

REDVET Rev. electrón. vet. <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet> - <http://revista.veterinaria.org>
Vol. 11, Nº 11 Noviembre/2010 <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n111110.html>

Alteración diurna de la carga calórica corporal e interrelación de las temperaturas rectal y láctea en vacas cruzadas (6/8 *Bos taurus* x 2/8 *Bos indicus*), Pardo Suizo y Holstein bajo estrés calórico diurno durante la época seca en el clima tropical húmedo

(Daytime alteration of body heat load and relationship between rectal and milk temperatures in crossbred (6/8 *Bos taurus* x 2/8 *Bos indicus*), Brown Swiss and Holstein lactating cows under heat stress during summer time in the humid tropical climate)



Araúz, E. E.¹, Fuentes, A.² y Mendez, N.³

1 Profesor Titular de Fisiología Animal, Adaptación y Producción Lechera Tropical. Laboratorio de Fisiología Animal Aplicada y Ciencia Lechera, Departamento de Zootecnia, Programa de Maestría en Producción Animal, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Panamá. David, Chiriquí, Panamá. Fax 772-9383;

email: edilenriquea@gmail.com

2 Profesor Especial de Producción Lechera y Fisiología Animal, Departamento de Zootecnia, CEIACHI, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Panamá y Práctica privada en Producción Lechera.

3 Profesor de Salud Animal en el Programa de Maestría en Producción Animal, Práctica Privada en Fisiopatología Reproductiva en Animales Mayores y Medicina Veterinaria.

Resumen

Las temperaturas rectal y de la secreción láctea y la carga calórica corporal fueron evaluadas en 191 vacas en lactación (cruzadas 6/8 Pardo Suizo x 2/8 Cebú y 6/8 Holstein x 2/8 Cebú: 27; Pardo Suizo: 131; y Holstein: 33); bajo estrés calórico diurno en la época seca distribuidas entre 45 y 1064 msnm; con el objetivo de establecer la alteración diurna y su interrelación según el grupo genético y el grado de sensibilidad calórica. La temperatura ambiental diurna promedio y el ITH ajustado por altitud fue: 45 m (32.47 °C, 87.66), 266 m (32.02 °C, 87.70), 738 m (31.24 °C, 84.51), 840 m (30.14 °C, 83.24) y 1064

m (29.56 °C, 82.99); mientras que la temperatura ambiental máxima a las 12 md fue: 36.6, 36.4, 36.2, 35.8 y 35.4 a las 12:00 MD y el ITH ajustado diurno máximo fue 89.45, 89.34, 85.69, 86.15 y 84.40 ($P > .05$); y por ende; el medio fue caracterizado como fuente de estrés calórico moderado. La producción de leche diaria fue diferente entre los grupos genéticos (vacas cruzadas 6.84 kg/día, Pardo Suizo 15.46 kg/día y Holstein 22.33 kg/día; $P < .0114$); mientras que la producción láctea en la tarde fue 3.16 (46.20 %), 6.92 (44.76 %) y 9.98 kg/vaca (44.69 % de la producción total diaria). La temperatura rectal eutérmica a las 06:00 AM fue 38.60, 38.61 y 38.64 °C ($P > .05$); mientras que la temperatura rectal diurna alterada (2:00 PM a 4:00 PM) fue diferente entre los grupos genéticos (Cruzadas 39.40 °C, Pardo Suizo: 39.68 °C y Holstein 40.06 °C; $P < .001$); pero no la temperatura láctea ($P > .05$); cuyas medias fueron 37.95, 38.16 y 38.20 °C. La sobrecarga calórica diurna máxima en las vacas Cruzadas, Pardo Suizo y Holstein fue: 293.21, 472.06 y 690.84 Kcal; con una presión calórica corporal de 2.97, 4.19 y 5.77 Kcal/kg^{3/4} y una correlación térmica rectal y láctea de 0.134 ($p > .05$), 0.707 ($P < .0001$) y 0.814 ($p < .0001$). La temperatura rectal crítica para alcanzar la temperatura láctea de 38.0 °C fue 40 °C en todos los grupos genéticos. La temperatura rectal máxima sobre el perfil fisiológico normotérmico en las vacas cruzadas, Pardo Suizo y Holstein alcanzó 40.2 °C (+ 1.6), 40.7 °C (+ 2.1) y 41.2 °C (+ 2.6 °C) con una temperatura láctea máxima de 38.7 (+1.4 °C), 39.4 (+2.1 °C) y 39.6 (+2.3 °C). La mayor sensibilidad calórica resultó en las vacas Holstein y Pardo Suizo; seguido de las vacas cruzadas. El estrés calórico diurno moderado a los 45, 266, 738, 840 y 1064 msnm alteró la carga calórica corporal en todos los grupos genéticos; incrementando la temperatura rectal y la temperatura de la secreción láctea; ambos indicadores del estado hipertérmico agudo diurno durante la época seca en el clima tropical húmedo.

Palabras claves: Estrés Calórico, Hipertermia, Índice ITH-Bovinos, Temperatura Rectal, Temperatura Láctea, 6/8 Bos taurus x 2/8 Bos indicus, Pardo Suizo, Holstein, Sobrecarga Calórica, Época Seca, Trópico Húmedo, Micro Ambiente, Fase Diurna Circadiana.

Abstract

Rectal and milk temperatures were measured in the afternoon (2 PM to 4 PM) in 191 lactating dairy cows (6/8 Brown Swiss x 2/8 Zebu and 6/8 Holstein x 2/8 Zebu): 27, Brown Swiss: 131 and Holstein: 33) under heat stress in the tropical environment to evaluate daytime alteration of body heat load and establish the relationship between rectal and milk temperature. Five dairy farms from 45 to 1064 m over sea level were used as the heat stress sources for lactating dairy cows. Daily

environmental temperature and adjusted THI for cattle by altitude were; 32.47 °C and 87.66 (45 m), 32.02 °C and 87.70 (266 m), 31.24 °C and 84.51 (738 m), 30.14 °C and 83.24 (840 m) and 29.56 °C and 82.99 (1064 m); meanwhile, maximum environmental temperature at 12:00 MD by altitude were 36.6, 36.4, 36.2, 35.8 and 35.4 °C as well as maximum adjusted THI were 89.45, 89.34, 85.36, 86.15 and 84.40 ($P > .05$). Therefore, all five stations (dairy farms) were characterized as an environment with potential to exert moderate heat stress. Maximum environmental temperature (31.5 to 37.8 °C) and maximum temperature humidity index for cattle (84.40 to 89.45) confirmed a moderate heat stress grade for dairy cattle. Daily milk yields were different between Crossbred (6/8 *Bos taurus* x 2/8 *Bos indicus*), Brown Swiss and Holstein cows ($P < .0114$); whose means were 6.84, 15.46 and 22.33 kg/day and 3.16 (46.19 %), 6.92 (44.76 %) and 9.98 kg/cow (44.69 %) in the afternoon ($P < .01$). Rectal temperature was also different between breeds ($P < .001$), but not milk temperature ($P > .05$). The biothermal condition in crossbreed, Brown Swiss and Holstein lactating cows showed that rectal temperature in the afternoon were 39.40, 39.68 and 40.06 °C; milk temperature 37.95, 38.16 y 38.20 °C; momentum overheat load 293.21, 472.06 and 690.84 kcal, body heat metabolic pressure 2.97, 4.19 and 5.77 kcal/kg^{3/4} and thermal correlation between rectal and milk temperature were 0.134 ($P > .05$), 0.707 ($P < .0001$) and 0.814 ($P < .001$). Critical rectal temperature in all genetic groups was 40 °C which coincided with 38.0 °C in milk temperature. Maximum rectal temperature in Crossbred, Brown Swiss and Holstein cows were increased reaching 40.2 (+ 1.6), 40.7 (+ 2.1) and 41.2 °C (+ 2.6 °C); meanwhile, milk temperature resulted in 38.7 (+ 1.4), 39.4 (+ 2.1) and 39.6 °C (+ 2.3 °C). Environmental daily moderate heat stress at 45, 266, 738, 840 and 1064 m increased body heat load in Crossbred, Brown Swiss and Holstein lactating cows; therefore, changes in rectal and milk temperature were correlated and increased as body heat balance become positive across daytime to let the hyperthermia be quite sustainably early in the afternoon. The highest sensitivity to environmental moderate heat stress and lower capacity to handle a positive body heat balance across daytime during summer was showed by Holstein and Brown Swiss cows; however, crossbred lactating cows were least sensitive but slightly altered; instead of having genetic zebu influence, some adaptation to heat stress, smallest body mass and lowest milk production under a humid tropical climate.

Keywords: Heat Stress, hyperthermia, THI, Rectal Temperature, Milk Temperature, Lactation, 6/8 *Bos taurus* x 2/8 *Bos indicus*, Brown Swiss, Caloric Balance, Overheat Load, Tropics.

INTRODUCCION Y ANTECEDENTES

La época seca en el trópico húmedo representa el período durante el cual el medio físico y las condiciones climatológicas ofertan en conjunto, la combinación de la temperatura ambiental, humedad relativa, radiación solar directa e indirecta, nubosidad y vientos; haciendo que la condición térmica ambiental sea capaz de ejercer la influencia directa y negativa para alterar la fisiología a corto plazo y modificar las funciones de producción en el ganado bovino; especialmente en el *Bos taurus* tipo leche y carne. La influencia ha sido caracterizada por las alteraciones fisiológicas, metabólicas, hormonales, nutricionales y de conducta; y a su vez asociada con las alteraciones funcionales a mediano y largo plazo en el ganado bovino lechero (Collier *et al.*, 1978,1981, NRC, 1989, 2002, Araúz, 1992, 2005a). En consecuencia, en la época seca se producen las mayores alteraciones fisiológicas inmediatas; incluyendo: producción calórica corporal, frecuencia respiratoria y cardíaca y ajustes sobre los mecanismos de disipación calórica activa (Araúz, 2006b). Estas modificaciones son el resultado de la influencia directa e indirecta del medio físico a través del sistema nervioso; generando cambios funcionales para mantener la homeostasis metabólica (Yousef, 1985); afectando la reproducción (Jordan, 2003), lactación (West, 2003), crecimiento (Curtis, 1981), conducta alimentaria y el consumo de materia seca y nutrientes (McDowell, 1981; NRC, 1989).

La influencia externa del medio físico determina la tasa de presión calórica ambiental y ésta a su vez la magnitud del estrés calórico; con lo cual se genera la modificación metabólica en el cuerpo de los animales homeotermos. En consecuencia, la magnitud de la presión calórica ambiental determina la reacción metabólica, los ajustes cardiovasculares y la termólisis en estrecha relación con el estado fisiológico, la producción de leche, la sensibilidad térmica y la tolerancia genética al estrés calórico (Curtis, 1981; Young *et al.*, 1989).

El ganado bovino presenta una densidad calórica por unidad de masa que difiere entre el núcleo corporal y la región epidérmica; lo cual se conoce como heterotermia regional. En condiciones termoneutrales y de estrés por calor y frío, se mantienen las diferencias térmicas dependiendo de la región corporal; destacándose el núcleo corporal con la mayor densidad calórica; mientras que la piel contiene la menor temperatura corporal que corresponde a la mayor temperatura corporal. En condiciones de estrés calórico, el proceso circulatorio se convierte en la principal fuerza para vectorizar calor del núcleo corporal hacia la superficie epidérmica; facilitando los procesos de la pérdida calórica activa; incluyendo: sudoración, evaporación, jadeo y la respiración forzada (Bligh, 1979; Yousef, 1985; Hansen y Arechiga, 1999). El ganado lechero es muy sensible a la influencia del estrés

calórico y en consecuencia, la rata metabólica y la temperatura corporal se modifican con rapidez; generando un incremento en la carga calórica por unidad de masa según la región corporal y la distancia a partir del núcleo térmico (McNab, 2001).

La temperatura rectal promedio para el ganado lechero adulto es 38.3 °C (Andersson, 1984) con un rango normotérmico entre 38.0 y 39.3 °C; la cual es una forma de medir la carga calórica momentum en el animal. No obstante, la temperatura rectal normal de 38.6 ± 0.5 °C del ganado lechero es utilizada como la referencia térmica. El incremento de la temperatura corporal aumenta la temperatura rectal; producto de una mayor vehiculización térmica sanguínea. La alteración positiva de la heterotermia regional conduce al incremento de la temperatura tegumentaria y de aquellos tejidos y órganos más relacionados con una tasa de aumento determinada por la ubicación topográfica del órgano, actividad metabólica, grado de vascularización, perfusión sanguínea local y distancia con respecto al núcleo térmico corporal (Araúz, 2008).

La capacidad calórica corporal normal de los animales homeotermos es definida como la cantidad de energía calórica que puede mantenerse sin evidenciar cambios en el funcionamiento vital, la conducta y el estado de equilibrio homeostático, homeocinético y homeorrético; manteniendo las potencialidades biológicas y de producción en el caso de los animales de interés zootécnico. Biotermológicamente, la capacidad calórica corporal normal es definida por el contenido de agua y materia seca, el calor específico del agua y la materia seca y por la temperatura corporal normal. Los bovinos adultos tipo leche entre 36 y 60 meses de edad presentan un contenido de agua de 65 % y materia seca 35 % (Hafez y Dyer, 1974); mientras que el calor específico del agua es 1.0 Kcal/kg °C y la materia seca con 0.40 Kcal/kg °C (Curtis, 1981).

La temperatura corporal normal para la vaca de leche en lactación ha sido señalada entre 38.3 y 38.6 °C (Dukes y Swenson, 1985; Fraser *et al.*, 1993); dado la influencia del metabolismo lactacional (Larson, 1985; NRC, 1989, 2001), las actividades locomotoras mínimas (Yousef, 1985), la magnitud de la ingesta alimentaria diaria (NRC, 2001), el proceso de la fermentación ruminal y la liberación calórica del tracto digestivo (NRC, 1989). La compensación termolítica asociada con las pérdida calóricas pasivas (radiación, convección y conducción) y activas (sudoración, evaporación epidérmica y convección respiratoria) que se producen en condiciones termoneutrales y sus alteraciones (Curtis, 1981; McDowell, 1981; Araúz, 2006) determinan el balance calórico momentum; el cual se caracteriza por la elevación de la temperatura en los diversos sectores del cuerpo.

La carga calórica corporal eutérmica se altera cuando las condiciones internas (metabolismo, digestión y locomoción) y el ambiente hacen posible que la energía calórica efectiva en el cuerpo del homeotermo sea superior a la capacidad termolítica pasiva y activa; produciéndose un incremento en la carga calórica que se refleja como un incremento de la temperatura corporal. El incremento de la temperatura corporal por arriba del límite térmico normal a raíz de la influencia ambiental es denominado hipertermia y en esencia refleja hasta cierto punto la influencia del medio calórico externo, la insuficiencia de los procesos termolíticos activos y la reducción en las pérdidas calóricas pasivas. Esto determina que el balance térmico del homeotermo sea incrementado si las condiciones que favorecen la ganancia calórica persiste en el tiempo; lo cual genera un efecto de revote metabólico debido al efecto de la hipertermia sobre la tasa metabólica o efecto de Van't Hoff (Eckert *et al.*, 1994). El excedente calórico o sobrecarga calórica corporal corresponde a la cantidad de energía calórica por unidad de masa corporal que puede sostenerse por arriba de la carga calórica eutérmica; la cual depende del contraste entre las pérdidas y la ganancia calórica, el comportamiento metabólico y la termólisis general (Araúz, 2008).

Las modificaciones de la carga calórica corporal en los homeotermos rumiantes en lactación son evidentes entre el núcleo corporal y la zona tegumentaria. No obstante, la zona rectal y el sistema mamario pueden ser utilizados para evaluar el comportamiento térmico corporal. La alteración en la carga calórica regional del tracto rectal y el complejo mamario puede generarse a partir de la exposición al estrés calórico; siguiendo con la norma termodinámica en los diversos sectores anatómicos; incluyendo los tejidos y fluidos corporales (Dukes y Swenson, 1985). Se desconoce el grado de relación entre la temperatura rectal y la temperatura de la leche en vacas lecheras bajo estrés calórico micro ambiental; en especial, durante el transcurso de la fase diurna en el medio tropical. Esta investigación fue realizada con el objetivo de evaluar y determinar la alteración de la carga calórica e identificar la relación entre la temperatura rectal y la temperatura de la secreción láctea en vacas lecheras Holstein, Pardo Suizo y Cruzadas en lactación bajo la influencia del estrés calórico diurno en la época seca en el clima tropical húmedo.

METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Época anual, caracterización micro ambiental e indicadores del estrés calórico

La investigación fue realizada durante el período diurno entre febrero y abril como parte representativa de la época seca y las mediciones micro ambientales fueron realizadas entre las 08:00 AM y 02:00 PM cada dos horas y entre 06:00 AM y 06:00 PM cada tres horas. El

periodo diurno próximo a los animales fue caracterizado en base a la temperatura ambiental (bulbo seco y bulbo húmedo), humedad relativa, velocidad del viento, radiación solar directa, Índice Temperatura - Humedad para bovinos (ITH) e ITH ajustado por radiación y velocidad del viento; lo cual se realizó durante los días de la medición térmica fisiológica en los animales. El entorno térmico fue caracterizado según el grado de estrés calórico en base al índice de temperatura humedad para bovinos descrito por Armstrong (1994) y el ITH ajustado por radiación solar directa y velocidad del viento fue establecido según Mader et al., (2006). Los demás indicadores micro climáticos fueron determinados por psicrometría según Curtis (1981) y Yousef (1985) en base al perfil gráfico de Chambers. La temperatura diurna de bulbo seco (TAb_s) y bulbo húmedo (TAb_h) fueron determinadas en cada lugar cada dos horas entre 06 am y 06 pm con el termómetro digital, marca HANNA, modelo HI 9040, con rango de sensibilidad -50 a +150 °C.

Animales Experimentales e Información Biológica

Un total de 191 vacas lecheras en lactación fueron empleadas para tomar la temperatura rectal y la temperatura de la secreción láctea en el período correspondiente al ordeño de la tarde entre las 02:00 PM y 04:00 PM; las cuales habían sido expuestas a las condiciones de estrés calórico micro ambiental diurno en la época seca de conformidad con las condiciones descritas en cinco localidades entre los 45 y 1064 m de altitud. Los animales fueron clasificados por su condición genética en cruzados 6/8 *Bos taurus* tipo leche x 2/8 *Bos indicus* (6/8 Pardo Suizo x 2/8 cebú y 6/8 Holstein x 2/8 cebú: 27), Pardo Suizo (131) y Holstein (33) como se ilustra en las figuras I, II y III. Los animales utilizados no presentaron antecedentes recientes de mastitis, problemas pódicos y fueron seleccionadas con un estado lactacional superior a los 20 días de paridas. Ningún animal con historial de antibioterapia en las últimas tres semanas fue incluido. La temperatura rectal fue tomada a partir de 45 minutos después de llegar las vacas a la sala de ordeño, para facilitar la compensación calórica por locomoción.



Figura I: Vacas Cruzadas



Figura II: Vacas Holstein



Figura III: Vacas Pardo Suizo

La condición genética de los animales se estableció en base a los registros reproductivos y genealógicos de cada finca experimental; así como también al criterio técnico racial del fenotipo Holstein y Pardo Suizo; mientras que en los animales cruzados Holstein x Cebú y Pardo Suizo x Cebú se utilizó la referencia fenotípica descrita para bovinos cruzados por Araúz (2008); según el programa de mejoramiento genético y el bioregistro computarizado con el programa Vampp Bovino (CRIPAS, 2008). Los animales experimentales fueron pesados después del ordeño; utilizando una báscula digital electrónica y la producción de leche y el estado lactacional fueron correspondientes a la pesa de leche en la semana; pero dos a cinco días previos a las mediciones fisiológicas térmicas.

Manejo Zootécnico (Alimentación, Salud, Locomoción y Ordeño)

La alimentación para las vacas en lactación consistió en el uso de pasto verde (señal (*Brachiaria decumbens*) en las cinco fincas experimentales con un pastoreo rotacional de 21 a 24 días de descanso y una relación de área de pasto entre 0.85 a 1.0 Ha por cada 95 animales para medio día de pastoreo. El alimento concentrado fue suministrado al momento del ordeño a razón de 3.5 a 6.0 lb/vaca dos veces al día con una suplementación mineral de 45 a 60 g de pecutrin vitaminado/vaca día (Bayer, 2007). Otros ingredientes de la dieta fueron heno de suazi (*Digitaria swazilandesis*) a razón de 1.5 a 2.0 lb/vaca-día y melaza entre 1.75 y 2.25 lb/vaca-día. Todas las fincas mantuvieron el programa de control de salud general fundamentado en control de parásitos internos y externos, control y prevención de mastitis y diagnóstico sérico de brucelosis, tuberculosis y leucosis viral bovina.

La distancia lineal recorrida desde la manga de pastoreo hasta la sala de espera fue medida para el día de la evaluación micro climático y térmico fisiológica en las vacas en lactación. La distancia recorrida fueron las siguientes: Chiriquí (altitud de 45 msnm) 320 m, Portón (altitud 266 msnm) 475 m, Buena Vista (altitud 738 msnm) 1 435 m, Buena Vista2 (altitud 840 msnm) 418 m y Bijao Volcán (altitud 1064 msnm) 378 m y en todas las localidades los animales fueron evaluados

a partir de 45 minutos después de llegar a la sala de espera. El ordeño mecanizado se realizó dos veces por día e incluyó el uso de la higiene del sistema mamario y pezones, despunte lácteo, desinfección de pezones, secado y fijación de pezoneras, ordeño, retiro de pezoneras y sellado con solución iodada glicerizada a razón de 2500 ppm.

Determinación de los Parámetros Fisiológicos y el Estado Calórico Corporal

Los indicadores fisiológicos utilizados fueron la temperatura rectal y la temperatura de la secreción láctea. Ambas temperaturas fueron tomadas con el termómetro micro computarizado, HANNA, modelo HI 9040, con rango de sensibilidad térmica entre -50 a +150 °C. La temperatura láctea fue medida en la muestra de leche de 30 ml inmediatamente después de extraída del cuarto mamario posterior mediante el ordeño manual. Se colocó la muestra en un recipiente de plástico doble con protección aislante interna de resina transparente. La temperatura rectal se obtuvo colocando el termómetro en el recto por 75 segundos hasta mantener la lectura digital estable (ver figuras IV, V y VI); siguiendo el procedimiento descrito por Dukes y Swenson (1985).

La temperatura rectal mínima fue tomada a las 06 AM en 20 vacas en cada localidad; la cual constituyó la referencia eutérmica para cada entorno micro climático; partiendo de que el animal no ha sido expuesto a la radiación solar y ha pasado por todo el período circadiano de menor temperatura ambiental; es decir en las horas de la madrugada. La temperatura rectal fue tomada inmediatamente después del ordeño; habiendo permitido un reposo; incluyendo la espera y el ordeño.

La capacidad calórica de cada animal fue estimada en base a la composición corporal estándar del bovino adulto tipo leche (contenido de agua corporal de 65 % y materia seca corporal 35 % (Hafez y Dyer, 1974); calor específico del agua 1.0 Kcal/kg °C y de la materia seca 0.40 Kcal/kg °C (Curtis, 1981). La capacidad calórica total ($CCT_{Kcal / °C}$), el contenido calórico (CCC kcal), la sobrecarga calórica corporal (SCC kcal) y la presión calórica corporal (PCC kcal/kg^{3/4}) fueron calculados según las siguientes ecuaciones:

$$CCT_{Kcal/°C} = [(Agua_{kg}) (1.0_{Kcal/kg °C})] + [(Materia Seca_{kg}) (0.4_{Kcal/kg °C})]; \text{ Curtis, 1981}$$

$$CCC_{Kcal} = (CCT_{Kcal / °C}) (Temperatura Corporal 6 am °C) \text{ (Hansen, 1986).}$$

$$SCC_{Kcal} = (T_{Rectal Alterada °C} - T_{Rectal eutérmica °C}) (CCC_{Kcal / °C}) \text{ Araúz (2007).}$$

$$PCC_{Kcal/kg}^{3/4} = (SCC) (1 / (PC_{kg}))^{0.75} \text{ (Curtis, 1981; Hansen, 1986; Araúz, 2008).}$$



Figura IV: Higiene Mamaria Pre ordeño



Figura V: Toma de la Muestra de Leche



Figura V: Toma de la Temperatura Láctea



Figura VI: Toma de Temperatura Rectal

Análisis Estadístico y Diseño Experimental

La temperatura rectal tomada en la tarde (de 02:00 a 03:30 pm) y la temperatura de la leche procedente del cuarto mamario posterior fueron analizadas mediante el diseño randomizado más covarianza según el modelo lineal aditivo $Y_{ijk} = \mathbf{u} + \mathbf{A}_i + \boldsymbol{\beta} (X_{ijk} - \bar{\mathbf{u}}) + \mathbf{e}_{(ijk)}$; donde A_i representó los grupos genéticos (Cruzadas, Pardo Suizo y Holstein) y $\boldsymbol{\beta}(X_{ijk} - \bar{\mathbf{u}})$ la producción de leche registrada en el ordeño de la tarde como covarianza y e_{ijk} el residuo. La temperatura ambiental diurna fue analizada según la localidad a través de los cinco subperiodos (AM (6, 9), MD (12) y PM (3, 6) y se utilizó el modelo lineal aditivo $Y_{ijk} = \mathbf{u} + \mathbf{A}_i + \mathbf{B}_k + \mathbf{e}_{(ijk)}$; donde A_i representó las localidades ($i^{mo} = 5$) y B_k los subperiodos diurnos secuenciales ($k^{mo} = 5$). La evaluación secuencial micro climática en cuatro días del mes durante la medición térmica de los animales fue analizada según el modelo $Y_{ijk} = \mathbf{u} + \mathbf{A}_i + \mathbf{B}_k + \mathbf{e}_{(ijk)}$; siendo A_i las localidades de acuerdo a la altitud y B_k los subperiodos durante la fase diurna entre 06:00 AM y 06:00 PM cada tres horas o entre 08:00 AM y 02:00 PM cada dos horas. Los análisis estadísticos fueron realizados según la sección GLM del programa SAS (Statistical Analysis System, 1997, 2001). Las medias y su comparación fueron efectuadas por el método de Tukey modificado según Gill (1978). La tendencia de la temperatura diurna fue analizada por regresión polinomial según la hora diurna entre las

06:00 AM y :06:00 PM cada tres horas o entre 08:00 AM y 02:00 PM cada dos horas; y la temperatura láctea fue asociada con la temperatura rectal mediante regresión y correlación según los procedimientos PROC REG y PROC CORR en la sección GLM del programa SAS (1997).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Entorno micro ambiental y grado de estrés calórico diurno en la época seca

El entorno micro ambiental en las cinco localidades ubicadas entre los 45 y 1064 metros sobre el nivel del mar (msnm) fue caracterizado en la fase diurna (06:00 AM a 06:00 PM) cada tres horas y entre 08:00 AM y 02:00 PM cada dos horas según los indicadores físicos relacionados con el estrés calórico y el bienestar del ganado bovino; incluyendo: temperatura ambiental (mínima, máxima, promedio), humedad relativa (mínima, máxima, promedio), radiación solar, velocidad del viento e índice temperatura humedad ajustado por radiación y velocidad del viento para bovinos ($ITH_{rv\text{-bovinos}}$). Las cinco localidades por altitud presentaron en la fase diurna un comportamiento curvo lineal convexivo para la temperatura ambiental y la radiación solar; con la máxima temperatura ambiental a las 12:00 MD y la zona de mayor presión térmica ocurrió entre las 10:00 AM y 03:00 PM. La temperatura ambiental mínima, máxima y promedio de las cinco localidades no fueron diferentes entre las altitudes de 45, 266, 738, 840 y 1064 msnm en la fase diurna entre las 06 AM y 06 PM en la época seca ($P > .05$).

La temperatura mínima diurna osciló entre 22.1 y 25.2 °C; temperatura diurna máxima entre 35.8 a 37.8 °C y el índice de temperatura - humedad estándar para bovinos fue de 80.02 a 85.16. Sin embargo, el ITH máximo ajustado por radiación y velocidad del viento fue entre 82.99 a 87.66 para el rango de altitud 1064 y 45 msnm sobre el nivel del mar; confirmando el mismo grado de tensión calórica ambiental para todas las localidades en la fase diurna durante la época seca con la tipificación de estrés calórico moderado para el ganado bovino (Chase, 1999; West, 2003; y Mader *et al.*, 2006). Otras características del entorno micro climático fueron la radiación solar directa, velocidad del viento, temperatura máxima y la humedad relativa; resultando estas similares a través de la fase diurna a campo abierto durante la época seca. La caracterización micro climática diurna no indicó que el aumento de la altitud entre 45 y 1064 msnm redujera la magnitud del estrés calórico diurno; ya que el índice de temperatura humedad para bovinos ajustado por radiación y velocidad de viento se mantuvo con la misma intensidad y en consecuencia el potencial calórico para alterar la fisiología general y la carga calórica fue prácticamente homogénea en las cinco altitudes evaluadas (cuadro I).

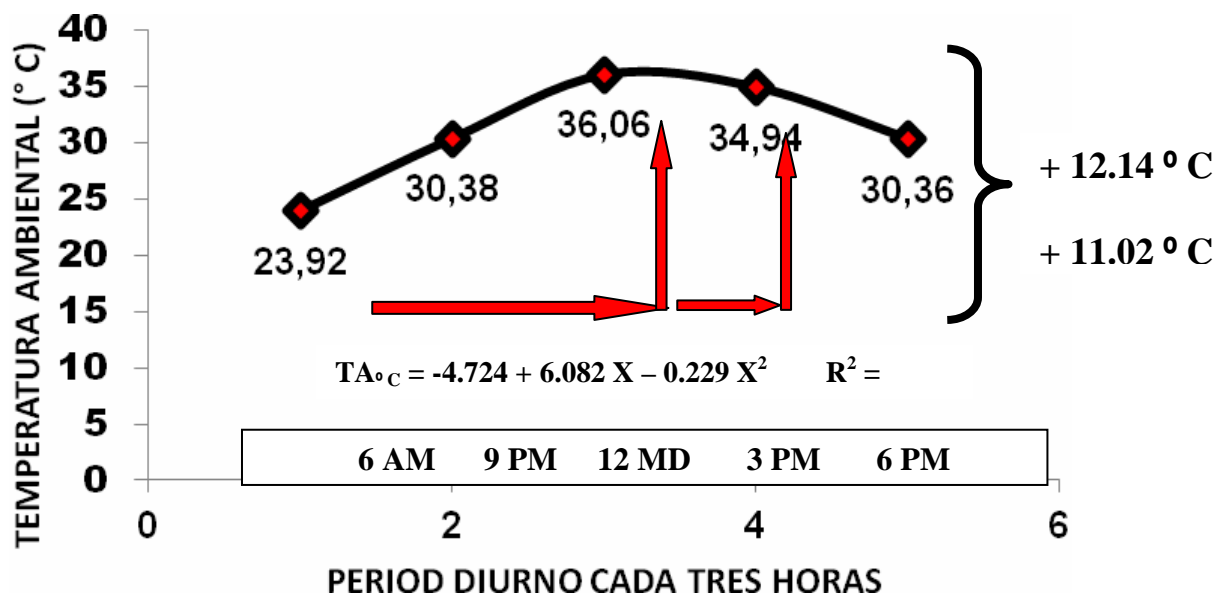
La hora del día no mostró diferencias en la temperatura ambiental entre los microambientes por altitud ($P > .05$); sin embargo, el comportamiento diurno fue curvo lineal para la temperatura ambiental en todas las localidades, especialmente, entre las 09 AM y las 03 PM; con la mayor estabilidad calórica del aire entre las 12:00 MD y las 03:00 PM en todos los sitios evaluados (ver cuadro II, Gráfica I).

Cuadro I: Medias de las condiciones micro ambientales sin sombra natural y/o artificial e indicadores del estrés calórico en el periodo diurno (08 am a 02 pm) en la época seca.

Localidad o Estación por Altitud (m)					
Chiriquí		Portón	B. Vista 1	B. Vista 2	Bijao- Volcán
Altitud (m)	45	266	738	840	1064
Temp. Amb. Bulbo seco	33.30	33.40	31.82	31.18	30.58
Temp. Amb. Bulbo Húmedo	29.60	28.58	24.64	24.10	22.88
Temperatura Máxima °C	37.80	36.70	36.20	35.80	35.40
Temperatura Mínima °C	24.50	25.20	24.30	23.50	22.10
Humedad Relativa Promedio %	58.38	64.45	52.93	51.30	50.30
Humedad Relativa Mínima %	55.2	48.50	45.50	40.50	35.50
Humedad Relativa Máxima %	90.62	88.45	81.78	79.50	78.20
Velocidad Viento (m/s)	1.0075	1.2975	1.2475	1.1700	1.2475
Radiación Solar (W/m^2 s)	0.1970	0.2156	0.2347	0.1735	0.1747
ITH estándar	85.16	84.89	81.53	81.06	80.02
ITH Ajustado (radiación, viento)	87.66	87.70	84.51	83.24	82.99

El entorno micro ambiental diurno de mayor aporte calórico resultó entre las 10:00 AM y 02:00 PM; con una amplificación de hasta las 03:00 PM; encontrándose que el período más crítico trascendió entre 10:00 AM y las 02:00 PM. El incremento de la altitud no modificó apreciablemente la temperatura ambiental y el grado de estrés calórico diurno debido a la influencia de la radiación solar directa; por lo cual, el índice de temperatura – humedad ajustado por radiación y viento se mantuvo dentro de la clase de tensión calórica moderada para el

ganado bovino; y por ende el estrés calórico diario según el ITH fue independiente de la altitud entre los 45 y 1064 msnm en la época seca.



Gráfica I: Medias y comportamiento de la temperatura ambiental diurna entre las 6 AM y 6 PM como un indicador de la carga calórica ambiental durante la valoración térmica rectal y láctea en la época seca.

El ITH diario promedio no fue modificado al cambiar la altitud entre 45 y 1064 m sobre el nivel del mar según el ITH ajustado por la radiación solar y la velocidad del viento para el ganado bovino durante la época seca. Los cinco entornos micro ambientales también fueron evaluados de manera serial cada dos horas entre las 08:00 AM y 02:00 PM por ser este el periodo de acceso a la zona de estrés calórico con anexión de la influencia de la radiación solar. Las localidades con altitud de 45, 266, 738, 840 y 1064 msnm presentaron un promedio de ITH ajustado para bovinos de 89.45, 89.34, 83.06, 83.24 y 82.04 (cuadro III); perteneciendo todas a la misma clase de estrés calórico ambiental.

El grado de estrés calórico es determinado por diversos factores; incluyendo; humedad relativa, temperatura ambiental, radiación solar directa y velocidad del viento (Mader et al., 2006). La influencia del medio calórico puede modificarse empleando sombra natural o artificial; ya que esta reduce la tasa de ganancia calórica exógena, disminuye la alteración metabólica y disminuye la termogénesis obligatoria (Collier et al., 1981; Araúz, 1990, 2008; Jones y Stallings, 2008).

Cuadro II: Dinámica de la temperatura ambiental diurna media de bulbo seco entre las 06 AM y 06 PM en los diferentes micros ambientes por altitud en la época seca.

Medias de la Temperatura Ambiental Diurna de Bulbo Seco (°C)					
Altitud msnm Hora Diurna	I: 45	II: 266	III: 738	IV: 840	V: 1064
06:00 AM	24.5 ^a	25.2 ^a	24.3 ^a	23.5 ^a	22.1 ^a
09:00 AM	32.5 ^b	32.2 ^b	30.1 ^b	31.2 ^b	28.9 ^b
12:00 MD	36.6 ^c	36.4 ^c	36.2 ^c	35.8 ^c	35.4 ^c
03:00 PM	35.6 ^c	35.3 ^c	35.1 ^c	34.2 ^c	33.2 ^c
06:00 PM	31.8 ^b	31.3 ^b	30.5 ^b	29.5 ^b	28.7 ^b
Media Diurna +	32.47	32.02	31.24	30.14	29.56
∑T Abs	161.0 ^a	160.7 ^a	156.2 ^a	154.2 ^a	148.3 ^a

∑T Abs: Carga calórica ambiental diurna. +: Procedente de N= 20 (4 días, 5 periodos).
Medias con letras a b y a c en la columna difieren al 1% (P<.01) y b c al 5 % (P<.05).
Medias con la misma letra en la hilera o columna no difieren al 5 % (P>.05).

El grado de estrés calórico es determinado por diversos factores; incluyendo; humedad relativa, temperatura ambiental, radiación solar directa y velocidad del viento (Mader et al., 2006). La influencia del medio calórico puede modificarse empleando sombra natural o artificial; ya que esta reduce la tasa de ganancia calórica exógena, disminuye la alteración metabólica y disminuye la termogénesis obligatoria (Collier *et al.*, 1981; Araúz, 1990, 2008; Jones y Stallings, 2008).

En los sistemas de producción bovina de leche y carne en el trópico se emplea el pastoreo y por ende los animales reciben una influencia calórica ambiental no solamente a partir de la temperatura ambiental; sino también por la radiación solar directa (Curtis, 1981; Yousef, 1985). La influencia de la radiación solar directa depende de la hora del día, de la postura de los animales, del grado de acceso a la protección con sombra natural, de la longitud del periodo de exposición, de las características morfo simétricas del animal y de la coloración de su pelaje y la piel; así como de la nubosidad, el clima y la geografía. La época seca tropical se encuentra definida regularmente entre diciembre y abril; y corresponde al periodo anual con el mayor grado de influencia calórica diurna para el ganado bovino en el medio tropical y subtropical (Araúz, 2006a); no obstante, la mayor alteración térmica y fisiológica se produce en la fase diurna entre las 10:00 AM y 04:00 PM (Araúz, 1994).

Cuadro III: Indicadores micro climáticos de las estaciones utilizadas para la evaluación térmica rectal y láctea en vacas lecheras en lactación en la fase diurna de la época seca.

Localidad	Parámetro	08 AM	10 AM	12 MD	02 PM	Promedio
CHIRIQUI	TAbs °C	27.2	32.7	36.5	36.8	33.30
Altitud: 45 m	TAbh °C	24.6	28.5	32.5	32.8	29.60
	HR %	79.2	58.3	48.4	47.6	75.42
	VV (m/s)	0.75	0.91	1.21	1.16	1.0075
	RSD(W/m ² s)	0.0694	0.1611	0.2278	0.2194	0.1694
	ITH	77.26	83.08	87.35	87.54	83.81
	ITHRSDVV	80.28	85.78	89.45	89.74	87.66
PORTON	TAbs °C	28.1	33.8	35.9	35.8	33.40
Altitud:266 m	TAbh °C	23.6	29.7	30.1	30.9	28.58
	HR %	71.4	66.2	58.0	62.2	64.45
	VV (m/s)	0.92	1.24	1.56	1.47	1.2975
	RSD(W/m ² s)	0.0778	0.1875	0.2415	0.2346	0.18535
	ITH	77.80	85.69	87.94	88.12	84.89
	ITHRSDVV	80.48	87.73	89.34	89.70	86.82
BUENA VISTA	TAbs °C	26.1	32.5	34.8	33.9	31.82
Altitud:738 m	TAbh °C	21.3	25.1	24.1	24.0	23.63
	HR %	67.3	55.2	42.8	46.4	52.93
	VV (m/s)	1.02	1.54	1.76	1.67	1.2475
	RSD(W/m ² s)	0.0785	0.2064	0.2689	0.2533	0.2018
	ITH	74.97	82.74	84.68	83.74	81.53
	ITHRSDVV	77.44	84.18	85.69	84.93	83.06
BUENA VISTA	TAbs °C	25.3	31.3	33.9	34.2	31.18
Altitud:840 m	TAbh °C	21.1	25.1	25.3	24.9	24.1
	HR %	66.2	52.1	41.4	45.5	51.30
	VV (m/s)	0.86	1.15	1.29	1.38	1.1700
	RSD(W/m ² s)	0.0756	0.1535	0.2335	0.2312	0.1735
	ITH	74.10	81.54	84.21	84.36	81.05
	ITHRSDVV	76.90	83.76	86.15	86.12	83.24
BIJAO	TAbs °C	24.4	31.9	32.9	33.1	30.58
Altitud:1064 m	TAbh °C	20.3	22.8	23.5	24.9	22.88
	HR %	60.5	50.0	45.4	45.3	50.30
	VV (m/s)	0.95	1.25	1.34	1.45	1.2475
	RSD(W/m ² s)	0.0722	0.1653	0.2278	0.2333	0.1747
	ITH	72.91	81.31	82.56	83.26	80.01
	ITHRSDVV	75.53	83.33	84.40	84.88	82.04

TAbs: Temperatura Ambiente de bulbo Seco TAbh: Temperatura Ambiente de bulbo húmedo

HR: Humedad Relativa VV: Velocidad del Viento RSD: Radiación Solar Directa

ITH: Índice de Humedad Temperatura e ITHRSVV: Índice ITH ajustado por Radiación y Viento.

Temperatura rectal y carga calórica en las vacas lecheras bajo estrés calórico en la fase diurna de la época seca.

La temperatura rectal mostró diferencias según el grupo racial ($P < .0001$) y la producción de leche en la tarde; resultando esta última una fuente de covariación sobre la carga calórica ($P < .0001$; ver cuadro IV). La temperatura rectal promedio en las vacas cruzadas, Pardo Suizo y Holstein fue 39.40, 39.68 y 40.06 °C; mientras que la

temperatura rectal máxima resultó en 40.2, 40.7 y 41.2 °C; indicando un diferencial térmico rectal de + 0.5 y + 1.0 °C en las vacas Pardo Suizo y Holstein con respecto a las vacas cruzadas.

La carga calórica corporal fue consistente dentro de cada grupo racial; incluyendo las vacas cruzadas (6/8 *Bos taurus* x 2/8 *Bos indicus*), Pardo Suizo y Holstein; con una variación en la temperatura rectal en 0.96, 1.36 y 1.40 % (ver cuadro III y IV). En consecuencia, el entorno micro ambiental diurno fue lo suficientemente tensivo para afectar de manera homogénea la carga calórica corporal e incrementar la temperatura rectal. La temperatura rectal se modificó en estrecha relación con la influencia calórica del medio ambiente según la temperatura ambiental diurna máxima, la humedad relativa y la radiación solar directa con un mínimo ajuste por la velocidad del viento de acuerdo con las características micro climáticas entre los 45 y 1064 msnm según el ITH ajustado general y sectorizado en la fase diurna de la época seca.

Cuadro IV: Análisis de varianza y covarianza para la temperatura rectal, temperatura láctea y producción de leche diaria total en vacas lecheras bajo estrés calórico diurno durante la época seca.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Cuadrado Medio y Significancia		
		Temperatura Rectal (°C)	Temperatura Láctea (°C)	Producción Diaria de Leche (kg)
Grupo Genético	2	0.11102 ****	0.18091 ns	1907.9044 **
Leche PM, kg	1	0.40500 ****	0.04500 ns	1727.8069 **
Residuo	187	0.00011	0.04500	0.50000

****: Es significativo al .01% ($p < .0001$). **: Significativo al 1% ($p < .01$). ns : no es significativo al 5% ($p > .05$).

El grado de estrés calórico máximo fue moderado con un rango entre 84.40 (1064 msnm) a 89.45 (45 msnm); conduciendo al incremento de la carga calórica corporal tal como indicó la modificación de la temperatura rectal. El ganado bovino lechero presenta una temperatura rectal normal entre 38.0 y 39.2 °C (Andersson, 1984) para el entorno micro ambiental termo neutral (10 a 20°C, Yousef, 1985); ya que la temperatura rectal se modifica cuando el medio ambiente sobrepasa los 24°C en el ganado de leche (Bianca y Hafez, 1973; Curtis, 1981).

La temperatura ambiental diurna de bulbo seco promedio entre las 08:00 AM y 02:00 PM a una altitud de 45, 266, 738, 840 y 1064 msnm fue 33.30, 33.40, 31.82, 31.18 y 30.58 °C; indicando que el medio térmico garantizó la alteración calórica de los animales; siendo el estrés calórico causado por la radiación solar directa, humedad relativa, temperatura ambiental y el índice ITH ajustado por radiación y la velocidad del viento.

La alteración de la temperatura corporal correspondió a una sobre carga calórica; producto de la alteración metabólica y del diferencial en el balance calórico ajustado por pérdidas calóricas activas y pasivas. Los mecanismos de las pérdidas calóricas pasivas y activas y las condiciones del medio no permitieron que el flujo calórico hacia el ambiente mantuviera la temperatura corporal fisiológica. Otros estudios en ganado lechero cruzado en crecimiento y lactación indican que el comportamiento fisiológico y calórico corporal se altera apreciablemente durante el período diurno en la época seca en el medio tropical (Araúz, 1990, 2006a).

La temperatura rectal media de las vacas cruzadas fue 39.40 °C; sin embargo, un 25.9 % de los animales presentaron una temperatura rectal superior a los 39.5 °C. Estas presentaron la menor temperatura rectal, pero sólo un 25.90 % de los animales superó los 39.5 °C (cuadro IV). Las vacas Pardo Suizo mostraron una temperatura rectal promedio de 39.68 °C y un máximo de 40.70 °C; con una alteración en su carga calórica corporal por encima de los 39.2 °C. En éste grupo racial, el 59.30 % de los animales presentó una temperatura rectal superior a los 39.5°C; cuando la temperatura ambiental máxima osciló entre 33.5 y 33.7 °C y el ITH promedio diurno máximo fue entre 84.40 a 89.45.

La mayor sensibilidad calórica resulto en las vacas Holstein y Pardo Suizo frente al entorno ambiental en comparación con las vacas cruzadas; evidenciando la mayor proporción de animales con alteración de la carga calórica corporal. La vacas Holstein presentaron una temperatura rectal promedio en la tarde de 40.06 ± 0.56 °C, cuando la temperatura ambiental diurna máxima resultó entre 31.5 y 33.5 °C con un ITH ajustado entre 82.07 a 87.66 a una altitud sobre el nivel del mar entre 1064 y 45 metros. El 78.79 % de los animales de éste grupo racial presentaron una temperatura rectal superior a los 39.5°C; mostrando la mayor alteración relativa de la carga calórica corporal.

La distribución de las vacas en lactación bajo estrés calórico diurno moderado según la temperatura rectal indicó que la sensibilidad prevalente a la influencia tensiva del microambiente en el grupo cruzado fue 59.30 % entre 39 y 39.5 °C; Pardo Suizo 43.50 % entre 39.5 y 40.0 °C y en la Holstein 36.36 % entre 40.0 y 40.5 °C. La proporción de animales afectados por el estrés calórico en el grupo cruzado entre 39.0 y 40.5 °C fue 85.20 %, en las Pardo Suizo entre 39.0 y 41.0 °C fue 87.85 y en la Holstein entre 39.0 y 41.5 °C fue 96.97 % (cuadro V). La distribución de los animales según el grupo genético y la temperatura rectal indicó que la mayor sensibilidad calórica, respuesta metabólica y alteración térmica corporal ocurrió en las vacas Holstein, Pardo Suizo y en las cruzadas.

Cuadro V: Distribución porcentual de las vacas en lactación cruzadas, Pardo Suizo y Holstein según la clasificación de la temperatura rectal como indicador del estrés calórico diurno durante la época seca.

Distribución (%) Según la Condición Racial			
Clase Térmica Rectal (°C)	Cruzadas	Pardo Suizo	Holstein
37.5 - 38.0	-----	0.76	3.03
38.0 - 38.5	-----	1.53	-----
38.5 - 39.0	14.80	9.91	-----
39.0 - 39.5	59.30	27.50	18.18
39.5 - 40.0	18.50	43.50	27.28
40.0 - 40.5	7.40	14.50	36.36
40.5 - 41.0	-----	2.30	3.03
41.0 - 41.5	-----	-----	12.12

Estado biotérmico, sobrecarga térmica y presión calórica corporal según el grupo genético en vacas lecheras bajo estrés calórico diurno.

El estado biotérmico promedio diurno en las vacas cruzadas, Pardo Suizo y Holstein fue 39.40, 39.68 y 40.06 °C; el peso corporal 457, 545 y 590 kg y la capacidad calórica correspondiente fue 366.51, 437.09 y 473.18 Kcal/°C; condición que evolucionó aumentando según la temperatura rectal a partir de 38.60 (Holstein), 38.61 (Pardo Suizo) y 38.63 °C (Cruzadas) a las 06 am. De acuerdo con la temperatura corporal máxima y la temperatura ideal a las 6 am; las vacas cruzadas $6/8$ *Bos taurus* x $2/8$ *Bos indicus*, Pardo Suizo y Holstein presentaron una sobre carga calórica momentum de 293.21, 472.07 y 690.84 Kcal en estrecha relación con el horario de ordeño en la tarde (01:00 a 03:00 PM). Las vacas Pardo Suizo presentaron una sobrecarga calórica de 472.07 Kcal/kg^{3/4}; y por último las vacas Holstein con 690.84 Kcal/kg^{3/4}. En consecuencia, la presión calórica corporal en las vacas cruzadas, Pardo Suizo y Holstein resultó en 2.97, 4.19 y 5.77 Kcal/kg^{3/4}; reflejando el grado de alteración térmica por unidad de masa metabólica. El estado calórico corporal en las vacas Holstein fue el más comprometido como puede evidenciarse en la temperatura rectal, temperatura láctea y en la sobrecarga calórica; seguida del grupo Pardo Suizo y Cruzadas (cuadro VI).

El grado de estrés calórico moderado ocasionó la alteración térmica corporal; la cual fue diferente según el grupo genético (P<.001), el peso corporal (P<.01) y el potencial lechero (P<.001). Las vacas cruzadas fueron las más tolerantes a la influencia del medio ambiente; debido al menor peso corporal, menor producción de leche y al poseer la ventaja genética de la influencia cebuína. En consecuencia, las vacas cruzadas se concentraron en una mayor proporción en un rango térmico más próximo al valor fisiológico de hasta 38.5 °C con una

media de 39.4 °C; aunque, estas alcanzaron temperaturas rectales tan altas como 41 °C en una pequeña proporción de los animales en las horas más críticas de la carga calórica ambiental (10:00 AM A 02:00 PM). El segundo orden de sensibilidad calórica ocurrió en las vacas Pardo Suizo con la máxima concentración a los 40.0 °C y finalmente las vacas Holstein que presentaron una media térmica de 40.6 °C (ver gráfica II).

Cuadro VI: Medias de los Indicadores del estado biotérmico en vacas lecheras cruzadas, Pardo Suizo y Holstein en lactación bajo estrés calórico diurno en la época seca.

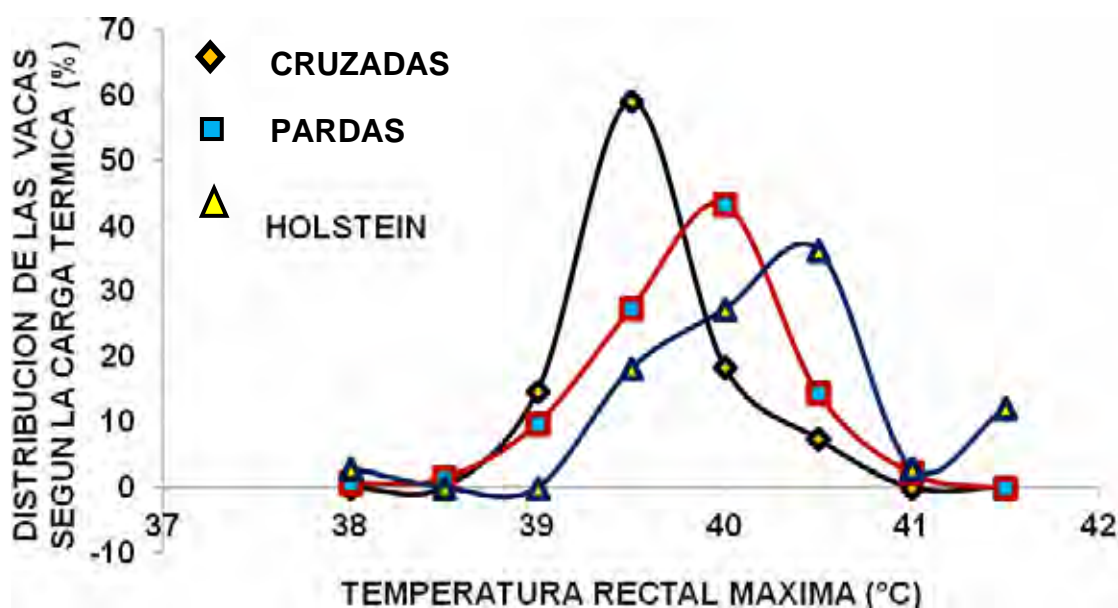
Indicador Biotérmico y Factor Relacionado	Cruzadas	Pardo Suizo	Holstein
Temperatura Rectal Eutérmica (°C)	38.60 a	38.61 a	38.64 a
Temperatura Rectal Alterada (°C)	39.40 a	39.68b	40.06b
Masa Corporal (kg)	457a	545b	590c
Capacidad Calórica (Kcal/°C)	366.51a	437.09b	473.18c
Sobrecarga Calórica Total (Kcal)	293.21a	472.06b	690.84c
Presión calórica corporal (Kcal/kg ^{3/4})	2.97a	4.19b	5.77c

Medias con las letras a b y a c difieren al .01% (P<.0001); b c difieren al .1 % (P<.001) y las medias con la misma letra en la hilera no difieren al 5 % (P>.05).

Las vacas de las razas Holstein y Pardo Suizo presentaron la mayor producción de leche y peso corporal; y por ende mostraron la mayor temperatura rectal y el mayor grado de perturbación metabólico según el estado térmico momentum; evidenciando la mayor sensibilidad ante el estrés calórico moderado en el clima tropical durante la fase diurna en la época seca (cuadro VI y la gráfica II).

Los indicadores biotérmicos en las vacas en lactación de los grupos genéticos cruzado, Pardo Suizo y Holstein indicaron que el aumento del peso corporal y el potencial para la producción de leche constituyen una desventaja en el ganado tipo leche dentro del contexto tropical húmedo para su adaptación aguda; en especial durante la época seca. Sin embargo, se han desarrollado varios sistemas, estrategias y alternativas para mejorar el bienestar del ganado lechero; modificando el entorno físico y disminuyendo la influencia negativa del estrés calórico para mantener la capacidad funcional y biológica reproductiva, lactacional y la salud (Beede y *et al.*, 1986; Collier y Badinga, 1986; West, 2003 y Hansen y Arechiga (1999); para beneficiar una mayor eficiencia bioeconómica.

Las vacas de la raza Holstein mostraron la mayor sobrecarga calórica corporal (690.84 kcal), seguidas de las vacas pardo Suizo (472.06 kcal) y luego las vacas cruzadas (293.21 kcal). La carga calórica corporal acumulada en función de la influencia calórica ambiental y del desbalance calórico mostró la incapacidad para mantener la temperatura corporal dentro del límite biológico eutérmico; destacándose que la vaca lechera Holstein en lactación presenta la mayor sensibilidad al estrés calórico ambiental en la fase diurna en la época seca; seguido de la raza Pardo suizo y del cruce 6/8 *Bos taurus* tipo leche x 2/8 *Bos indicus*.



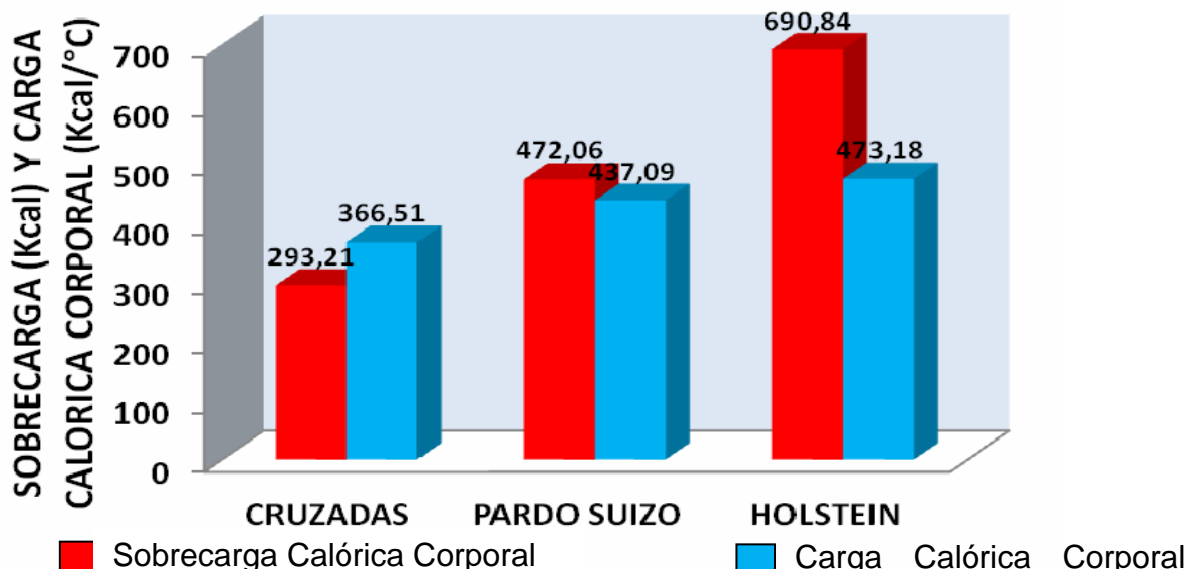
Gráfica II: Influencia del grupo racial sobre la distribución proporcional de las vacas en lactación bajo estrés calórico diurno moderado según la temperatura rectal máxima y la sensibilidad calórica en la época seca.

La presión calórica corporal en las vacas Holstein, Pardo Suizo y Cruzadas fue 5.77, 4.19 y 2.97 kcal/kg^{3/4}; lo cual confirma la alteración del balance calórico corporal (ver Gráfica III). El mayor grado de especialización genética para la producción de leche implica metabólicamente el aumento de la capacidad digestiva en función del peso vivo (Wilcox et al., 1978), un mayor consumo de alimento con alta densidad energético y proteica para satisfacer los requerimientos nutricionales lactacionales (NRC, 1989, 2002) y un mayor grado de actividad glandular para mantener la disponibilidad de nutrientes circulantes para la síntesis láctea (Bauman y Currie, 1980; Collier, 1985; Baumgard et al., 2006). Además, la fase lactacional presenta adaptaciones metabólicas y hormonales que ocurren durante los primeros 90 a 120 días postparto (Butler y Smith, 1989; Ferguson y

Chalupa, 1989); los cuales se encuentran en estrecha relación con la capacidad de síntesis láctea y el balance de nutrientes y la reproducción efectiva (Lucy et al., 2003; Collier et al., 2006).

El balance calórico corporal en las vacas Holstein y Pardo Suizo fue alterado de acuerdo con el ITH ajustado; en especial entre las 10:00 AM y 02:00 PM; cuando el ITH máximo a las 12 MD fue 89.45 (45 msnm), 89.34 (266 msnm), 85.69 (738 msnm), 86.15 (840 msnm) y 84.40 (1064 msnm). La alteración del contenido calórico en todos los grupos genéticos condujo al estado de la hipertermia diurna; el cual estuvo asociado con la sobrecarga calórica momentum promedio de 293.21, 472.06 y 690.84 Kcal y la carga calórica total de 366.51, 437.09 y 473.18 Kcal en las vacas cruzadas, Pardo Suizo y Holstein.

La influencia del entorno calórico efectivo en el ganado lechero determina que el balance calórico eutérmico sea alterado; modificando el comportamiento fisiológico (respiratorio, circulatorio, metabólico y la conducta); con implicaciones negativas en la producción láctea (West, 2003) y el desempeño reproductivo (Badinga et al., 1986; Jordan, 2003); pudiendo afectar igualmente la salud en general y por ende reducir la capacidad de producción y la productividad lechera (St-Pierre et al., 2003). Consecuentemente, se precisa de la utilización de estrategias para reducir la influencia del estrés calórico sobre la productividad lechera (Beede et al., 1986; St-Pierre et al., 2003; Wilson et al., 2010).



Gráfica III: Sobrecarga calórica y carga calórica corporal en vacas en lactación Cruzadas, Pardo Suizo y Holstein bajo estrés calórico en la fase diurna de la época seca.

Temperatura de la secreción láctea en vacas lecheras bajo estrés calórico diurno

La temperatura láctea promedio en vacas cruzadas, Pardo Suizo y Holstein resultó en 37.95, 38.16 y 38.20 °C; mientras que el valor máximo detectado fue 38.70, 39.40 y 39.60°C respectivamente. La temperatura normal de la leche en bovinos bajo condiciones térmicas neutrales se encuentra entre 37.0 y 37.5°C; no obstante, cuando se producen alteraciones en el contenido calórico corporal se modifican los índices térmicos regionales corporales o heterotermia regional (Mcnab, 2001).

La temperatura láctea aumentó ligeramente con el incremento del potencial lechero en los grupos raciales en el orden de cruzadas, Pardo Suizo y Holstein (cuadro VII y Gráfica IV); no obstante, el factor más influyente fue la temperatura corporal derivada según la sensibilidad al estrés calórico micro ambiental (Beede y Collier, 1986) con un excedente calórico corporal derivado de la alteración del balance calórico (Yousef, 1985).

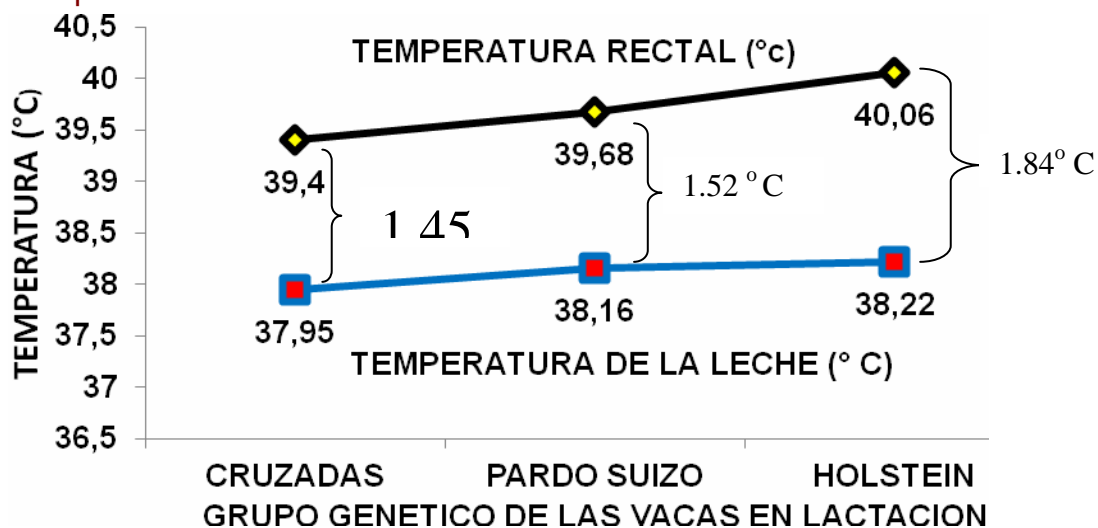
La sensibilidad calórica fue inversa a la producción de leche; no obstante, el estrés calórico tiene mayores consecuencias en el costo energético lactacional al aumentar la sensibilidad calórica (Young *et al.*, 1989) y disminuir la producción de leche momentum (McDowell, 1981). La baja tolerancia calórica y la influencia del estrés calórico conducen a la alteración de la conducta, disminución en el consumo de materia seca (McDowell, 1981; Collier, 1985) y reducción en la producción de leche (NRC, 2002; West, 2003); así como al deterioro de otras funciones; como: reproducción, crecimiento e inmunidad (Collier *et al.*, 2006; Araúz, 2006b). El potencial lechero y el balance de nutrientes durante la lactación afectan el balance calórico (Lucy, 2003; Batista y Araúz, 2010); lo cual repercute en la disminución del desempeño productivo del ganado lechero; aun en las condiciones del medio tropical (Fuentes *et al.*, 2003; Araúz, 2006).

Las vacas cruzadas mostraron la menor temperatura en su secreción mamaria; mientras que las vacas Pardo Suizo y Holstein evidenciaron un mayor contenido calórico, lo cual estuvo correlacionado con la mayor temperatura rectal, el mayor potencial lechero y la mayor sobrecarga calórica corporal. La raza y el potencial lechero fueron condiciones determinantes para la distribución proporcional de las vacas según la temperatura detectada en la secreción láctea. El grupo genético con la mayor aptitud lechera presentó la mayor proporción de animales sobre la temperatura láctea de 37.5°C. Sin embargo, en todos los grupos genéticos se presentó animales con una carga calórica en la secreción láctea aumentada (cuadro VII).

Cuadro VII: Distribución porcentual de las vacas en lactación cruzadas, Pardo Suizo y Holstein según la clasificación de la temperatura láctea como indicador del estrés calórico diurno durante la época seca.

Distribución (%) Según la Condición Racial			
Clase Térmica Láctea (°C)	Cruzadas	Pardo Suizo	Holstein
37.0 - 37.5	11.10	37.40	21.80
37.5 - 38.0	51.90	25.95	30.30
38.0 - 38.5	33.30	19.08	24.80
38.5 - 39.0	3.70	12.21	3.03
39.0 - 39.5	-----	5.34	18.18
39.5 - 40.0	-----	-----	3.03
40.0 - 40.5	-----	-----	-----

Gráfica IV: Tendencia de la temperatura rectal y láctea en vacas lecheras cruzadas, Pardo Suizo y Holstein bajo estrés calórico diurno en la época seca.



Relación entre la temperatura rectal y la temperatura láctea en vacas afectadas por el estrés calórico

La magnitud de la temperatura rectal aumentó a medida que el grupo racial presento una mayor producción de leche; generando una mayor respuesta térmica frente al estrés calórico diurno en la época seca (ver cuadros III y IV). La temperatura láctea también aumentó de conformidad con la habilidad lechera; resultando las vacas Holstein con el mayor cambio térmico en la secreción láctea; confirmando así la mayor sensibilidad calórica. La correlación entre la temperatura rectal

y láctea fue positiva en todos los grupos genéticos; no obstante, las mayores correlaciones resultaron en las vacas Pardo Suizo (0.707) y Holstein (0.814). Esto significa que el aumento de la carga calórica corporal estuvo asociado estrechamente con el incremento térmico en la secreción láctea obtenida durante el ordeño de la tarde.

El incremento de la temperatura rectal estuvo asociado con una reducción en la producción de leche durante la tarde en las vacas Pardo Suizo y Holstein como se muestra en el cuadro VIII. Al correlacionar la temperatura láctea y rectal con la producción láctea de la tarde y diaria, se observó una relación negativa que fue más marcada al aumentar el potencial lechero del grupo genético; es decir en las vacas Holstein (cuadro VIII). La producción de leche de la tarde estuvo relacionada estrechamente con la producción láctea diaria dentro de cada grupo genético; observándose una correlación en la raza Holstein, Pardo Suiza y Cruzadas de 0.95 (P<.001), 0.92 (P<.001) y 0.67 (P<.001).

Cuadro VIII: Matriz de correlaciones para los parámetros de producción de leche y los indicadores térmicos rectal y lácteo en vacas lecheras bajo estrés calórico diurno.

Parámetros Correlacionados	Cruzadas	Pardo Suizo	Holstein
Temp. Rectal vs Temp. Láctea	0.134 ns	0.707 ***	0.814 ****
Temp. Rectal vs Prod. Leche PM	0.322 ns	- 0.174 ns	- 0.323 ns
Temp. Rectal vs Prod. Leche Total	0.405 *	- 0.205 ns	- 0.343 *
Temp. Láctea vs Prod. Leche PM	0.228 ns	- 0.309 *	- 0.399 *
Temp. Láctea vs Prod. Leche Total	0.237 ns	- 0.334 *	- 0.460 **
Prod. Leche PM vs Prod. Leche Total	0.6778 ***	0.918 ***	0.955 ***

ns: No es significativo al 5 % (p>.05); *, ** y *** es significativo al 10, 5, 1 y .1 % (P< .05, .01 y .001).

La temperatura de la secreción láctea (°C) en las vacas cruzadas resultó en la regresión lineal $TL (°C) = 33.25 + 0.1193 TR_{°C}$; evidenciando una gradiente positiva entre la temperatura rectal y la carga calórica de la leche (ver gráfica I). En las vacas Pardo Suizo, la influencia de la temperatura rectal sobre la temperatura de la secreción mamaria durante la tarde fue superior (Temperatura Láctea (°C) = $547.6192 - 26.5035TR_{°C} + 0.344302TR_{°C}^2$ $R^2_{aj.} = 0.523$) y en las vacas Holstein la Temperatura Láctea (°C) = $17.4979 + 0.012896 TR_{°C}^2$ $R^2_{aj.} = 0.652$). La temperatura rectal como indicador de la carga calórica promedio en vacas lecheras cruzadas, Pardo Suizo y Holstein bajo estrés calórico estuvo asociada positivamente con la magnitud de la temperatura de la secreción mamaria obtenida en el ordeño de la tarde.

Otra relación fue la regresión de la producción de leche en función de la temperatura rectal; indicando que la hipertermia impacta negativamente sobre la magnitud de la producción de leche obtenida en el ordeño de la tarde (cuadro IX). La reducción en la producción láctea tiene una relación directa con el grado de estrés calórico recibido, los mecanismos cardiovasculares, el plano hormonal propio de la alerta y la acción antagónica del estado de tensión micro ambiental, uso de la energía y demás nutrientes, control hormonal de la bajada de la leche y eficiencia del ordeño propiamente.

Cuadro IX: Ecuaciones de regresión para predecir la temperatura de la leche según la temperatura rectal en vacas lecheras cruzadas, Pardo Suizo y Holstein bajo estrés calórico diurno durante la época seca.

Raza	Temperatura Láctea Estimada Según la Temperatura Rectal
Cruzadas	Temperatura Láctea (°C) = $33.25 + 0.1193 TR_{\text{c}}$ $R^2_{\text{aj.}} = 0.163$
Pardas	Temperatura Láctea (°C) = $547.6192 - 26.5035TR_{\text{c}} + 0.344302TR_{\text{c}}^2$ $R^2_{\text{aj.}} = 0.523$
Holstein	Temperatura Láctea (°C) = $17.4979 + 0.012896TR_{\text{c}}^2$ $R^2_{\text{aj.}} = 0.652$

En el cuadro IX se muestra que cuando las vacas cruzadas, Pardo Suizo y Holstein alcanzaron una temperatura rectal de 40°C; la temperatura de la secreción láctea alcanzó 38.00, 38.36 y 38.13 °C; lo que indica sólidamente que el estado de hipertermia por influencia ambiental modifica la heterotermia regional; haciendo que los sistemas especializados culminen por alterar el curso del metabolismo y procesos vitales como la circulación, respiración y digestión como parte de los ajustes requeridos para disminuir mantener la homeostasis y la integridad funcional.

Cuadro X: Ecuaciones de regresión para predecir la producción de leche de la tarde según la temperatura rectal en vacas lecheras cruzadas, Pardo Suizo y Holstein bajo estrés calórico diurno durante la época seca.

Raza	Regresión para la Producción de Leche en la Tarde (kg)
Cruzadas	Leche PM (kg) = $- 21.304211 + 0.621053 TR_{\text{c}}$
Pardo Suizo	Leche PM (kg) = $24.022530 - 0.4647620 TR_{\text{c}}$
Holstein	Leche PM(kg) = $- 4121.155091 + 207.182259TR - 2.597067TR_{\text{c}}^2$

La temperatura de la secreción láctea con magnitud de 38.0 °C indica claramente que el animal ha estado expuesto al estrés calórico; y en consecuencia; la temperatura rectal en vacas cruzadas, Pardo Suizo y Holstein debe ser superior a los 39.5 C; alcanzando hasta 41.5°C

(cuadro IX y Gráfica V). El incremento de la temperatura rectal de 39.5 a 41.5°C en vacas cruzadas condujo al aumento de la temperatura láctea de 37.96 a 38.20 °C; que significa un incremento de + 0.24 °C por cada 2.0 °C; cuya relación corresponde con el incremento de + 0.12 °C en la temperatura láctea por cada grado centígrado de aumento en la temperatura rectal.

Las vacas cruzadas presentaron la menor predisposición metabólica y fisiológica para ser afectadas por el estrés calórico moderado durante la fase diurna; ya que fue el grupo genético con la menor producción láctea diaria (6.92 kg), influencia cebuina (1/4 o 25 % de la composición genética) y el menor peso corporal (457 kg). No obstante, en las vacas Pardo Suizo (producción: 15.46 kg de leche/día; peso corporal: 545 kg), la temperatura rectal fue entre 39.5 y 41.5°C; correspondiendo con el incremento de + 2.77°C sobre 37.93°C en la leche. Esto represento una relación de + 1.385°C por cada grado centígrado sobre la temperatura rectal de 39.5°C. Las vacas Holstein (producción: 22.3 kg de leche/día; peso corporal: 590 kg) también mostraron un aumento apreciable de + 2.08°C; indicando la relación de +1.04°C por cada grado centígrado de incremento en la temperatura rectal sobre los 39.5°C en las horas de la tarde. Las vacas Pardo Suizo y Holstein presentaron una alteración apreciable en la temperatura de la secreción láctea, cuando la temperatura rectal aumentó de 39.5 hasta 41.5°C en función de la influencia calórica ambiental moderada a través del periodo diurno en la época seca a una altitud entre 45 y 1064 m en el clima tropical húmedo.

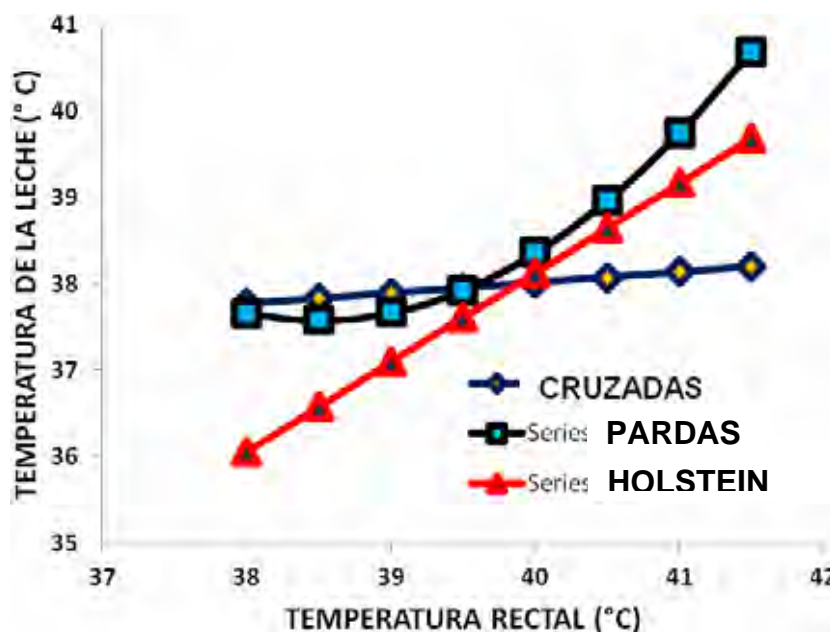
La altitud constituye un factor geográfico que modifica el grado de la tensión calórica ambiental sobre el ganado lechero en lactación; facilitando la compensación calórica corporal y por ende modificando la relación entre la temperatura rectal y láctea. Sin embargo, en el presente estudio en condiciones del trópico húmedo, la misma no fue suficiente para evitar el desplazamiento y la alteración de la carga calórica corporal; en especial en las vacas Holstein y Pardo Suizo. En consecuencia, el grado de estrés calórico no disminuyó durante las horas del día cuando el entorno físico fue evaluado entre los 45 y 1064 msnm; manteniendo la misma categoría según el ITH ajustado en las cinco estaciones por altitud.

El aumento de la temperatura rectal generó colateralmente el incremento marcado de la temperatura láctea como consecuencia de la alteración calórica regional y del sistema mamario en los grupos de vacas con el mayor potencial lechero (Holstein y Pardo Suizo); sin embargo, el efecto fue mínimo en las vacas lecheras con influencia cebuina cuando la densidad calórica corporal fue 38 y 41.5 °C según la temperatura rectal.

Cuadro XI: Temperatura láctea estimada según la temperatura rectal en vacas lecheras cruzadas, Pardo Suizo y Holstein bajo estrés calórico diurno durante la época seca.

Temperatura Rectal (°C)	Temperatura de la Secreción Láctea en la Tarde (°C)		
	Cruzadas	Pardo Suizo	Holstein
38.0	37.78	37.66	36.06
38.5	37.84	37.58	36.58
39.0	37.90	37.67	37.10
39.5	37.96	37.93	37.62
40.0	38.02	38.36	38.13
40.5	38.08	38.97	38.65
41.0	38.14	39.75	39.17
41.5	38.20	40.70	39.70
42.0	38.26	41.82	40.21

La tendencia de la relación de la temperatura rectal con la temperatura láctea fue diferente entre los grupos genéticos ($P < .001$). La temperatura láctea aumentó de manera lineal con el aumento de la temperatura rectal en las vacas Holstein; mientras que en la raza Pardo Suizo la tendencia del aumento fue curvo lineal y finalmente en las vacas cruzadas, el cambio fue lineal con una ligera pendiente positiva (ver gráfica V).



Gráfica V: Trayectoria de la temperatura de la leche según la temperatura rectal en vacas lecheras cruzadas, Pardo Suizo y Holstein bajo estrés calórico diurno en la época seca.

Los cambios térmicos en la secreción láctea fueron marcados según el aumento de la temperatura rectal en las vacas Holstein y Pardo Suizo; evidenciando que el desbalance calórico de estos animales fue

drástico; producto del desplazamiento de la condición normo térmica a partir de las condiciones de mínima tensión calórica (fase nocturna en la madrugada) hasta los cambios calóricos que se desarrollaron a través del día; especialmente entre las 10:00 AM y 02:00 PM a una altitud entre 45 y 1064 msnm durante la época seca en el medio tropical húmedo.

Producción láctea según el grupo genético bajo estrés calórico

Las vacas cruzadas con influencia cebuína y adaptación crónica al estrés calórico presentaron una producción láctea en la tarde de 3.16 ± 0.73 kg y 6.92 ± 1.46 kg/día a pesar de poseer la mayor tolerancia calórica y capacidad de ajuste fisiológico por producción. La producción láctea de la tarde representó el 46.20% de la producción diaria promedio en las vacas cruzadas. Las vacas cruzadas con ventajas como: la influencia cebuína, peso corporal, baja producción de leche (en la tarde y) y la adaptación crónica al estrés calórica ambiental no fueron suficientes para impedir el desarrollo de la alteración térmica a partir del desbalance calórico diurno en la época seca.

El promedio de la producción láctea en las vacas Pardo Suizo durante la tarde fue de 5.58 ± 0.34 kg; mientras que la producción diaria fue de 15.46 ± 4.45 kg/día respectivamente; lo cual correspondió al 44.78% de la producción diaria. El ganado Pardo Suizo es resistente y/o tolerante al estrés calórico por diversas características de su biotipo y la raza (Araúz, 2005b, Araúz, 2006b); no obstante, los resultados encontrados indican que ésta raza también fue afectada apreciablemente en su fisiología térmica y el contenido calórico corporal bajo la influencia diurna de la tensión calórica moderada en el trópico. La raza Pardo Suizo es considerada la segunda en producción de leche (Visser y Wilson, 2006); lo que a su vez constituye una plataforma fisiológica y metabólica de mayor predisposición y sensibilidad calórica, ya que el aumento de la habilidad lechera está correlacionado con el incremento de la tasa metabólica y la producción calórica frente al estrés calórico (McDowell, 1981; NRC, 1989, 2002).

Las vacas Holstein presentaron un promedio de producción de leche de 9.98 ± 2.89 kg en el ordeño de la tarde y un total de 22.33 ± 6.19 kg/día; alcanzando el 44.69% de la producción diaria. No obstante, la temperatura rectal máxima fue de 41.2°C ; evidenciando una sobrecarga calórica corporal de + 8.42%. Las vacas Holstein presentaron la mayor alteración calórica corporal en comparación con el grupo genético Pardo Suizo y Cruzadas.

La diferencia biotérmica bajo el estrés calórico según el grupo genético diurno estuvo asociada con el mayor aislamiento corporal, la mayor

tasa metabólica y el mayor calor digestivo producido en función del tamaño metabólico. La altitud y la temperatura ambiental diurna en las horas de la noche y temprano en la madrugada no representan un comprometimiento fisiológico inmediato; sin embargo, las condiciones diurnas de la época seca modificaron la sobrecarga calórica; alterando la homeotermia y heterotermia en los tres grupos genéticos evaluados.

Cuadro X: Medias de la producción de leche, temperatura rectal y láctea en vacas cruzadas (6/8 *Bos taurus* x 2/8 *Bos indicus*), Pardo Suizo y Holstein bajo estrés calórico durante la época seca.

Raza	Parámetro Fisiológico	Media	DE	Mínimo	Máximo	CV (%)
Cruzadas (6/8 HS x 2/8 C) (6/8 PS x 2/8 C)	Leche PM (kg)	3.16	± 0.73	2.00	4.50	23.10
	Leche Total (kg)	6.84	± 1.46	4.20	9.40	21.35
	Temperatura Rectal (°C)	39.40	± 0.38	38.80	40.20	0.96
	Temperatura Láctea (°C)	37.95	± 0.34	37.10	38.70	0.90
Pardo Suizo	Leche PM (kg)	6.92	± 1.44	3.00	9.40	25.81
	Leche Total (kg)	15.46	± 4.45	7.50	24.40	27.69
	Temperatura Rectal (°C)	39.68	± 0.54	38.40	40.70	1.36
	Temperatura Láctea (°C)	38.16	± 0.59	37.00	39.40	1.55
Holstein	Leche PM (kg)	9.98	± 2.89	4.60	15.00	28.96
	Leche Total (kg)	22.33	± 6.19	10.20	36.00	27.72
	Temperatura Rectal (°C)	40.06	± 0.56	39.00	41.20	1.40
	Temperatura Láctea (°C)	38.20	± 0.72	37.20	39.60	1.88

DE: Desviación Estándar CV (%): Coeficiente de Variación HS: Holstein PS: Pardo Suizo C = Cebú

La distribución de las vacas según la raza y la temperatura rectal indicó que la mayoría de los animales presentaron entre 39.0 y 40.5°C, aunque se observó diferencias entre los grupos raciales, destacándose la mayor sobrecarga calórica en las vacas Holstein y Pardo Suizo (ver cuadro IV). Las vacas Pardo Suizo y Holstein presentaron la mayor proporción de animales entre 39.5 y 41.5°C de temperatura rectal; evidenciando que el aumento del peso corporal y de la producción de leche favorecieron una mayor respuesta calorigénica y una menor capacidad para mantener el balance calórico normotérmico durante la fase diurna en la época seca bajo las condiciones del clima tropical húmedo.

CONCLUSIONES

El período diurno durante la época seca presentó condiciones físicas que determinaron el grado de estrés calórico moderado entre los 45 y 1064 msnm; el cual alteró el balance calórico y modificó la carga calórica corporal; las cuales fueron mostradas a través de las

temperaturas rectal y láctea en las horas de la tarde; incluyendo los grupos genéticos Holstein, Pardo Suizo y Cruzadas en el clima tropical húmedo.

El incremento del contenido calórico en los grupos genéticos estuvo relacionado con la alteración en la heterotermia regional; incluyendo el sistema mamario y por ende se produjo la alteración de la temperatura de la secreción láctea en estrecha relación con la alteración de la temperatura rectal durante el período diurno; representando una modificación térmica aguda.

Las vacas Holstein y Pardo Suizo presentaron el mayor incremento en su contenido calórico corporal; lo cual estuvo asociado con la influencia calórica micro ambiental; mostrando la mayor sensibilidad al estrés calórico, la mayor predisposición metabólica y termogénica y la menor capacidad efectiva para mantener la tasa térmica corporal constante durante la influencia del estrés calórico moderado en el medio tropical durante el periodo diurno en la época seca.

La temperatura láctea de 38°C fue alcanzada cuando las vacas cruzadas, Pardo Suizo y Holstein presentaron una temperatura rectal igual o superior a los 40.0°C; sustentando la condición fisiológica que identifica la presencia del estrés calórico micro ambiental diurno durante la época seca en las vacas en lactación en los tres grupos genéticos (Cruzadas 6/8 *Bos taurus* x 2/8 *Bos indicus*, Pardo Suizo y Holstein).

El grado de sensibilidad calórica según la temperatura rectal bajo el estrés calórico moderado [(ITH ajustado: 89.45 (45 msnm) a 84.88 (1064 msnm)] de mayor a menor le correspondió a las vacas Holstein, Pardo suizo y Cruzadas; y en consecuencia, la alteración térmica corporal y la presión calórica de las razas más sensibles estuvieron asociadas con el mayor potencial para la producción de leche.

El entorno micro ambiental diurno a los 45, 266, 738, 840 y 1064 msnm de altitud presentaron el mismo grado de estrés calórico (moderado); resultando la magnitud de la temperatura rectal y láctea diferentes entre los grupos genéticos, con los mayores cambios térmicos en la raza Holstein y la Pardo Suizo.

Las vacas cruzadas con influencia cebuína, adaptación crónica al estrés calórico y una baja producción de leche mostraron la menor sensibilidad al estrés calórico y en consecuencia; en ellas se produjo los menores cambios térmicos y la menor presión calórica; condiciones estas que resultaron una ventaja funcional en el modelo calórico general del rumiante bajo la influencia del estrés calórico diurno moderado.

RECOMENDACIONES

Utilizar la temperatura láctea durante el ordeño de la tarde como un indicador para determinar si las vacas en lactación han sido expuestas a la influencia del estrés calórico diurno; lo cual se confirma con una carga calórica mínima de 38°C en la secreción mamaria en vacas Holstein, Pardo Suizo y Cruzadas con el sistema mamario normal.

Establecer estratégicamente el uso de la sombra natural o artificial (ver figura VII, VIII y IX) y el empleo de la suplementación diurna (ver figura X), para que los animales reciban protección microambiental al momento que reciben los alimentos (ensilaje, heno, melaza, concentrado, minerales, vitaminas, levaduras y afines) para mantener un soporte nutricional adecuado que cumpla con las metas en biología reproductiva y producción lechera; reduciendo con ello la influencia directa e indirecta del estrés calórico diurno durante la época seca en el clima tropical.

Implementar medidas que contribuyan con el mejoramiento del entorno micro ambiental durante la época seca, en especial, durante el día; tales como: sombra natural y/o artificial y una estrategia de alimentación suplementaria diurna para disminuir el tiempo de exposición a la radiación solar directa; así como la caminata para mantener un balance calórico momentum diario más cercano al patrón fisiológico normotérmico de la vaca en lactación.



Figura VII: Sombra efectiva para animales

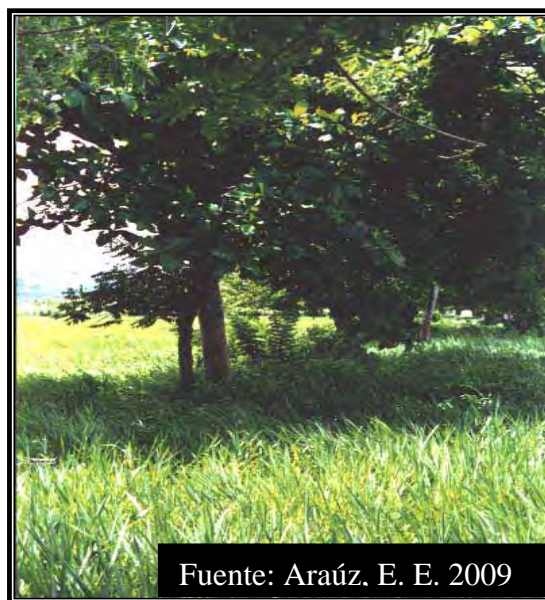


Figura VIII: Sombra dispersa



Figura IX: Sombra Natural y Agua

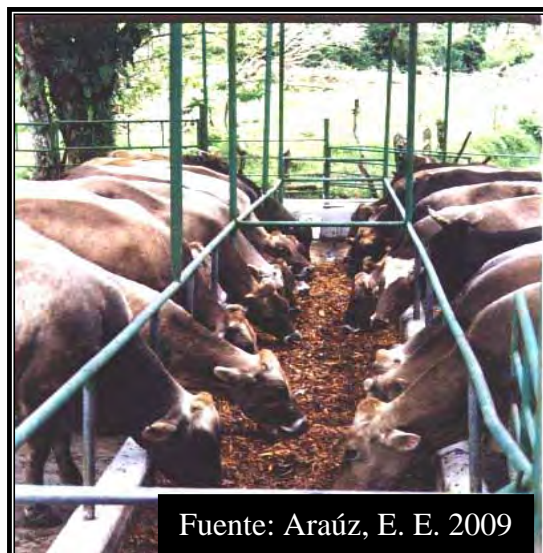


Figura X: Suplementación Diurna

FINANCIAMIENTO

Esta investigación tuvo un costo de \$ 9046.89 y fue financiada por la Universidad de Panamá y la Facultad de Ciencias Agropecuarias (35.02 %), los Productores de Leche Grado A que facilitaron sus fincas, infraestructuras, animales y parte de la logística (60.96 %) y el equipo de investigación (4.02 %); los cuales de manera conjunta hicieron posible el desarrollo del proyecto en sus diferentes etapas.

AGRADECIMIENTO

Se le agradece a los propietarios de las Fincas Lecheras Grado A ubicadas en la Provincia de Chiriquí, República de Panamá: Hacienda Buena Vista (Dr. Jaime Espinosa), Finca Doña Estela (Ing. Eloy Fong y Sr. Roberto Fong), Hacienda Hato Rey (Hermanos Samudio), Finca Los Naranjos en Portón (Sra. Mirtha Goff de Trejos) y al Programa Lechero de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Panamá por permitir y facilitar el uso de las condiciones físicas, animales en lactación y el personal encargado del ordeño que hicieron posible la realización de esta investigación.

BIBLIOGRAFIA

- **Andersson, B. 1984.** Temperature regulation and environmental physiology. En: Dukes' Physiology of Domestic Animals. Cornell University Press, NY, USA pag. 720 - 727.
- **Araúz, E. E. 1990.** Efecto de la tensión calórica durante el período diurno de la época seca sobre el comportamiento fisiológico en el ganado lechero cruzado en lactación y crecimiento. Scientia (Panamá), ISSN 0258-9702, volumen 5, N° 2, pág. 19 - 28.

- **Araúz, E. E. 1992.** Efectos de la tensión calórica en la época seca sobre algunos índices fisiológicos y el estado general en el ganado lechero cruzado en lactación y crecimiento. *Agronomía Mesoamericana* ISSN 1021-7444, volumen 3:34-39.
- **Araúz, E. E. 2005a.** Efectos de la tensión calórica durante la época seca sobre la producción de leche y el desempeño reproductivo en el ganado lechero en el trópico. *Revista Agropecuaria Ecos del Agro*, pág 30-31.
- **Araúz, E. E. 2005b.** Importancia Nutricional del Sistema de Alimentación, Control Reproductivo Postpartum de la Vaca Lechera, Sistema de Registro y Manejo Bioclimático como Estrategia para Mejorar la Eficiencia de la Producción Lechera en Panamá
- **Araúz, E. E, 2006a.** Efecto de la sombra artificial sobre el comportamiento de la temperatura rectal, Frecuencia respiratoria y cardíaca en vacas cruzadas (*6/8 Bos taurus* x *2/8 Bos indicus*) en lactación durante la época seca. *Revista científica de Investigación Agropecuaria, Fac. De Ciencias Agropecuarias, Universidad de Panamá.* Pág. 99 - 109.
- **Araúz, E. E. 2006b.** El estrés calórico y sus efectos negativos sobre la fisiología, metabolismo. Reproducción y eficiencia de la producción en el ganado bovino de leche. Congreso científico agropecuario de la FCA, Departamento de Zootecnia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Panamá.
- **Araúz, E. E. 2008.** Modificaciones térmicas en los animales domésticos bajo estrés calórico micro ambiental. *Fisiología de la Adaptación y Producción Animal.* Departamento de Zootecnia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Panamá.
- **Badinga, L., R. J. Collier, W. W. Thatcher and C. J. Wilcox. 1985.** Effects of climatic and management factors on conception rate of Dairy cattle in subtropical environment. *Journal of Dairy Science* 68 (1): 78 -85.
- **Badinga, L., R. J. Collier, W. W. Thatcher y J. C. Wilcox. 1986.** Effects of heat stress on mammalian reproduction. Sitio web de internet: publicaciones científicas y técnicas; rstb.royalsocietypublishing/content/364/1534/3341.full
- **Bauman, D. E. and W. B. Currie, 1980.** Nutrients partitioning during pregnancy and lactation: A review of mechanisms involving homeostasis and homeorrhesis. *Journal of Dairy Science.* 63: 1514-1529.
- **Batista, J. R. y E. E. Araúz. 2010.** Perfil endocrino y reproductivo durante la lactación relacionado con el anestro postparto y la modulación ovárica para mejorar la eficiencia en la vaca lechera. Sitio web de engormix.com. www.engormix.com/perfil_endocrino_reproductivo_durante_s_articulos_2896_GDL.htm

- **Baumgard, L., H., Laura J. Odens, Jane K. Kay, Robert P. Rhoads, Matthew J. VanBaale and Robert J. Collier. 2006.** Does Negative Energy Balance (NEBAL) Limit Milk Synthesis in Early Lactation? Arizona and New Mexico dairy Newsletter. Cooperative Extension service Department of Animal Sciences, the University of Arizona and New Mexico State University, AZ, USA.
- **Bayer, 2007.** Pecutrin; Mezcla de minerales y vitaminas. Laboratorios Bayer, Alemania
- **Beede, D. K. and R. J. Collier, 1986.** Potential Nutritional Strategies for Intensively Managed Cattle During Thermal Stress. Journal of Animal Sciences 62:543 - 554.
- **Bligh, J. 1979.** The central neurology of mammalian thermoregulation. Neuroscience 4:1214
- **Butler, W. R. and R. D. Smith 1989.** Interrelationships between energy balance and postpartum reproductive function in dairy cattle. Journal of Dairy Science 72: 767 783.
- **Fergusson, J. D. and W. Chalupa. 1989.** Impact of protein nutrition on reproduction in dairy cows. Journal Dairy Science 72:746 – 766.
- **Chase, L. E. 1999.** Climate change impacts on Dairy Cattle. Department of Animal Sciences, Cornell University, NY, USA.
- **Collier, R. J. 1985.** Nutritional, metabolic and environmental aspects of lactation. En: Lactation. Iowa State University Press, Iowa, USA. Pag 80 -128
- **Collier, R., R. A. Pereira y C. J. Wilcox, 1978.** Patrones fisiológicos diarios de vacas bajo sombra en: Conferencia Anual de Ganadería y Avicultura, IFAS, University of Florida, Gainesville, Florida, USA, pag E1 - E7.
- **Collier, R., D. K. Beede and W. W. Thatcher. 1981.** Influences of environment and its modification on dairy animal health and production. Journal of Dairy Science 65:2213 - 2227.
- **Collier, R. J. and D. K. Beede. 1984.** Heat Stress Influences on Dairy animal Health and Production. Dairy Science Department. Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, Gainesville, Florida, USA.
- **Collier, R. J., Dahl, G. E., VanBaale, M. J. 2006.** Major advances associated with environmental effects in Dairy Cattle. Department of Animal Sciences, University of Arizona, Tucson, AR, 85721, USA.
- **CRIPAS, 2008.** Programa Vampp Bovino. Centro de Regional de Informática Aplicada para la Producción Animal Sostenible. Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad de Costa Rica, Heredia, CR.
- **Curtis, S. E. 1981.** Thermoregulation in mammals and environmental influences En: Environmental management in animal agriculture. Illinois, USA.

- **Curtis, S. E. 1981.** Environmental heat stress and its effects on body growth rate. En: Environmental management in animal agriculture. Illinois, USA.
- **Dukes H y M. Swenson, 1985.** Thermoregulatory mechanisms in mammals. En: Physiology of Domestic Animals. Cornell University Press, NY, USA
- **Eckert, R., D. Randall y G. Augustine. 1994.** Efecto de la temperatura en los animales. Dependencia térmica de la Tasa Metabólica. En: Energética Animal y Relaciones con la Temperatura. Fisiología Animal: Mecanismos y Adaptaciones. Capítulo 16, Pag 568 – 569. Editorial Interamericana McGraw-Hill, New York, USA, Pag. 556-570.
- **Fraser, M. C., J. A. Bergeron, A. Mays A. y S. E. Aiello. 1993.** Algunos valores fisiológicos. En: Manual Merck de Veterinaria. Merck & Co., Inc. Rahway, NJ, USA, Pag. 1113.
- **Fuentes, A., E. E. Araúz, P. Guerra y R. De Armas. 2003.** Desempeño Fisiológico, Lactacional y Reproductivo en Vacas Holstein en Condiciones de Producción Intensiva en la Zona Baja de Panamá. Tesis de Maestría en Producción Animal. Departamento de Zootecnia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Vicerrectoría de Investigación y Postgrado, Universidad de Panamá.
- **Gill, J. 1978.** Experimental Designs in Medical and Animal Sciences. Volume II. Iowa State University Press, Ames, Iowa, USA.
- **Gwazdauskas, F. C. 1985.** Effects of climate on reproduction of cattle. Journal of Dairy Science 68 (6): 1568 – 1578
- **Hansen, P. J. 2006.** Body Heat Balance in Dairy Cattle and Thermal alterations during Heat Stress. En: Advanced Environmental Physiology of Domestic Animals, Graduate Program, Department of Dairy Sciences, University of Florida, FL, USA.
- **Hafez, E. S. E. e I. A. Dyer, 1972. Composición del cuerpo animal.** En: Desarrollo y Nutrición Animal. Editorial Acribia, Zaragoza, España. Pag. 21 – 29.
- **Hansen, P. J. and C. F. Arechiga. 1999.** Strategies for Managing Reproduction in the Heat-Stressed Dairy Cow. Journal Animal Science, Vol 77 Pag 36 – 43
- **Lucy, M. C. 2003.** Mechanisms linking nutrition and reproduction in post partum dairy cows. Reproductive Supplement 61:415 – 427.
- **National Research Council, 1989, 2002.** Nutrient Requirements of Dairy Cattle, Academic of Sciences, Washington, USA.
- **Mader, T. L., M. S. Davis and T. Brown-Brandl. 2006.** Factors influencing heat stress in feed lote animals. Journal of Animal Science, 84:712 – 719.

- **McDowell, R. 1981.** Effect of the Environment on Nutrient Requirements of Domestic Animals. WA, USA.
- **Mcnab, B. K. 2001.** Adaptation to Temperature Variation: Homeothermy - Endothermy. En: The Physiological Ecology of Vertebrates. Cornell University Press, Ithaca, NY, USA.
- **Jones, G. and C. Stallings. 2008.** Reducing heat stress for dairy cattle. Virginia Tech Cooperative Extension.
- En: engormix.com/...dairy-cattle/.../reducing-heat-stress-dairy_862.htm -
- **Jordan, E. 2003.** Influences of heat stress on Reproduction in dairy cattle. Journal of Dairy Science 86: (E. Supplement) E104 – E114
- **SAS, 1997.** Statistical Analysis System. North Carolina State University, Raleigh, NC, USA.
- **St-Pierre, N. R., B. Cobanov, and G. Schnitkey. 2003.** Economic Losses from Heat Stress by US Livestock Industries. **Journal of Dairy Science 86:(E. Suppl.):E52–E77**
- **Yousef, M. K. 1985.** Stress Physiology in Livestock. Volumen II, CRC Press, Florida, USA.
- **Young, B. A., B. Walker, A. E. Dixon and V. A. Walker. 1989** Physiological adaptation to the environment. Journal of Animal Science 67:2426 - 2432.
- **Wilcox, Ch., W. Thatcher, h. H. Head and B. Harris. 1978.** Genetic potential for milk production in dairy cattle breeds. En: Large Dairy Herd Management. Edited by Ch. Wilcox, Florida State, University Presses, Gainesville, Florida, USA.
- **West, J. 2003.** Heat Stress affects how dairy cows produce and reproduce. Tifton Experiment Station, Dairy and Animal Science Department, University of Georgia, Athens, GA, USA.
- **Wilson, S.J., R.S. Marion, J.N. Spain, D.E. Spiers, D.H. Keisler, and M.C. Lucy, M. 2010.** Strategies to Improve Cattle Reproduction During Heat Stress.
- www.cattlenetwork.com/...Cattle-Reproduction...Heat-Stress/.../Article.aspx?