, only total conception rate was higher ($P < 0.05$) in cooled cows than in non-cooled cows (100 vs 63.6 %). Non-cooled cows showed a 42 % culling rate, while no cow was culled in the cooled group ($P < 0.05$). An economic analysis showed a net profit of 75 dollars cow/year for the cooling system. Results show that cooling dry cows reduce heat stress, that resulted in higher fat-corrected milk and milk fat production in the subsequent lactation and in higher economical benefits for dairy producers.

KEY WORDS: Heat stress, Milk production, Cooling system, Economic analysis.

Recibido el 20 de mayo de 2004 y aceptado para su publicación el 25 de agosto de 2006.

^a Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California, Cataratas de Iguazú 1793; Fracc. Santa Mónica; 21339, Mexicali, Baja California, Tel.: 01 (686) 558-2220, lar62@uabc.mx Correspondencia al primer autor.

^b Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Zacatecas.

[†] UCCE, Department of Animal Sciences, University of California, Davis, CA, EUA.

El presente artículo corresponde a parte de la tesis de Maestría en Ciencias en Sistemas de Producción Animal del MVZ Fernando Rivera Acuña.

Fuentes de Financiamiento: 6ta. Convocatoria Interna de Apoyo a Proyectos de Investigación, DGIP-UABC; Proyecto de Instalación CONACYT I33476-B.

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales factores que limitan la eficiencia productiva del ganado lechero en zonas áridas y semiáridas del noroeste de México es el estrés por calor. Altas temperaturas, elevada humedad relativa, o ambas, provocan una reducción en los principales parámetros productivos y reproductivos del ganado lechero, que cuando es sometido a estas condiciones adversas, su temperatura corporal aumenta y se induce una serie de eventos fisiológicos que conducen a una nueva homeostasis y, finalmente, a una reducción en la productividad⁽¹⁾. En situaciones de estrés por calor, algunos de los cambios observados en el ganado son: reducción en el consumo de alimento, disminución de la actividad física en general, búsqueda de sombra o viento, aumento en la tasa respiratoria, incremento en el flujo sanguíneo periférico, sudoración y disminución de la producción^(2,3,4).

Considerando que el periodo seco es una etapa de preparación de la vaca para su próxima lactancia y que el pico de producción se alcanza, aproximadamente, a las ocho semanas posparto, la etapa previa al parto toma gran importancia; por tanto, la presencia de estrés térmico en el periodo seco de la vaca lechera puede repercutir negativamente al momento del parto, en el peso al nacimiento de la cría, en características productivas posparto, como el pico de producción y la lactancia completa, así como en el comportamiento reproductivo^(5,6,7). El estrés calórico durante el periodo seco también causa cambios en los perfiles hormonales, lo que a su vez produce un efecto negativo en el desarrollo de la glándula mamaria y, finalmente, en la producción de leche posparto⁽⁸⁾.

Reproductivamente se ha demostrado que el estrés calórico preparto tiene un efecto residual sobre cambios reproductivos que ocurren en el posparto, ya que puede provocar una involución uterina más retardada, ocasionando un retraso en la presentación del primer calor posparto⁽⁹⁾. El uso de modificaciones ambientales durante el verano en explotaciones lecheras es práctica común en zonas con clima cálido, como las localizadas en el norte de México, ya que reduce los efectos del

INTRODUCTION

One of the main factors which affect dairy cattle's production efficiency in the arid and semiarid areas of Northwest Mexico is heat stress. High temperatures and/or moisture produce drops in production and reproduction parameters in dairy cattle, owing to an increase in body temperature which induces a series of physiological events which result in a new homeostasis which in turn results in a productivity drop⁽¹⁾. In heat stress conditions, some of the changes seen in cattle are the following: reduced feed intake and physical activity, search for shade and air, increase in respiration rate and blood peripheral circulation, greater transpiration, and finally a drop in production^(2,3,4).

Taking into account that the dry period is a preparation stage for cows for the subsequent lactation, and that production peaks at roughly 8 wk postpartum, the 60 d prepartum period acquires new significance. Therefore, heat stress in the cow's dry period can impact negatively at the moment of birth, in calves' birth weight, on postpartum performance, on milk production, and on reproduction parameters^(5,6,7). Heat stress in the dry period also affects hormonal profiles, which in turn affects negatively mammary gland development and finally postpartum milk yield⁽⁸⁾.

Prepartum heat stress has residual effects on postpartum reproductive changes, slowing uterus involution, thus delaying the first postpartum ovulation⁽⁹⁾. Using climate modifiers in summer in dairy production units is common in hot climate areas worldwide, as is the case of the north of Mexico, because it reduces heat stress; however, studies in this country on this subject are few and have been focused mainly on the production stage, not considering the late prepartum period^(6,10). A study carried out with Holstein cows in northwest Mexico's desert area, showed that cooling using sprayers and fans in shaded corrals at lactation's beginning produced a 4 l/d increase in milk yield⁽¹¹⁾. In the same geographical area, when cows were cooled by spraying twice a day for 2 min in their dry period, calf birth weight showed a tendency to increase and heat stress diminished⁽¹²⁾.

estrés por calor; sin embargo, los escasos estudios en nuestro país se han centrado en la etapa productiva de la vaca, sin tomar en cuenta el periodo previo al parto^(6,10). Un estudio realizado con vacas Holstein en una zona desértica del noroeste de México demostró que el enfriamiento con aspersores y abanicos bajo la sombra del corral durante la etapa inicial de la lactancia, condujo a un aumento de 4 kg/vaca/día en relación a vacas que sólo tuvieron acceso a sombra en el corral⁽¹¹⁾. En la misma zona, el enfriar vacas por medio de su humedecimiento durante 2 min dos veces al día durante su periodo seco, produjo una tendencia a incrementar el peso al nacimiento de las crías y a reducir el estrés calórico en los animales⁽¹²⁾. Con base en este planteamiento, el objetivo del presente estudio fue determinar algunas respuestas fisiológicas durante el periodo preparto, y respuestas productivas y reproductivas posparto, a un sistema de enfriamiento usado durante el periodo seco, en vacas lecheras Holstein en condiciones de altas temperaturas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio y animales experimentales

El estudio se realizó en la Unidad experimental de bovinos de leche, del Instituto de Ciencias Agrícolas, de la Universidad Autónoma de Baja California, en el Ejido Nuevo León, Baja California, 42 km al SE de Mexicali, Baja California, México (32° 24' N y 115° 11' O, altitud 8.7 msnm). El clima es tipo desértico y en verano se caracteriza por ser cálido, muy seco, con temperaturas promedio máximas y mínimas entre 43 y 16 °C, respectivamente, alcanzando hasta 52 °C. La precipitación pluvial promedio anual es de 85 mm⁽¹³⁾. Se utilizaron 24 vacas Holstein, multíparas (entre dos y seis partos) que 60 días previos a su fecha probable de parto se asignaron a uno de dos tratamientos de acuerdo con su condición corporal: a) grupo testigo (n= 12), que tuvo acceso sólo a sombra en el centro del corral (SS), y b) grupo experimental (enfriado) (n= 12), que tuvo acceso a un sistema de enfriamiento instalado bajo la sombra, en la parte central del corral (SE). El material de las sombras de los corrales fue lámina galvanizada

Based on this, the goal of the present study was to determine some physiological responses prepartum and production and reproduction responses *postpartum* to a cooling system in the dry period in Holstein cows in a very hot environment.

MATERIALS AND METHODS

Experimental animals and study area

This study was carried out in the dairy herd Experimental Unit of the Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad de Baja California, located at the Ejido Nuevo León, 42 km south of Mexicali, Baja California, Mexico (32°24' N, 115° 11' W, 8.5 m asl). The climate is that of a desert, very hot and dry in summer, with minimum and maximum temperatures of 16 °C and 43 °C, respectively, sometimes even hitting 52 °C, annual rainfall averages 85 mm⁽¹³⁾.

Twenty four multiparous (between two and six births) Holstein cows were used in this experiment, which were allocated 60 d previous to their possible calving date to one of two treatments in accordance with their body condition: a) control (n= 12) which was provided only with shade in the pen's center (SS), and b) experimental group (n= 12) which had access to both shade and a cooling system (SE). Shade was provided by a corrugated galvanized iron sheet roof at 3.20 m height, set from North to South. The pens' size was 18.5 x 16 m.

The cows' dry period occurred during the hottest months, being the beginning of this dry period for the chosen cows the following: four in June (2 SE, 2 SS), ten in July (5 SE, 5 SS), eight in August (4 SE, 4 SS) and two at the beginning of September (1 SE, 1 SS). Six cows gave birth in August, 2 in September and 6 in October. Feed intake was the same for both groups, which were fed twice a day with a ration made up with 65 % alfalfa hay, 15 % ground wheat grain, 15 % wheat stubble, 3 % wheat bran and 2 % a vitamins and minerals premix. This ration provided 15.8 % crude protein and 1.26 EN_L/kg DM. All animals had free access to water. Cows were placed in their respective pens approximately 60 d before their projected birth

y su orientación norte a sur, con una altura de 3.20 m. La dimensión de los corrales fue 18.5 x 16 m.

Las vacas pasaron su periodo seco durante los meses más calientes del año, distribuyéndose el inicio del periodo seco en las vacas de la siguiente forma: cuatro en junio (dos SE y dos SS), diez en julio (cinco SE y cinco SS), ocho en agosto (cuatro SE y cuatro SS), y dos a principios de septiembre (una SE y una SS), de manera que 6 vacas parieron en agosto, 12 en septiembre y 6 en octubre. La cantidad de alimento proporcionado a los grupos experimentales fue la misma, suministrándose dos veces al día una ración integral que incluyó: 65 % heno de alfalfa, 15 % de grano de trigo molido, 15 % de paja de trigo, 3 % de salvado y 2 % de premezcla de vitaminas y minerales. Esta ración proporcionó 15.8 % de PC y 1.26 Mcal EN_L/kg de MS. Las vacas tuvieron agua a libre acceso en el corral. Los animales fueron alojados en sus respectivos corrales desde los 60 días previos a su fecha de parto hasta la ocurrencia de éste. Después del parto, todas las vacas pasaron a un mismo corral abierto, acondicionado sólo con sombra, recibiendo la misma ración para vacas en inicio de la lactancia: 60 % forraje a base de alfalfa y 40 % de concentrado lechero. Las vacas se ordeñaron dos veces al día (0500 y 1700). En la sala de espera, previo a la ordeña, se instalaron válvulas aspersoras de agua para refrescar a las vacas antes de ser ordeñadas y disminuir el estrés por calor.

Sistema de enfriamiento

El sistema de enfriamiento utilizado consistió en dos abanicos de 90 cm de diámetro con motor de 1/2 HP y separados 3 m uno de otro. Frente a los abanicos se instaló una manguera con seis válvulas aspersoras de agua que emitieron una gota fina sobre el ambiente en este corral. La cantidad de agua emitida por cada válvula fue de 1.9375 L/h, lo cual totaliza 11.625 L/h en las seis válvulas usadas, y de 23.25 L/h en los dos abanicos. El sistema de enfriamiento se colocó debajo de la sombra en su lado Oeste, a 3 m sobre el nivel del piso. El sistema operó automáticamente 8 h diarias (1000 a 1800).

date until the day of birth. After giving birth, both sets of cows were placed in an open pen with shade, and fed with the same ration of 60 % alfalfa hay and 40 % dairy concentrate. Cows were milked twice daily (0500 and 1700). Cows were sprayed with water in the holding pen to reduce heat stress, before being milked.

Cooling system

The cooling system was made up by two 90 cm electric fans 3 m apart moved by 1/2 HP motors. In front of each fan a water pipe with six sprayers was placed, which dispersed very fine droplets into the air. Total water used was 23.25 L/h for both fans and fans were kept working for 8 h from 1000 to 1800 daily. The cooling system was placed on the western side at 3 m height.

Variables

Temperature and humidity were recorded daily and a temperature-humidity index (ITH) was calculated through this formula⁽¹⁴⁾:

$$ITH = 0.81T + RH(T - 14.4) + 46.4$$

Where: ITH = temperature-humidity index; T = temperature (°C); RH = relative humidity (%).

ITH values were estimated considering average max and min temperatures. Variables measured in the 60 d prepartum period were the following: rectal temperature (RT) and respiration rate (RR) twice weekly in the morning (0930) and in the afternoon (1430). RT was taken with an electronic manual thermometer provided with sensors (Mabis Health Care Inc, Model 15-600-000) at 8 cm depth. RR was determined observing the intercostal movements for 60 sec. Body condition (BC) was scored twice weekly by three independent observers using a scale in which 1 equals a very thin animal and 5 an extremely obese. Their readings were averaged⁽¹⁵⁾.

Weekly blood samples were taken in the last 30 d prepartum by tapping the coccigea vein. Samples were centrifuged at 300 xg for 20 min at 4 °C. Serums were kept at -15 °C until thyroxine (T4) and triiodothyronine (T3) levels were determined

Variables medidas

La temperatura ambiente y la humedad relativa se registraron diariamente, y se estimó el índice temperatura-humedad (ITH) de acuerdo con la fórmula⁽¹⁴⁾:

$$\text{ITH} = 0.81 \text{ TA} + \text{HR} (\text{TA} - 14.4) + 46.4$$

Donde: ITH= índice temperatura-humedad; TA= temperatura ambiental (°C); HR = humedad relativa (%).

Los valores de ITH se construyeron considerando las temperaturas máximas y mínimas promedio. Las variables medidas durante los 60 días preparto fueron: temperatura rectal (TER) y tasa respiratoria (TAR) dos días por semana, una vez por la mañana (0930) y otra vez por la tarde (1430) en cada día de muestreo. La TER fue medida usando termómetros electrónicos manuales con sensor (Modelo 15-600-000, Mabis Health Care Inc.) colocados a una profundidad aproximada de 8 cm dentro del recto de cada vaca. La TAR se midió observando el número de movimientos del espacio intercostal por 60 seg. La condición corporal (CC) se midió dos veces por semana, tomando como medida final el promedio de las calificaciones de tres personas distintas, utilizando el procedimiento donde 1 corresponde a una vaca extremadamente delgada y 5 a una vaca extremadamente obesa⁽¹⁵⁾.

Durante los últimos 30 días preparto se tomaron muestras de sangre semanalmente de cada vaca por punción de la vena coccígea, se centrifugaron a 300 xg durante 20 min a 4 °C. Los sueros se conservaron a -15 °C hasta determinar por radioinmunoensayo⁽¹⁶⁾ los niveles de hormonas tiroxina (T₄) y triiodotironina (T₃). Las variables productivas posparto medidas fueron: peso de las crías al nacimiento (PCN), producción de leche promedio una vez por semana hasta la octava semana posparto (PL), producción de leche promedio ajustada al 3.5 % de grasa (PLA) en el mismo periodo. En el momento de la ordeña, por la mañana y por la tarde, se colectó una muestra de leche para su análisis del porcentaje de grasa y proteína (GRL y PRL) en leche en ese mismo periodo, los cuales se realizaron por el método

through radioimmunoassay⁽¹⁶⁾. Postpartum production variables measured were: calf birth weight (BW), weekly average milk yield until wk-8 postpartum (PCL), and average fat corrected milk production (FMP) for the same time period. Milk samples were collected at milking and fat (MFC) and protein (MPC) content were determined through the Gerber⁽¹⁷⁾ and Kjeldahl⁽¹⁸⁾ methods, respectively. Calf birth weight was adjusted according hip height in order to reduce variation due to cow size⁽¹⁹⁾.

Reproductive variables measured were days to first service (DFS), services per conception (SPC), open days (OD), conception to first service (CFS), total conception (TC), and percentage of culled cows of the end of the lactation. TC was taken of 250 d postpartum. One cow from the control group died at partum.

Statistical analyses

Prepartum variables RR, RT, BC, T₃, T₄ and postpartum MY, FMP, MFC, and MPC were analyzed in random blocks with replications through the commands Repeated and Random of the Mixed procedure of the SAS statistical software⁽²⁰⁾. Body condition was used as blocking condition. The statistical model included the fixed effects block, treatment, week and the interaction week by treatment. As random effect cow nested in treatment was used in the F tests. Several covariance structures were tested and the one nearest to zero, according to Akaike and Bayesian criteria was chosen, being the best fitting covariance the Autoregressive of the First Order⁽²¹⁾. Those variable which were measured only once (BW, DFS and OD) were tested through the Mixed procedure of the SAS software in a randomized block model⁽²²⁾. Those variables measured as percentages (CFS, TC and CLL) were analyzed through the Xi-square or Fisher exact tests, when necessary⁽²²⁾. All these analyses and tests were carried out with the SAS statistical software v. 9.1.2⁽²⁰⁾.

Economic analysis

This analysis was performed using the model described by Daugherty⁽²³⁾, which takes into

Gerber⁽¹⁷⁾ y Kjeldahl⁽¹⁸⁾ respectivamente. La variable PCN se ajustó por la altura a las caderas, tratando de reducir variación por el tamaño de los animales⁽¹⁹⁾. Las variables reproductivas medidas fueron días a primer servicio (DPS), servicios por concepción (SPC), días abiertos (DA), concepción a primer servicio (CPS), concepción total (CT) y, finalmente, el porcentaje de vacas desechadas al final de esa lactancia (DFL). La CT se midió a los 250 d posparto. Una vaca del grupo testigo murió después del parto, por lo que no se contó con su información posparto.

Análisis estadístico

Las variables preparto (TAR, TER, CC, T₃, y T₄) y posparto (PL, PLA, GRL, y PRL) medidas durante el transcurso del tiempo se analizaron mediante un diseño en bloques al azar con mediciones repetidas utilizando los comandos “Repeated” y “Random” dentro del procedimiento “Mixed” del programa estadístico SAS⁽²⁰⁾. La condición corporal inicial se usó como criterio de bloqueo. El modelo estadístico incluyó los efectos fijos de bloque, tratamiento, semana y la interacción semana con tratamiento. Como efecto aleatorio se utilizó vaca anidada en tratamiento, el cual fue usado para las pruebas de F. Se probaron distintas estructuras de covarianza y la de valor más cercano al cero (según los criterios de información Akaike

account costs due to equipment purchase (initial investment), maintenance, water and energy use and also annual depreciation.

Initial investment includes electric equipment (fans, panel board, transformers, heavy duty electrical pipes, timer and other accessories) and hydraulic (C 40 PVC pipes, joints, water tank, etc.), pressure feed pump and internal and external filters. Benefits were estimated on production difference at week 8 (1.7 kg in favor of the cooled group) and extrapolated from that value the fat corrected lactation.

RESULTS

Climate variables

The experiment was carried between the last June fortnight and the first week of September. High and low temperatures and humidity recorded in that period were 19 and 48 °C and 20 and 22 %, respectively (Figure 1). Estimated ITH values for the experiment’s duration are shown in Figure 2, being July, August and September the hottest months.

Respiration rate, rectal temperature and body condition

Analyses of repeated measurements of prepartum variables (RR, RT, BC, T₃ and T₄) show that the

Figura 1. Promedios de temperatura ambiental y humedad relativa durante el periodo experimental

Figure 1. Air temperature averages and relative humidity during the study

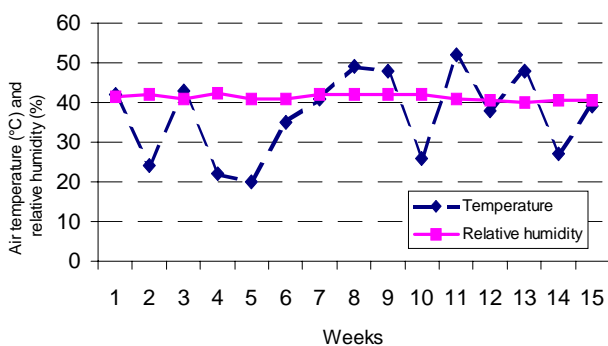
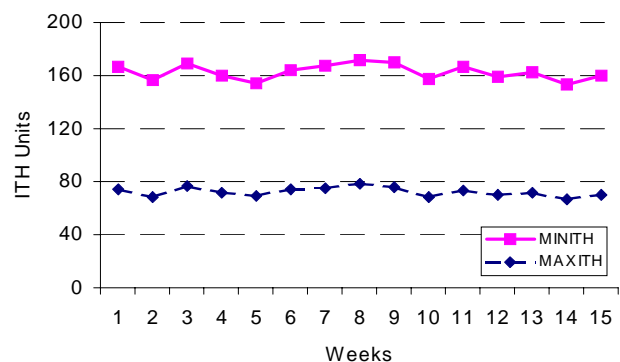


Figura 2. Indices de temperatura-humedad máximo y mínimo durante el periodo experimental

Figure 2. High temperature-humidity indices (MAXITH) and low (MINITH) during the study



y Bayesiano) fue elegida, resultando la estructura de covarianza de mayor ajuste la Autoregresiva de Primer Orden⁽²¹⁾. Las variables medidas una sola vez (PCN, DPS, SPC y DA) se analizaron mediante el procedimiento “Mixed” de SAS con un modelo de bloques al azar⁽²²⁾. Las variables medidas como porcentajes (CPS, CT y DFL) se analizaron mediante la prueba de Ji-cuadrada o exacta de Fisher, cuando fue necesario⁽²²⁾. Todos los análisis se realizaron utilizando el programa estadístico SAS, versión 9.1.2⁽²⁰⁾.

Análisis económico

El análisis económico se realizó utilizando el modelo descrito por Daugherty⁽²³⁾, el cual contempló los costos por la adquisición del equipo (inversión inicial), costos por gastos de mantenimiento, costos por consumo de agua y energía eléctrica y amortización anual de la inversión inicial. Los costos por inversión inicial incluyen la adquisición de los abanicos y los gastos derivados de su instalación, los cuales a su vez involucran la adquisición del material eléctrico (cable, centros de carga a prueba de agua, transformador, tubo eléctrico de pared gruesa, reloj regulador y otros accesorios) e hidráulico (tubo pvc cédula 40, coples, depósito de agua, etc.), además de la bomba de presión, filtros internos y externos. El beneficio se obtuvo de la

treatment by week interaction (Table 1) was non significant. On the other hand, the week effect was significant ($P < 0.05$) in all variables which indicates differences between points in time of sampling of each variable. Morning and afternoon RR and RT averages as shown in Table 1, indicate that morning values show practically no differences, while those of the afternoon, when the cooling system had been working for 4 h, show significant differences for both variables, which indicates a drop in those physiological constants during the day’s hottest period. Prepartum BC values were similar for both groups.

Hormonal levels

Animals in the cooled group presented higher ($P < 0.05$) average concentrations of T₃ and T₄ than those in the control group (0.857 vs 0.681 µg/ml for T₃ and 38.05 vs 30.24 µg/ml for T₄, respectively) as is shown in Table 1.

Productive variables

Calf birth weight average (Table 2) was only numerically higher ($P = 0.421$) in the cooled group (36.1 vs 34.6 kg), as was also milk yield up to week 8 postpartum ($P = 0.144$) (28.1 vs 25.2 kg), even though a difference of 2.84 kg between both

Cuadro 1. Medias mínimo cuadráticas, errores estándar (SE) y valores de probabilidad en variables fisiológicas registradas durante el periodo seco en vacas Holstein con y sin sistema de enfriamiento

Table 1. Least squared means, standard error (SE) and probability for physiological variables recorded in the dry period in Holstein cows with and without cooling in the dry period

Variable	Control	Cooled	SE	Probability		
				Treatment	Week	Treatment*Week
RR (am)	70.19	68.58	3.89	0.6845	0.0214	0.6146
RR (pm)	83.78	77.58	4.25	0.0426	0.0055	0.6556
RT (am)	38.85	38.83	0.08	0.8947	0.0299	0.5017
RT (pm)	39.35	39.12	0.04	0.0368	0.0146	0.7843
BC	3.95	4.03	0.10	0.4222	0.0403	0.4984
T ₃ , µg/ml	0.681	0.857	0.02	0.0143	0.0187	0.3584
T ₄ , µg/ml	30.24	38.05	1.59	0.0247	0.0129	0.4791

RR=respiration rate; RT=rectal temperature; BC=body condition; T₃=Triiodothyronine; T₄=Thyroxine.

Cuadro 2. Medias mínimo cuadráticas, errores estándar (SE) y valores de probabilidad en variables productivas registradas posparto en vacas Holstein con y sin sistema de enfriamiento

Table 2. Least squared means, standard error (SE) and probability in production variables recorded postpartum in Holstein cows with and without cooling in the dry period

Variable	Control	Cooled	SE	Probability			
				Treatment	Height	Sex	Treatment*sex
BW, kg	34.67	36.10	2.60	0.421	0.032	0.210	0.237
				Treatment	Week	Treatment*week	
MY, kg	25.27	28.11	2.092	0.1443	0.0008	0.2107	
FMP, kg	25.75	28.64	0.942	0.0025	0.0097	0.6845	
MFC, %	2.965	3.260	0.138	0.0434	0.0001	0.7046	
MPC, %	3.045	3.212	0.346	0.1582	0.0167	0.3694	

BW=birth weight; MY=milk yield at week eight *postpartum*; FMP=Fat corrected milk production (3.5% fat); MFC=milk fat content; MPC=milk protein content.

diferencia obtenida en producción de leche a las ocho semanas (1.7 kg) a favor del grupo enfriado, extrapolando a partir de este valor la producción de la lactancia ajustada.

RESULTADOS

Variables climáticas

El periodo experimental incluyó desde las últimas dos semanas de junio hasta la primera de septiembre. Las temperaturas y humedades mínimas y máximas registradas durante el periodo de estudio fueron 19 y 48 °C y 20 y 52 % respectivamente (Figura 1). Los ITH calculados durante las 15 semanas de duración del experimento se muestran en la Figura 2, siendo los meses más cálidos julio, agosto y septiembre.

Tasa respiratoria, temperatura rectal y condición corporal

El análisis de mediciones repetidas en las variables preparto (TAR, TER, CC, T₃, y T₄) mostrado en el Cuadro 1 muestra que el efecto de la interacción tratamiento con semana no fue significativo. El efecto de semana fue significativo ($P < 0.05$) en todas las variables, lo que indica que existieron diferencias entre los tiempos de muestreo realizados para cada variable. Los promedios de TAR y TER

treatments was observed. However, fat content was higher ($P < 0.05$) in the cooled group (3.2 %) than in control (2.9 %). This difference can be appreciated in 3.5 % fat content corrected milk production, where the average production of the cooled group (28.6 kg) was significantly higher ($P < 0.01$) than in control (25.7 kg). No differences in milk protein content was found between the cooled and control treatments (3.2 vs 3.0 %).

Reproductive variables and culling rate

No significant differences between treatments ($P > 0.05$) for DFS, SPC, OD and CFS variables were found (Table 3). In addition, no consistently positive reproductive behavior was found in cows in the cooled treatment. However, it should be noted that all the cows in this group were pregnant at the end of this study, while only 7 out of 11 were pregnant in the other ($P < 0.05$). On the other hand, at the end of lactation, 7 out of 12 cows in the control group were culled, while none in treated cows (41.7 and 0 % in the control and cooled groups, respectively). Criteria set by the Experiment Station head for culling were low milk production ($< 4,500$ kg), number of services for a pregnancy (> 5) and death. Two cows were culled due low milk production, two because of high number of services and one died.

obtenidos por la mañana no presentaron diferencias, mientras que por la tarde, cuando el sistema había operado durante cuatro horas, la diferencia fue significativa ($P < 0.05$) para las dos variables, lo que indica que, en promedio, el sistema de enfriamiento redujo estas constantes fisiológicas durante las horas más calientes del día. Los promedios de CC preparto fueron similares en vacas con o sin sistema de enfriamiento.

Niveles hormonales

Se observa que las vacas del grupo enfriado (T_3 : 0.857 ng/ml y T_4 : 38.05 ng/ml) presentaron mayor concentración promedio ($P < 0.05$) de estas dos hormonas en el periodo total que el grupo de vacas testigo (T_3 : 0.681 ng/ml y T_4 : 30.24 ng/ml) (Cuadro 1).

Variables productivas

El promedio de PCN (Cuadro 2) fue sólo numéricamente mayor ($P = 0.421$) en el grupo enfriado sobre el grupo testigo (36.1 vs 34.6 kg). El promedio de producción de leche hasta la octava semana posparto fue sólo numéricamente mayor ($P = 0.144$) en el grupo enfriado (28.1 kg) sobre el grupo testigo (25.2 kg). Sin embargo, el contenido de grasa en leche fue mayor ($P < 0.05$) en el grupo enfriado (3.2 %) que en el grupo testigo (2.9 %), diferencia que se refleja en la producción de leche ajustada al 3.5 %, donde el grupo testigo tuvo una producción de 25.7 kg menor ($P < 0.01$) que el grupo enfriado (28.6 kg). No se detectaron diferencias en el promedio de proteína en leche, con valores de 3.0 y 3.2 % en los grupos testigo y enfriado, respectivamente.

Variables reproductivas y tasa de desecho

No hubo diferencias ($P > 0.05$) en las variables DPS, SPC, DA y CPS entre tratamientos (Cuadro 3). Además, no se observa un comportamiento reproductivo consistentemente positivo en las vacas sujetas al SE. Sin embargo, es importante notar que al final del experimento todas las vacas del grupo enfriado resultaron preñadas, mientras que en el grupo testigo sólo 7 de las 11 vacas resultaron gestantes ($P < 0.05$). Por otro lado, al final de la

Cuadro 3. Medias mínimo cuadráticas, errores estándar y porcentajes de parámetros reproductivos en vacas Holstein con y sin sistema de enfriamiento en el periodo seco

Table 3. Least squared means, standard error (SE) and reproductive parameters percentages in Holstein cows with and without cooling in the dry period

Variable	Control	Cooled	SE	Probability
DFS	62.3	65.3	8.2	0.6498
SPC	2.9	2.4	0.9	0.3456
OD	128.3	131.6	12.8	0.6577
CFS, %	(2/11) 18.1 ^a	(3/12) 25.0 ^a	————	0.7845
TC, %	(7/11) 63.6 ^a	(12/12) 100.0 ^b	————	0.0365
CLE, %	(5/12) 41.6 ^a	(0/12) 0 ^b	————	<0.001

DFS= days to first service; SPC=services per conception; OD=open days; CFS= conception to first service = animals who conceived at 1st service/total animals; TC=total conception (animals who conceived/total animals); CLE=culls at lactation's end (culls/total animals).

a,b Different superscripts among treatments show significant differences ($P < 0.05$)

Economic analysis

Initial investment per cow was MXP (mexican pesos) 1,500 (Table 4). A six month period of high temperatures, equivalent to 183 d should be taken into account, in which the cooling system was used, and in this time the cows' dry period takes place. Maintenance costs were estimated at 3 % of the initial investment, a total of MXP 45. Electricity costs were in accordance to electricity use by a 1/2 HP motor (0.375 kwh per fan), or MXP 226.62 cow/yr and water costs MXP 18.43 cow/yr, both *per year*. These costs reflect current values for these services in the area in which this study was carried out. Depreciation, taking into account a 12 yr useful life for the equipment amounts to MXP 125 *per year*. Finally, total operating costs per cow amounted to MXP 415.06 for the 60 d prepartum period. The milk yield increase per cow due to the cooling system (337.8 kg) resulted in an MXP 1,185.45 increase in gross income for an MXP 770.39 net profit for each cow *per annum*. If the culling rate for cooled cows is in fact lower than of those not subject to this treatment, added to the price of pregnant replacement heifers, profits can increase dramatically from the first year.

lactancia, del total de 12 vacas, 5 fueron desechadas del grupo testigo, mientras que en el grupo enfriado no se desechó ninguna vaca (testigo: 41.7 % y enfriado: 0 %; $P < 0.05$). En los criterios para el desecho de las vacas en el grupo testigo, dos fueron por baja producción de leche en la lactancia (< 4500 kg), dos por alto número de servicios por concepción (> 5) y una que murió al momento del parto. Los criterios del desecho fueron establecidos por el encargado de la Unidad Experimental.

Análisis económico

La inversión inicial consideró \$ 1,500 por costo del sistema por vaca (Cuadro 4). Se consideran seis meses de altas temperaturas en la zona, lo que equivale a 183 días de trabajo del sistema de enfriamiento, periodo en el cual se tienen vacas secas. El costo por mantenimiento de equipo se estimó en 3 % del costo de la inversión inicial, lo que representó \$ 45. El costo de energía eléctrica se obtuvo de acuerdo con el gasto de electricidad por el motor de 0.5 HP usado en el sistema (0.375 kw/h/abanico). Los costos de electricidad y agua por vaca por año fueron \$ 226.62 y \$ 18.43 respectivamente, que representan valores actuales de la zona de estudio. Además se estimó el costo de amortización anual del equipo considerando su vida útil de 12 años que fue de \$ 125. Finalmente, el costo total por el uso del sistema de enfriamiento por vaca en el verano 60 días preparto fue de \$ 415.06. El beneficio por el uso de este sistema provino de la mayor producción de leche (338.7 kg de leche por lactancia por vaca) que representó una ganancia bruta de \$ 1185.45. La diferencia costo-beneficio fue \$ 770.39 neto/vaca/año por uso del sistema de enfriamiento. Si efectivamente se considera que la tasa de desecho en vacas sin sistema de enfriamiento durante el verano puede ser mayor que el de vacas sujetas a estas modificaciones ambientales físicas junto con el precio de la vaquilla al parto, los beneficios pueden aumentar considerablemente desde el primer año de uso del sistema.

DISCUSIÓN

Variables climáticas

Las condiciones climáticas de la zona de estudio se consideran extremas durante el verano, ya que el

Cuadro 4. Costos de producción y beneficio económico del uso de sistemas de enfriamiento en vacas Holstein con estrés calórico en el periodo seco

Table 4. Production costs and economic benefits of a cooling system in the dry period in heat stressed Holstein cows

Item	Quantity
Initial investment/cow, MXP	1,500.0
Maintenance costs/cow/yr(3% of initial investment)	45.0
Basic data	
Hours/day	8.0
Days/year	183.0
Equipment's useful life (years)	12
Electricity use	6 cows/fan
Engine horsepower	0.5
kw/h/fan	0.375
Cost kw/hr, MXP	2.477
Electricity cost/fan/hr, MXP	0.92
Electricity cost/hr/cow, MXP	0.15
Cost/cow/yr, MXP	226.62
Water use	
Use/hr/fan, L	11.6
Use/day/fan, L	93.0
Use/yr/fan, L	17,019.0
Use/cow/yr, L	2,836.5
Water costs, MXP/m ³	6.50
Water cost per liter	0.0065
Cost/cow/yr, MXP	18.43
Costs per cow	
Repairs	45.00
Electricity	226.62
Water	18.43
Depreciation	125.00
Total	415.06
Benefits/cow/yr	
Average milk yield increase 60 d <i>postpartum</i> , kg	1.7
Milk price/kg, MXP	3.5
Increase in milk production for a projected 305 d lactation, kg*	338.7
Additional income/cow, MXP	1185.45
Benefit-cost/cow/year, MXP	770.39

¹ Costs and benefits are expressed in Mexican currency (MXP).

* Milk yield obtained through individual records using Dairy Comp 305 (Valley Agricultural Software; Tulare, CA, USA)

promedio de temperaturas máximas no disminuyó de 40 °C durante el periodo estudiado. De la misma forma, el ITH máximo observado durante el experimento fue de 94.3 unidades y la mayor parte del tiempo fue superior a 72 unidades, valor que es considerado como punto crítico en el cual el estrés calórico afecta a la vaca, por lo que el grado de estrés calórico se clasificó como severo⁽²⁴⁾. De acuerdo con estas variables climáticas, las vacas obtuvieron mayor ganancia de calor del ambiente de lo que pudieron perder, lo cual ocurrió a lo largo del periodo de estudio. El promedio de humedad registrado durante el estudio fue de 36 %, lo que ayudó a la pérdida de calor por medios evaporativos en los animales, ya que el tipo de sistema de enfriamiento utilizado es efectivo en zonas con baja humedad relativa.

Tasa respiratoria, temperatura rectal y condición corporal

Estudios sobre estrés calórico en ganado indican que cuando la tasa respiratoria oscila entre 20 y 60 resp/min, el animal se encuentra en condiciones termoneutrales; sin embargo, cuando aumenta de 80 a 120, la vaca se encuentra sujeta a estrés calórico de moderado a severo^(25,26). La similitud en los valores de TAR y TER registrados durante la mañana, tanto semanalmente como en el promedio del periodo experimental, se atribuye a que durante la noche y en las primeras horas del día las condiciones climáticas fueron favorables para disipar el calor corporal en los animales adquirido durante las horas calientes del día. Esto se basa en los valores mínimos del ITH presentados en la Figura 2, ya que se observa que en 5 de las 15 semanas de estudio se registraron índices mínimos por debajo de 72 unidades, lo cual ocurrió en las primeras horas del día (entre 0200 y 0500), por lo que los valores de estas dos variables fisiológicas a las 0930 fueron muy semejantes y por debajo del límite inferior del estrés por calor en vacas lecheras. Por otro lado, los promedios semanales de TAR y TER por la tarde fueron similares, excepto por dos semanas de las ocho medidas para cada variable; sin embargo, en promedio, el grupo testigo presentó una TAR (83.7 resp/min) y TER (39.3 °C) por encima del límite que considera la presencia de

DISCUSSION

Climate variables

The climate in the area of study can be considered as extreme in summer months, the high temperature average being 40 °C and above during the period of this study. High ITH during the experiment was 93.4 units, being over 72 units most of the time, which is the critical point for heat stress in cows, allowing to grade it as severe⁽²⁴⁾. In accordance with these variables, cows gained more heat from than lost to the environment during the study period. Average relative humidity for the length of the study was 36 %, which facilitated release heat through evaporation from the animals, because the cooling system used in this experiment is effective in low relative humidity conditions.

Respiration rate, rectal temperature and body condition

Studies on heat stress in cattle indicate that when the respiration rate oscillates between 20 and 60 breaths/min, animals are in thermoneutral conditions, however, when this rate increases to between 80 and 120 breaths/min, cows are in severe heat stress^(25,26). The similarity between RT and RR values in the morning hours, both weekly and as average for the whole experimental period, can be explained through the fact that at night and in the early morning hours, environmental conditions were favorable for dissipation of body heat acquired during the hottest daylight hours. This is based on the low ITH values shown in Figure 2, where in 5 of the 15 wk of the study low values were below the 72 units, taking place between 0200 and 0500, being these physiological variables very similar at 0930, below heat stress threshold for milk cows. On the other hand, RR and RT weekly averages in the afternoon were similar, except for 2 wk out of 8. However, on average, control cows showed TAR (83.7 breaths/min) and RT (39.3 °C), above the threshold for moderate heat stress, while those animals in the cooled group showed slightly lower RR (77.5 breaths/min) and RT (39.1 °C) averages. Taking into account that at the time of day these physiological variables were measured (1430), the cooling equipment had been active for 4 h 30 min,

estrés calórico moderado, mientras que las vacas sometidas al sistema de enfriamiento presentaron promedios de TAR (77.5 resp/min) y TER (39.1 °C), ligeramente menores que el grupo testigo. Considerando que al momento de la medición de estas variables fisiológicas por la tarde (1430) el sistema de enfriamiento había operado ya por 4 h 30 min, y a que a esta hora del día las condiciones climáticas fueron muy cercanas a su pico máximo del día (1530), estos resultados sugieren que el sistema de enfriamiento utilizado fue efectivo en relación a la reducción del estrés por calor en comparación con las vacas sin este sistema^(1,27).

Un estudio señala que el efecto combinado de bajas reservas corporales y un bajo consumo de alimento en condiciones de estrés calórico fue evidente cuando vacas presentaron CC al parto menor a 2.5⁽²⁷⁾. A pesar de estos resultados se ha sugerido que la CC ideal para una vaca durante su periodo seco es de 3.75⁽¹⁵⁾, lo que indica que las vacas del presente estudio iniciaron su periodo seco con una CC ligeramente elevada.

Niveles hormonales

La disminución en la concentración de hormonas tiroideas T₃ y T₄ se ha observado en ganado sujeto a altas temperaturas, lo cual indica disminución en la función de la glándula tiroidea en condiciones de estrés calórico⁽²⁸⁾. Esta reducción también se relaciona con el crecimiento de tejidos maternos como la glándula mamaria y la placenta, ya que la actividad de estas hormonas está directamente relacionada con el desarrollo mamario y la lactogénesis, pudiendo afectar el crecimiento fetal en su etapa final y la función de la glándula mamaria posparto⁽²⁹⁾. En un experimento donde se relacionó época del año con hormonas tiroideas, los valores de T₄ variaron en un rango de 48.6 y 39.7 ng/ml para invierno y verano respectivamente, mientras que las concentraciones de T₃ se localizaron en un rango de 1.04 y 0.79 ng/ml para invierno y verano, respectivamente, los cuales coinciden con los encontrados en el presente estudio⁽³⁰⁾. Se ha observado que las concentraciones de hormonas tiroideas en vacas lecheras varían inversamente con la temperatura ambiental, ya que vacas secas

and that at that hour the climate conditions are near to its higher point (1530), results obtained in this study suggest that the cooling system used was helpful to reduce heat stress^(1,27).

Another study indicates that the combined effect of low body reserves and low feed intake in heat stress conditions was evident when animals showed a BC of less than 2.5 at calving⁽²⁷⁾. Even with these results it has been suggested that the ideal BC for cows in their dry period should be 3.75⁽¹⁵⁾, signifying that cows in this study began their dry period with a slightly high BC.

Hormone levels

A decrease in T₃ and T₄ thyroid hormones concentration has been seen in cattle subject to high temperatures, indicating a decrease in the activity of the thyroid gland suffering from heat stress⁽²⁸⁾. This decrease has also been associated to growth of maternal tissues (mammary gland and placenta), because activity of these hormones is directly related to mammary development and lactogenesis, with the possibility of affecting fetal development and growth in its final stages and mammary gland function postpartum⁽²⁹⁾. In an experiment where thyroid hormones were related to season of the year, T₄ concentration varied within a range of 48.6 and 39.7 µg/ml for winter and summer respectively, while T₃ concentration stayed within a range of 1.04 and 0.79 µg/ml for winter and summer respectively, data which agree with those found in the present study⁽³⁰⁾. Observations confirm that thyroid hormones concentration in dairy cows change inversely with temperature, thus supporting the theory that thyroid hormones secretion diminishes in summer, because T₃ and T₄ concentrations in dry cows showed low serum levels at 32 °C⁽³¹⁾ ambient temperature. Thyroid hormones secretion is also related to feed intake and nutrition in the presence of heat stress, as in the dry period feed intake decreases, resulting in a negative caloric balance which in turn produces a drop in thyroid hormone secretion^(32,33).

Calf birth weight

Approximately 60 % of bovine fetus growth takes place in the last three months of pregnancy, and

expuestas a 32 °C resultaron con reducidos niveles séricos de T₃ y T₄, lo cual apoya la teoría de que la tasa de secreción de estas hormonas tiroideas se reduce en el verano⁽³¹⁾. La secreción de hormonas tiroideas también se relaciona con la nutrición en presencia de estrés calórico, destacando que en el periodo seco también se presenta el fenómeno de bajo consumo de alimento, lo cual provoca un balance de energía negativo, que, a su vez, ocasiona una disminución en la secreción de las hormonas tiroideas^(32,33).

Peso de las crías al nacimiento

Aproximadamente 60 % del crecimiento fetal del bovino se presenta en los últimos 90 días de gestación, por lo que la exposición a altas temperaturas en este periodo puede tener efectos negativos importantes en el crecimiento de la placenta y del feto, así como en la viabilidad del feto y el recién nacido^(6,28). Esto implica que vacas en condiciones de estrés calórico tienden a parir crías con bajos pesos al nacimiento. Es importante notar que a pesar de utilizar diferentes modificaciones ambientales, la mayoría de las investigaciones relacionadas con la disminución del estrés calórico preparto encontraron resultados satisfactorios en PCN utilizando alguna modificación ambiental en su último tercio de la gestación, como el uso de sombras⁽⁸⁾. El baño de vacas dos veces al día mejoró en 3.2 kg el PCN sobre vacas no bañadas en los últimos 60 días antes de la fecha de parto⁽¹²⁾ y el uso de un sistema de enfriamiento basado en aspersores y abanicos mejoró esta misma característica en 2.6 kg en vacas sujetas a este sistema sobre vacas sólo con sombra durante el periodo seco⁽³⁴⁾. Vacas Holstein que tuvieron su periodo seco en verano y fueron sometidas a un sistema de enfriamiento en este periodo, parieron crías con un peso de 34.5 a 45.4 kg, los cuales son similares a los pesos de las crías encontrados en este trabajo cuando las vacas en el mismo periodo estuvieron bajo un sistema de enfriamiento⁽³⁵⁾. Los valores observados de hormonas tiroideas apoyan la tendencia observada en la variable PCN, lo que podría indicar que existe una estrecha relación positiva entre los niveles plasmáticos de estas hormonas y el PCN.

high temperatures could have negative effects on placenta and fetus growth and development and on its viability^(6,28) and also of the new born calf. This means that cows subject to heat stress show a tendency to produce lightweight calves at birth. It should be noted that most of studies carried out on diminution of heat stress in the last third of pregnancy, found good response on calf weight at birth irrespective of the method used, including shade⁽⁸⁾. Bathing cows twice daily in the last 60 d of pregnancy increased calf weight at birth in 3.2 kg⁽¹²⁾ and a cooling system based on spray and fans increased calf birth weight in 2.6 kg respect of calves from cows whose only protection was shade⁽³⁴⁾. Holstein cows whose dry period took place in summer and subject to a cooling treatment, gave birth to calves weighing between 34.5 and 45.4 kg, very similar to those found in the present study for cows in the cooling group⁽³⁵⁾. Thyroid hormones concentration support the trend observed in PCN, which could indicate a positive correlation between them.

Milk production, fat and protein content

Heat stress in the cow's dry period can result in important endocrinal changes, especially in thyroid hormones which can have an adverse effect on milk yield in the following lactation^(5,6,36). Some studies have mentioned a relationship between calf birth weight and postpartum milk production, being greater with higher weighing calves. In response to shade in the dry period, a 4 % increase in milk production at 100 d postpartum, which raises to 12 % when corrected to a 305 d lactation⁽⁸⁾. In addition, an 8.5 % increase in milk yield at 150 d *postpartum* was observed in cows treated with a cooling system in their dry period⁽³⁴⁾. In low humidity and high ambient temperature conditions, a trend to increase milk yield in cows treated with a cooling system in their dry period was observed, and also that cows with high milk production at the beginning of lactation were preceded by calves born with higher weight, which could induce a greater secretion of hormones related to milk synthesis⁽³⁷⁾. Increases of up to 157 kg for the complete lactation were observed in cows with dry period in summer and treated with a cooling system⁽³¹⁾. In the present

Producción de leche y porcentajes de grasa y proteína en leche

El estrés por calor durante el periodo seco puede provocar cambios endocrinos importantes, como alteraciones de hormonas tiroideas, que pueden tener un impacto negativo en la producción láctea del siguiente parto^(5,6,36). Algunos estudios han relacionado el peso de las crías al nacimiento con la producción de leche posparto, observando mayor producción de leche en vacas que parieron crías con mayor peso. En respuesta a la sombra durante el periodo seco, se observó aumento de 4 % en la producción de leche a los 100 días de producción posparto, valor que se incrementó a 12 % considerando la lactancia a 305 días⁽⁸⁾. Asimismo, se observó incremento de 8.5 % en la producción de leche a los 150 días en vacas sometidas a un sistema de enfriamiento durante su periodo seco sobre vacas testigo⁽³⁴⁾. En condiciones de altas temperaturas y baja humedad, se ha observado también una tendencia a mejorar la producción de leche de vacas sometidas a un sistema de enfriamiento durante su periodo seco que vacas sin acceso a este sistema, ya que es posible establecer que vacas lecheras con elevada producción de leche al inicio de su lactancia fueron precedidas de becerros con tendencias a mayor peso al nacimiento, lo que pudo provocar una mayor secreción de hormonas que se encuentran estrechamente relacionadas con la síntesis de leche⁽³⁷⁾. Se ha observado un incremento hasta de 157 kg de leche en la lactancia total en vacas que tuvieron su periodo seco en verano y fueron sometidas a un sistema de enfriamiento⁽³¹⁾.

En el presente estudio, la diferencia en contenido de grasa en leche y la producción de leche ajustada a 3.5 % de grasa fue mayor en favor de los animales enfriados, lo que refleja una tendencia a mejorar estos parámetros productivos como resultado del enfriamiento durante el periodo seco; esta diferencia puede ser mayor si se proporciona enfriamiento durante la etapa inicial de la lactancia, cuando el pico de producción de leche está en su máximo nivel^(38,39). Una disminución en GRL ha sido observada en vacas Holstein en condiciones de estrés calórico; esta depresión es asociada a un menor consumo de forraje, lo que a su vez conduce a un cambio en la proporción de ácido acético:ácido

study, a favorable difference in milk fat content and milk production corrected at 3.5 % fat was seen in cooled animals, which reflects a trend to improve these parameters as a result of cooling in the dry period; and this difference could be greater if cooling were provided in lactation's initial stages, when milk production peaks^(38,39). A decrease in GRL was seen in heat stressed Holstein cows, which could be due to less feed intake, which in turn induce a change in the acetic:propionic acids balance, with negative effects on fat contents^(40,41).

Reproductive variables and culling rate

Cows without access to shade in the final stages of pregnancy showed less ovaric volume and a lower percentage of ovaries with corpus luteum than those with access to shade, however, in days to the first estrus, OD and SPC were similar⁽⁹⁾. It should be mentioned that some reproductive variables took place 100 d postpartum, and taking into account that cooling was carried out 60 d prepartum, its effect could have been irrelevant. This could be the cause for results not showing a definite trend, because also in other studies on this subject, even with postpartum cooling methods, show disparities in reproductive parameters. In the present study, cows in the control group showed lower average DFS and OD, but higher SPC, although this last parameter showed great disparity within the control group. In thermoneutral conditions, a positive energy balance can start at day 42, and owing to this, cows in the cooled group could experience a shorter negative energy balance and start its luteal activity sooner. In this sense, one of the effects due to heat stress in dairy cows is a low conception rate owing to low post-insemination fertilization and high early embryo death^(9,42).

Culling rate results obtained in this study concur with those obtained in others cited in literature^(37,39), for the same causes in cooled and non cooled groups. However, because the timeframe in which cooling was applied is relatively short and culling took place about 10 to 12 mo later, cooling should not be taken as the only cause of differences in culling. That is to say, other environmental factors besides cooling in the dry

propiónico, con la consecuente baja en el porcentaje de grasa en leche^(40,41).

Variables reproductivas y tasa de desecho

Vacas sin sombra al final de la gestación presentaron menor volumen ovárico y menor porcentaje de ovarios con cuerpo lúteo en comparación de vacas con sombra en la misma etapa; sin embargo, los días al primer estro, DA y SPC fueron similares⁽⁹⁾. Cabe mencionar que algunas variables reproductivas ocurrieron hasta 100 días después del parto, y considerando que el enfriamiento ocurrió 60 días antes del parto, su efecto pudo ser nulo. A esto se atribuye que los resultados no muestren una tendencia definida, ya que incluso utilizando sistemas de enfriamiento posparto, otros estudios señalan variación en los parámetros reproductivos. En este estudio, las vacas testigo tendieron a presentar menor DPS y DA promedio, pero más SPC promedio, aunque esta última presentó gran variación en las vacas testigo. En condiciones termoneutrales, el balance de energía positivo puede iniciar a partir del día 42, por lo que vacas del grupo enfriado pudieron experimentar un menor periodo de balance de energía negativo e iniciar su actividad lútea y balance de energía positivo en menor tiempo. En este sentido, uno de los efectos del estrés calórico en la vaca lechera es la reducida tasa de concepción debido a una baja fertilización posinseminación y alta mortalidad embrionaria temprana^(9,42).

Los resultados sobre la tasa de desecho obtenidos en el presente estudio coinciden con otros estudios^(37,39), ya que se notifica un mayor número de vacas desechadas en grupos sin y con sistema de enfriamiento por razones similares a las indicadas en el presente estudio. Sin embargo, debido a que el periodo que comprendió el enfriamiento es reducido y que la ocurrencia del desecho fue de entre 10 y 12 meses después del enfriamiento, las causas no pueden atribuirse sólo al uso del sistema de enfriamiento. Es decir, distintos factores ambientales pudieron conducir al desecho de los animales. Es importante destacar el intenso y prolongado estrés calórico al que se someten vacas Holstein en el valle de Mexicali, ya que existe mortalidad por este efecto,

period could be the reason for culling. It is worth mentioning the intense and prolonged heat stress to which Holstein cows are subject in the Mexicali Valley, which can produce death, and besides that artificial insemination is not carried out from June to September (personal communication from the Asociación Ganadera Local de Productores de Leche de Mexicali A.C.). Therefore, this adverse climate for Holstein cows, whose genetic origin is in cold climates, makes cooling systems a necessity, not only before calving, but also after, when productive and reproductive events of utmost importance take place.

Economic analysis

An economic assessment of a cooling system in this geographical area in summer for dairy cattle, mentions that cows with a cooling system produced 4 kg more than cows provided with shade only, estimating an additional profit of MXP 91.14 in the first year the cooling system was used, this value increases to MXP 1421.40⁽¹¹⁾. With ambient temperatures between 35 and 40 °C, this cooling system can produce benefits of up to MXP 590 per year, which increase to MXP 742 when temperatures rise over 40 °C, if and when relative humidity remains below 30 %⁽²²⁾. Another study, also carried out in summer mentions a profit of USD 2.24 cow/d for cooled cows⁽³⁹⁾ in a shade, spray and fan system. Hence, use of these cooling systems in arid areas worldwide could be an option in intensive dairy production.

CONCLUSIONS AND IMPLICATIONS

It can be concluded that a spray and fan cooling system used 60 d prepartum reduces heat stress in that period, in accordance with respiration rates, rectal temperature and thyroid hormones profiles, and that can improve fat content and fat corrected milk production. The economic analysis of this cooling system shows that benefits due to this practice in dairy farms located in desert climates can start in the first year of use.

End of english version

y además la inseminación artificial se omite de junio a septiembre (comunicación personal Asoc. Gan. Local de Prod. Leche de Mexicali, A.C.). Por tanto, este ambiente adverso para vacas Holstein, cuyo origen genético son climas fríos, hace que los sistemas de enfriamiento sean una necesidad no sólo antes, sino también después del parto, cuando ocurren eventos productivos y reproductivos de gran importancia.

Análisis económico

Una evaluación económica de un sistema de enfriamiento en esta misma zona durante el verano para ganado lechero en producción describe que vacas lecheras sujetas a este sistema produjeron 4 kg de leche más que vacas sólo con sombra, estimando una ganancia de \$ 91.14 durante el primer año de uso del sistema de enfriamiento, la que aumenta a partir del segundo año a \$ 1421.40⁽¹¹⁾. Entre temperaturas de 35 y 40 °C, este sistema puede producir beneficios hasta de \$ 590/año, mientras que con temperaturas mayores a 40 °C, la ganancia puede ascender hasta \$ 742/año, siempre y cuando la humedad relativa no sea mayor a 30 %⁽²²⁾. Un estudio realizado durante el verano sobre el uso de un sistema de enfriamiento con vacas en producción informó una ganancia de 2.24 dólares/día en favor de las vacas enfriadas con este sistema⁽³⁹⁾. Por tanto, el uso de sistemas de enfriamiento a base de abanicos y aspersores en los sistemas de producción lechera de las regiones áridas en el mundo puede ser una opción de manejo ambiental a considerarse en la producción intensiva de leche.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

Se concluye que el uso de un sistema de enfriamiento basado en abanicos y aspersores 60 días antes del parto, reduce el estrés por calor durante este periodo, de acuerdo con los valores de tasa respiratoria, temperatura rectal y perfiles de hormonas tiroideas, y puede mejorar características productivas posparto como el contenido de grasa en leche y la producción de leche ajustada. El análisis económico de este sistema de enfriamiento muestra que los beneficios por la

adopción de esta práctica de manejo ambiental en establos lecheros localizados en zonas desérticas pueden ser obtenidos a partir del primer año de su uso.

LITERATURA CITADA

1. West JW. Nutritional strategies for managing the heat-stressed dairy cow. *J Dairy Sci* 1999;82(Suppl 2):21-35.
2. Beede DK, Collier RJ. Potential nutritional strategies for intensively managed cattle during thermal stress. *J Anim Sci* 1986;62:543-554.
3. Arieli A, Adin G, Bruckental I. The effect of protein intake on performance of cows in hot environmental temperatures. *J Dairy Sci* 2004;87:620-629.
4. Huber JT. Amelioration of heat stress in dairy cattle. In: Phillips CJC editor. *Progress in dairy science*. Wallingford: CAB International; 1996:211-243.
5. Avendaño-Reyes L. Accumulated effect of heat stress during the last 60 days *prepartum* and body condition score on *postpartum* performance of Holstein cows [doctoral thesis]. Starkville, MS, USA: Mississippi State University; 1999.
6. Hansen PJ, Thatcher WW, Ealy D. Methods for reducing effects of heat stress on pregnancy. In: Van Horn HH, Wilcox CJ editors. *Large dairy herd management*. Savoy: Dairy Sci Ass 1993:116-125.
7. Moore RB, Fuquay JW, Drapala J. Effect of late gestation heat stress on postpartum milk production and reproduction in dairy cattle. *J Dairy Sci* 1992;75:1877-1882.
8. Collier RJ, Doelger SG, Head HH, Thatcher WW, Wilcox CJ. Effect of heat stress during pregnancy on maternal hormone concentrations, calf birth weight, and postpartum milk yield in Holstein cows. *J Anim Sci* 1982;54:309-319.
9. Lewis GS, Thatcher WW, Bliss EL, Drost M, Collier RJ. Effect of heat stress during pregnancy on postpartum reproductive changes in Holstein cows. *J Anim Sci* 1984;58:174-186.
10. Armstrong DV. Heat stress interaction with shade and cooling. *J Dairy Sci* 1994;77:2044-2050.
11. Correa-Calderón A, Avendaño-Reyes L, Rubio-Villanueva A, Armstrong DV, Smith JF, Denise SK. Efecto de un sistema de enfriamiento en la productividad de vacas lecheras bajo estrés calórico. *Agrociencia* 2002;36:531-539.
12. Avendaño-Reyes L, Alvarez-Valenzuela FD, Saucedo-Quintero JS, Robinson PH, Correa-Calderón A, Verdugo-Zárate J, *et al.* Uso del baño 60 días antes del parto para aumentar la productividad postparto de vacas Holstein en verano. XI Reunión internacional sobre producción de carne y leche en climas cálidos. JG, Hernández HC Rodríguez editores. Mexicali (Baja California) México: Univ. Autónoma de Baja California; 2001:117-120.
13. García E. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koeppen (para adaptarlo a las condiciones de la República mexicana). 2da ed. México, DF: Instituto de Geografía, UNAM. Universidad Nacional Autónoma de México; 1985.
14. Hahn GL. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *J Dairy Sci* 1999;82(Suppl 2):10-20.

SISTEMA DE ENFRIAMIENTO EN EL PERIODO SECO DE GANADO LECHERO

15. Wildman EE, Jones GM, Wagner PE, Bowman RL, Troutt HF, Lesch TN. A dairy cow body condition scoring system and its relationship to selected production characteristics. *J Dairy Sci* 1982;65:495-501.
16. Hollander CS, Shenkman L. Radioimmunoassays for triiodothyronine and thyroxine. In: Rothfeld, B editor. *Nuclear medicine in vitro*. Philadelphia: Lippincott; 1974:136-149.
17. International Dairy Federation. Milk and milk products, Fat content. General guidance on the use of butyrometric methods. FIL-IDF Stand. 52. Int. Dairy Fed., Brussels, Belgium, 1991.
18. Association of Official Analytical Chemists. *Official Methods of Analysis*. 16th ed. AOAC, Arlington, VA, 1995.
19. BIF. Guidelines for uniform beef improvement programs. 7th ed. Kansas State University, Kansas City: Beef Improvement Federation; 1999.
20. SAS. SAS/STAT User's guide. Software released 9.1.2 SAS Institute Inc., Cary, NC, USA: SAS Institute Inc. 2004.
21. Littell RC, Milliken GA, Stroup WW, Wolfinger RD. *SAS System for mixed models*. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. 1996.
22. Steel RGD, Torrie JH. *Principles and procedures of statistics. A biometrical approach*. 2nd ed. Singapore: Mcgraw-Hill; 1981.
23. Daugherty L. Investment analysis of cow cooling system. Working paper # 79. Dept. of Agricultural Economics, College of Agriculture. Tucson: University of Arizona. 1993.
24. Johnson HD. Environmental management of cattle to minimize the stress of climatic changes. *Int J Biometeorol* 1980;24:65-78.
25. Thompson GE. Climatic physiology of cattle. *J Dairy Res* 1973;40:441-449.
26. Hahn GL, Parkhurst AM, Gaughan JB. Cattle respiration rate as a function of ambient temperature. *Proceed Mid-Central Amer Soc Engineers Conf*; 1997. St. Joseph MI, USA. ASAE:Paper No. MC97-103. 1997.
27. Flamenbaum I, Wolfenson D, Kunz PL, Maman M, Berman A. Interactions between body condition at calving and cooling of dairy cows during lactation in summer. *J Dairy Sci* 1995;78:2221-2229.
28. Roman-Ponce H, Thatcher WW, Buffington DE, Wilcox CJ, Van Horn HH. Physiological and production responses of dairy cattle to a shade structure in a subtropical environment. *J Dairy Sci* 1977;60:424-430.
29. Brown DE, Harrison PC, Hinds FC, Lewis JA, Wallace MH. Heat stress effects on fetal development during late gestation in the ewe. *J Anim Sci* 1977;44:442-448.
30. Refsal KR, Nachreiner RF, Anderson CR. Relationship of season, herd, lactation, age, and pregnancy with serum thyroxine and triiodothyronine in Holstein cows. *Domest Anim Endocrinol* 1984;1:225-232.
31. Bober MA, Becker BA, VaHorta SE, Katti P, Mersching H, Johnson HD, *et al*. The relationship of growth hormone and thyroxine to milk production under heat in Holstein cows. *J Anim Sci* 1980;51(Suppl 1):261.
32. Blum JW, Kunz PL, Leuenberger H, Gautschi K, Keller M. Thyroid hormones, blood plasma metabolites and hematological parameters in relationship to milk yield in dairy cows. *Anim Prod* 1983;36:93-100.
33. Yousef MK, Kibler HH, Johnson HD. Thyroid activity and heat production in cattle following sudden ambient temperature changes. *J Anim Sci* 1967;26:142-149.
34. Wolfenson D, Flamenbaum I, Berman A. Dry period heat stress relief effects on *prepartum* progesterone, calf birth weight, and milk production. *J Dairy Sci* 1988;71:809-818.
35. Thatcher WW, Wilcox CJ, Collier RJ, Eley DS, Head H. Bovine conceptus-maternal interactions during the pre- and *postpartum* periods. *J Dairy Sci* 1980;63:1530-1540.
36. Maust LE, McDowell RE, Hooven NW. Effect of summer weather on performance of Holstein cows in three stages of lactation. *J Dairy Sci* 1972;55:1133-1139.
37. Wiersma F, Armstrong DV. Evaporative cooling dry cows for improved performance. *Proceed International Summer Meeting of the Ameri Soci of Agric Engineers*; Rapid City, SD, USA, ASAE: Working paper # 88-4053:1-7.1998.
38. Molina PDJ. Efecto de la ventilación y aspersión de agua a alta presión sobre la eficiencia productiva y reproductiva de vacas Holstein bajo estrés calórico [tesis maestría]. Mexicali, B.C., México: Universidad Autónoma de Baja California; 2000.
39. Igono MO, Johnson HD, Steevens BJ, Krause GF, Shanklin MD. Physiological, productive, and economic benefits of shade, spray, and fan system versus shade for Holstein cows during summer heat. *J Dairy Sci* 1987;70:1069-1079.
40. Ominski KH, Kennedy AD, Wittenberg KM, Moshtaghi Nia SA. Physiological and production responses to feeding schedule in lactating dairy cows exposed to short-term, moderate heat stress. *J Dairy Sci* 2002;85:730-737.
41. Rodriguez LA. Effects of relative humidity, maximum and minimum temperature, pregnancy and stage of lactation on milk composition and yield. *J Dairy Sci* 1985;68:973-978.
42. Jordan ER. Effects of heat stress on reproduction. *J Dairy Sci* 2003;51(E Suppl):E104-E114.

