

Influencia del color del pelaje sobre el comportamiento térmico corporal, cinética de la sobrecarga calórica y alteración cardiorespiratoria circadiana em vacas lecheras cruzadas (6/8 *Bos taurus* x 2/8 *Bos indicus*) bajo estrés calórico em el trópico húmedo – Influence of hair color on body thermal performance, kinetic of caloric overheat load and heart-respiratory circadian alteration in lactating crossbred dairy cows (6/8 *Bos taurus* x 2/8 *Bos indicus*) under heat stress in the humid tropic



Edil E. Araúz S.



Profesor Titular de Fisiología Animal, Bioclimatología y Bienestar Animal y Producción Lechera. Laboratorio de Ciencia Lechera, Bioclimatología y Fisiología Animal, Departamento de Zootecnia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Sede de Chiriquí, Universidad de Panamá. CEIACHI, Tel 772-9063 Email: edilenriquea@gmail.com

Resumen

El comportamiento térmico corporal circadiano agudo bajo estrés calórico tropical y los cambios en la sobrecarga calórica corporal fueron estudiados en vacas lecheras cruzadas multíparas (6/8 Pardo Suizo x 2/8 *Bos indicus*) clasificadas según el color pardo en las tonalidades claro, gris y oscuro en las épocas seca y lluviosa. El entorno micro climático de la época seca, presentó una temperatura mínima y máxima de 24.6 y 37.8°C, radiación solar máxima de 825.6 Kcal/m² hr, ITH máximo 86.45 e ITH ajustado por RSD y VV de 94.12. El grado de estrés calórico diurno prevalente en la época seca fue severo; no obstante, la adición de la radiación solar directa condujo a un estrés marcado de alto riesgo fisiológico y bioproductivo. La época lluviosa presentó una TAbs mínima y máxima de 23.3 y 34.5 °C, una radiación solar directa de 705.4 Kcal/m² hr, el ITH máximo de 83.45 y el ITH-RSDVV de 94.12 con un grado de estrés calórico moderado. La fase diurna circadiana (06 am – 06 pm) representó la fase de mayor riesgo por estrés calórico en ambas épocas anuales; especialmente en la época seca. El estado fisiológico fue alterado por la época anual (P<.001), el periodo circadiano (P<.0001) y la tonalidad del color del pelaje (P<.01); sin embargo, el peso corporal y la producción de leche no ejercieron una contribución covariativa (P>.05). La temperatura rectal (°C) y la frecuencia respiratoria (No/minuto) más próxima al valor fisiológico

Influencia del color del pelaje sobre el comportamiento térmico corporal, cinética de la sobrecarga calórica y alteración cardiorespiratoria circadiana em vacas lecheras cruzadas (6/8 *Bos taurus* x 2/8 *Bos indicus*) bajo estrés calórico em el trópico húmedo
<http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n070717/071707.pdf>

fue a las 06 am; resultando así: (época seca – Tonalidad parda: 38.30, 30 (clara), 38.5 y 28 (gris) y 38.73°C y 31 respiraciones por minuto (oscura); y en la época lluviosa - tonalidad parda: 37.96 y 54 (clara), 38.37 y 56 (gris) y 38.53 °C 55 respiraciones/minuto (oscura). Los indicadores fisiológicos no fueron diferentes en el subperiodo de mayor bienestar microclimático (06 am) según la tonalidad del color pardo ($P > .05$); pero si el grado en que fueron alterados a través de la fase diurna en la época seca y lluviosa ($P < .0001$). La temperatura rectal máxima en la época seca para las tonalidades del pardo fueron 40.6 (Claro), 41.13 (gris) y 41.90 °C (oscuro); mientras que para la época lluviosa resultó en 39.96 (claro), 40.20 (gris) y 40.56 °C (oscuro). La frecuencia respiratoria máxima en la época seca fue 70 (claro), 80 (gris) y 81 respiraciones/minuto (oscuro) y en la época lluviosa fue 54, 60 y 63 respiraciones/minuto respectivamente. La alteración calórica corporal representó en la época seca + 2.71°C y en la época lluviosa + 1.97 °C sobre la temperatura fisiológica encontrada (38.5 en verano y 38.3 °C en invierno); mientras que la alteración respiratoria en la época seca fue + 47.4 mrpm y en la época lluviosa + 31.12 mrpm. La sobrecarga calórica momentum máxima a la que los animales fueron sometidos en la época seca para las tonalidades pardo claro, gris y oscuro fueron 846.17, 964.16 y 1189.38 Kcal y en la época lluviosa 738.38, 647.64 y 800.33 Kcal en función de la capacidad calórica y la alteración térmica corporal máxima. La alteración térmica y respiratoria estuvo relacionada con un alto índice ITH e ITH ajustado por radicación y viento capaces de producir el desplazamiento fisiológico agudo en las vacas cruzadas (6/8 Pardo Suizo x 2/8 Bos indicus); lo cual fue evidenciado en la fase diurna con una transición decadente en la fase circadiana nocturna. El estrés calórico severo condujo a la formación de la espuma salival, salivación, apertura de la cavidad bucal y proyección de la lengua para aumentar la superficie de contacto para la termólisis bucofaringea auxiliar; confirmando el jadeo en los animales más oscuros en las horas diurnas de mayor estrés calórico en la época seca. El estrés calórico severo en la época seca condujo a hipertermia, salivación, hiperventilación, taquicardia, menos actividad alimentaria y jadeo; modificando no solo la conducta, sino también el estado fisiológico general de los animales. Por ende, es necesario el uso de estrategias integrales y preventivas para evitar y/o reducir el grado de estrés calórico para minimizar las implicaciones negativas en los bovinos tipo leche cruzados para mantener el potencial de producción y la productividad en los modelos y sistemas de la ganadería lechera tropical.

Palabras clave: Estrés calórico, alteración térmica, circadiano, vacas cruzadas 6/8 Pardo Suizo x 2/8 Bos indicus, trópico, época seca, época lluviosa, hipertermia, color del pelaje, Pardo Claro, Pardo Gris, Pardo Oscuro, frecuencia respiratoria, frecuencia cardíaca y temperatura rectal, ITH, ITH_{RSDDV}.

Abstract

The circadian thermal physiological performance through trends and caloric body overheat load changes were studied in lactating multiparous crossbred dairy cows (6/8 Brown Swiss x 2/8 Bos indicus) according to brown hair tone (Clear, gray and black) under heat stress during the summer and rainfall period in the humid tropical environment. The environment during summer time was characterized by minimum (24.6 °C) and maximum ambient temperature (37.8°C), maximum solar radiation of 825.6 Kcal/m² hr, maximum THI of 86.45 and adjusted ITH by direct solar radiation (DSR) and Wind Speed (WS) of 94.12. The degree of heat stress for cattle during summer time ranged from moderate to severe according to those measured indicators of heat stress. Minimum and maximum air temperature were 23.3 and 34.5 °C, direct solar radiation 705.4 Kcal/m² hr, maximum THI 83.45 and THI adjusted by DSR and WS 94.12. The daily circadian period (06 am to 06 pm) was the phase representing the major risk toward heat stress in cattle; including the summer and rainfall periods as a function of the direct solar radiation and air temperature. The physiological patterns in those crossbred dairy cows were altered by the annual season (P<.001), sub period across the circadian daytime (P<.0001) and by hair color (P<.01); however, body weight and milk production did not contributed as covariates (P>.05). Rectal temperature, respiratory frequency and overall behavior were much closer to physiological pattern at 06 am; which were in clear brown: 38.30 and 30; gray brown 38.5, 28 and dark brown 38.73°C, 31 respirations/minute and in the rainfall time – 37.96 and 54 (clear), 38.37 and 56 (gray) and 38.53 °C 55 respiratory movements/minute (black). The physiological indicators showed that best time according to animal welfare transpired from middle night to 06 am; however, they were different across the circadian daytime sub periods as well as by the circadian daily components (P<.0001). Maximum rectal temperature during summer time according to hair colors were 40.6 (Clear), 41.13 (gray) and 41.90 °C (dark) and in the rainfall time they were 39.96 (clear), 40.20 (gray) and 40.56 °C (dark). Respiratory frequency in the summer time were 70 (clear), 80 (gray) and 81 respirations/minute (dark) and in the rainfall time were 54, 60 and 63 respirations/minute (P<.001). Thermal body over load in the summer was + 2.71°C and in the reianfall was + 1.97 °C above normal rectal temperature (38.5 °C in the summer and 38.3°C in rainfall). However, the respiratory alteration in the summer were + 47.4 and during rainfall + 31.12 rmbm. The maximum caloric overheat load in crossbred dairy cows were 846.17, 964.16 and 1189.38 Kcal in clear, gray and dark brown hair color in the summer time and 738.38, 647.64 y 800.33 Kcal in the rainfall time as a function of body heat capacity and maximum thermal alteration: which showed a difference by color between summer and rainfall of + 107.79, + 316.52 and + 389.05 kcal. Body thermal and respiratory alterations were related and increased as THI and adjusted THI (WSDSR) increased too; which represented the physiological acute displacement in lactating crossbred dairy cows (6/8 Brown Swiss x 2/8 Bos indicus) under tropical heat stress. Physiological alterations in lactating crossbred dairy cows exposed to severe heat stress included signs

Influencia del color del pelaje sobre el comportamiento térmico corporal, cinética de la sobrecarga calórica y alteración cardiorespiratoria circadiana em vacas lecheras cruzadas (6/8 *Bos taurus* x 2/8 *Bos indicus*) bajo estrés calórico em el trópico húmedo
<http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n070717/071707.pdf>

such as: liberation of saliva, open the mouth and extention of the tongue to expose internal surface to increase heat dissipation, hyperthermia, hypernea, salivation, hyperventilation, tachycardia, less feeding activity and panting; which all represents negative effects affecting vital processes, behavior, health and production. Therefore, there is a great need to use integrated strategies to prevent and reduced environmental heat stress in order to guarantee animal welfare and to improve tropical cattle production and productivity in therms of animal biology, physiological efficiency, reproductive performance, efficiency using nutrients and health; which must be based on better physical environmental conditions and techniques required for the efficient dairy production models and systems used in dairy cattle under the tropical conditions to maintain de ability for production and efficiency in the tropics.

KEYWORDS: Heat Stress, Thermal Alteration, Circadian, Crossbred dairy cows, 6/8 Brown Swiss x 2/8 *Bos indicus*, Hyperthermia, Hair Color, Clear Brown, Gray Brown and Dark Brown, respiratory frequency, cardiac frequency, body temperature, THI, THI_{WSDSR} , Caloric Overload, Humid Tropic, Salivation

INTRODUCCION Y ANTECEDENTES

La ganadería de leche en las zonas bajas e intermedias de las regiones tropicales emplean genéticamente los cruzamientos del ganado europeo tipo leche por el ganado bovino indostano. Los bovinos cruzados producen mas del 53% de la producción láctea en Panamá (MIDA, 2004; Araúz, 2007; Guevara, 2012; Araúz y Guevara, 2015). Entre los cruzamientos mas utilizados se encuentran el Pardo Suizo x Cebú; el cual muestra combinaciones referenciales en los programas de mejoramiento genético para el medio tropical que es reconocido como $\frac{3}{4}$ Pardo Suizo x $\frac{1}{4}$ Cebú (McDowell, 1985) y el cual ha mostrado tener un alto potencial para la producción lechera tropical. No obstante, este cruce presenta entre múltiples variaciones en su morfo tipo funcional; entre el cual se destacan la tonalidad del color pardo; sobresaliendo el pardo claro, pardo gris y pardo oscuro cuando se mantiene la prevalencia de la Pardo Suizo (Araúz, 2014).

El color del pelaje constituye una de las características importantes para el tegumento animal, la retención calórica de origen solar y por ende que afecta los mecanismos vasculares subepidérmicos que facilitan la vasodilatación, la conducción calórica del núcleo térmico corporal hacia la piel y la termólisis pasiva y activa en los homeotermos. En consecuencia, la evaluación para determinar si la tonalidad del color, en este caso del pardo tiene una influencia sobre la alteración térmica y la sobrecarga calórica en vacas lecheras cruzadas en el medio tropical representa una de las opciones experimentales en la época seca y lluviosa.

Esta investigación fue realizada para evaluar si la coloración del pelaje estaba asociado o influiría en la respuesta térmica, la sobrecarga calórica y el comportamiento fisiológico general circadiano; utilizando los índices respiratorio, térmico rectal, térmico tegumentario, cardíaco y la producción de leche en vacas cruzadas (6/8 *Bos taurus* x 2/8 *Bos indicus*); así como los indicadores del medio físico micro ambiental. La información biológica y fisiológica sería útil para incorporar enmiendas y estrategias técnicas en los planes y programas para el mejoramiento de la producción lechera tropical con énfasis en las áreas nacionales de la zona baja en el trópico para reducir la influencia del estrés calórico micro ambiental si el color estuviese relacionado o fueses importante. De igual modo, parte del interés fue evaluar el comportamiento térmico, la sobrecarga calórica y la alteración cardiorespiratoria en la época seca y lluviosa en vacas lecheras cruzadas según la tonalidad del color pardo (claro, gris y oscuro) del pelaje bajo las condiciones de la tensión calórica en el clima tropical húmedo.

REVISION DE LITERATURA

El color del pelaje y la piel y la emisividad y retención calórica solar

El color de la superficie contribuye significativamente en el grado de retención calórica y en consecuencia, el índice del calentamiento tegumentario en el ganado bovino de color blanco, pardo claro, rojo y negro es 0.50, 0.65, 0.80 y 0.90 (Curtis, 1981); evidenciando que entre más oscuro es el color de la superficie tegumentaria menor será el grado de emisividad calórica. Esto indica que la cantidad de energía calórica retenida y acumulada en el tiempo de exposición en la superficie corporal de los bovinos cambia en función de la tonalidad del pelaje y la piel. En consecuencia, el grado de estrés calórico según la radiación solar directa actúa con una intensidad final creciente si la superficie va desde un claro a un color negro. Por ende, el calentamiento tegumentario y la respuesta fisiológica compensativa aumenta a partir del incremento de la tasa metabólica regional en el tejido afectado por la radiación y a su vez por la sobrecarga calórica de conformidad con el principio de Van't Hoff (Randall et al., 2002). Normalmente, los animales de la misma composición genética son considerados homólogos en su capacidad metabólica (Wilcox et al., 1978; Visser y Wilson, 2006); sin embargo, bajo condiciones, de estrés calórico micro ambiental las diferencias tegumentarias, la tonalidad del pelaje y la pigmentación de la piel deben marcar diferencias para el calentamiento corporal, la termólisis y el balance calórico (Yousef, 1985); lo cual ha sido un indicador para los climas templados durante la estación de verano; destacado que el color del pelaje y la piel mas oscura favorece el mayor calentamiento epidérmico con alteraciones fisiológicas en el clima templado (Da Silva et al., 2003; West, 2003).

En condiciones ambientales donde la radiación solar y la temperatura son altas, se modifica la carga calórica corporal y en consecuencia se altera la temperatura corporal promedio y heterogénea por región anatómica y

sistémica; permitiendo que se establezca la hipertermia acompañada por la hipernea y taquicardia en los bovinos (Arauz, 2015).

El color del pelaje en los bovinos tipo leche es la característica más importante; mientras que el largo del pelaje y la concentración pilar por área epidérmica son secundarios pero deben de ser consideradas; ya que estas determinan la capacidad de aislamiento térmico frente al estrés por frío y no por calor (Yousef, 1985). Las características del pelaje tienen diversas contribuciones; siendo el color importante para determinar la influencia de la radiación y la retención calórica; mientras que el largo y la densidad del pelo son relevantes para el almacenamiento calórico en condiciones donde la temperatura ambiental determina una gradiente térmica que facilita las pérdidas calóricas pasivas; es decir por debajo de los 22 °C en los Bovinos tipo leche y 27 °C en Bovinos cebuínos (McDowell, 1981). Por lo tanto, el pelaje y su coloración tienen importancia relacionada con la influencia de la radiación; mientras que el largo y la densidad del pelaje tienen relevancia con las pérdidas calóricas insensibles y por ende su valor indicativo es de utilidad en el aislamiento térmico tegumentario frente al reto del estrés por frío. El pelaje oscuro y su proporción tegumentaria en estrecha interacción con la magnitud de la radiación solar directa, la superficie expuesta y el tiempo de exposición forman los componentes que facilitan la generación del estrés calórico microambiental para los bovinos en pastoreo (Araúz, 2007); acondicionando y limitado la termólisis pasiva y activa en el modelo del balance térmico en el ganado bovino bajo calor micro ambiental (McGovern y Bruce, 2000).

Medio físico, microclima, radiación solar y estrés calórico tropical en bovinos

Las condiciones diurnas más tensivas del medio tropical incluyen: radiación solar directa (350 a 875 kcal/m² hr), temperatura ambiental (25 a 40 °C) y humedad relativa (50 a 95%); las cuales afectan el comportamiento sistémico y el balance calórico diurno en el bovino *Bos taurus* (Hansen, 1986; West, 2003). El proceso del calentamiento corporal se ve incentivado ya que la radiación solar directa produce un calentamiento tegumentario que modifica la tasa metabólica regional, calienta la atmósfera y el entorno próximo al animal y la humedad relativa aumenta la sensación calórica en los animales homeotermos. El estrés calórico micro ambiental tropical afecta el comportamiento fisiológico y el metabolismo general de manera casi inmediata en los bovinos tipo leche de las razas puras y en los cruzados (Araúz, 2006; 2010); así como las funciones de producción; incluyendo: reproducción (Jordan et al., 2003; Das et al., 2017), gestación y crecimiento (Hafez y Dyer, 1967), consumo de agua y alimento (NRC, 1989, 2001) y producción láctea (West, 2004).

El entorno microclimático que rodea los bovinos puede ser modificado por factores atmosféricos (radiación solar, temperatura, humedad relativa), geográficos (altitud, vegetación, relieve), climáticos (época, estación,

proximidad al área marina), de manejo zootécnico y veterinario (pastoreo, alimentación suplementaria, objetivo de la producción bovina, ciclo de vida del animal, programación sanitaria, intervención humana); así como por la interacción múltiple entre las condiciones físicas y el organismo del ganado bovino lechero (Collier et al., 2006; Hahn et al., 2003; Da Silva, 2015; Das et al., 2017).

La fase circadiana, las variaciones en la radiación solar y el estrés calórico diurno

El periodo circadiano se modifica a través del día y la noche; partiendo de la influencia solar por el calentamiento de la atmósfera, el suelo, las aguas naturales de la superficie terrestre, el pasto, el follaje de las plantas e instalaciones; así como también por el efecto directo de la radiación cuando los animales pasan por una exposición al no estar protegidos por sombra artificial y/o natural. Las condiciones diurnas del medio tropical incluyen la contribución de la radiación solar directa (RSD); la cual determina la carga calórica del aire o entalpia atmosférica; siendo la misma curvilineal a partir de las 09 am hasta las 04 pm cuando el cielo se encuentra totalmente despejado; especialmente en la época seca (Curtis, 1981; Yousef, 1985; Arauz, 2006; Arauz et al., 2010). La alteración térmica del aire conduce al aumento de la temperatura ambiental; siendo la misma de importancia para los bovinos por encima de los 24 °C para el *Bos taurus* (Hansen, 1986; West, 2003) y superior a los 27°C para el ganado cebuino (Yousef, 1985).

Esta condición determina el grado de estrés calórico micro ambiental tropical para los animales domésticos que afecta el comportamiento fisiológico y el metabolismo general de manera inmediata (Araúz, 2006; Cassandra et al., 2008); así como las funciones de producción; incluyendo: reproducción (Jordan, 2004), gestación y crecimiento (Hafez y Dyer, 1967), actividad de pastoreo, consumo de forraje, consumo de materia seca y de agua y alimento (NRC, 1981, 1989, 2001), la producción de leche (West, 2004) y la salud en con las consecuencias agudas y crónicas (Lacetera et al., 2003; Da Silva, 2015).

Las variaciones de la radiación solar en la fase circadiana son aditivas en la medida en que el estrés generado se acumula en el animal; generando agotamiento, fatiga metabólica, desgaste energético y comprometimiento de las reservas y fluidos corporales. En consecuencia, se utilizan estrategias para reducir el grado de estrés ambiental y minimizar las influencias negativas sobre la fisiología y la producción animal (Monteny, 2003; Collier et al., 2003).

El color del pelaje y el comportamiento fisiológico del ganado bovino bajo estrés calórico tropical

Los estudios sobre el estrés calórico indican que el color de la superficie corporal o pelaje y la piel de los animales es un factor determinante sobre la cantidad de energía calórica retenida (Curtis, 1983 y Yousef, 1985); por lo cual el índice de emisividad calórica tegumentaria se ve reducido en la medida que

Influencia del color del pelaje sobre el comportamiento térmico corporal, cinética de la sobrecarga calórica y alteración cardiorespiratoria circadiana em vacas lecheras cruzadas (6/8 *Bos taurus* x 2/8 *Bos indicus*) bajo estrés calórico em el trópico húmedo
<http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n070717/071707.pdf>

el color del pelaje y la piel se hace más oscuros. El color del pelaje influye sobre la tasa de la acumulación calórica en los bovinos; en especial en aquellos con tonalidades entre el gris y el negro por facilitar las mayores retenciones de la energía calórica durante la exposición al sol (Yousef, 1985; Hansen, 1986).

El ganado bovino lechero cruzado sufre alteraciones en su fisiología bajo las condiciones tropicales durante el crecimiento y la lactación (Araúz, 1990); afectando toda la trayectoria del periodo de producción (Guerra et al., 2008); aun cuando se tenga la adaptación crónica por las exposiciones anteriores y cuando se tenga la influencia genética del ganado *Bos indicus*. El ganado lechero cruzado $6/8$ *Bos taurus* x $2/8$ *Bos indicus* en lactación bajo estrés calórico en la época seca sufrió alteraciones apreciables en la temperatura rectal y el índice respiratorio (Arauz et al., 2010).

Las alteraciones del medio físico y sus repercusiones en los bovinos tipo leche reducen su capacidad biológica y productiva; alterando la Fisiología, conducta, el pastoreo y reduciendo el crecimiento (Hafez y Dyer, 1967), la producción de leche (West, 2003; Payne, 2013), la reproducción (Wolfenson et al., 2000; Hansen et al., 2001; Jordan, 2003) y la salud (Collier y Beede, 1984; Collier et al., 2006). De allí, que se han sugerido y utilizado varias estrategias para el manejo del ganado lechero bajo estrés calórico en áreas templadas y tropicales (Wilcox et al., 1978; Hansen y Arechiga, 1999; Shearer et al., 2013; Habib y Shahryar, 2013). No obstante, no se han incluido factores como el color del pelaje y la época anula para diferenciar el comportamiento fisiológico térmico y la sobrecarga calórica en vacas cruzadas Pardo Suizo x *Bos indicus* en la época seca y lluviosa en el clima tropical. En consecuencia, el objetivo de esta investigación fue determinar si la respuesta fisiológica y el almacenamiento calórico corporal son afectados por el color del pelaje cuando los animales no tienen protección ambiental ante el estrés calórico diurno tropicales en las épocas seca y lluviosa en Panamá.

MATERIALES Y METODOS

Ubicación geográfica y área del estudio

El estudio fue realizado en el Programa Lechero de la Facultad de Ciencias Agropecuarias en Chiriquí; en el Centro de Enseñanza e Investigación Agropecuaria de Chiriquí (CEIACHI) de la Universidad de Panamá. El área geográfica experimental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias está ubicada entre las coordenadas de 8.394407 a 82.330044 según la ubicación geodésica (Map Sources, Internet, 2012), con una altitud de 45 msnm y la proyección geográfica es próxima a la zona costera del pacífico. El clima esta caracterizado como tropical húmedo de sabana con vegetación conformada por pasturas, arbustos y árboles variados propio del tipo de suelo ultisol con alta proporción de arcilla y suelos ácidos; complementados con las áreas aluviales próximas al Rio Chiriquí.

Hipótesis del estudio

La hipótesis integral de la presente investigación estuvo sustentada en la siguiente opción:

Hi: El tono de la coloración del pelaje en las vacas lecheras cruzadas (6/8 *Bos taurus* x 2/8 *Bos indicus*) en producción afecta la respuesta térmica corporal, la sobre carga calórica y el comportamiento cardiorespiratorio circadiano bajo estrés calórico micro ambiental circadiano en el trópico húmedo según la época anual.

Ho: El tono de la coloración del pelaje en las vacas lecheras cruzadas (6/8 *Bos taurus* x 2/8 *Bos indicus*) en producción no afecta la respuesta térmica corporal, la sobre carga calórica y el comportamiento cardiorespiratorio circadiano bajo estrés calórico micro ambiental circadiano en el trópico húmedo según la época anual.

Perfil genético y biológico de los animales experimentales

Un total de nueve animales experimentales clasificados por color del pelaje en Pardo Claro, Pardo Gris y Pardo Oscuro fueron utilizados para la toma de los indicadores fisiológicos bajo condiciones de estrés calórico micro ambiental. Los animales experimentales fueron vacas lecheras multíparas cruzadas (6/8 Pardo Suizo x 2/8 *Bos indicus*); las cuales fueron seleccionadas en base a su estado lactación (50 a 70 días postparto); tomando en cuenta su árbol genealógico, el cual debió partir de la raza Pardo Suizo x *Bos indicus*; habiéndose cumplido dos generaciones de cruzamientos (F2) con base al cruce de Pardo Suizo x Cebú y el fortalecimiento del Pardo Suizo a través de la Inseminación Artificial para genera el 6/8 Pardo Suizo y 2/8 *Bos indicus*. Los animales debieron tener un estado lactacional entre 50 y 70 días y se les tomo el peso corporal por pesaje directo y la producción de leche diaria en la semana previa producto del pesaje en la mañana y la tarde en un ordeño cada 12 horas. Los animales fueron sangrado en la en la vena yugular para realizar el análisis hematimétrico estándar (hematocrito, hemoglobina, conteo de glóbulos rojos y glóbulos blancos).

El análisis de sangre se realizó en la unidad de hematología computarizada del Laboratorio de Fisiología Animal (MINDRAY 3000Plus Autoanalyzer). El registro reproductivo individual fue extraído de la base de datos del programa vampp bovino leche para definir el estado lactacional y el momentum en la fase de producción.

Indicadores Fisiológicos

La temperatura rectal y tegumentaria y los índices respiratorio y cardiaco fueron evaluados cada tres horas a partir de las seis de la mañana en el ciclo de 24 horas en la época seca y lluviosa. La temperatura rectal se midió con el termómetro digital Hanna modelo 3219 y la frecuencia cardiaca y respiratoria mediante estetoscopia cronometrada; siguiendo el procedimiento de Dukes y Swenson (1995) con el complemento del patrón biofuncional y referente del bovino tipo leche en sus indicadores fisiológicos descritos por Fraser et al., (1993). La temperatura tegumentaria fue medida con el termómetro digital

Influencia del color del pelaje sobre el comportamiento térmico corporal, cinética de la sobrecarga calórica y alteración cardiorespiratoria circadiana em vacas lecheras cruzadas (6/8 *Bos taurus* x 2/8 *Bos indicus*) bajo estrés calórico em el trópico húmedo
<http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n070717/071707.pdf>

laser, Nube Modelo NUB8380 con rango de detección calórica entre -50 y 360 °C; tomada a una distancia de de 25 cm de la piel en la zona media del cuello. La alteración de la carga calórica máxima ($ACC_{\circ C}$) fue establecida con la temperatura rectal máxima ($TRMAX_{\circ C}$) y la temperatura rectal mínima ($TRMIN_{\circ C}$) detectada en el subperiodo circadiano de las 06 am; a través de la siguiente expresión: $ACC_{(\circ C)} = (TRMAX_{\circ C}) - (TRMIN_{\circ C})$.

La alteración respiratoria (AR) fue establecida al sustraer la Frecuencia Respiratoria Próxima al valor fisiológico (FRMIN) de las 06 am menos la frecuencia respiratoria máxima alcanzada (FRMAX) bajo la influencia del estrés calórico que permitió generar el grado de alteración respiratoria genérica (ARG); en base a las siguientes expresiones:

$$ARG \text{ (No/minuto)} = FRMAX \text{ (No/min)} - FRMIN \text{ (No/min)}$$

$$ARG \text{ (\%)} = [AR \text{ (No/min)}] / FRMIN \text{ (No/min)} * 100$$

La sobrecarga calórica máxima momentum (SCMM) fue establecida utilizando los coeficientes establecidos para el ganado lechero en base al peso corporal (PC), calor específico del agua ($CE_{H_2O} = 1.0 \text{ Kcal kg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$) y la materia seca en el cuerpo animal ($CE_{MSCA} = 0.4 \text{ Kcal kg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$); además del diferencial térmico corporal ($\Delta^{\circ}\text{C}$). Se generó el contenido calórico del agua ($CC_{H_2O} \text{ Kcal/}^{\circ}\text{C}$) y de la materia seca corporal ($CC_{MSC} \text{ Kcal/}^{\circ}\text{C}$); utilizando el calor específico y el contenido calórico básico sectorial según la composición corporal del bovino adulto (Curtis, 1981; Yousef, 1985); así como la sobre carga calórica corporal (Hansen, 1986) ajustado por el estrés calórico máximo (Araúz, 2010). La capacidad calórica corporal (CCC) fue obtenida mediante la siguiente expresión: $CCC = (\text{Masa Agua}_{\text{kg}} \times 1.0 \text{ Kcal/kg }^{\circ}\text{C}) + (\text{Masa MS}_{\text{kg}} \times 0.40 \text{ kcal/kg }^{\circ}\text{C})$

Mientras que la sobrecarga calórica momentum (SCMM) del animal fue obtenida mediante la expresión: $SCMM_{(\text{Kcal})} = (\Delta^{\circ}\text{C}) [(CC_{H_2O} \text{ Kcal/}^{\circ}\text{C}) + (CC_{MSC} \text{ Kcal/}^{\circ}\text{C})]$

El peso metabólico referencial fue establecido según la expresión descrita por Curtis (1981) y la NRC (1989, 2001) en base a Brody (1945) donde el peso corporal es utilizado mediante la exponenciación según la expresión $PM \text{ (kg)}^{3/4} = (\text{Peso Corporal}_{\text{kg}})^{0.75}$

Las variables fisiológicas fueron evaluadas cada tres horas entre las 06 AM y las 06 AM del próximo día en forma secuencial hasta completar el circadio y asociarlo con el funcionamiento diurno y nocturno para obtener la tendencia del comportamiento fisiológico en vacas cruzadas 6/8 Pardo Suizo x 2/8 Bos indicus.

Manejo sanitario, alimentación y nutrición de los animales

Los animales experimentales tuvieron acceso a una parcela de pasto Digitaria swazilandensis de 3200 m² donde había comedero y bebedero; sin sombra natural y artificial. Los animales habían sido desparasitados con fenbendazole por vía oral (25 ml de la solución al 10%), vitaminados en la primera semana postparto con AD₃E (5 ml IMP) en la región glútea izquierda y mineralizados con oligoelementos al aplicar solución Antianémica a base de Sulfato de Cobre, Sulfato de Cobalto, Sulfato Ferroso, Sulfato de Zinc y Cianocobalamina en la

Influencia del color del pelaje sobre el comportamiento térmico corporal, cinética de la sobrecarga calórica y alteración cardiorespiratoria circadiana em vacas lecheras cruzadas (6/8 *Bos taurus* x 2/8 *Bos indicus*) bajo estrés calórico em el trópico húmedo

<http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n070717/071707.pdf>

primera semana postparto a razón de 12 ml IMP en la región glútea derecha. Todos los animales utilizados presentaron un parto normal y al momento de su escogencia se tuvo en cuenta la información puerperal y que el estado corporal de las carnes fueses aceptable.

El pasto verde facilitado fue *Digitaria swazilandensis* en la época lluviosa; además de la suplementación con alimento concentrado 2 kg/día con la bromatología en como ofrecida de: Materia seca 90.5%, Fibra Cruda 5%, Proteína Total 15.5%, ENleche 1.72 Mcal/kg, Ca 0.90% y P 0.54%); Melaza 1.0 kg/día (MS 75%, PT 2.2%, ENleche 1.23 Mcal/kg, Ca 0.06%, P 0.03%) y una premezcla mineral a razón de 50 g/animal día (Ca 18.5%, P 9.25%). El concentrado y la melaza fueron suministrado simultáneamente con ensilaje de maíz en base a 18 lb/animal – día (MS 40.2%, FC 6.8%, PT 8.4%, ENleche 0.62 Mcal/kg; Ca 0.05% y P 0.04%). En la época lluviosa se utilizó pasto verde y una suplementación fundamentada en concentrado, melaza y minerales; mientras que en la época seca se utilizó ensilaje, heno, concentrado, melaza y minerales con un pastoreo en la noche en pasto seco propio propio del medio tropical. El perfil de la suplementación por animal aportó un proximal de 1000 g de proteína total, 9.50 Mcal de Energía Neta Lactacional y 9.80 kg de materia seca por animal diariamente. La suplementación fue facilitada en la hora de la mañana entre 7:30 y 8:15 am y se garantizó el acceso al agua fresca (25.4°C).

Caracterización Microambiental y Grado de Estrés Calórico

El entorno microambiental fue caracterizado utilizando las variables micro climáticas generadas en la estación Meteorológica Tipo B de la FCA y con la estación meteorológica con asistencia satelital. La temperatura rectal circadiana fue utilizada para determinar la sobrecarga calórica ajustada por la masa metabólica según la expresión $Y = (\text{Peso Corporal}_{\text{kg}})^{3/4}$ descrita por Curtis (1981) y el contenido corporal de materia seca estable y agua en el tracto gastrointestinal (Yousef, 1985; NRC, 2001).

Las variables físicas asociadas con el grado de estrés calórico fueron: temperatura ambiental de bulbo seco y bulbo húmedo, humedad relativa, entalpia ambiental, radiación solar directa y el Índice temperatura – humedad (ITH) para bovinos según Mader et al., (2006), dado su valor predictivo para estimar el grado de estrés calórico reportado por Dikmen y Hansen (2009); cuya expresión regresiva para ITH_{Bovinos} es:

$$\text{ITH}_{\text{Bovinos}} = (0.8 \times \text{Tdb}) + [(\text{RH}/100) \times [(\text{Tdb} - 14.4)] + 46.4 \text{ donde:}$$

$$\text{Tdb} = \text{Temperatura del aire bulbo seco (}^\circ\text{C)} \quad \text{RH} = \text{Humedad Relativa (\%)}$$

El ITH fue ajustado por la velocidad del viento y la radiación solar directa de acuerdo con Mader et al., (2006) según la siguiente expresión:

$$ITH_{aj. VVRS} = 4.51 + ITH - (1.992 \times VV_{m/seg}) + (0.0068 \times RSD_{Watts/m^2 hr})$$

Donde: ITH es el índice de temperatura Humedad para bovinos estandar,

VV: Velocidad del Viento (m/seg) RSD: Radiación Solar Directa en Watts/ m² hr

La equivalencia entre kilocalorías y watts fue 1.163 watts/m² hr para 1.00 kcal/m² hr y los valores de conversión estándar. La temperatura rectal en el período circadiano de menor magnitud fue empleada para determinar la sobrecarga térmica en base al peso metabólico.

Animales Experimentales

Un total de 12 animales fueron utilizados; seis en la época seca (dos pardo claro, dos pardo gris y dos pardo oscuro) y seis en la época lluviosa en igual cuantía por tono del color pardo. Cada animal fue identificado permanentemente para el seguimiento fisiológico según las variables indicadas con distribución aleatorizado por subperiodo circadiano. Los indicadores fisiológicos generados bajo estrés calórico fueron relacionados mediante regresión para establecer la dependencia de las características ambientales y los indicadores de la cinética bajo la influencia del estrés calórico por época.

Clasificación del tono del color pardo (Claro, Gris y Oscuro) en el pelaje

El color del pelaje fue clasificado en tres categorías; siendo: I (Pardo claro), II (Pardo Gris) y III (Pardo Oscuro). En cada categoría por color se incluyó dos vacas en lactación; siendo muestreadas de manera secuencia pero ubicadas en la matriz de datos originales en diferentes ordenes dentro del subperiodo con respecto a la valoración fisiológica. Los animales tuvieron acceso al medio ambiente libre y no recibieron ninguna protección contra la radiación solar y la temperatura ambiental. Se tomó una muestra del pelo en el área lumbar izquierda para establecer el largo y grosor del pelo.

Esquema I: Tonalidades del color pardo en las vacas experimentales evaluadas.



Pardo Claro

Pardo Gris

Pardo Oscuro

Diseño Experimental y Análisis Estadístico

El análisis estadístico fue fundamentado en el arreglo factorial más doble covarianza bajo el criterio del análisis de varianza ajustado por la suma de cuadrados Tipo III al incorporar dos factores de ajustes no controlados. Otras

Influencia del color del pelaje sobre el comportamiento térmico corporal, cinética de la sobrecarga calórica y alteración cardiorespiratoria circadiana em vacas lecheras cruzadas (6/8 *Bos taurus* x 2/8 *Bos indicus*) bajo estrés calórico em el trópico húmedo

<http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n070717/071707.pdf>

herramientas estadísticas fueron la regresión polinomial y la comparación de medias por el método de Tukey modificado de acuerdo con los resultados del análisis de varianza. El modelo lineal aditivo de los indicadores fisiológicos fue el siguiente: $Y_{ijk} = \mu + A_i + B_k + (AB)_{ik} + C_l + (AC)_{il} + (BC)_{kl} + (ABC)_{ikl} + \beta_1 (X_{ijk} - \bar{u}) + \beta_2 (X_{ijk} - \bar{u}) + e_{(ijkl)}$; Y_{ijk} es el parámetro fisiológico del animal j^o en la época anual i^{mo} según la clase por el color del pelaje k^{mo} en el horario de muestreo l^{mo} según categoría. A_i es el efecto de la época anual (i^{mo} : 1=Seca y 2=Lluviosa); B_k es el efecto de la clase por color del pelaje (k^{mo} : 1(Pardo Claro), 2(Pardo Gris) y 3(Pardo Oscuro) y C_l es el efecto del horario del muestreo en el ciclo circadiano (l^{mo} : (1) 06 AM, (2) 09 AM, (3) 12MD, (4) 03 PM, (5) 06 PM, (6) 09 PM, (7) 12 MN, (8) 03 AM y (9) 06 AM; mientras que $\beta_1 (X_{ijk} - \bar{u})$ fue el peso corporal (kg) como factor covariativo (Cov1) y $\beta_2 (X_{ijk} - \bar{u})$ la producción de leche (kg) segunda covariable (Cov2). La producción de leche fue evaluada en base a la época anual, categoría por coloración del pelaje y ajuste por estado lactacional (días).

El análisis estadístico complementario fue enfatizado en la generación de regresiones polinomiales para describir la tendencia de los indicadores fisiológicos evaluados ya que el análisis de varianza y las medias evidenciaron la prevalencia de un comportamiento irregular o curvo lineal a medida que transcurrieron los subperiodos diurnos y nocturnos que conforman el circadio en el medio tropical en las épocas seca y lluviosa.

El comportamiento de la temperatura rectal, índice respiratorio y sobrecarga térmica fueron evaluados por contraste ortogonal en función del efecto circadiano con una segmentación cada tres horas en ciclos de 24 horas continuos y luego expresados mediante regresión según el siguiente modelo regresivo ajustado por la época dependiendo del análisis de varianza - covarianza: $Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \dots + \beta_n X^n$ Siendo Y_1 , la Y_2 temperatura recta ($^{\circ}C$), Y_3 Índice respiratorio (No/minuto), Y_4 Sobrecarga Térmica Corporal ($^{\circ}C$, kcal/hora) y X el tiempo circadiano en horas al transcurrir el día y la noche en el ciclo circadiano cada tres horas. Las correlaciones se aplicaron entre las variables fisiológicas y con respecto a los indicadores micro climáticos.

La tendencia de los parámetros fisiológicos fue analizada por contraste ortogonal y análisis regresivo. Los análisis estadísticos se efectuaron en el Laboratorio de Ciencia Lechera, Bioclimatología y Bienestar Animal y Fisiología Animal del Departamento de Zootecnia según Gill (1978); siguiendo el procedimiento GLS (General Linear Models) del programa SAS (Statistical Analysis System, 1997) según Herrera y Barreras (2001).

RESULTADOS Y DISCUSION

I. Comportamiento de los factores físicos, microambiente y grado de estrés calórico.

El estudio se realizó en la anual seca y lluviosa que caracterizan el medio climático tropical. La época seca fue tomada en base al mes de Abril y la época lluviosa en el mes de Julio. Las condiciones de estrés calórico fueron definidas entre las 09 de la mañana y 06 de la tarde en base a la temperatura ambiental de bulbo seco, humedad relativa y complejo de Temperatura – Humedad o ITH de 77.76 a 78.07 con un máximo de 86.45 al medio día (ver cuadro I). La inclusión de la radiación solar directa indicó que el ITH ajustado por vientos y radiación aumentó hasta 82.65 (09 am) a 81.88 (06 pm) con un máximo entre 94.12 y 90.35 entre las 12 medio día y las 03 de la tarde.

El estrés calórico generado en la fase diurna de la época seca fue categorizado alto para los bovinos; mientras que alrededor de las horas del medio día y parte de la tarde, el estrés calórico fue entre severo a marcado con consecuencias deteriorantes para el funcionamiento vital, la salud, conducta y la producción láctea. Los estudios de Mader et al., (2006) indican que la identificación del grado de estrés calórica es esencial para definir las estrategias del manejo preventivo. Baumgard et al., (2006) han señalado que el estrés calórico incrementa los requerimientos nutricionales para el mantenimiento y reduce apreciablemente la producción en el ganado lechero. En consecuencia, se precisa de la utilización de estrategias para garantizar la prevención del estrés calórico (Hansen y Arechiga, 1999) ya que la influencia afecta la reproducción y la fertilidad (Soumya et al., 2016) y genera consecuencias económicas negativas (St-Pierre et al., 2006).

Cuadro I: Indicadores microclimáticos psicrométricos del circadio en la época seca y el complejo físico para generar el estrés calórico en los bovinos.

Subperiodo Circadiano	TAbs °C	TAbh °C	HR %	Entalpia Kcal/kg	Vapor H ₂ O mmHg	RSD Kcal/M ² Hr	VV M/Seg	ITH °C %	ITHVRD °C m/s W/Hr m ²
06 am = 1	24.2	22.1	83.1	271.08	30.21	-----	0.9812	72.15	70.19
09 am = 2	29.1	25.3	74.1	326.64	40.32	395.9	0.9722	77.76	82.65
12 md = 3	37.8	30.4	61.3	427.56	65.60	825.6	0.8333	86.4 5	94.12
03 pm = 4	34.8	28.4	62.5	385.01	55.66	723.8	0.6944	82.9 9	90.35
06 pm = 5	30.8	25.3	64.5	324.47	44.45	125.2	0.7167	78.0 7	81.88
09 pm = 6	28.5	23.8	68.5	300.54	38.94	-----	0.6871	75.6 4	74.27
12 mn = 7	26.8	22.9	72.2	284.72	35.26	-----	0.5923	74.6 3	73.45
03 am = 8	26.1	23.3	79.3	291.21	33.86	-----	0.5524	74.3 3	73.22
06 am = 9	24.6	22.4	82.9	276.60	30.94	-----	0.4428	72.7 1	71.82

Influencia del color del pelaje sobre el comportamiento térmico corporal, cinética de la sobrecarga calórica y alteración cardiorespiratoria circadiana em vacas lecheras cruzadas (6/8 *Bos taurus* x 2/8 *Bos indicus*) bajo estrés calórico em el trópico húmedo

<http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n070717/071707.pdf>

Media	29.19	24.88	71.8 2	320.87	41.69	517.63	0.7232	77.1 5	79.11
D. E.	± 4.34	± 2.68	±8.3 0	±50.09	±11.22	±276.6 7	±0.182 5	±4.4 5	±8.13
C.V. (%)	14.87	10.78	11.5 6	15.61	26.92	53.450	25.24	5.76	10.28

TAbs: Temperatura Ambiental bulbo seco (°C) **T**Abh: Temperatura Ambiental bulbo húmedo (°C) **H**R: Humedad Relativa (%)

RSD: Radiación Solar Directa (Kcal/m²Hr) **I**TH: Índice Temperatura – Humedad Bovinos (°C. %) **V**V: Velocidad del viento (m/seg)

ITHVRD: Índice temperatura humedad ajustado por viento y radiación solar directa (°C m²/s W/Hr m²).

El entorno micro climático durante la época lluviosa fue igualmente ponderado ya que aunque existen factores en contra del estrés calórico; como la nubosidad, las lluvias, las horas de luz solar efectiva; en el trópico también esta época puede representar un riesgo calórico para el ganado lechero. La época lluviosa presentó una temperatura máxima de 34.5°C al medio día y el rango térmico osciló entre 28.1 y 30.4°C entre las 09 am y 06 pm (ver cuadro II). La radiación solar máxima fue 705.4 Kcal/m² hr (606.53 Watt/m² hr) que correspondió al medio día; aunque la magnitud se mantuvo alta hasta las 03 de la tarde; evidenciando la extensión de la fase del riesgo calórico.

La combinación de la temperatura ambiental y la humedad relativa a través del Índice Temperatura Humedad (ITH) para bovinos en la época seca presento el máximo valor a las 12 medio día (83.45) seguido de 81.15 a las 03 pm; sin embargo, este índice se mantuvo con cierto riesgo hasta las 06 pm. La inclusión de la radiación solar y el viento se tradujo en un índice calórico de 82.67 a las 09 am hasta 82.40 a las 06 pm. Esto indica que tanto la época seca como la lluviosa son periodos de alto riesgo calórico para los bovinos utilizados en el medio tropical; especialmente en la época seca.

Cuadro II: Indicadores microclimáticos psicrométricos del circadio durante la época lluviosa y complejo físico para generar el estrés calórico en bovinos.

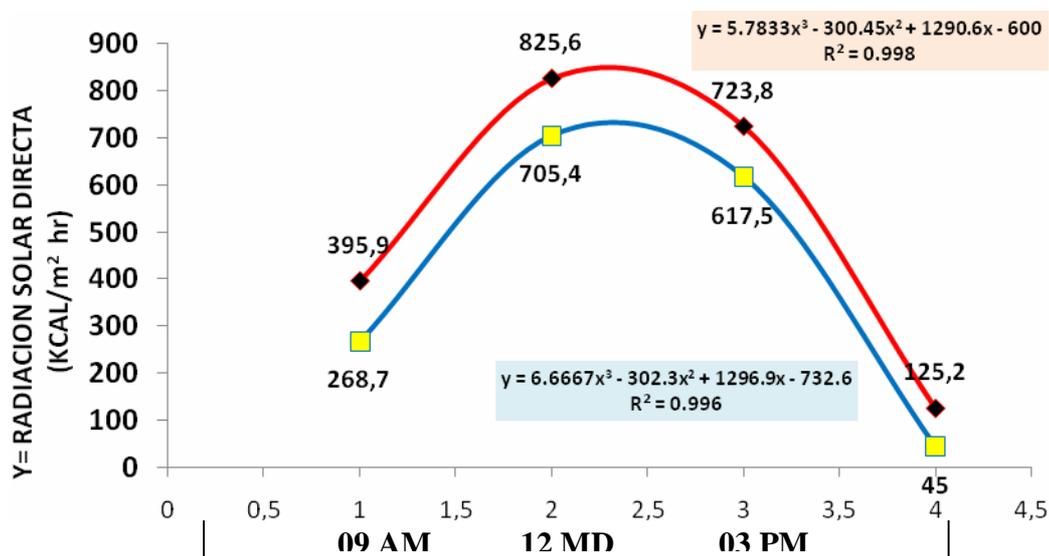
Hora y periodos circadianos	TAbs °C	TAbh °C	HR %	Entalpía KJ/kg	Vapor H ₂ O (mmHg)	RSD Kcal/M ² Hr	VV m/seg	ITH (°C %)	ITHVVRSD °C m/s W/Hr m ²
06 am = 1	23.3	21.1	84.1	272.96	30.21	-----	0.352	70.67	69.99
09 am = 2	28.1	25.4	77.1	326.94	37.39	268.7	0.385	77.36	82.67
12 md = 3	34.5	28.1	69.0	381.58	54.74	705.4	0.345	83.45	91.34
03 pm = 4	32.8	27.3	66.0	361.25	49.78	617.5	0.312	81.15	88.65
06 pm = 5	30.4	25.5	67.9	327.31	43.44	45.0	0.315	78.26	82.40
09 pm = 6	26.5	22.3	70.0	274.09	34.63	-----	0.258	73.13	72.61
12 mn = 7	25.6	21.5	74.2	270.58	32.84	-----	0.296	72.52	71.93

03 am = 8	25.4	20.3	76.1	276.69	32.46	-----	0.338	71.21	70.54
06 am = 9	24.4	20.1	83.6	274.05	30.57	-----	0.379	70.25	69.50
Media	27.88	23.51	74.17	307.31	38.45	416.65	0.331	75.33	77.74
D. E.	±3.66	±2.91	±6.15	±40.72	±8.38	±272.96	±0.038	±4.59	±8.09
C.V. (%)	13.13	12.38	8.29	13.25	21.79	65.51	11.52	6.09	10.41

TAbs: Temperatura Ambiental de bulbo seco (°C) TAbh: Temperatura Ambiental de bulbo húmedo (°C) HR: Humedad Relativa (%)
 RSD: Radiación Solar Directa (Kcal/m²Hr) ITH: Índice Temperatura – Humedad para Bovinos (°C. %) VV: Velocidad del viento (m/seg)
 ITHVVRSD: Índice temperatura humedad ajustado por viento y radiación solar directa (°C m/s W/Hr m²)

La consideración de la radiación solar es un factor que además de incrementar la carga calórica del aire; también contribuye en la sobrecarga térmica e hipertermia; ya que en las condiciones observadas dependiendo de la hora del día es posible recibir por hora hasta 825.6 kcal/m² en la época seca y hasta 705.4 kcal/m² en la época lluviosa en la fase más crítica por radiación solar directa (ver gráfica I).

La época seca y lluviosa presentaron un riesgo microclimático para los bovinos de leche; no obstante, la época seca es la que mas afecta la fisiología, conducta y producción láctea. La época seca fue el periodo de mayor comprometimiento térmico y fisiológico; por lo que es necesaria la utilización de una estrategia ambiental y nutricional para minimizar la influencia de los factores tensores (temperatura ambiental y radiación solar); sin subestimar las condiciones micro ambiental de la época lluviosa.



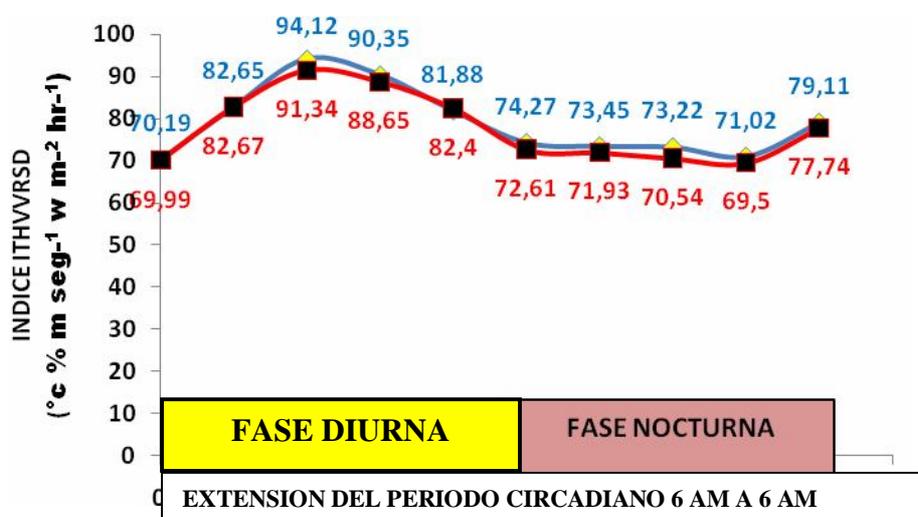
Gráfica I: Curva de la radiación solar directa en la época seca (-----) y lluviosa (----) durante la fase experimental en el trópico húmedo.

El micro ambiente circadiano en la época seca y lluviosa fue oscilatorio donde la combinación de la temperatura ambiental, humedad relativa y radiación solar directa condujeron al entorno calórico efectivo, especialmente en la fase

Influencia del color del pelaje sobre el comportamiento térmico corporal, cinética de la sobrecarga calórica y alteración cardiorespiratoria circadiana em vacas lecheras cruzadas (6/8 *Bos taurus* x 2/8 *Bos indicus*) bajo estrés calórico em el trópico húmedo

<http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n070717/071707.pdf>

circadiana diurna entre las 09 am y las 03 pm (ver gráfica II). El clima tropical no incluye fuertes corrientes de vientos y por ende la temperatura ambiental y la radiación solar después de las 10 am impactan la carga calórica del aire atmosférico; produciendo la mayor entalpia y como consecuencia el complejo calórico más fuerte; siendo capaz de alterar los mecanismos sistémicos, la temperatura rectal y la frecuencia respiratoria en los bovinos de las razas Holstein, Pardo Suizo y Cruzados (Araúz et al., 2010; Das et al., 2016). El entorno diurno fue superior al ITH_{VVRSD} de 74.5 y por ende en la fase diurna oferto la mayor parte del estrés calórico al combinar la temperatura del aire, humedad relativa y la radiación solar directa; cuya magnitud fue capaz de alterar la carga calórica corporal y el trabajo cardiorespiratorio; desplazando la temperatura, respiración, circulación y la conducta.



Gráfica II: Curva circadiana del Índice Temperatura Humedad (ITH) ajustado por velocidad del viento y radiación solar directa (ITH_{VVRSD}) en la época seca y lluviosa.

En términos de la tendencia y los valores del ITH ajustado por velocidad del viento y radiación solar directa ambas épocas fueron muy similares; aunque varios puntos de la época seca fueron superiores a la época lluviosa. Todos los indicadores calóricos micro ambientales evidenciaron valores indicativos de que el medio tropical donde se realizaron las evaluaciones fisiológicas ofertó la condición de estrés calórico severa en la época seca para los bovinos; mientras que en la época lluviosa, el grado de estrés fue moderado.

I. Unidad somática, peso metabólico, perfil hematológico y lactacional

Las vacas cruzadas 6/8 *Bos taurus* Pardo Suizo x 2/8 *Bos indicus* utilizadas en la época seca presentaron un peso corporal de 455.00 ± 9.32 kg (pardo claro), 453.30 ± 8.70 kg y 460.00 ± 8.81 kg; mientras que en la época lluviosa fueron 444.0 ± 11.74 kg (pardo claro), 438.00 ± 8.77 kg (pardo gris) y 471.67 ± 13.16 kg (pardo oscuro). El peso de los

Influencia del color del pelaje sobre el comportamiento térmico corporal, cinética de la sobrecarga calórica y alteración cardiorespiratoria circadiana em vacas lecheras cruzadas (6/8 *Bos taurus* x 2/8 *Bos indicus*) bajo estrés calórico em el trópico húmedo
<http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n070717/071707.pdf>

doce animales utilizados fue homogéneo y consistente entre épocas; ya que el coeficiente de variación somático fue 2.39%; incluyendo los ejemplares empleados en ambas épocas. El peso metabólico para el color pardo claro, gris y oscuro en la época seca fue 98.52, 98.24 y 99.33 kg^{3/4} y en la época lluviosa fue 96.72, 95.74 y 101.21 kg^{3/4}.

La hemoglobina en la época seca en las tonalidades claro, gris y oscuro fue 11.56, 11.80 y 11.87 g/100 ml de sangre; mientras que el conteo eritrocítico fue 4.92, 4.86 y 4.96 millones de glóbulos rojos/ml. En la época lluviosa, la concentración de hemoglobina fue 11.48, 11.78 y 11.88 g/100 ml de sangre con un conteo de glóbulos rojos de 4.90, 4.71 y 4.82 millones/ml de sangre; indicando un perfil hematológico normal en ambas épocas.

Cuadro III: Indicadores biológicos en las vacas cruzadas 6/8 Pardo Suizo x 2/8 Bos indicus en la época seca y lluviosa según la tonalidad pardo Claro, Gris y Oscuro.

Indicador Biofisiológico	Tonalidad del pelaje en el Color Pardo		
	Claro	Gris	Oscuro
Época Seca			
Peso Corporal (kg)	455.33 ± 9.32	453.30 ± 8.71	460.00 ± 8.81
Peso Metabólico (kg ^{3/4})	98.56 ± 5.33	98.24 ± 5.07	99.33 ± 5.11
Producción de leche (kg)	9.97 ± 0.57	9.33 ± 0.71	8.20 ± 0.80
Estado Lactacional (Días)	58 ± 3	62 ± 2.5	56 ± 3.1
Hematocrito (%)	33.1	33.5	34.9
Hemoglobina (g/100 ml)	11.56	11.80	11.87
Eritrocitos (millones/ml)	4.92	4.86	4.96
Largo del pelo lumbar (mm)	8.39 ± 2.21	8.57 ± 2.01	8.78 ± 2.23
Ancho del pelo (mm)	0.97 ± 0.03	0.98 ± 0.02	0.96 ± 0.03
Época Lluviosa			
Peso Corporal (kg)	444.03 ± 11.74	438.06 ± 8.77	471.67 ± 13.16
Peso Metabólico (kg ^{3/4})	96.72 ± 6.34	95.75 ± 5.09	101.21 ± 6.91
Producción de leche (kg)	11.17 ± 0.29	10.30 ± 0.31	9.60 ± 0.61
Estado Lactacional (Días)	67	56	54
Hematocrito (%)	34.22 ± 3.61	35.61 ± 3.15	35.89 ± 2.78
Hemoglobina (g/100 ml)	11.48 ± 1.50	11.78 ± 1.41	11.88 ± 1.48
Eritrocitos (millones/ml)	4.90 ± 0.12	4.71 ± 0.11	4.82 ± 0.14
Largo del pelo lumbar (mm)	8.45 ± 2.51	8.60 ± 2.11	8.90 ± 2.70
Ancho del pelo (mm)	0.95 ± 0.03	0.96 ± 0.03	0.97 ± 0.04

El perfil corporal, hematológico y lactacional fue homologado en el estado de salud de los animales experimentales; aun con las diferencias en la tonalidad del color del pelaje; aunque fue evidente que la producción de leche diaria promedio fue una característica que mostró diferencias entre las épocas seca y lluviosa e igualmente entre las tonalidades del pardo claro, gris y oscuro; a pesar de que las condiciones de manejo sanitario y la alimentación fueron las mismas dentro de cada época o entorno microclimático.

II. Comportamiento fisiológico en condiciones del estrés calórico tropical

a. Temperatura Rectal Circadiana según el color del pelaje en vacas cruzadas

La carga calórica corporal en las vacas cruzadas 6/8 Pardo Suizo x 2/8 Cebú en lactación categorizadas según el color del pelaje fue evaluada en el ciclo circadiano completo (día y noche) para establecer el comportamiento termo - fisiológico general durante la fase de exposición al calor diurno tropical y a través de la fase nocturna para evaluar la evolución y la recuperación biotérmica compensatoria aguda bajo las condiciones de la época seca y lluviosa en el trópico húmedo de bajura próximo al área costera. La inclusión de la época anual, el subperiodo circadiano cada tres horas en el día y la noche y el color del pelaje fueron contemplados como las principales fuentes de variación para las variables del desempeño fisiológico; mientras que el peso corporal y la producción de leche fueron agregados como factores de covariación.

La temperatura rectal como indicador de la carga calórica corporal fueron afectados por la condición microambiental propia de la época anual (seca vs lluviosa: $P < .0001$), por el color del pelaje dentro de las tonalidades del Pardo (claro, chocolatoso y oscuro: $P < .0001$); así como también por la influencia propia de los subperiodos circadianos del día y la noche de manera secuencial ($P < .0001$). La variación que aportó los subperiodos circadianos correspondió al 72.94% de la variación total; indicando que la mayor influencia sobre la magnitud de la carga calórica corporal a partir de la temperatura rectal fue ocasionada por los cambios microclimáticos ocasionados por el estrés resultante de la temperatura, humedad relativa y radiación solar directa en la fase diurna.

El análisis intermedio indicó que la temperatura rectal fue afectada de manera interaccional por la época y el color ($P < .006$) y en la época por los subperiodos circadianos ($P < .0001$). La interacción época x color x subperiodos no resultó con una contribución apreciable estadísticamente ($P > .05$); no obstante, la época anual fue un renglón variable y en consecuencia; la influencia simultánea del color y los subperiodos circadianos fueron contemplados según la época anual para la generación de las medias cuadradas ajustadas (ver cuadro IV). Las condiciones de la época anual seca y lluviosa fueron diferencias según los indicadores del grado de estrés calórico con un diferencial microclimático entre la época seca y lluviosa en el medio tropical (Araúz, 2006).

Los subperiodos circadianos alteran el microambiente, especialmente durante las horas del día; ya que la anexión de la energía calórica al entorno de aire constituye la mayor fuente de calor en adición a la contribución de la humedad relativa (Curtis, 1981). Esta alteración se encuentra superpuesta a la radiación solar directa, la cual interactúa con la masa de aire atmosférico; generando la entalpía ambiental que reduce la termólisis pasiva. Los animales mostraron

Influencia del color del pelaje sobre el comportamiento térmico corporal, cinética de la sobrecarga calórica y alteración cardiorespiratoria circadiana en vacas lecheras cruzadas (6/8 *Bos taurus* x 2/8 *Bos indicus*) bajo estrés calórico en el trópico húmedo
<http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n070717/071707.pdf>

una temperatura rectal diferente de acuerdo con el color del pelaje ($P < .001$); resultando para los colores pardo claro $39.16\text{ }^{\circ}\text{C}$, pardo chocolatoso $39.65\text{ }^{\circ}\text{C}$ y pardo oscuro $40.18\text{ }^{\circ}\text{C}$ dentro de la época seca; siendo estas las mayores medias para la carga calórica corporal según la temperatura rectal. Estas medias fueron superiores a sus correspondientes en la época lluviosa en $+ 0.20$, $+ 0.38$ y $+ 0.61\text{ }^{\circ}\text{C}$; ya que la temperatura rectal media ajustada en la época lluviosa resultó para los tres colores del pelaje en 38.96 , 39.2 y $39.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ respectivamente (Gráfica III).

La tonalidad del color del pelaje mas oscura estuvo asociado con la mayor temperatura rectal y a su vez con el mayor diferencial calórico entre las épocas; siendo así que las vacas pardo oscuro presentaron un diferencial calórico de 2.98X y las vacas pardo Gris 1.9X sobre la base del diferencial calórico entre las dos épocas sobre la base del color pardo más claro. Los animales con el color del pelaje más oscuro mostraron sostenidamente una mayor temperatura rectal tanto en la época lluviosa como en la época seca; indicando que el tegumento con pelaje más oscuro presentó mayores limitaciones para permitir un balance calórico momentum en condiciones de estrés calórico; mientras que las vacas con el pardo claro presentaron una menor alteración térmica y lograron un balance calórico mas próximo a la normalidad según la temperatura corporal circadiana.

Cuadro IV: Análisis de varianza - covarianza para la Temperatura Rectal Circadiana según el color del pelaje y la época anual en vacas cruzadas bajo estrés calórico tropical.

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
EPOCA	1	2.6591368	2.6591368	38.30	<.0001
COLOR	2	5.8047150	2.9023575	41.81	<.0001
EPOCA*COLOR	2	0.7445643	0.3722821	5.36	0.0060
PERIODO	8	108.2089086	13.5261136	194.83	<.0001
EPOCA*PERIODO	8	4.5588346	0.5698543	8.21	<.0001
COLOR*PERIODO	16	1.8252247	0.1140765	1.64	0.0700
EPOCA*COLOR*PERIODO	16	0.9625580	0.0601599	0.87	0.6084
PESO CORPORAL KG	1	0.0367832	0.0367832	0.53	0.4683
PRODUCCION DE LECHE KG	1	0.0050579	0.0050579	0.07	0.7877
RESIDUO	106	7.3590312	0.0694248		
Corrected Total	161	148.3621753			

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	55	141.0031441	2.5636935	36.93	<.0001
R-Square					
0.950398					
Coef. Var					
0.667656					
Root MSE					
0.263486					
TR Mean					
39.46432					

Los estudios de la respuesta calórica de las superficies según la tonalidad del color, la emisión y retención calórica indican que al oscurecerse la superficie se disminuye la posibilidad de emitir la energía calórica; lo cual es aplicable al ganado bovino cuando este tiene acceso a la radiación solar directa en condiciones de pastoreo y/o cuando no tienen una protección o acceso a la sombra natural o artificial (Curtis, 1981; Yousef, 1985; Araúz, 2006). Bianca y Hafez (1973) indicaron que la tonalidad del color está asociado con el índice de emisión y retención calórica; destacándose que el color blanco emite 50% de

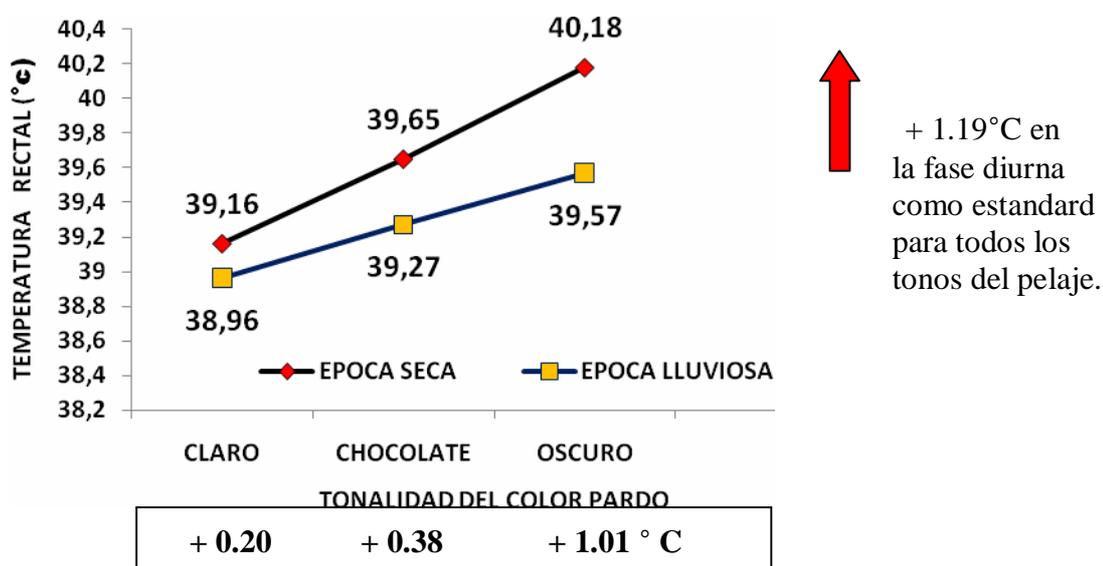
la energía radiante recibida, el color rojo oscuro el 80% y el color negro el 90% cuando el ángulo de impacto es de 90 grados. Los animales con un pelaje más oscuro tendrán una mayor tasa de retención calórica en su pelaje y piel; contribuyendo al incremento de la carga calórica corporal y generando la hipertermia a pesar de la termólisis pasiva y activa.

La magnitud de la temperatura rectal circadiana según la época anual indicó que en las tonalidades del pardo claro, gris y oscuro aumento la carga calórica; las cuales fueron menores en la época lluviosa; siendo ésta superada por la época seca en +0.20, +.38 y +.61°C para las tonalidades claro, gris y oscuro (ver cuadro V y Gráfica III). El incremento de la carga calórica corporal al aumentar el tono del pardo desde el claro al oscuro coincidió con el hecho de que las superficies más oscuras retienen más calor y a su vez tienen un menor índice de emisión calórica (Curtis, 1981; Yousef, 1985; Araúz, 2010).

Cuadro V: Temperatura rectal media ajustada según la época seca y lluviosa.

Temperatura Rectal (°C) ajustada según la época, diferenciales y contraste relativo Época Seca vs Época Lluviosa				
Tono del Pelaje	Época Seca	Época Lluviosa	Diferencial	Cambio (%)
Pardo Claro	39.16 ± 0.87	38.96 ± 0.74	+ 0.20 ^{ab}	0.51
Pardo Gris	39.65 ± 1.03	39.27 ± 0.69	+ 0.38 ^{ab}	0.96 1.88x
Pardo Oscuro	40.18 ± 1.18	39.57 ± 0.70	+ 0.61 ^{ab}	1.52 2.98x

ab: Medias por época anual son diferentes estadísticamente (P<.01).



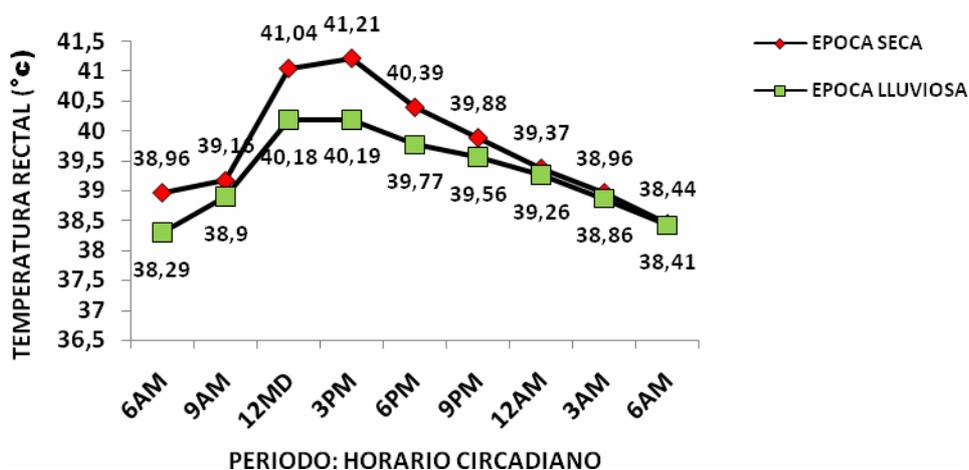
Gráfica III: Temperatura rectal ajustada en vacas cruzadas Pardo Suizo X Cebú según la tonalidad del color pardo en la época seca y lluviosa en el trópico húmedo.

El comportamiento térmico rectal estuvo correlacionado con la temperatura ambiental y el grado de estrés calórico efectivo que recibieron los animales

rumiantes con acceso a los factores que promueven el calentamiento corporal (Araúz et al., 2010; Da Silva, 2015). El comportamiento térmico es heterogéneo y competitivo entre los procesos termolíticos y las alteraciones del contenido calórico en los animales homeotermos; lo cual constituye la base de los ajustes y las adaptaciones aguadas a corto plazo que trascienden en los bovinos; en especial, durante el periodo de la mayor presión calórica ambiental que corresponde a la época seca.

El ciclo circadiano representa el periodo más corto sobre el cual se puede evaluar el desenvolvimiento térmico de los animales de interés zootécnico y por ende la tendencia de la temperatura rectal es un descriptor fisiológico céntrico de cómo responde el organismo animal frente a los cambios térmico - ambientales; evidenciando su respuesta hipertérmica y generando su regresión calórica corporal por compensación y desaceleración metabólica una vez la fuente de estrés calórico sede al culminar la fase diurna (Lacetera et al., 2003; Araúz, 2013).

La temperatura rectal mostró un comportamiento heterogéneo a través del ciclo circadiano en la época seca y lluviosa; donde los valores mínimos fueron alrededor de las seis am; pero evidenciando que la carga calórica temprano en la mañana fue 38.96 °C para la época seca; mientras que en la época lluviosa el promedio fue 38.29 °C; generando una diferencia de +.57 °C (ver gráfica IV). En general, la temperatura rectal se incrementó hasta las horas del medio día y se mantuvo relativamente estable hasta las tres de la tarde en la época seca y lluviosa; para luego descender en la carga calórica corporal; lo cual fue sostenido hasta las horas de la madrugada; completando así el periodo circadiano que culminó a las 06 am. La tendencia media de la temperatura rectal a través del periodo circadiano fue diferente según la época anual (P<.0001). El trayecto de mayor comprometimiento calórico corporal ocurrió entre las 09 am y las 03 pm; evidenciando el mayor comportamiento térmico curvo lineal con una tendencia paralela al cambio diurno de la curva de presión calórica ambiental.



Gráfica IV: Temperatura rectal ajustada en vacas cruzadas Pardo Suizo x Cebú según la época anual y el periodo diurno circadiano en el clima tropical húmedo.

El ápice de la carga calórica corporal en la época seca se produjo en estrecha relación con las tres de la tarde; mientras que para la época lluviosa el ápice correspondió a las doce medio. La tendencia térmica corporal fue más marcada durante la época seca; así como la desaceleración biotérmica que transcurrió hasta las doce media noche; culminando con el descenso calórico compensatorio negativo en la madrugada a través de la tercera fase biotérmica circadiana.

La tendencia regresiva fue igualmente heterogénea para ambas épocas; sobresaliendo el episodio máximo en la época seca; el cual en su magnitud y trayectoria diurna y nocturna fueron diferentes ($P < .001$) y superiores en la época seca en comparación con la época lluviosa (ver cuadro VI). Los estudios en diversas especies homeotermas indican que la temperatura rectal y corporal muestra variaciones a través de las horas del día debido a la influencia calórica diurna y según las actividades desarrolladas por los animales (Ward y Collins, 2013).

El comportamiento de la temperatura rectal a través del ciclo circadiano fue diferente entre la época seca y lluviosa ($P < .0001$); siendo la tendencia en la época seca curvo lineal del 5^{to} grado con un intercepto de 38.50°C para la época seca y 38.26 °C en la época lluviosa. La mayor temperatura rectal fue entre las 03 PM (41.21°C) en la época seca y a las 03 PM (40.19 °C) en la época lluviosa. La carga calórica corporal fue alterada en ambas épocas; prevaleciendo la mayor alteración en la tonalidad del color del pelaje pardo oscuro (ver gráfica V). Los procesos de adaptación y mantenimiento de la temperatura corporal estuvieron superditados en gran medida a la temperatura ambiental y a otros factores como la humedad relativa y la radiación solar (Silanikove, 2000; West, 2003; Da Silva, 2015; Das et al., 2017). El área experimental no fue favorecida por los vientos; mientras que en otros entornos si cuando se producen desplazamientos del aire con velocidades superiores a 0.5 km/hr y la temperatura del aire es inferior a los 24 °C.

Cuadro VI: Medias ajustadas de la Temperatura Retal (°C) en la época seca y lluviosa según el subperiodo circadiano.

Época Anual	Subperiodos Horario Circadiano	Temperatura Rectal (°C)	
	HC	Mean	Std Dev
EPOCA 1 (SECA)	1	38.5111111	0.23154073
1	2	39.1555556	0.63267510
1	3	41.0444444	0.72303373
1	4	41.2111111	0.64700163
1	5	40.3888889	0.59043299
1	6	39.8777778	0.55176485
1	7	39.3777778	0.44378423
1	8	38.9555556	0.47463436
1	9	38.4444444	0.33952581
2 (LLUVIOSA)	1	38.2888889	0.27588242
2	2	38.9000000	0.50249378
2	3	40.1777778	0.41466184
2	4	40.1888889	0.32574700

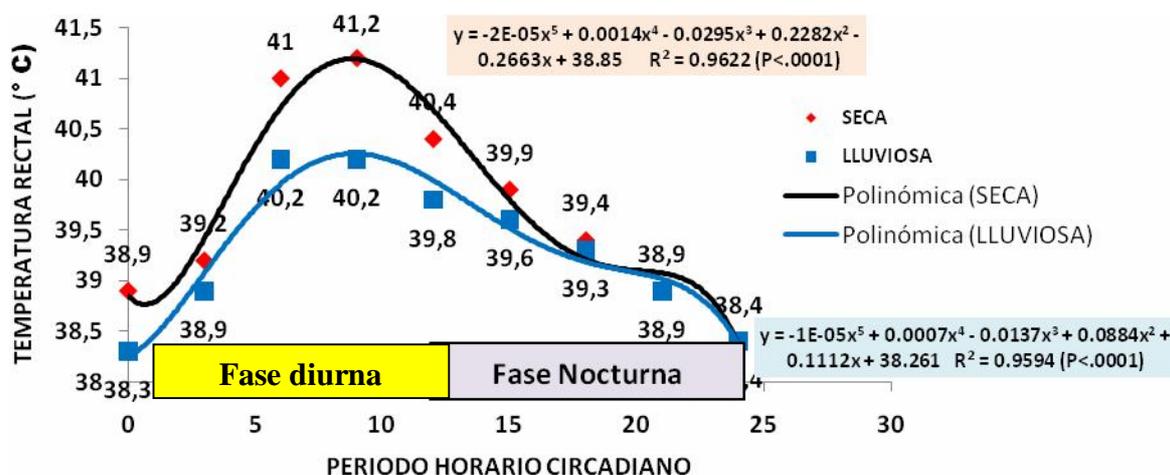
Influencia del color del pelaje sobre el comportamiento térmico corporal, cinética de la sobrecarga calórica y alteración cardiorespiratoria circadiana em vacas lecheras cruzadas (6/8 *Bos taurus* x 2/8 *Bos indicus*) bajo estrés calórico em el trópico húmedo
<http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n070717/071707.pdf>

2	5	39.766667	0.11180340
2	6	39.546667	0.24718414
2	7	39.255556	0.32829526
2	8	38.855556	0.41866189
2	9	38.411111	0.31797973

**Época Seca = 1 Época Lluviosa = 2. NH(Numeración Horaria):1= 06AM 2=09AM
 3=12MD 4=03PM 5=06PM 6=9PM 7=12MN 8=03 AM 9=06AM**

La adaptación calórica determina de igual manera parte del bienestar que los rumiantes puedan alcanzar; en particular cuando la temperatura y la humedad relativa están en un entorno microclimático capaz de producir estrés calórico entre severo a fuerte. De allí, que las mayores alteraciones circadianas ocurren durante las horas del día cuando el Índice de temperatura humedad y radiación solar directa alcanzan las mayores magnitudes (Araúz et al., 2010). En consecuencia, la tendencia en los sistemas de producción bovina es orientar el modelo con las estrategias y el manejo para prevenir el estrés calórico ya que sus consecuencias a partir de la hipertermia modifican el patrón fisiológico, metabólico y la conducta animal (Renaudeau et a., 2012); afectando la producción (Beede y Collier, 1986) y la reproducción (Hansen, 2009).

Es evidente, que las hembras bovinas cruzadas en lactación expuestas al estrés calórico diurno mostraron un aumento en su temperatura rectal; siendo el incremento mayor durante la época seca; lo que a su vez indica que la termólisis total es mayormente comprometida durante la época seca en vista de que la temperatura del aire se aproxima más a la temperatura tegumentaria; por lo cual la termólisis pasiva se ve reducida drásticamente; al mismo tiempo que la termólisis respiratoria y sudorativa - evaporativa no son suficientes para garantizar el mantenimiento de la carga calórica fisiológica. En consecuencia, se produce un aumento de la carga calórica; transformándose en sobrecarga calórica corporal (hipertermia). Esta condición produce un aumento de la tasa metabólica general; aun cuando los mecanismos cardiovasculares (circulación y respiración) se incrementan para aumentar la pérdida calórica activa.



Gráfica V: Tendencia regresiva ajustada para la temperatura rectal según la época anual durante el periodo circadiano en vacas cruzadas Pardo Suizo x Bos Indicus en el trópico.

Influencia del color del pelaje sobre el comportamiento térmico corporal, cinética de la sobrecarga calórica y alteración cardiopulmonaria circadiana em vacas lecheras cruzadas (6/8 *Bos taurus* x 2/8 *Bos indicus*) bajo estrés calórico em el trópico húmedo
<http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n070717/071707.pdf>

Sobrecarga calórica según la época anual y el color del pelaje

La sobrecarga calórica en base a la temperatura rectal en la época seca y lluviosa mostró una doble onda térmica compensatoria; ya que el índice térmico se redujo desde el máximo diurno a las 03 de la tarde hasta las 12 de la noche; a partir de la cual se produjo una segunda onda de ajuste térmico más ligera en la época seca. Esta tendencia se observó con la misma trayectoria en la época lluviosa; sin embargo, el máximo alcanzado fue en la época seca. De acuerdo con la carga térmica observada y las tendencias diurnas y nocturnas, puede indicarse que la alteración calórica se incrementó en el día; sino también en la noche; evidenciando al mismo tiempo la fatiga en la termólisis activa total; aunque los animales poseían el aporte genético del *Bos indicus* y una adaptación crónica al estrés calórico tropical en función de su crecimiento y adultez reproductiva dados en el mismo entorno donde se realizó la valoración fisiológica.

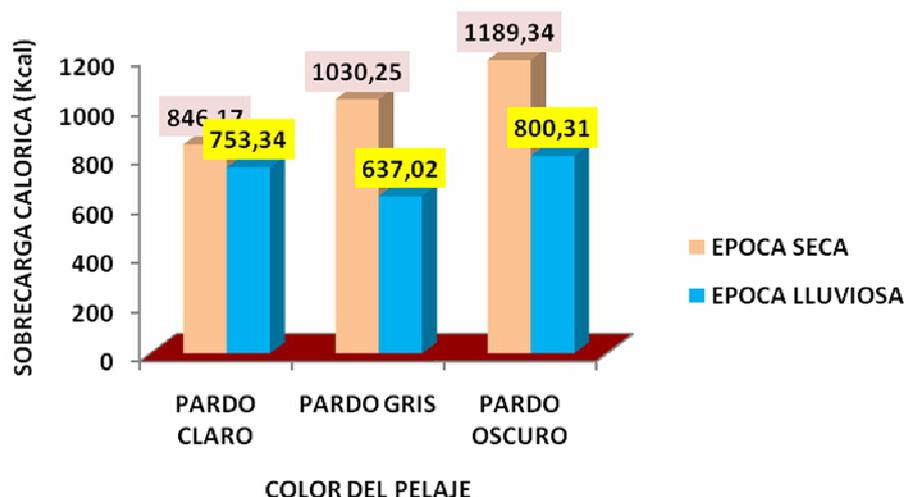
La sobrecarga calórica específica corresponde a la cantidad de calor corporal acumulado desde el momento de la mínima carga calórica corporal hasta cuando se produce la máxima temperatura corporal. El cambio térmico momentum en las vacas pardo claro, gris y oscuro en la época seca fue 846.17, 1030.25 y 1189.34 kcal; mientras que en la época lluviosa fue 753.34, 637.02 y 800.31 kcal; mostrando que durante el mayor estrés calórico micro ambiental se produjo una alteración de la temperatura corporal entre +2.3 y +3.2°C; siendo las vacas más oscuras las más afectadas, incluso en la época lluviosa cuando la presión calórica ambiental fue inferior a la época seca (ver cuadro VII y gráfica VI). La alteración calórica corporal momentum máxima sobre la base térmica en las horas de la mañana antes de la exposición al sol en la época seca aumentó a medida que el color del pelaje se orientó de la tonalidad clara a la más oscura; siendo así que el diferencial calórico entre el color pardo claro y pardo gris fue de +184.08 kcal (+21.5%) y entre el pardo claro y el pardo oscuro fue de +343.17 Kcal (+40.56%). Las cifras más consistentes fueron las de la época seca; no obstante, en la época lluviosa se observó una diferencia apreciable entre el color del pelaje pardo claro y pardo oscuro, cuyo diferencial resultó en + 46.97 kcal (+6.23%) como se presenta en el cuadro VII y en la gráfica VI.

Cuadro VII: Indicadores de la alteración calórica momentum según la época anual y el color del pelaje en vacas cruzadas 6/8 Pardo Suizo x 2/8 *Bos indicus* bajo estrés calórico microambiental.

Época Anual	Tono del Pardo en el Pelaje	Temperatura Corporal Mínima (°C)	Temperatura Corporal Máxima (°C)	Diferencial Térmico °C	Capacidad Calórica (Kcal/°C)	Sobrecarga Calórica Momentum (Kcal)
Seca	Pardo Claro	38.3	40.6	+2.3	367.90	846.17 ^a
	Pardo Gris	38.5	41.1	+2.6	370.83	1030.25 ^b
	Pardo	38.7	41.9	+3.2	371.68	1189.34 ^c

	Oscuro					
Lluviosa	Pardo Claro	37.8	39.9	+2.1	358.75	753.34 ^a
	Pardo Gris	38.2	40.0	+1.8	353.90	637.02 ^b
	Pardo Oscuro	38.5	40.6	+2.1	381.11	800.31 ^c

Medias dentro de las épocas con letras ab y ac difieren al .1% (P<.001).



Gráfica VI: Medias de la alteración térmica corporal momentum según la época anual y el color del pelaje en vacas cruzadas Pardo Suizo Cebú bajo estrés calórico.

Los animales con el pelaje mas oscuro fueron mas alterados térmicamente que aquellos con el pelaje mas claro y aunque las diferencias fueron relativamente bajas; es preciso indicar que bajo estrés calórico, estas son cifras indican que la tensión calórica impactó mas severamente cuando el color del pelaje fue mas oscuro. Otros estudios han encontrado que la radiación solar y su impacto en la temperatura corporal es igualmente mayor cuando la tonalidad del pelaje y/o la piel son más oscuros. Según Araúz et al., (2010), el entorno ambiental y la magnitud del estrés calórico tropical inciden de manera deferente según el grupo genético, la hora del día y el grado de la insolación circadiana; pudiendo complementar la influencia el color del pelaje. Los animales más oscuros correspondieron a la raza Holstein que fue el grupo genético más alterado en su temperatura corporal y en el índice respiratorio colateralmente.

Frecuencia respiratoria y las alteraciones circadianas bajo estrés calórico.

El índice respiratorio es rápidamente alterado en los animales homeotermos cuando se incrementa la carga calórica corporal como respuesta conjunta para complementar la termólisis activa y buscar el equilibrio normotérmico (Yousef, 1985; Araúz, 2006). La frecuencia

respiratoria fue el indicador fisiológico mas alterado; siendo afectada por la época anual ($P < .0001$), el color del pelaje ($P < .0001$) y por los subperiodos circadianos ($P < .0001$); sin embargo, la época y el color del pelaje interaccionaron; afectando la frecuencia respiratoria ($P < .06$); aunque la mayor interacción fue observada entre la época, los subperiodos circadianos y entre las tonalidades del color pardo ($P < .001$).

La convergencia de la época anual y el tono del color del pelaje en las vacas cruzadas (6/8 Pardo Suizo 2/8 Cebú) mostró la triple interacción para la respiración ($P < .0.001$); de manera que la época del año, el color del pelaje y los subperiodos circadianos establecidos actuaron de manera interactiva simultánea; modificando el índice respiratorio, especialmente durante la época seca (ver cuadro VIII). El índice respiratorio medio mínimo a las 06 de la mañana en la época seca y lluviosa fue 29 y 28 respiraciones por minuto; siendo ambos muy cercanos al índice respiratorio normal de los bovinos según Fraser et al., (1993) es de 30 respiraciones por minuto; aunque fue ligeramente superior al reportado por Detweiler (1984); indicando de 24 a 26 respiraciones por minuto. La tasa respiratoria normal en el ganado lechero puede oscilar entre 16 y 26 respiraciones por minuto y en el ganado de carne entre 10 a 30 si las condiciones son termoneutrales (Viness, 2010). No obstante, es preciso considerar las condiciones según la época, la estación anual, el complejo temperatura – humedad momentum, la hora del día, la incidencia de la radiación solar directa, nubosidad, tipo de bovino (leche, carne, cruzado), color del pelaje, pigmentación tegumentaria, condición corporal, sexo, peso corporal, tiempo de exposición al sol, estado reproductivo, producción láctea, ganancia de peso, características de la dieta y el manejo de los animales (Araúz, 2010, 2014).

El índice respiratorio fue alterado drásticamente; alcanzando el máximo valor entre las 12 medio día y las 03 PM; resultando en la época seca 75 respiraciones/minuto y en la época lluviosa 58 respiraciones/minuto. La alteración del patrón fisiológico respiratorio en la época seca fue 2.56X y en la época lluviosa de 2.12X en base a la referencia respiratoria tomada a las 06 de la mañana; marcando un diferencial entre épocas del 20.75% con la dominancia de la época seca (ver cuadro IX y las Gráficas VI y VII).

Es evidente, que las modificaciones fisiológicas ocurrieron con diferencias al considerar en el modelo lineal aditivo la influencia del color del pelaje; en cuyo caso los animales con el pelaje mas claro sufrieron las menores alteraciones; mientras que los que tenían un pelaje mas oscuro fueron los mas alterados. Otros estudios indican que el color del pelaje no solo es importante para la fisiología general y los signos vitales; sino que también esta vinculados con los efectos del estrés calórico sobre la fertilidad del ganado lechero (Bertipaglia et al., 2006).

Cuadro VIII: Análisis de varianza - covarianza para la frecuencia respiratoria circadiana según el color del pelaje y la época anual en vacas cruzadas bajo estrés calórico tropical

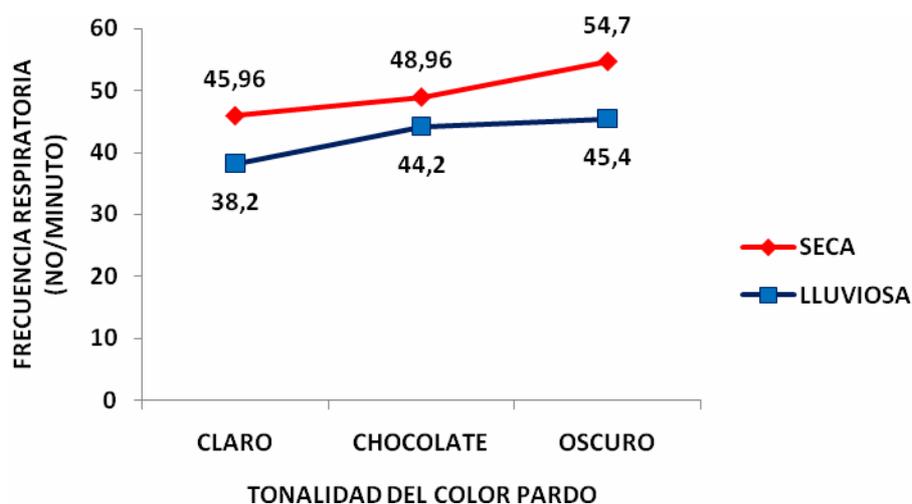
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
EPOCA	1	1468.73452	1468.73452	99.07	<.0001
COLOR	2	1108.36693	554.18346	37.38	<.0001
EPOCA*COLOR	2	83.61548	41.80774	2.82	0.0641
PERIODO	8	30362.41975	3795.30247	256.01	<.0001
EPOCA*PERIODO	8	1496.44444	187.05556	12.62	<.0001
COLOR*PERIODO	16	672.95062	42.05941	2.84	0.0007
EPOCA*COLOR*PERIODO	16	623.44444	38.96528	2.63	0.0017
PESO CORPORAL (KG)	1	65.83229	65.83229	4.44	0.0374
PRODUCCION DE LECHE (KG)	1	100.36505	100.36505	6.77	0.0106
Error	106	1571.40278	14.82455		
Corrected Total	161	38839.58642			

Source	DF	Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	55	37268.18364	677.60334	45.71	<.0001
RSquare					
Coef Var					
Root MSE					
FR Mean					
0.959541					
8.322124					
3.850267					
46.26543					

Cuadro IX: Medias ajustadas de la Temperatura Rectal (°C), Frecuencia Respiratoria (No/minuto) y Frecuencia Cardíaca (No/minuto) en vacas cruzadas en lactación.

Época	Subperíodo	Temperatura Rectal	Índice Respiratorio	Índice Cardíaco			
Anual	Horario	(°C)	(No/Minuto)	(No/Minuto)			
	Circadiano						
EPOCA	NH	Mean	Std Dev	Mean	Std Dev	Mean	Std Dev
1	1	9 38.5111111	0.23154073	29.4444444	2.2422707	56.1111111	2.14734979
1	2	9 39.1555556	0.63267510	37.2222222	3.1135903	59.6666667	2.39791576
1	3	9 41.0444444	0.72303373	72.3333333	11.6404467	62.4444444	2.00693243
1	4	9 41.2111111	0.64700163	75.3333333	5.6568542	61.7777778	1.64147630
1	5	9 40.3888889	0.59043299	64.0000000	7.3484692	59.4444444	1.87823794
1	6	9 39.8777778	0.55176485	55.3333333	7.6321688	57.7777778	1.92209377
1	7	9 39.3777778	0.44378423	45.6666667	8.6168440	56.6666667	2.06155281
1	8	9 38.9555556	0.47463436	38.4444444	6.1666667	54.8888889	2.36877840
1	9	9 38.4444444	0.33952581	31.1111111	3.1402406	55.4444444	2.24227067
2	1	9 38.2888889	0.27588242	27.7777778	1.3017083	54.8888889	1.53659074
2	2	9 38.9000000	0.50249378	34.8888889	2.6193723	56.5555556	2.06827894
2	3	9 40.1777778	0.41466184	53.4444444	4.6398036	60.0000000	4.18330013
2	4	9 40.1888889	0.32574700	58.8888889	5.0110988	59.3333333	2.06155281
2	5	9 39.7666667	0.11180340	54.7777778	8.0277297	56.7777778	1.48136574
2	6	9 39.5466667	0.24718414	48.4444444	6.5404723	55.0000000	1.32287566
2	7	9 39.2555556	0.32829526	41.4444444	3.9405301	54.3333333	1.11803399
2	8	9 38.8555556	0.41866189	34.7777778	2.9907264	53.5555556	1.87823794
2	9	9 38.4111111	0.31797973	29.4444444	2.2422707	53.3333333	2.00000000

Época Seca = 1 Época Lluviosa = 2 NH (Numeración Horaria): 1= 06AM 2=09AM 3=12MD
4=3PM 5= 6PM 6=9PM 7=12 MN 8= 3AM 9 = 6AM NH: Numero Horario



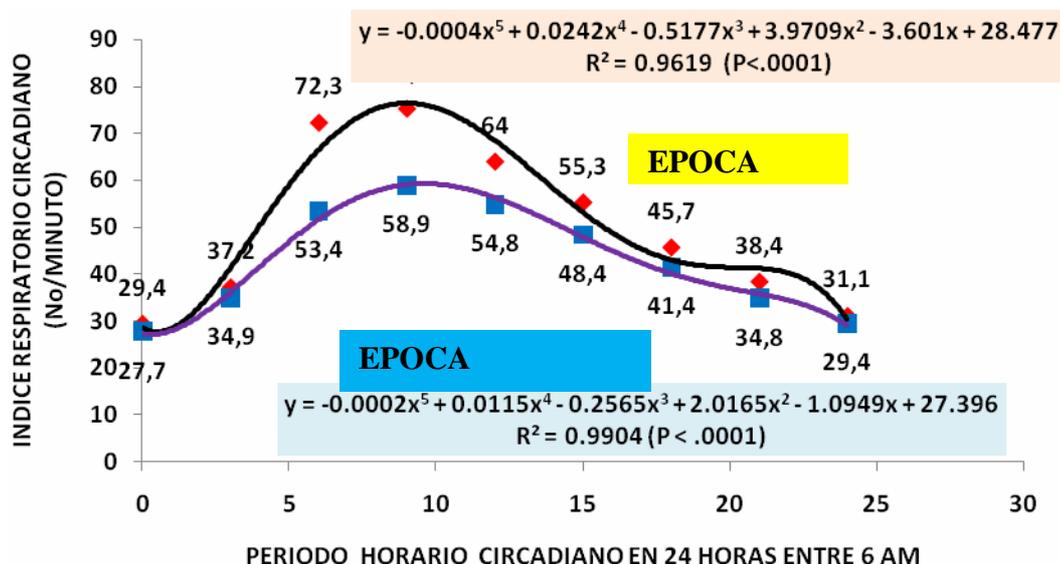
Gráfica VI: Frecuencia respiratoria media ajustada en vacas cruzadas según la tonalidad del Pardo en la época seca y lluviosa en el clima tropical húmedo.

La frecuencia respiratoria mostró una tendencia curvo lineal; siendo la fase diurna la más notoria como se puede apreciar en las gráficas VII y VIII. Este indicador fisiológico, al igual que la temperatura rectal resultó heterogénea en su magnitud media de acuerdo con el horario circadiano (día y noche). Esta tendencia fue observada cuando los datos fueron cuadrados desconociendo el tono del pelaje. Esta tendencia obedece a las modificaciones y/o ajustes termolíticas para mantener la homeostasia calórica corporal; lo cual se logra a través de la noche y se expresa finalmente en la madrugada; retornando al índice respiratorio normal cuando la temperatura corporal es normalizada.

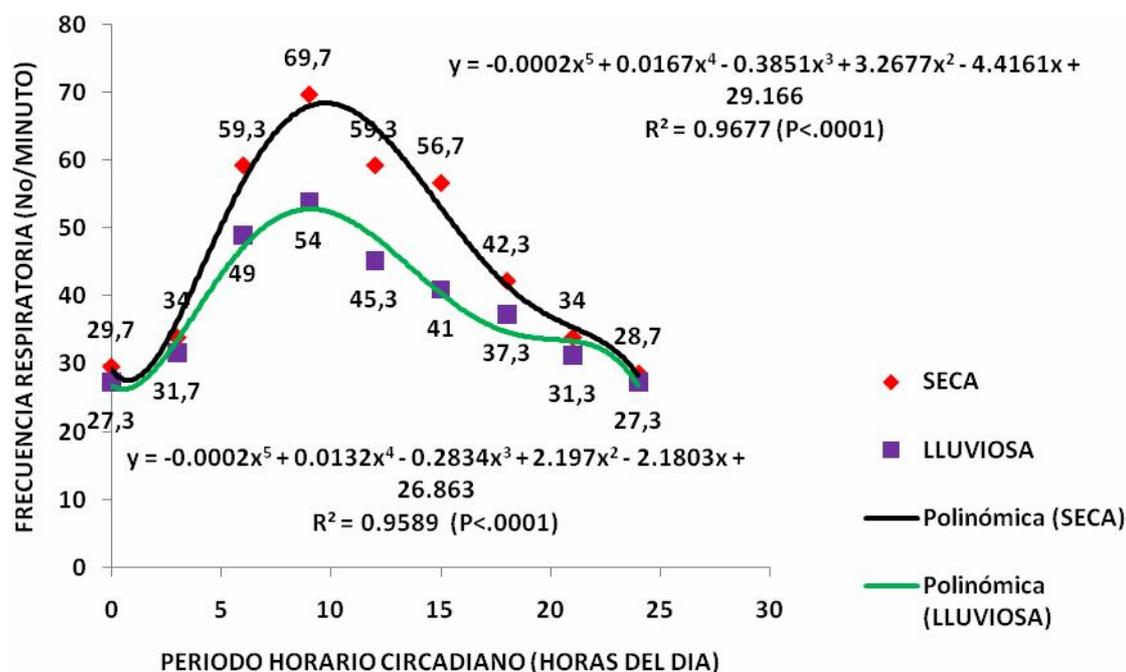
El concepto de la época por periodo circadiano marcó una variación significativa en la frecuencia respiratoria ($P < .0001$); resultando la mayor alteración del índice respiratorio en la época seca y coincidiendo con la mayor magnitud del estrés calórico según la temperatura ambiental, el ITH y el ITH ajustado por la radiación solar directa y la velocidad del viento para bovinos (ver gráfica VII).

La tendencia regresiva de la frecuencia respiratoria fue polinómica del quinto grado en ambas épocas; sin embargo, en la época seca se produjo el mayor grado de irregularidad (alteración diurna) con una doble fase de acomodación entre el día y la noche. El diferencial de la alteración térmica total en la época seca fue de 3.57°C en 24 horas entre la época seca y lluviosa; lo cual estuvo asociado con la frecuencia respiratoria estándar de 65 movimientos respiratorios adicionales producto del acumulado de 449 mrpm en la época seca versus 384 mrpm en la época lluviosa en 24 horas que alcanzo un diferencial de 16.92%. El incremento térmico entre la época seca y lluviosa fue de $+0.839\%$ que representó 3.57°C en el ciclo circadiano de 24 horas; sin embargo, la trayectoria de la frecuencia respiratoria de la época seca superó a la época lluviosa en $+16.94\%$. No obstante, la sobrecarga respiratoria en la época seca fue de 1.78X sobre el perfil fisiológico respiratorio en la época seca y de 1.52X en la época lluviosa. El color pardo claro evidenció la menor

perturbación o alteración del índice respiratorio en la época seca y lluviosa (ver gráfica VII); con variación según el color del pelaje (gráficas VIII, IX y X). Igualmente, las menores alteraciones respiratorias y la menor magnitud estuvieron asociadas con las menores alteraciones térmicas y cardíacas paralelamente.



Gráfica VII: Tendencia regresiva genérica de la frecuencia respiratoria circadiana en vacas cruzadas en el medio tropical húmedo en la época seca y lluviosa.

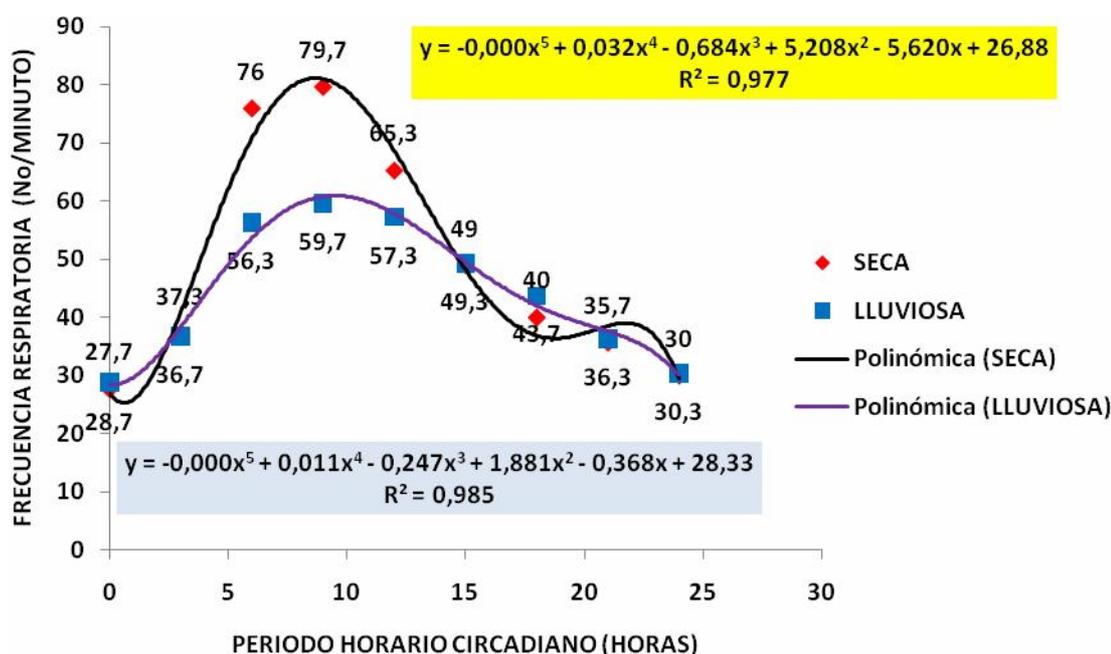


Gráfica VIII: Tendencia regresiva de la frecuencia respiratoria media ajustada en vacas cruzadas con pelaje pardo claro en la época seca y lluviosa.

Las hembras bovinas utilizadas con pelaje pardo gris mostraron una frecuencia respiratoria superior en la época seca; evidenciando a su vez una desaceleración pronunciada al producirse la normalización del índice respiratorio, cuando las condiciones micro climáticas fueron más favorables en la fase circadiana nocturna. La diferencia circadiana en la trayectoria del índice respiratorio secuencial por minuto cada tres horas fue más afectado a medida que el color aumentó del tono claro al oscuro.

La trayectoria de la frecuencia respiratoria en las vacas pardo gris en la época seca fue $y = -0.0005x^5 + 0.0323x^4 - 0.6842x^3 + 5.2085x^2 - 5.6205x + 26.884$ ($R^2 = 0.9771$; $p < .0001$) y en la época lluviosa fue $y = -0.0002x^5 + 0.0113x^4 - 0.2471x^3 + 1.881x^2 - 0.3686x + 28.335$ ($R^2 = 0.9859$; $P < .0001$). La alteración respiratoria máxima se alcanzó desde la 12 medio día hasta las 03 pm con un residuo alterado que duro hasta las 06 pm respectivamente.

El comportamiento de la frecuencia respiratoria en los animales Pardo oscuro fue similar a los otros tonos del pelaje; destacándose prácticamente la misma trayectoria en la época seca; así como en la época lluviosa; pero siendo la época seca fue superior en los valores críticos durante la fase diurna circadiana y durante el periodo de ajuste compensatorio del retorno respiratorio en la noche.

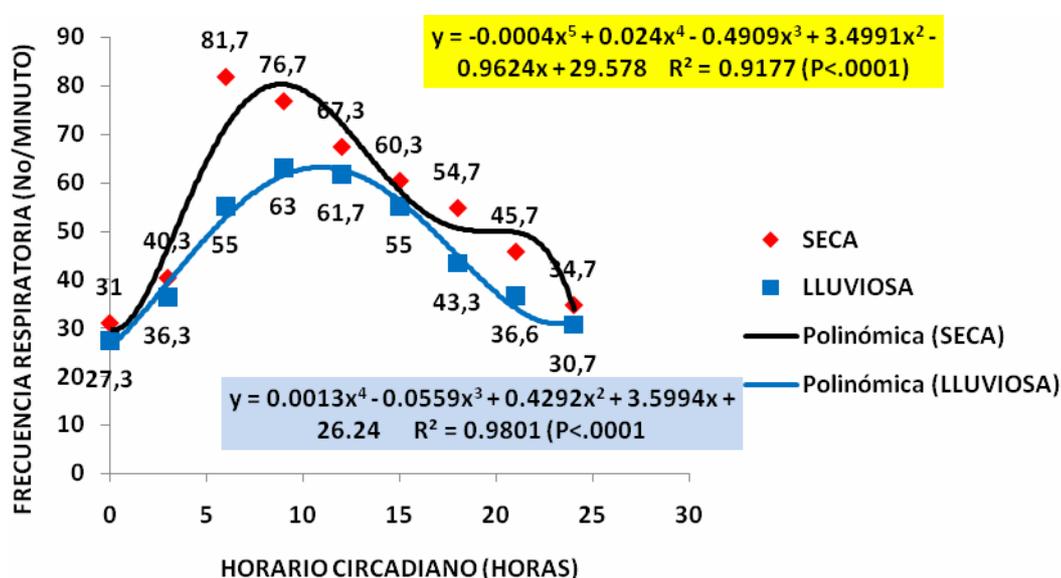


Gráfica X: Tendencia regresiva de la frecuencia respiratoria circadiana en vacas cruzadas con pelaje de color pardo gris en la época seca y lluviosa en el medio tropical húmedo costero.

La trayectoria respiratoria circadiana durante la época seca fue descrita por la regresión polinómica $y = -0.0004x^5 + 0.024x^4 - 0.4909x^3 + 3.4991x^2 - 0.9624x + 29.578$ ($R^2 = 0.9177$; $P < .0001$) y durante la

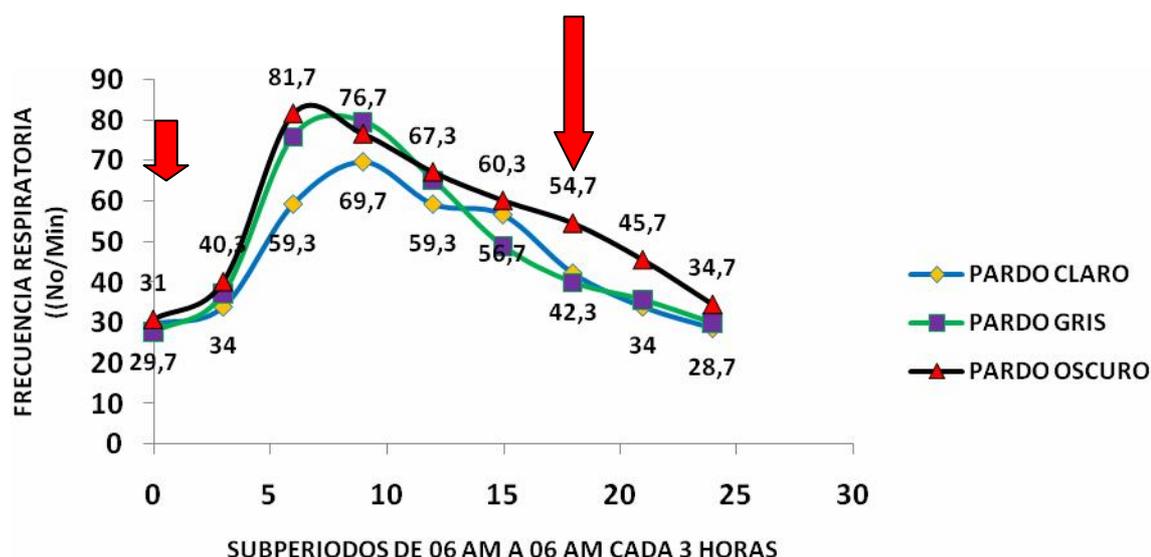
época lluviosa $y = 0.0013x^4 - 0.0559x^3 + 0.4292x^2 + 3.5994x + 26.24$ ($R^2 = 0.9801$; $P < .0001$). La frecuencia respiratoria (y) fue asociada como dependencia del subperiodo circadiano (x) como el factor independiente.

La frecuencia respiratoria también fue irregular con una proyección curvo lineal polinómica para los animales con el color pardo claro, gris y oscuro durante el circadio en la época lluviosa; alcanzando el máximo de 54, 60 y 63 respiraciones por minuto. La proyección gráfica de las medias en los subperiodos circadianos indicó que la alteración respiratoria en la época lluviosa evolucionó incrementándose en las horas de la mañana y alcanzando la meseta alterada entre las 12 md y las 06 de la tarde en la recuperación inicial (ver gráfica XI); tal como describe el patrón fisiológico (Fernandes et al., 2016).



Gráfica XI: Tendencia regresiva de la frecuencia respiratoria circadiana ajustada en vacas cruzadas con pelaje de color pardo oscuro en la época seca y lluviosa en el trópico.

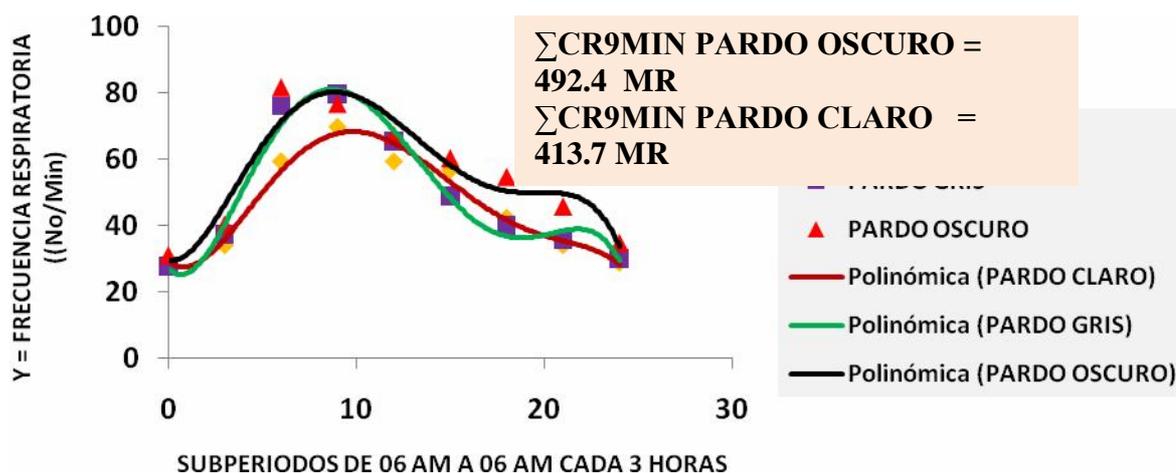
El comportamiento respiratorio según el color del pelaje en la época seca se destaca en la gráfica XII; en cuyo caso, se puede observar que la frecuencia respiratoria más alta se produjo en las vacas con el color pardo más oscuro con una proyección curvo lineal polinómica con doble fase de compensación; siendo la más grave en su reducción al ocurrir la transición entre las horas de la tarde y la noche. En este orden, le siguió los animales de color pardo gris o tono intermedio; los cuales incluso alcanzaron prácticamente el mismo valor máximo que los animales más oscuros. No obstante, fue notable que los animales del color pardo claro presentaron el menor índice respiratorio por minuto; incluso en las horas de mayor tensión calórica en la época seca (ver gráfica XII).



Gráfica XII: Medias y tendencia de la frecuencia respiratoria en los animales según el tono del color Pardo (Claro, Gris y Oscuro) bajo estrés calórico en la época seca.

La carga respiratoria acumulativa en nueve minutos en las vacas pardo oscuro fue 492.4 respiraciones y en las vacas pardo claro 413.7 respiraciones; mostrando a su vez una diferencia del 19.02%; lo que representa una ventaja en el esfuerzo respiratorio para los animales pardo claros durante la exposición al estrés calórico tropical (gráfica XIII). La carga respiratoria circadiana en las vacas pardo oscuro fue 78784 movimientos respiratorios y 66162 movimientos respiratorios en 24 horas; lo que representó un diferencial de 12,592 movimientos respiratorios menos que no efectuaron los animales más con un pelaje más claro en la época seca (-16.02%). Se deriva de los valores respiratorios, que el diferencial del tono del color en los animales evaluados significó un beneficio apreciable para las vacas de color pardo claro; por lo que el esfuerzo respiratorio fue inferior; beneficiando el mantenimiento de la carga respiratoria más cercana al valor fisiológico, menor alteración del contenido de CO₂ en sangre a pesar de la influencia desplazante del estrés calórico diurno tropical.

En el marco respiratorio, el color del pelaje pardo en las tres tonalidades evaluadas (claro, gris y oscuro) mostró una diferencia apreciable entre los dos extremos de las tonalidades (claro vs oscuro). La carga respiratoria en nueve minutos durante el ciclo circadiano para el pardo claro fue 350 respiraciones versus el color oscuro que presentó una 409 respiraciones. Esto representa una diferencia del 16.88% en la carga respiratoria. Estas diferencias fueron notorias en casi todas las estaciones circadianas durante la fase diurna y nocturna (ver gráfica XIII y XIV).



PARDO OSCURO (y) = $-0.0004x^5 + 0.024x^4 - 0.4909x^3 + 3.4991x^2 - 0.9624x + 29.578$ $R^2 = 0.9177$
 ($P < .001$)

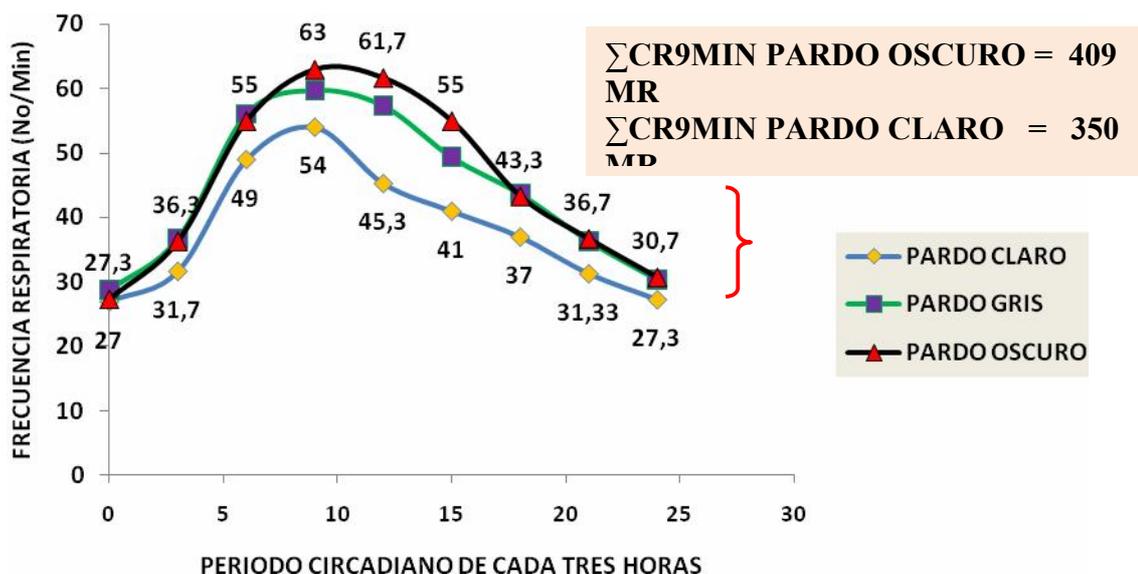
PARDO GRIS (y) = $-0.0005x^5 + 0.0323x^4 - 0.6842x^3 + 5.2085x^2 - 5.6205x + 26.884$ $R^2 = 0.9771$
 ($P < .001$)

PARDO CLARO (y) = $-0.0002x^5 + 0.0167x^4 - 0.3851x^3 + 3.2677x^2 - 4.4161x + 29.166$ $R^2 = 0.9677$
 ($P < .001$)

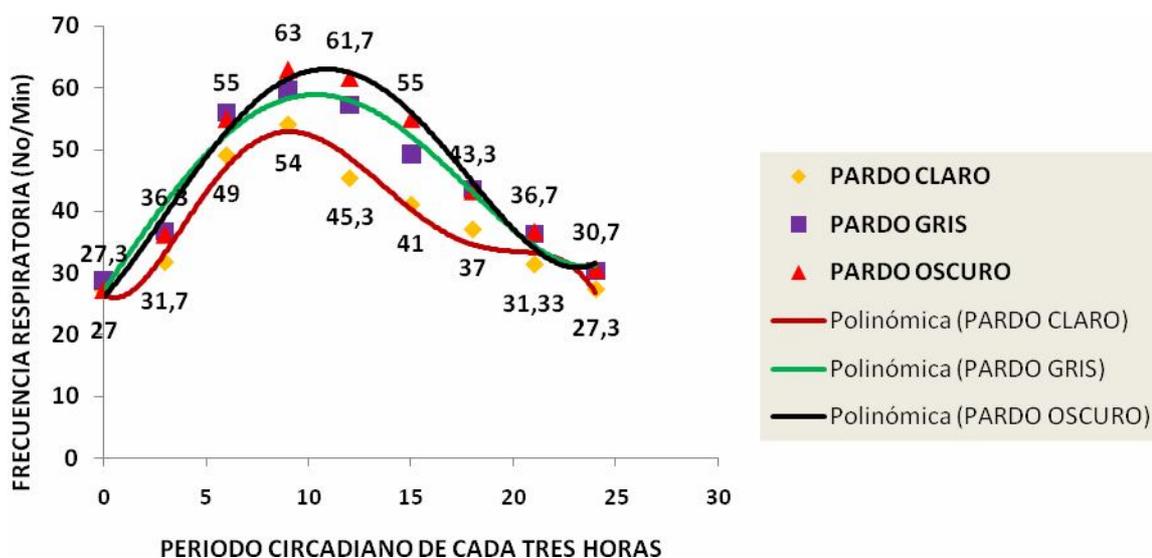
y = Frecuencia Respiratoria (Numero por minuto)

Gráfica XIII: Tendencias de la frecuencia respiratoria según el tono del color pardo en vacas cruzadas bajo estrés calórico en la época seca en el trópico de bajura.

El animal pardo claro presentó 56000 movimientos respiratorios/día; mientras que el animal pardo oscuro alcanzaría 65440 movimientos respiratorios/día; lo que representa un diferencial en la carga respiratoria circadiana bajo influencia del estrés calórico tropical de 9440 movimientos respiratorios en nueve minutos (ver gráfica XIV y XV); representando un trabajo y esfuerzo respiratorio de + 16.86% en promedio. El color del pelaje más claro estuvo asociado con un menor esfuerzo respiratorio; coincidiendo con el hecho de captar menos energía radiante solar y a su vez evitando tegumentariamente que el animal acumulara más energía calórica; alcanzando una menor alteración biotérmica.



Gráfica XIV: Medias y tendencia de la frecuencia respiratoria circadiana según el tono del color Pardo (Claro, Gris y Oscuro) bajo estrés calórico en la época lluviosa.



PARDO OSCURO $(y) = 0.0013x^4 - 0.0556x^3 + 0.4247x^2 + 3.6174x + 26.233$
 $R^2 = 0.9798$

PARDO GRIS $(y) = 0.0008x^4 - 0.0275x^3 + 0.0299x^2 + 4.8512x + 27.226$ $R^2 = 0.9543$

PARDO CLARO $(y) = -0.0002x^5 + 0.0132x^4 - 0.2835x^3 + 2.1881x^2 - 2.0742x + 26.576$
 $R^2 = 0.9617$

Gráfica XV: Tendencia de la frecuencia respiratoria en el color del pelaje pardo claro, pardo gris y pardo oscuro en vacas cruzadas durante la época lluviosa.

El color más claro beneficio a los animales; contribuyendo así como una menor alteración del índice espiratorio; aunque estos animales también fueron alterados dado la influencia del estrés calórico diurno en la época seca bajo las condiciones del medio tropical húmedo.

Frecuencia cardiaca: variación, medias y tendencia bajo estrés calórico.

La magnitud de la frecuencia cardiaca fue afectada por la época anual, el horario circadiano y por la tonalidad del color del pelaje como se muestra en el cuadro IX ($P < .001$). El peso corporal afecto la magnitud del índice cardiaco ($P < .05$)' sin embargo, no se produjeron alteraciones según el nivel de la producción de leche. La influencia variativa más relevante fue en los periodos circadianos incluyendo la fase diurna y nocturna; aunque se observó varias interacciones con diferencias estadística ($P < .0001$).

La frecuencia cardiaca no fue diferente al contemplar la época y los subperiodos ($P > .769$) ni mucho menos diferente al considerar la interacción múltiple de la época, el color y los subperiodos ($P > .57$); lo que indica que su magnitud prevalente fue homologa para los animales evaluados en las condiciones indicadas. No obstante, la frecuencia cardiaca mostró un comportamiento diferente, cuando se consideró los colores del pelaje a través de los subperiodos ($P < .0009$) que correspondieron a la fase de mayor estrés calórico micro ambiental (fase diurna) y en la menor presión calórica (noche).

El peso corporal fue la única variable que mostró una influencia covariativa sobre la frecuencia cardiaca ($P < .04$); ya que la producción de leche no fue significativa estadísticamente ($P > .68$) como se muestra en el cuadro IX a través del análisis de varianza - covarianza.

Cuadro IX: Análisis de varianza - covarianza para la frecuencia cardiaca circadiana según el color del pelaje en vacas cruzadas bajo estrés calórico tropical.

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
EPOCA	1	110.0730521	110.0730521	37.34	<.0001
COLOR	2	39.4130005	19.7065003	6.68	0.0018
EPOCA*COLOR	2	43.9164888	21.9582444	7.45	0.0009
PERIODO	8	940.2222222	117.5277778	39.87	<.0001
EPOCA*PERIODO	8	14.3456790	1.7932099	0.61	0.7692
COLOR*PERIODO	16	131.1851852	8.1990741	2.78	0.0009
EPOCA*COLOR*PERIOD	16	42.4691358	2.6543210	0.90	0.5706
Peso Corporal (KG)	1	12.1413750	12.1413750	4.12	0.0449
Producción Leche (KG/día)	1	0.4813023	0.4813023	0.16	0.6870
Error	106	312.491812	2.948036		
Corrected Total	161	1806.000000			

Source	DF	Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	55	1493.508188	27.154694	9.21	<.0001
R-Square					
Coef. Var					
Root MSE					
FC Mean					
0.826970					
3.006393					
1.716985					
57.11111					

El índice cardíaco a través del número de latidos por minuto está sujeto a la influencia de múltiples factores en los animales domésticos de interés zootécnico (Detweiler, 1984); sin embargo, bajo ciertas circunstancias de estrés o alteración, el mismo constituye una herramienta que ayuda a describir la respuesta del animal en el tiempo si el agente agresor como el microclima se mantiene por un periodo considerable como ocurre entre las 09 am y las 03 pm respectivamente.

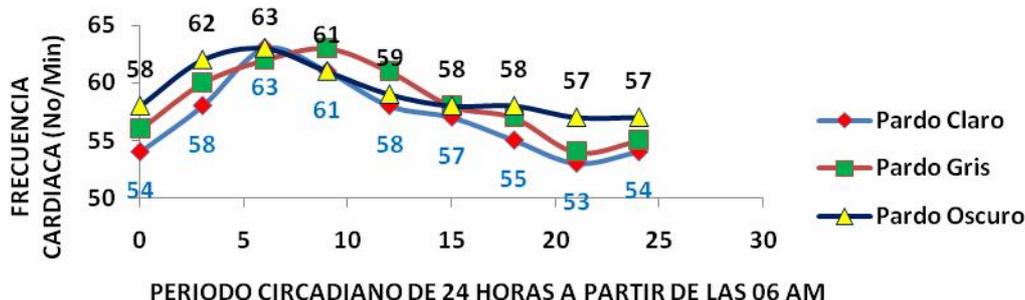
La frecuencia cardíaca no mostró grandes variaciones que pudiesen verificarse y notarse en las medias ajustadas por época según el color del pelaje y los subperiodos circadianos; sin embargo, las medias de cada sector se muestran en el cuadro X ya que el esfuerzo fisiológico cardíaco del animal fue diferente entre las épocas ($P < .001$); y en consecuencia, las tendencias genéricas para cada grupo de animales según el color del pelaje como se puede observar en las gráficas XVI y XVII.

Cuadro X: Medias de la frecuencia cardíaca según la colocación del pelaje en vacas cruzadas a través del circadio en el clima tropical húmedo para la época seca y lluviosa.

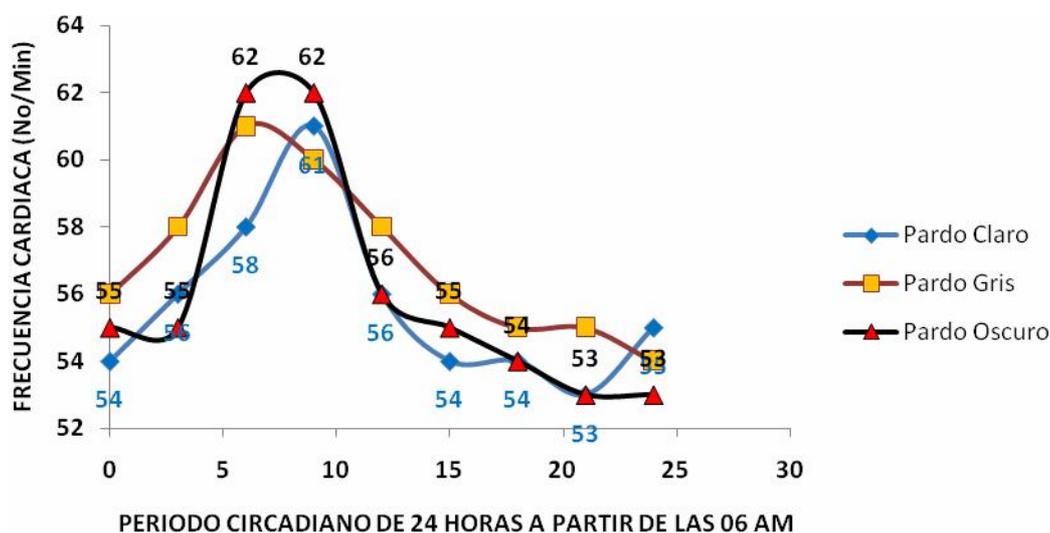
Periodo Circadiano	Frecuencia Cardíaca (No/minuto)					
	Época Seca			Época Lluviosa		
	Pardo Claro	Pardo Gris	Pardo Oscuro	Pardo Claro	Pardo Gris	Pardo Oscuro
06 am = 0	54.0	56.0	58.3	53.7	55.7	55.3
09 am = 3	57.7	59.7	61.7	56.0	58.3	55.3
12 md = 6	61.0	62.0	65.2	63.0	61.3	62.0
03 pm = 9	60.0	63.3	61.0	61.0	59.7	62.0
06 pm = 12	58.0	61.3	59.0	56.0	58.0	56.0
09 pm = 15	57.0	58.0	58.3	54.0	56.0	55.0
12 mn = 18	54.7	57.3	58.0	54.0	55.3	53.6
03 am = 21	53.0	54.3	57.3	52.7	55.0	53.0
06 am = 24	54.0	55.0	57.3	55.0	54.3	52.7

La proyección de los valores medios de la frecuencia cardíaca en la fase diurna de la época seca indican que las vacas con un pelaje pardo claro sufrieron una alteración del trabajo cardíaco con menor aceleración en comparación con los animales de color pardo gris y pardo oscuro; aunque se evidencia la sobrecarga cardíaca ante la influencia del estrés calórico microclimático (Gráfica XVI y XVII). La alteración cardíaca también está sujeta a la modificación del ritmo debido a la fatiga del miocardio que se refleja en la caída de la presión sanguínea sistólica como consecuencia compensatoria de la dinámica vascular al ocurrir la vasodilatación periférica que acompaña al animal bajo estrés calórico. No obstante, los animales de color más claro mostraron una frecuencia cardíaca que descendió más rápido; pudiéndose aproximar a los valores fisiológicos en el transcurso de la noche. El comportamiento de la frecuencia cardíaca en la época lluviosa indicó que los animales Pardo Oscuro alcanzaron una mayor magnitud en la fase diurna; sin

embargo, hubo un rápido descenso después de las 06 pm; cayendo por debajo de la frecuencia cardíaca de los animales de color claro y gris.



Gráfica XVI: Tendencias de la frecuencia cardíaca según el color del pelaje en vacas cruzadas Pardo Suizo x Bos indicus en la época seca a través del ciclo circadiano típico.



Gráfica XVII: Tendencias de la frecuencia cardíaca según el color del pelaje en vacas cruzadas Pardo Suizo x Bos indicus en la época lluviosa a través del ciclo circadiano.

Los valores fisiológicos de la frecuencia cardíaca a las 06 am en los animales pardo claro, gris y oscuro fueron de 54, 56 y 58 latidos por minuto hasta un máximo de 61, 63 y 65 latidos por minuto; representando un incremento de + 7 (+12.96%), +7 (+12.5%) y +7 (9.66%). La circulación como proceso sufrió una alteración bajo la influencia del estrés calórico como respuesta a la carga calórica corporal (Curtis, 1981; Yousef, 1985; Hansen, 1986). La hipertermia está relacionada con la vasodilatación periférica que propicia los mecanismos sudorativos y evaporativos tegumentarios con una contracción de los grandes vasos sanguíneos y una restricción en el flujo sanguíneo a los órganos no vitales para confrontar la alarma homeostática (Araúz, 2013); por lo cual se modifican los signos vitales asociadas con la respiración, circulación, presión sanguínea y Biotermia (Arauz et al., 2010; Barillas, 2014; Arauz, 2016) y reduce la producción (Toda et al., 1999; Guerra et al., 2008); reduciendo el flujo sanguíneo al tracto urogenital (Reynolds et al., 1985) y alterando los procesos reproductivos (West et al., 2003; St-Pierre et al., 2003).

Influencia del color del pelaje sobre el comportamiento térmico corporal, cinética de la sobrecarga calórica y alteración cardiorespiratoria circadiana em vacas lecheras cruzadas (6/8 *Bos taurus* x 2/8 *Bos indicus*) bajo estrés calórico em el trópico húmedo
<http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n070717/071707.pdf>

CONCLUSIONES

El comportamiento térmico y cardiorespiratorio fue afectado por las condiciones facilitadoras del estrés calórico en la época seca y lluviosa; sin embargo, la magnitud de la sobrecarga calórica y cardiorespiratoria fueron modificadas según el color del pelaje; siendo los animales pardo claro los menos alterados y los mas oscuros los que mostraron la mayor alteración ante un medio calórico tensivo que osciló entre severo a moderado con un episodio de fuerte entre dos a cuatro horas en las condiciones de la zona baja en el trópico húmedo.

El periodo circadiano de mayor comprometimiento para el bienestar térmico por estrés calórico microambiental ocurrió entre las 9 am y 04 pm en la época seca y entre las 10 am y 03 pm en las época lluviosa; alcanzado una magnitud calórica tensiva entre severa a moderada capaz de modificar el funcionamiento sistémico básico; aumentando la temperatura rectal, la frecuencia respiratoria, el trabajo respiratorio, el esfuerzo y trabajo cardiaco, la conducta general y produciendo un deterioro en las condiciones generales y apariencia de los animales.

El complejo calórico para bovinos ITH se modifico drásticamente en la fase diurna en el medio tropical cuando se incluyo la radiación solar directa como complemento; aumentando la magnitud del índice de percepción calórica diurna para bovinos en pastoreo; siendo responsable por no solo las alteraciones térmicas y respiratorias agudas; sino también por la generación de la sobre carga calórica corporal, sobre carga respiratoria y por el esfuerzo extra del trabajo potencial y cinético del corazón; todas vinculadas con el agotamiento y fatiga fisiológica por estrés calórica circadiano; generando consecuencias como la reducción en las potencialidades funcionales, biológicas y de producción en el momento de la incidencia del estrés calórico propiamente.

El periodo circadiano diurno en la época seca alcanzo un grado de estrés calórica diurno fuerte cuando fueron incluidos la temperatura del aire, la humedad relativa y la radiación solar directa; por lo cual no solo se alteró la fisiología vital circulatoria, respiratoria y térmica del animal; sino también se desarrollaron signos como el jadeo, salivación continua, nulidad del consumo del pastoreo y alimento, aumento del sonido respiratorio al en la inhalación y baja actividad locomotora.

RECOMENDACIONES

Los hallazgos de la evaluación micro ambiental circadiana en la época seca y lluviosa y las alteraciones fisiológicas en vacas Pardo Suizo x Bos Indicus en estado lactacional evidenciaron la necesidad de incluir en el patrón del manejo microambiental, nutricional y alimentario la semiestabulación garantizando la protección contra la radiación solar directa y la prevención del calentamiento del aire atmosférico en el microambiente para los bovinos en lactación; sin

Influencia del color del pelaje sobre el comportamiento térmico corporal, cinética de la sobrecarga calórica y alteración cardiorespiratoria circadiana em vacas lecheras cruzadas (6/8 *Bos taurus* x 2/8 *Bos indicus*) bajo estrés calórico em el trópico húmedo
<http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n070717/071707.pdf>

subestimar el perfil apropiado para la alimentación y nutrición lactacional acordes con las necesidades de mantenimiento mas los ajustes (locomotores, termolíticos y de crecimiento) y por producción de acuerdo con el contenido de la grasa láctea con miras a minimizar las influencias negativas del estrés calórico.

La protección del potencial de producción lechera y de la habilidad reproductiva en el ganado lechero en lactación en el trópico solo será posible si además de las medidas del manejo alimentario, nutricional y del control de la buena salud; incluimos las medidas y estrategias integrales para reducir el estrés calórico y cuidar el bienestar térmico y general mediante el uso de la sombra natural, la semiestabulación, la suplementación forrajera, el cuidado del buen balance de materia seca, carbohidratos estructurales, energía neta para producción láctea, proteína y minerales mayores (calcio, fósforo, magnesio, potasio, azufre, sodio y cloro); sin subestimar los micro elementos (hierro, cobre, cobalto, zinc, iodo, selenio), las vitaminas liposolubles (A, D₃ y E) y el uso de probióticos o el cultivo de levaduras propiamente.

AGRADECIMIENTO

Se le agradece al personal de campo del programa lechero de la Facultad de Ciencias Agropecuarias por haber apoyado y colaborado en el manejo de los animales durante la fase de la evolución fisiológica (señores Jorge Castillo, Jorge González, José Madrid y José Sánchez); así como también al Ing. Noé Aguilar encargado de la base de datos meteorológicos y al Ing. Jacob Franco como encargado de la toma de datos de la Estación Meteorológica de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Panamá en la Provincia de Chiriquí; quienes brindaron su apoyo logístico con alta disposición y cuidado. A ustedes mi agradecimiento especial. De igual forma se le agradece al Dr Juan M Osorio Decano de la Facultad de Ciencias Agropecuarias quien en su momento nos brindó el apoyo administrativo para coordinar las actividades de campo y el desarrollo de la investigación.

FINANCIAMIENTO

Esta investigación fue financiada por la Universidad de Panamá, la Facultad de Ciencias Agropecuarias, el Departamento de Zootecnia, el Centro de Enseñanza e Investigaciones Agropecuarias de Chiriquí (CEIACHI), el laboratorio de Fisiología Animal, Bioclimatología y Bienestar Animal y Ciencia Lechera; cubriendo los gastos del manejo animal, personal de apoyo logístico, alimentación de animales, uso de equipos para la valoración fisiológica y empleo de la estación meteorológica.

BIBLIOGRAFIA

- **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), Vol. 5, N°2, 19-28.
- **Araúz, E. E., Fuentes, A., y Méndez N. 2010.** Alteración diurna de la carga calorica corporal e interrelación de las temperaturas rectal y láctea en vacas cruzadas (6/8 *Bos taurus* 2/8 *Bos indicus*), Pardo Suizo y Holstein bajo estrés calórico diurno durante la época seca en el clima tropical. REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria 1695-7504, Vol 11, No 11. <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n1111110/111002.pdf>
- **Araúz, E. E., 2006.** El estrés calórico y sus efectos negativos sobre la fisiología, metabolismo. Reproducción y eficiencia de la producción en el ganado bovino de leche. Departamento de Zootecnia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Panamá.
- **Araúz, E. E., Eduardo E. Arauz y Said Caballero. 2015.** Situación actual de la producción de leche en Panamá. **En:** La Ganadería en América Latina y el Caribe. Pag 422 – 426. ISBN 978-607-75-305-4. Biblioteca básica de agricultura. México. APPA, FAO, IICA, Universidad de Chapingo.
- **Araúz, E. E. 2015.** Principales factores limitantes de la producción bovina de leche en Panamá. **En:** La Ganadería en América Latina y el Caribe. Pag 433 – 436. ISBN 978-607-75-305-4. Biblioteca básica de agricultura. México. APPA, FAO, IICA, Universidad de Chapingo.
- **Arauz, E. E. 2015.** Estrategias microclimáticas y medidas de manejo para reducir el estrés calórico, favorecer el bienestar animal y mejorar la producción bovina de leche en Panamá. **En:** La Ganadería en América Latina y el Caribe: Alternativas para la producción competitiva, sustentable e incluyente de alimentos de origen animal. Editorial en México: ISBN 978-607-75-305-4; APPA, FAO, IICA, Universidad de Chapingo. Pag. 449-454.
- **Araúz, E. E., 2015, 2016.** Influencia del estrés calórico circadiano sobre la presión sanguínea en novillas vacías y gestantes de las razas Holstein y Jersey en la zona baja del trópico húmedo. Departamento de Zootecnia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Vicerrectoría de Investigación y Postgrado, Universidad de Panamá
- **Barillas, E. 2014.** Comportamiento fisiológico térmico y cardiorespiratorio circadiano en novillas Holstein y Jersey vacías con adaptación crónica al estrés calórico tropical durante la época seca. Tesis. Escuela de Ciencias Pecuarias. Departamento de Zootecnia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Panamá.
- **Baumgard, L., H., J.B. Wheelock, G. Shwartz, M. O'Brien, M.J. VanBaale, R.J. Collier, M.L. Rhoads and R.P. Rhoads. 2006.** Effects of Heat Stress on Nutritional Requirements of Lactating Dairy Cattle Department of Animal Sciences The University of Arizona. 5TH Nutritional Conference, AZ, USA.
- **Beede, D. K. and R. J. Collier. 1986.** Potential nutritional strategies for intensively managed cattle during thermal stress. J. Anim. Sci. 62:543-554.

- **Bertipaglia, E. C. A., R. G. Silva, A. S. y C. Maia. 2006.** Fertility and hair coat characteristics of Holstein cows in a tropical environment. Corresponding author: elaineab@fcav.unesp.br
- **Brody, S. 1945:** Metabolic Rate as a function of body size in mammal homeotherms. En: Bioenergetic and Growth.
- **Cassandra B. Tucker A., B., *, Andrea R. Rogers a , Karin E. Schultz. 2008.** Effect of solar radiation on dairy cattle behavior, use of shade and body temperature in a pasture-based system a Rumen, Nutrition & Welfare, Ag Research Ltd. Hamilton, New Zealand b Department of Animal Science, University of California, Davis, USA Accepted 26 March 2007 Available online 21 May 2008. Applied Animal Behaviour Science 109 (2008) 141–154.
- **Collier, R. and D. K. Beede. 1985.** Heat stress influences on dairy animal health and production. IFAS, Dairy Science Department, University of Florida, Florida USA.
- **Collier, J., G. E. Dahl, and M. J. VanBaale. 2006.** Major Advances Associated with Environmental Effects on Dairy Cattle. Department of Animal Sciences, University of Arizona, Tucson 85721 †Department of Animal Sciences, University of Illinois, Urbana 61801. J. Dairy Sci. 89:1244–1253 □ American Dairy Science Association,
- **Collier, R.J.; Coppola, C. and Wolfgram, A., 2003:** Novel approaches for the alleviation of climatic stress in farm animals. In: Interactions between climate and animal production. EAAP Technical Series No.7. Wageningen Academic Publ., Wageningen, pp.61-71.
- **Curtis, E. 1981.** Psychometric approach to determine heat stress in animal production. Environmental management in agriculture.
- **Da Silva R. G. 2015.** Weather and climate and animal production.
- **Da Silva, R.G.; Lascala, N., Jr. and Tonhati, H., 2003:** Radiative properties of the skin and haircoat of cattle and other animals. Transactions of the A.S.A.E., 46, No.3, pp.913-918.
- **Das, Lalrengpuii Sailo, Nishant Verma, Pranay Bharti, Jnyanashree Saikia, Imtiwati and Rakesh Kumar . 2017.** Impact of heat stress on health and performance of dairy animals: A review Ramendra Veterinary World, EISSN: 2231-0916 Available at www.veterinaryworld.org/Vol.9/March-2016/7.pdf
- **Detweiler, D. 1984.** Regulation of the Heart. En: Dukes Physiology of Domestic Animals. Edited by M. Swenson, Cornell University Press, NY, USA. Pag. 150 161. ISBN: 0-8014-1686-8
- **Dikmen, S. and P. J. Hansen. 2009.** Is the temperature – humidity in the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? J. Dairy Sci. 92:109 - 116
- **Fernandes, Patricia Ferreira ; Camylla Pedrosa Monteiro ; Ednaldo Carvalho Guimarães; Robson Carlos Antunes ; Mara Regina Bueno de Mattos. 2016.** Physiological parameters, hair coat morphological characteristics and temperature gradients in Holstein gyr crossbred cows. Biosci. J., Uberlândia, v. 32, n. 2, p. 471-477, Mar./Apr. 2016
- **Gill, J. 1978.** Experimental design and analysis of Experiments in the Animal and Medical Sciences. State University Press, Ames, Iowa. U. S.A.

- **Guerra, E. A., E. E. Araúz, N. R. Santamaría y R. D. Ríos. 2008.** Entorno micro climático tropical húmedo en la época seca e influencia del estrés calórico sobre el comportamiento fisiológico y la producción de leche en vacas cruzadas $\frac{3}{4}$ Bos taurus tipo leche x $\frac{1}{4}$ Bos indicus en el Proyecto Lechero de la Facultad de Ciencias Agropecuarias. Tesis de Licenciatura en Producción Animal. Escuela de Ciencias Pecuarias, Departamento de Zootecnia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Panamá.
- **Habib, P. A. And A. Shahryar. 2012.** Heat Stress in Dairy Cows. Research in Zoology 2012 2(4): 31 – 37; DOI: 10.5923/J. Zoology 20120204.03
- **Hafez, E. S. E y Dyer, L. A. 1967.** El medio y la producción animal: Temperatura ambiental, época anual y Estrés calórico. En: Crecimiento y Desarrollo Corporal. Editorial Acribia, Labor, S. A.
- **Hahn, G.L.; Mader, T.I. and Eigenberg, R.A., 2003:** Perspective on development of thermal indices for animal studies and management. In: Interactions between climate and animal production. EAAP Technical Series No.7, pp.31-44. Wageningen Academic Publ., Wageningen, The Netherlands.
- **Hansen, P. J. 1986.** Effects of physical environmental factors in dairy cattle. En: Environmental Physiology of Domestic Animals. Dairy Science Department, University of Florida, Gainesville, Florida, USA.
- **Hansen, P. 2009.** Effect of *heat stress* on *mammalian reproduction*. Phil. Trans. R. Soc. B (2009) 364, 3341–3350. doi:10.1098/rstb.2009.0131
- **Hansen, P. J. and C. F. Arechiga. 1999.** Strategies for Managing Reproduction in the Heat-Stressed Dairy Cows. J. Animal Science, Vol 77 Pag 36 – 43
- **Herrera, H. J. y Barreras S. A. 2001.** Manual de Procedimientos: Análisis estadísticos de experimentos pecuarios. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México <https://www.unitjuggler.com/convert-energy-from-cal-to-Wh.html> .2015. Convert calories to watt hours - energy converter. *Convert energy units. Easily convert calories to watt hours, convert cal to Wh.*
- **Jordan, E. R. T. L. Mader, M. S. Davis, and T. Brown-Brandl. 2003.** Effects of Heat Stress on Reproduction. Journal of Dairy Science 86: E104 E114.
- **Lacetera, N.; Bernabucci, U.; Ronchi, B. and Nardone, A., 2003:** Physiological and productive consequences of heat stress. The case of dairy ruminants. In: Interactions between climate and animal production. E.A.A.P. Technical Series No.7, pp.45-59. Wageningen Academic Publ., Wageningen.
- **Lawrence P. Reynolds*, Pawel P. Borowicz, Joel s. Caton, Kimberly a. Vonnahme, Justin s. Luther, David s. Buchanan, Shireen A. Hafez, Anna T. Grazul-Bilska and Dale a. Redmer. 1985.** Uteroplacental vascular development and placental function. Center for Nutrition and Pregnancy, and Department of Animal Sciences, North Dakota State University, Fargo, ND, USA
- **Mader, T. L., M. S. Davis and T. Brown-Brandl. 2006.** Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle University of Nebraska, Concord 68728; †Koers-Turgeon Consulting Service, Inc., Salina, KS 67401; and ‡USDA-ARS U.S. Meat Animal Research Center, Clay Center, NE 68933.

- **Mcarthur, A.J., 1987:** Thermal interaction between animal and microclimate: a comprehensive model. *J. Theor. Biol.*, 126, pp.203-238.
- **McGovern, R.E. and Bruce, J.M., 2000:** A model of the thermal balance for cattle in hot conditions. *J. Agric. Engng. Res.*, 77, No.1, pp.81-92
- **McDowell, R. E. 1981.** Effect of environment on nutrient requirements of domestic animals. National Research Council, Academy of Sciences. WA, USA.
- **McDowell, R. E. 1985.** Crossbreeding in tropical areas with emphasis on milk, health and fitness. *J Dairy Sci* 68: 2418-2435
- **MIDA, 2004.** Departamento de Ganadería. Ministerio de desarrollo Agropecuario, Panamá.
- **Monteny, G.J., 2003:** Strategies for reducing the effects of animal husbandry on climate. In: Interactions between climate and animal production. E.A.A.P. Technical Series No.7, pp.81-90. Wageningen Academic Publ., Wageningen
- **National Research Council (NRC), 1989, 2001.** Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th ed., National Academy Press. Washington, DC. USA.
- **National Research Council (NRC). 1981.** Effect of Environment on Nutrient Requirements of Domestic Animals, National Academy press. Washington DC, USA.
- **Payne, M. 2013.** Heat Stress in Dairy Cattle. CDQAP Ruminations. Cdrf.org/2013/09/heat-stress-in-dairy-cows.
- **Randall, D. W. Burggren, Kathleen French. 2002.** Dependencia Térmica de la tasa metabólica. En: *Uso de la Energía: Afrontando los desafíos del ambiente. Fisiología Animal: Mecanismos y Adaptaciones.* Editorial McGraw-Hill Interamericana. Pag. 733 – 739.
- **Renaudeau D., A. Collin , S. Yahav, V. de Basilio, J. L. Gourdine¹ and R. J. Collier. 2012.** Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production *Animal* (2012), 6:5, pp 707–728 & *The Animal Consortium* 2011 doi:10.1017/S1751731111002448 animal.
- **Reynolds¹ Lawrence P., Joel S. Caton¹, Dale A. Redmer¹, Anna T. Grazul-Bilska¹, Kimberly A. Vonnahme¹, Pawel P. Borowicz¹, Justin S. Luther^{1,2}, Jacqueline M. Wallace², Guoyao Wu³ and Thomas E. Spencer 2006.** Topical Review Evidence for altered placental blood flow and vascularity in compromised pregnancies *J Physiol* 572.1 (2006) pp 51–58 51
- **Shearer, D. R. Bray y R. D. Bucklin. 2013.** The management of heat stress in Dairy Cattle: What we have learned in Florida. www2.dasc.vt.edu/extension/nutritioncc/shear99b.pdf. University of Florida, Gainesville, FL, USA.
- **Soumya Dash, A. K. Chakravarty, Avtar Singh, Arpan Upadhyay, Manvendra Singh and Saleem Yousuf, 2016.** Effect of heat stress on reproductive performances of dairy cattle and buffaloes: A review *Veterinary World*, EISSN: 2231-0916.
- **Statistical Analysis System (SAS), 1997, 2001.** General Lineal Models and the Analysis of Variance – Covariance. North Carolina State University, Raleigh, NC, USA.
- **St-Pierre, N. R., B. Covanov, and G. Schmitkey. 2003.** Economic losses from heat stress by Livestock Industries. *Journal of Dairy Science* 86 (E. Suppl.): E52 – E77.

- **Toda K, F. Nakai, H. Ieki, K. Fuzioka, H. Watanabe, T. Iuchi and F. Terada. 2002.** Effect of "Effective temperature" on milk yield of Holstein cows in hot and humid environments. *Nihon Chikusan Gakkaiho* 73, 1: 63-100. (In Japanese).
- **Toda K, K. Fuzioka and H. Ieki. 1999.** Effects of hot environment on milk production and physiological functions of lactating cows (2). *Bull. Ehime Animal Husbandry Experiment Station* 17: 27-36. (In Japanese).
- **West, J. W. 2003.** Effects of Heat Stress on Production in Dairy Cattle. *Dairy Sci.*, 86:2131-2144.
- **Wilcox, Ch., W. Thatcher, H. H. Head and B. Harris. 1978.** Reproductive Management and Efficiency. En: *Large Dairy Herd Management*. Edited by Ch. Wilcox, Florida State, University Presses of Florida, Gainesville, Florida, USA.
- **Yamamoto S. 1983.** The assessment of thermal environment for farm animals. In: *New strategies for improving animal production for human welfare. Proceedings of the 5th World Association for Animal Production (WCAP), Japan. Society Zootech. Sci., Tokyo, Japan. pp. 197-2*
- **Yousef, M. K. (ed.), 1985:** *Stress Physiology in Livestock. Vol. I, Basic principles, 217pp. Vol II, Ungulates, 261pp. Vol III, Poultry, 159pp. Boca Raton, FL: CRC Press. Anim. Reprod., v.2, n.3, p.187-194.*
- **Ward, S. and S. Collins. 2013.** Heat stress in captive endothermic animals. *School of Biological Sciences, Plymouth University, Drake Circus, Plymouth, PL4 8AA. The Plymouth Student Scientist, 2013, 6, (2), 368-377.*
- **West, J.W., 2003.** Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 86: 2131-2144
- **Visser R. y R. Wilson. 2006.** Potencial de la producción lechera según los grupos raciales tipo leche. *Horizons, CRI*

REDVET: 2017, Vol. 18 N° 7

Este artículo Ref. 071707_RED VET está disponible en <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n070717.html>
 concretamente en <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n070717/071707.pdf>

REDVET® Revista Electrónica de Veterinaria está editada por Veterinaria Organización®.

Se autoriza la difusión y reenvío siempre que enlace con [Veterinaria.org®](http://www.veterinaria.org) <http://www.veterinaria.org> y con
REDVET®- <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet>