

2015

Respuestas fisiológicas de vacas criollas bajo tres rangos de carga calórica ambiental en el piedemonte llanero

Zoilo Andrés Correa García
Universidad de La Salle, Bogotá

Follow this and additional works at: https://ciencia.lasalle.edu.co/maest_ciencias_veterinarias



Part of the [Veterinary Medicine Commons](#)

Citación recomendada

Correa García, Z. A. (2015). Respuestas fisiológicas de vacas criollas bajo tres rangos de carga calórica ambiental en el piedemonte llanero. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/maest_ciencias_veterinarias/42

This Tesis de maestría is brought to you for free and open access by the Facultad de Ciencias Agropecuarias at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Maestría en Ciencias Veterinarias by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
MAESTRÍA EN CIENCIAS VETERINARIAS



RESPUESTAS FISIOLÓGICAS DE VACAS CRIOLLAS BAJO TRES RANGOS DE
CARGA CALÓRICA AMBIENTAL EN EL PIEDEMONTE LLANERO

Preparado por
ZOILO ANDRÉS CORREA GARCÍA
Código 76081204

Bogotá D. C., abril 2015

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
MAESTRÍA EN CIENCIAS VETERINARIAS



RESPUESTAS FISIOLÓGICAS DE VACAS CRIOLLAS BAJO
TRES RANGOS DE CARGA CALÓRICA AMBIENTAL EN EL PIEDEMONTE LLANERO

Proyecto de Investigación

ZOILO ANDRÉS CORREA GARCÍA

76081204

Director

HERNANDO FLÓREZ, M.V.Z, MSc., Ph.D.

Bogotá, Colombia

2015

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	MARCO TEÓRICO.....	4
2.1.1	Temperatura ambiental.....	5
2.1.2	Humedad del aire.....	5
2.1.3	Radiación solar.....	6
2.1.4	Índice de carga calórica.....	7
	Ecuación 1. ITH.....	7
	Ecuación 2. HLIBG >25.....	8
	Ecuación 3. HLIBG < 25.....	8
2.2	Respuesta fisiológica a los cambios climáticos.....	10
2.2.1.	Cortisol.....	11
2.2.2.	Hormonas tiroideas.....	13
2.2.3.	Sudor.....	19
2.2.4.	Métodos utilizados para el cálculo de producción de sudor.....	22
	Ecuación 4.....	22
	Ecuación 5.....	22
	Ecuación 6.....	23
	Ecuación 7.....	23
	Ecuación 8.....	23
2.2.5.	Frecuencia cardíaca.....	23
2.2.6.	Frecuencia respiratoria.....	25
2.2.7.	Frecuencia ruminal.....	27
2.2.8.	Temperatura rectal.....	28
3.	OBJETIVOS.....	31
3.1	Objetivo general.....	31
3.2	Objetivos específicos.....	31
4	METODOLOGÍA.....	32
4.1	Ubicación geográfica de la toma de muestras y animales experimentales.....	32
4.2	Registro de parámetros fisiológicos.....	33

4.3	Sudoración en plano nasolabial.....	34
4.4	Evaluación de la concentración de hormona tiroidea y cortisol.	35
4.5	Información del clima	35
4.6	Diseño y análisis estadístico	36
4.	RESULTADOS.....	37
	Tabla 1. Estadística descriptiva datos cuantitativos – Todas las variables	37
	Tabla 2. Matriz correlación Pearson – Todas las variables	37
	Tabla 3. Comparación de medias de Duncan	38
5.1	Cortisol	38
	Gráfica 1. Diagrama de caja Cortisol	39
	Gráfica 2. Regresión lineal HLI/Cortisol	39
5.2	Triyodotironina.....	39
	Gráfica 3. Diagrama de caja T3.....	40
	Gráfica 4. Regresión lineal HLI/T3	40
5.3	Peso del sudor nasolabial.....	41
	Gráfica 5. Diagrama de caja peso sudor nasolabial	41
	Gráfica 6. Regresión lineal HLI/Peso sudor nasolabial	42
5.4	Frecuencia cardiaca	42
	Gráfica 7. Diagrama de caja Frecuencia cardiaca	43
	Gráfica 8. Regresión lineal HLI/Frecuencia cardiaca	43
5.5	Frecuencia respiratoria.....	44
	Gráfica 10. Regresión lineal HLI/Frecuencia respiratoria	45
5.6	Movimientos ruminales.....	45
	Gráfica 11. Diagrama de caja Frecuencia ruminal.....	46
	Gráfica 12 Regresión lineal HLI/Frecuencia ruminal	46
5.7	Temperatura rectal.....	46
	Gráfica 13. Diagrama de caja Temperatura rectal	47
	Gráfica 14. Regresión lineal HLI/Temperatura rectal	47
	Tabla 1. Subconjuntos homogéneos. Temperatura rectal	48
5.	DISCUSIÓN.....	49
7.	CONCLUSIONES.....	53
8.	REFERENCIAS	54

Resumen

La adaptación del ganado criollo al ambiente tropical y el fenómeno del cambio climático han impulsado la investigación de la fisiología adaptativa con miras a potenciar la productividad del hato colombiano con sus razas y sus cruces. El proyecto se realizó sobre datos y muestras obtenidas a lo largo de 6 meses del año 2010 en 20 vacas criollas sometidas a 3 índices calóricos diferentes en el Centro de Investigación La Libertad de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA, con sede en Villavicencio, Meta. Se registraron los datos de velocidad del viento, brillo solar, humedad y temperatura del aire. Las variables fisiológicas que se registraron en los bovinos experimentales fueron: frecuencias ruminal, cardíaca y respiratoria, temperatura rectal y sudoración. En los sueros obtenidos se midieron las concentraciones de triyodotironina y cortisol. El objetivo del proyecto fue analizar los datos de las variables descritas en los bovinos experimentales y evaluar la relación con tres rangos de carga calórica, todo esto con el propósito de contribuir al conocimiento y comprensión de la fisiología de las razas criollas colombianas.

Palabras clave: vacas criollas colombianas, índice de carga calórica, sudor, triyodotironina, cortisol.

ABSTRACT

The climate change and the great adjustment of the creole cattle to the tropical environment have stimulated the investigation of the adaptative physiology with a view to potential the productivity of the Colombian herd with his races and his crossings.

The project was realized on information and samples obtained in 20 creole cows in 3 Heath Load indexes obtained for a period of 6 months in 2010 at the research center La Libertad CORPOICA in Villavicencio, oriental planes of Colombia.

The climatic information registered in the station of the center was speed of the wind, solar sheen, humidity and temperature of the air. The physiological variables that were registered in the bovine experimental ones were: frequencies ruminal, cardiac and respiratory, rectal temperature and sweat production.

In the obtained serum samples the concentrations measure up of triiodothyronine and cortisol. The aim of the project was to analyze the variables described in the bovine experimental ones and to evaluate the relation with three heat load index and contribute to the knowledge and comprehension of the physiology of the creole Colombian races.

Key words: Colombian creole cattle, Heath Load Index, sweat, triiodothyronine, cortisol.

1. INTRODUCCIÓN

Colombia se ha convertido en un importante productor de carne. Según datos de 2012, se ubicó en el puesto 12 por número de toneladas, tan solo por debajo de los más grandes productores en Latinoamérica, Brasil (puesto 2), Argentina (puesto 6) y México (puesto 8), (DANE, Boletín mensual - Insumos y factores asociados a la producción agropecuaria, 2012) con una participación dentro de la CAN de alrededor de un 40%. La ganadería en Colombia se caracteriza por tener la capacidad para abastecer el mercado interno sin la necesidad de recurrir a la importación de otros mercados. Un crecimiento de 2.4% promedio anual se presentó en el volumen de producción de carne de res en Colombia entre 2000 y 2008. (Guarnizo & Rueda, 2011).

Por otro lado, según la Encuesta Nacional Agropecuaria (DANE, Encuesta Nacional Agropecuaria - ENA, 2009) la población bovina en Colombia fue de 27,36 millones de cabezas en total, un 70% dedicada a la producción de carne, el 2% a leche y el 28% en doble propósito. Adicionalmente, se estima que 39,1 millones de hectáreas son destinadas a la ganadería, con una capacidad de carga de 0,64 cabezas de ganado por hectárea. (FEDEGAN, Plan Estratégico de la Ganadería Colombia 2019, 2006).

En el 2008, el aporte del PIB agropecuario al PIB total fue del 7.2% y el aporte del sector ganadero al PIB agropecuario fue del 20%. Adicionalmente, comparando con otros sectores de acuerdo con el aporte al PIB nacional, la ganadería aporta 2,7 veces más que el sector cafetero, 4,7 veces más que el sector floricultor y el doble que el avícola. (Guarnizo & Rueda, 2011).

El intervalo entre partos para todas las razas evaluadas, por citar sólo un parámetro, tiene un promedio en Colombia de 550 días (FEDEGAN, 2009) comparados con 420 reportados para el San Martinero y 373 del Romosinuano (ASOCRIOLLO, 2003).

Esta diferencia se debe a la adaptación de los ganados criollos a las condiciones climáticas de las regiones del país.

Por otra parte, el cambio climático abre una ventana especial para observar el potencial de adaptación al calentamiento global. Ese potencial es debido a refinados mecanismos homeostáticos desarrollados durante más de cinco siglos de interacción con el medio ambiente tropical. El resultado de utilizar estos mecanismos se refleja en un ambiente interno controlado que les permite ser eficientes reproductivamente.

Existen indicadores de adaptación a los cambios ambientales como son las concentraciones séricas de hormona tiroidea y cortisol (Dukes, Swenson, & Reece, 1999). Por otra parte, el mantenimiento de la temperatura corporal depende en gran parte de la sudoración y el intercambio respiratorio (Cunningham, 1999). En este sentido, conocer con más detalle la respuesta fisiológica permite explicar y predecir el comportamiento homeorrético del bovino criollo, con miras a su explotación zootécnica en hatos puros o en cruces con razas indoeuropeas.

En bovinos, los mecanismos de estabilización frente a un ambiente cálido incluyen control de la sudoración y de la frecuencia respiratoria, regulación del flujo sanguíneo hacia la piel, y regulación del consumo de materia seca y agua (Cunningham, 1999).

Las principales hormonas asociadas a estos procesos adaptativos son prolactina, somatotropina, cortisol, tiroxina, adrenalina, vasopresina y las tiroideas (Cunningham, 1999). De estas, resaltan la respuesta tiroidea que aunque más precisa, requiere días para su ajuste y la glucocorticoide que es rápida y se observa ya a las 12 horas de

exposición al agente estresante. (Alvarez, Leroy, & Johnson, 1970). (Faroog, Samad, & Shezhazd, 2010). Todas estas respuestas podrían potencializarse en ganado europeo no adaptado a través de cruces que garanticen tolerancia al estrés calórico y que además mantengan la productividad.

Las investigaciones sobre adaptación al ambiente, en general comparan ganado *Bos indicus* con ganado *Bos taurus* de menos tolerancia al calor (Beatty, Barnes, Taylor, & Pethick, 2006) (Brody, 1956) (Finch, Bennet, & Holmes, 1982) (Gaughan, Mader, Holt, Jorsey, & Rowman, 1999). Sin embargo, la identificación de habilidades específicas termorregulatorias tiene limitantes por la cantidad de variables genéticas y ambientales que se deben considerar (Scharf, et al., 2010).

2. MARCO TEÓRICO

La aparición de los metazoos, organismos multicelulares con tejidos especializados, implicó el desarrollo de sistemas de comunicación e integración de funciones. Claude Bernard indicaba ya hace 200 años, que la independencia de los animales al medio externo dependía del creciente control del medio interno. Este control interno, llamado homeostasis, se debe en gran parte a ajustes circulatorios y respiratorios como respuesta inmediata y ajustes hormonales como mecanismo de corto y mediano plazo. Este control interno se hace en respuesta a los cambios climáticos diarios y estacionales, y son responsables de este control todos los sistemas fisiológicos del animal.

Así como el clima depende de varios factores, la temperatura de un animal depende de las calorías producidas por unidad de masa y de la tasa de intercambio de calor que depende a su vez de la producción de calor metabólico, la ganancia de calor de fuentes externas y la tasa de pérdida de calor al entorno (Randall, Burggren, & French, 2004). En el caso de ambientes cálidos la temperatura corporal tiende a aumentar por encima de los valores normales por efecto de la temperatura ambiente y la radiación solar, así como por el calor proveniente del suelo por reflexión (Cunningham, 1999).

2.1 Clima

El clima de una región se define como el promedio estadístico de sus elementos durante un período no menor de 30 años. Algunos de estos elementos caracterizados por interactuar entre sí, son: la humedad, la temperatura, la precipitación, la radiación solar, la presión atmosférica y la evaporación (IGAC, 2008).

2.1.1 Temperatura ambiental.

La temperatura ambiental se entiende como la medida que de esta se hace en el aire y depende de la energía radiante que calienta directamente la tierra. La tierra a su vez calienta el aire circundante y este se enfría a medida que asciende. En la Orinoquía al no existir accidentes geográficos relevantes, se tiene una temperatura del aire con un rango promedio entre 24 y 28 grados centígrados (IGAC, 2008).

La temperatura del aire condiciona la velocidad con que un organismo intercambia calor con este medio. El bovino incrementa frecuencia respiratoria (FR), ventilación pulmonar y vaporización respiratoria cuando aumenta la temperatura ambiente, pero cuando las temperaturas alcanzan los 26°C para el *Bos taurus* y 35°C para el *Bos indicus*, esos mecanismos son incapaces de disipar todo el exceso de calor (Alvarez Díaz, 2004).

2.1.2 Humedad del aire

La humedad ambiental se debe a la cantidad de vapor de agua contenida en el aire; tiene varias formas de medida y la más usada es la humedad relativa entendida como el porcentaje de vapor de agua en el aire comparado con el máximo de vapor de agua que podría contener el aire a la temperatura medida. La humedad depende a su vez

de la precipitación, de la evaporación de las fuentes de agua y de la tierra, y del vapor de agua aportado por la transpiración de plantas y animales (IGAC, 2008)

La humedad relativa se da por el equilibrio entre la evaporación y la condensación del agua y es inversamente proporcional a la temperatura del aire. La humedad relativa desciende a medida que aumenta la temperatura en el día y es mayor entre las 4 y las 8 de la mañana cuando la temperatura es menor. La humedad relativa del aire restringe la capacidad del bovino de perder calor por evaporación del sudor. Una humedad elevada inhibe la vaporización cutánea y respiratoria, lo que eleva la temperatura corporal, que a su vez deprime el consumo de alimento para bajar la producción de calor ruminal y metabólica; por lo tanto, esto se traduce en un descenso de la producción (Davis, 2001) (Mader, 2003).

La región de la Orinoquía es bastante húmeda y en el Piedemonte Llanero la humedad es mayor debido a una precipitación anual cercana a los 4000 mm. (IGAC, 2008).

2.1.3 Radiación solar

El conjunto de radiaciones electromagnéticas que llegan a la tierra se conocen como radiación solar y de ella depende todo el funcionamiento del sistema climático.

Las tierras ubicadas en el ecuador geográfico reciben una alta y constante radiación por lo que el clima no varía mucho durante el año. Sin embargo, en el día si se presentan cambios relevantes (IGAC, 2008).

La radiación solar se mide en superficie horizontal, mediante el sensor de radiación o piranómetro, que se sitúa orientado al sur y en un lugar libre de sombras.

La radiación solar medida en cada una de las estaciones meteorológicas es ofrecida en unidades de potencia en vatios por metro cuadrado (w/m^2). En caso de utilizarse el

valor de la radiación solar global media diaria, debe multiplicarse el valor de potencia en w/m^2 por 86.400 segundos y el resultado estará en julios por metro cuadrado (J/m^2).

Los principales sitios de acción biológica donde incide la radiación solar son la piel y los tejidos superficiales. Los rayos infrarrojos se absorben en la superficie cutánea donde producen cambios térmicos, pero su efecto en zonas más profundas es bastante escaso. La luz visible afecta a los tejidos subcutáneos lo que aumenta su temperatura (Dukes, Swenson, & Reece, 1999).

2.1.4 Índice de carga calórica

En general, en los trabajos de adaptación y aclimatación en bovinos se usan índices que relacionan variables ambientales. El más referido hasta ahora es el índice temperatura humedad (ITH) que fue desarrollado para ajustar el efecto de la humedad relativa (RH) sobre la sensación térmica de los animales y se calcula mediante la ecuación 1 (Kibler H. , 1964):

Ecuación 1. ITH

$$ITH = 1.8 \times Ta - (1 - RH) \times (Ta - 14.3) + 32$$

Donde Ta es la temperatura ambiente ($^{\circ}C$) y RH es la humedad relativa expresada en porcentaje. Este índice de temperatura humedad ha sido ampliamente usado como guía y marco indicador de estrés termal en bovinos.

Sin embargo, el ITH no toma en cuenta 2 factores de real importancia en la carga calórica que recibe un bovino: la radiación solar y la velocidad del viento. La inclusión de estos dos factores se lleva a cabo en un nuevo índice que se denomina Índice de Carga Calórica (Heat Load Index).

Por otra parte, un estudio del 2007 indica que el ITH y el BGHI (black globe-humidity index) no muestran alta correlación con las respuestas fisiológicas del ganado bovino al ambiente tropical, por lo que no deben ser usadas para estudios de estrés ambiental. El índice de carga calórica si se considera apropiado para evaluar los ambientes tropicales (Silva, Débora Andréa, & Guilhermino, 2007).

Debido a esto en 2009, investigadores de la Universidad de Queensland, en Australia, utilizaron el índice de carga calórica en trabajos con bovinos y relacionaban no solamente la temperatura y la humedad sino que involucraban además la velocidad del viento y la radiación solar (Hahn, Gaughan, Mader, & Eigenberg, 2009).

El heat load index (HLIBG) cuando la temperatura ambiente medida en bulbo seco es mayor de 25 grados centígrados utiliza la fórmula:

Ecuación 2. HLIBG >25

$HLIBG > 25 = 8.62 + (0.38 \times \text{humedad relativa}) + (1.55 \times \text{temperatura del termómetro de bulbo negro (BG)}) - (0.5 \times \text{la velocidad del viento}) + [e^{2.4 - \text{velocidad del viento}}]$, (Hahn, Gaughan, Mader, & Eigenberg, 2009).

Si la temperatura es menor de 25 grados centígrados se utiliza:

Ecuación 3. HLIBG < 25

$HLIBG < 25 = 10.66 + (0.28 \times \text{humedad relativa}) + (1.3 \times \text{temperatura de bulbo negro}) - \text{velocidad del viento}$. (Hahn, Gaughan, Mader, & Eigenberg, 2009).

Donde e = la base del logaritmo natural (e = 2.71828).

El índice HLBGI o HLI (Heat Load Index) tiene en cuenta por lo tanto:

- La temperatura ambiental, de importancia en la velocidad de pérdida de calor por intercambio con la temperatura del aire.
- La humedad relativa del aire que restringe la capacidad del bovino de perder calor por evaporación del sudor. La humedad relativa desciende a medida que aumenta la temperatura en el día y es mayor entre las 4 y las 8 de la mañana cuando la temperatura es menor (Davis, 2001) & (Mader, 2003).
- La radiación solar cuyos principales sitios de acción biológica son la piel y los tejidos superficiales. Los rayos infrarrojos se absorben en la superficie cutánea donde producen cambios térmicos pero su efecto en zonas más profundas es muy poco.
- La velocidad del viento que favorece la pérdida de calor por convección.

Los trabajos basados en ITH muestran que este tiene efectos marcados en los mecanismos de regulación homeostática. En vacas Holstein se ha registrado frecuencias respiratorias tan altas como 73.8 cuando el ITH fue de 87. En otros trabajos cuando el ITH fue de 85, la FR fue de 69 y 64 en novillas Angus y Hereford, respectivamente, mientras que en otras razas de ganado termotolerantes como el Senepol y Romosinuano se registraron 55 y 57 respiraciones por minuto, respectivamente. (Espinoza, Ortega, Palacios, & Guillén, 2011).

En el plano productivo existen enormes diferencias de producción de leche medida a igual temperatura pero con diferente humedad. El comportamiento productivo de animales con diferentes niveles de producción de leche en función del índice de humedad y temperatura ambiental (ITH), muestra que a un mismo valor de ITH la reducción en la producción es mayor porcentualmente en los animales de alta

producción. (Johnson & Vanjonack, 1976) (Torres Campos, Avila, Verneque, Campos, & Santos, 2001), Así mismo, se encontró que en la medida en que el ITH descendía hacia 75 (24°C), la reducción en la producción era menor (Correa Cardona, 2004).

2.2 Respuesta fisiológica a los cambios climáticos

Los ajustes fisiológicos que mantienen la temperatura dentro de rangos normales a pesar del medio cambiante involucran prácticamente todos los sistemas orgánicos del bovino. La percepción de la temperatura se logra tanto por receptores periféricos como centrales, lo que desencadena ajustes homeostáticos.

El bovino utiliza varios mecanismos para regularse: 1) Aumenta la vasodilatación periférica y abre las anastomosis arteriovenosas de hocico, orejas y extremidades que junto con un sistema de contracorriente arteriovenosa contribuye a la termorregulación (Cunningham, 1999). 2) Aumenta las frecuencias cardíaca y respiratoria. 3) Disminuye el consumo de alimento. 4) Disminuye la producción de orina por reabsorción de agua en los túbulos colectores. 5) Disminuye la locomoción y 6) activa la respuesta endocrina mediada principalmente por cortisol y hormonas tiroideas y en segunda instancia hormonas como prolactina, oxitocina y vasopresina. (Cunningham, 1999).

Otros ajustes de gran importancia son el sudor y la salivación que ayudan al enfriamiento de la sangre caliente redireccionada hacia la piel por el sistema circulatorio. Es importante resaltar que para mantener la sangre a temperatura óptima para el cerebro esta debe ser enfriada con ayuda de la cavidad nasal (Cunningham, 1999).

2.2.1. Cortisol

Las glándulas adrenales de los mamíferos tienen definidas una corteza y una médula con diferencias histológicas y funcionales. La adrenal trabaja como un conjunto para defensa en situaciones adversas de diverso origen.

La hormona se secreta en la corteza en forma libre pero transportada en un 90% ligada a proteínas. Se secreta por el bovino cuando detecta elevaciones de la temperatura ambiental y por eso es considerada como un buen indicador de estrés calórico agudo (Alvarez, Leroy, & Johnson, 1970). Esta secreción podría deberse a su efecto sobre la retención de sodio y la consecuente retención de agua que mantendría la temperatura corporal estable. (Cunningham, 1999).

Las hormonas adrenales, norepinefrina, epinefrina y cortisol son comúnmente usadas como índice de estrés (Lefcourt, Akers, Miller, & Weinland, 1986). Las concentraciones de cortisol para vacas lactantes y secas no presenta diferencias. Al momento del destete las concentraciones de cortisol son 7.6 ng/mL en contraste con los 18.5 ng/mL medidos una hora después del destete. (Elsasser, Elsasser, Lefcourt, & T., 1995).

Otra de las acciones fisiológicas del cortisol es su efecto gluconeogénico, que parece ser su principal papel en el parto (Beerda, Kornalijnslijper, Van der Werf, Noordhuizen-Stassen, & and Hopster, 2004). En la primera semana posparto se presenta el mayor valor de cortisol plasmático, mientras que la semana 9 muestra el menor valor (Campos R. , González, Coldebella, & e Lacerda, 2005). Por otra parte, las vacas que tienen crías macho tienen mayores niveles de cortisol plasmático que las que engendran hembras. Esta diferencia es detectable desde 144 horas antes del parto (Lammoglia, et al., 1997).

La baja concentración sérica de cortisol en bovinos criollos en comparación con otros grupos raciales permite suponer un grado de adaptación a las condiciones climáticas. Sin embargo, los bovinos criollos responden en forma similar alrededor del parto, (Campos R. , González, Coldebella, & e Lacerda, 2005) y progresivamente su valor sérico desciende en la medida que el tiempo posparto aumenta. Esto se debe posiblemente a que los bovinos criollos no exhiben estrés marcado ni en el parto ni en fases posteriores por la facilidad del parto, producto esta de la conformación pélvica y del bajo peso de los terneros al nacer, además de la baja producción láctea. A su vez, el hecho de no evidenciar altos valores de cortisol, puede ser una característica de adaptación (Campos Gaona, Giraldo Patiño, & Hernández, 2010).

El ritmo circadiano para cortisol en bovinos indica que las más bajas concentraciones se encuentran en la noche. Por otra parte, elevadas temperaturas ambientales resultan en altas concentraciones de cortisol cuando el ganado vive a bajas temperaturas. En otras palabras, la exposición aguda al calor por varias horas incrementa la concentración de cortisol en el plasma (Trenkle, 1978). Otros estudios evidencian que vacas de alta producción son más sensibles al estrés calórico y, por ende, su respuesta de cortisol se aumenta. Aun así, la elevada concentración pasadas 18 horas, empieza a descender (Johnson & Vanjonack, 1976).

Otros datos indicaban que las concentraciones de cortisol se hacían mayores a medida que envejecían las hembras y que la ganancia de peso diaria en novillas se relacionaba directamente con el nivel de cortisol. Sin embargo, análisis más detallados no han podido confirmar esta relación (Henricks, Cooper, Spitzer, & Grime, 1984).

2.2.2. Hormonas tiroideas

La glándula tiroides en los bovinos tiene lóbulos laterales irregulares de unos 8 centímetros de longitud que contactan con la tráquea a la altura del primero y segundo anillo. Contacta además con el esófago, los músculos regionales, carótida, yugular y nervios vago y simpático. Los lóbulos están conectados por el istmo, (Sisson, Septimus, & Grossman, 1947).

En una vaca de 500 kilos su peso es de solo 30 gramos, pero esta glándula acumula más yodo que el total del organismo. El tejido glandular de la tiroides tiene células dispuestas en un círculo llamado folículo, lleno de coloide donde se almacenan las hormonas tiroideas.

Una vez convertido a yoduro el yodo en el intestino, este yoduro es captado por la glándula y unido a la tirosina componente de la tiroglobulina del coloide. Se acepta que tienen una función vital en la utilización del oxígeno, el metabolismo energético y la regulación del índice metabólico. Su mecanismo de acción, en el ámbito celular, se basa en el hecho que pueden penetrar la membrana celular, debido a su liposolubilidad y actúan directamente sobre el núcleo para iniciar la transcripción del ARN mensajero (Cunningham, 1999). También hay receptores en la mitocondria, ya que el efecto calorígeno se lleva a cabo en ellas (Cunningham, 1999).

La yodotirosina deshalogenasa separa las moléculas de tirosina liberando a la circulación la T3 y la T4 reciclando las fracciones T1 y T2. Sin embargo, la mayor parte de la T3 se forma periféricamente con deyodinasas a partir de la T4 en tejidos como el hígado, los riñones y el músculo. Una tercera hormona periférica que se forma es la T3 inversa, de menor actividad y de gran importancia en periodos de ayuno (Cunningham, 1999).

Por sus características liposolubles, las hormonas tiroideas se transportan en la circulación, unidas a proteínas como la tiroglobulina (TBG), la albúmina y la prealbúmina. Al desligarse pueden interactuar con los receptores en las células blanco (Dukes, Swenson, & Reece, 1999).

La potencia in vivo de T3 es casi 3 veces la de T4. Además, la menor afinidad de la TBG por la T3 hace suponer que la T4 es una prohormona a pesar de tener actividad biológica (Dickson, 1984).

Las hormonas tiroideas hacen parte de los mecanismos homeostáticos responsables de la regulación térmica y el consumo de oxígeno por los diferentes tejidos (Campos Gaona, Giraldo Patiño, & Hernández, 2010). La determinación de tiroxina y de triyodotironina hace parte de los estudios sobre regulación endocrina (Roche, Kolver, & and Kay, 2005). Se conoce la relación estadística significativa entre T3 y T4, lo que permite sugerir que en animales eutiroideos la determinación de solo una de ellas podría ser usada para valorar el funcionamiento de las 2. La relación encontrada T4/T3 es hasta de 67 para bovinos al igual que para humanos (Dickson, 1984). La T3 y T4 alcanzan el menor valor en la segunda semana posparto, (Campos R. , González, Coldebella, & e Lacerda, 2005), siendo los mayores valores observados en la semana 6, para T3 y en la semana 7, para T4 (Campos Gaona, Giraldo Patiño, & Hernández, 2010).

En bovinos se encontraron valores para T3 de 2.69 nmol/L y para T4 de 57.37 nmol/L (Campos R. , González, Coldebella, & e Lacerda, 2005). Ruiz en 1998, observó concentraciones sanguíneas promedios de T3 de 1.53 ± 0.42 y de T4 de 42.2 ± 12.3 nmol/L. Similares resultados fueron obtenidos por el estudio de Contreras en 1999, en vacas Frison Negro a pastoreo, en que el promedio de T3 fue de 1.40 ± 0.43 nmol/L y

un promedio de T4 de 41.1 ± 11.64 nmol/L (Contreras, et al., 2002), (Matamoros, Gómez, & Aduar, 2002). En otro estudio se encontraron valores máximos de 50 ± 2 y 1.58 ± 0.17 ng/mL y concentraciones mínimas de 42 ± 2 y 0.94 ± 0.17 ng/mL, para tiroxina y triyodotironina respectivamente, mediante el método de radioinmunoanálisis (Bitman, Tao, & Akers, 1984) .

La vida media de la tiroxina es de 2.47 días y para T3 es de 1.99 días (Pipes, Premchandra, & Turner, 1959).

Las concentraciones hormonales en rumiantes pueden ser afectadas por factores ambientales. La tasa de secreción de tiroxina es más alta en la primavera y más baja en el verano (Morales & Rodríguez, 2005). En animales de cualquier edad, las hembras presentan mayores concentraciones de T4 que los machos. Los animales recién nacidos presentan niveles de T4 más altos que los animales adultos, y los animales viejos valores más bajos que los adultos (Matamoros, Gómez, & Aduar, 2002).

La disminución de la concentración de las hormonas tiroideas es un mecanismo de protección del organismo cuando se ve enfrentado a una situación de balance de energía negativo. La severidad del déficit se correlaciona con intensidad de la disminución de T4 (Johnson & Vanjonack, 1976). El pastoreo en áreas en que el forraje tiene baja concentración de yodo disponible, ocasiona disminución de las concentraciones de T4 (Contreras, et al., 2002) (Rijnberk, 1996). Las concentraciones basales de las hormonas tiroideas disminuyen en situaciones de estrés prolongado, de parto inminente, de inicio de la lactancia y en el balance energético negativo durante la lactancia temprana, (Rafsal, Nacreiner, & Anderson, 1984) (Slebozinki & Brezezinska, 1991). La disminución de las concentraciones sanguíneas de las

hormonas tiroideas, durante la lactancia temprana, podría ser un mecanismo defensivo para conservar la masa muscular (Blum, Kunz, & Leuenberger, 1983).

Investigadores de la Universidad de Temuco, en Chile no encontraron variaciones circadianas en la secreción de estas hormonas (Matamoros, Contreras, Wittwer, & Mayorga, 2003). Por ello, el momento del día en que se toma la muestra de sangre no influiría en la determinación de las concentraciones hormonales. En vacas lactantes, sin embargo, se encontraron ritmos circadianos para T3 y T4 con mínimas entre las 5 y las 13 y máximas entre las 17 y las 2 horas. La T3 aumenta 2 horas antes que la tiroxina, lo que a su vez antecede el ritmo circadiano de temperatura por 2 horas (Bitman, Tao, & Akers, 1984).

Si los forrajes consumidos tienen niveles bajos de selenio disminuyen las concentraciones de T3 (Contreras, et al., 2002), ya que la deiodinasa hepática es una selenoenzima (Beckett, Beddows, Morrice, Nicol, & Arthur, 1987). Debido a la disminución de la actividad de esta deiodinasa en el hígado (Beckett, Beddows, Morrice, Nicol, & Arthur, 1987) bajan las concentraciones de T4. También se reportan concentraciones más bajas de T3 y T4 al inicio de la lactancia (Akasha, Anderson, Eilersieck, & Nixon, 1987). Esta disminución de la secreción de hormonas por la tiroides se atribuye, en parte, al déficit de yodo que provoca las pérdidas del mineral a través de la glándula mamaria durante la lactancia. Los autores lo atribuyen a una necesidad de bajar el metabolismo periférico permitiendo la utilización preferencial de substratos por el tejido mamario. Por otra parte, los valores se incrementan con el avance de la lactancia y la gestación (Johnson & Vanjonack, 1976).

La exposición a altas temperaturas conduce a una disminución en la síntesis de los factores liberadores de hormonas por parte del hipotálamo, generando en

consecuencia una reducción en la secreción hormonal de la pituitaria (Johnson & Vanjonack, 1976). Así mismo, esta reducción determina la disminución en la concentración de la tiroxina (T4) y con ello, en la actividad metabólica y utilización de la glucosa (Riis & Madsen, 1983) (Sano, Takahashi, Ambo, & Tsuda, 1983). Por su parte, la disminución en la concentración de esta hormona parece estar involucrada en la disminución en el consumo de materia seca (Riis & Madsen, 1983) y en la baja de la producción de leche (Johnson & Vanjonack, 1976). Estos autores establecieron cuantitativamente la correlación negativa entre la concentración sanguínea de T4 y la producción de leche en vacas expuestas a altas temperaturas lo que les permitió determinar que la actividad de la tiroides decrece en mayor proporción en vacas de alta que en vacas de baja producción (Correa Cardona, 2004).

La aclimatación de animales a un nuevo ambiente involucra la participación de sistemas endocrinos y metabólicos. Se ha demostrado el efecto del calor y el frío sobre el descenso y el aumento de la actividad tiroidea (Yousef & Johnson, 1967). La función mejor conocida es su capacidad para aumentar el consumo de oxígeno, lo que aumenta la producción interna de calor (Lammoglia, et al., 1997). Este efecto es válido para todos los tejidos excepto el cerebro, (Dickson, 1984).

En épocas de calor hay una reducción significativa en las concentraciones de T3 y T4 en plasma y en su excreción por la leche y las heces; en contraste, su depuración renal aumenta. La excreción de T3 en leche está negativamente correlacionada con la temperatura rectal y directamente correlacionada con la concentración en plasma, lo que sugiere la reducción en la síntesis de las 2 hormonas y una actividad tiroidea baja.

La relación existente entre la tiroides y las gónadas en machos y hembras es de especial interés. La disfunción reproductiva es con frecuencia un signo principal de

deficiencia y en los suelos bocígenos se observa el nacimiento de crías débiles o muertas y abortos como resultado del hipotiroidismo. Las deficiencias menos graves ocasionan retrasos de la pubertad, estro irregular o bien, anestro. Sin embargo, se informa que las hembras hipotiroideas ovulan y son fértiles cuando el apareamiento se lleva a cabo en el momento correcto (Morales & Rodríguez, 2005).

Por otra parte, algunos estudios realizados con el propósito de evaluar la relación entre las hormonas tiroideas y la reproducción, se han enfocado en la manipulación de ganado de aptitud cárnica, mediante la inducción de estados hipo e hipertiroideos, utilizando metimazole o Propiltiouracilo en el primer caso, y T3 en el segundo (Morales & Rodríguez, 2005). La disfunción de la tiroides es relativamente poco común en los ovinos, porcinos y bovinos. Se ha sugerido el hipotiroidismo subclínico como factor de la disminución de libido en el macho y el estro silencioso de la hembra (Dickson, 1984). Solamente en la década de los 70 del siglo XX, se inician los primeros reportes sobre las acciones y efectos directos que ellas cumplen sobre las células implicadas en la producción de los esteroides sexuales. (Channing, Tsai, & Sachs, 1976), Channing fue el primero en informar acerca de los efectos directos de la tiroxina en células ováricas de cerdos (Morales & Rodríguez, 2005).

Se ha evidenciado el papel que tienen las hormonas T3 y T4 en la regulación de la esteroidogénesis de folículos bovinos. En un estudio in vitro realizado en esta especie, encontró que la T4 puede ejercer un impacto positivo leve sobre la producción de progesterona, inducida por FSH en células de la granulosa, mientras que T3 y T4 pueden ejercer un mayor impacto positivo sobre la producción de androstenediona en las células de la teca, lo cual podría resultar en un incremento neto de la producción de estrógenos por los folículos (Spicer, Alonso, & Chamberlain, 2001).

2.2.3. Sudor

Cuando se presenta una diferencia de temperatura entre el animal y su ambiente, tiene lugar un flujo calórico, que tiende a igualar ambas temperaturas (Parker, 1984) (Yeates, 1967). Esto es lo que constituye el intercambio térmico y tiene lugar por medio de procesos como la radiación, la convección y la conducción. Por lo tanto, el animal puede ganar o perder calor de acuerdo con estos procesos, según que la temperatura ambiental sea más alta o más baja que la del animal. Pero el animal también puede perder calor independientemente de la temperatura ambiental, por evaporación en las superficies húmedas, tales como la piel después de la sudoración y la lengua y las vías respiratorias al jadear (Cunningham, 1999).

La eficiencia de la evaporación está condicionada por la baja humedad ambiental y el rápido movimiento del aire (Yeates, 1967). La sudoración es la ruta más importante para la pérdida de calor en los rumiantes en los trópicos (Kennedy, 1995). Los animales bien adaptados son capaces de incrementar la sudoración rápidamente tan pronto como la temperatura corporal comienza a incrementarse; en animales *Bos indicus* la sudoración se incrementa exponencialmente en respuesta al incremento en la temperatura corporal mientras que en animales *Bos taurus* está alcanza el máximo poco después de que se da inicio al incremento en la temperatura corporal (Kennedy, 1995) (Correa Cardona, 2004).

La estabilidad completa de la temperatura corporal sería solo posible si no ocurriera intercambio de calor entre el cuerpo y el ambiente. La producción constante de calor y su pérdida hacia el ambiente determinan en los animales homeotermos un gradiente

térmico que va del interior caliente hacia la cubierta menos caliente en la superficie. En las extremidades se forma un gradiente térmico en dirección longitudinal (axial) y además existe un gradiente de temperatura en dirección radial por lo que es perpendicular a la superficie lo que debido a la conformación geométrica irregular del cuerpo determina un cuadro térmico complicado (Alvarez Díaz, 2004).

Todos los mamíferos placentarios, excepto roedores y lagomorfos, presentan glándulas sudoríparas aunque en algunas especies como el perro y el cerdo su escaso desarrollo impide un papel significativo en el mecanismo de la pérdida de calor. El control nervioso de la sudoración depende de la especie animal por lo que no es uniforme y así se tiene que en el caballo la descarga termorreguladora es de control adrenérgico sobre las glándulas apocrinas y en el bovino es de estimulación simpática noradrenérgica.

En animales como los bovinos, cuyas glándulas sudoríparas son de tipo apocrino y por lo tanto relacionadas con los folículos pilosos desde el nacimiento, se produce un fenómeno interesante ya que a medida que aumenta la superficie corporal por el crecimiento somático de desarrollo, disminuye el número de glándulas por unidad de superficie pero no se reduce la capacidad de sudar ya que las glándulas existentes incrementan su volumen y, por lo tanto, su ritmo de descarga de manera que se mantiene la capacidad de sudar por área de superficie. Las zonas de mayor sudoración en el bovino se ubican en el cuello y en los cuartos delanteros y en el *Bos índicus* se descarga también en la giba (Dukes, Swenson, & Reece, 1999).

Los primeros experimentos de sudoración comparativa entre *Bos índicus* y *Bos taurus* datan de 1930 y se observó desde entonces que bajo condiciones climáticas similares los *Bos taurus* sudan más pero en respuesta a un estrés calórico agudo

responde con mayores tasas de sudoración el *Bos Índicus* (Rhoad, 1940); (Yeck & Kibler, 1956); (Allen Tucker, Petitclerc, & Zinn, 1984). Parece lógico suponer que el Ganado criollo a pesar de ser *Bos taurus* debe compartir con el *Bos Índicus* algunas características que lo hacen tolerante al calor como la gran disipación de calor por la piel, lo que implica además un gran flujo sanguíneo hacia ese órgano y que este tenga un pelaje corto (Finch, 1986).

Una reducción en la tasa de sudoración después de varias horas de exposición al calor ha sido reportada en ovejas, cabras y humanos (Collins & Weiner, 1962); (Jenkinson, McEwan, & Robertshaw, 1971). Este fenómeno se conoce como fatiga de las glándulas sudoríparas y se cree es debido a que la tasa de secreción excede la de producción. Este mecanismo no es muy claro en bovinos aunque coincide con la elevación de la temperatura rectal con excepción de los trabajos realizados en Romosinuano (Jenkinson, McEwan, & Robertshaw, 1971); (Johnson K. , 1974).

Parece ser que la temperatura ambiental y la temperatura de la piel son los desencadenantes de la sudoración en bovinos. Sin embargo, el responsable directo de la actividad sudomotora aún no ha sido dilucidada (Scharf, Max, Aiken, & Spiers, 2008a).

Debido a que las glándulas sudoríparas del bovino son apocrinas, con excepción de las del plano nasolabial, su secreción contiene cinco veces más potasio que sodio lo que se refleja en la concentración sérica de potasio (Scharf, et al., 2010). Por otra parte, el color de la capa ejerce un significativo efecto sobre el intercambio de calor cutáneo. En trabajos con bovinos Cebú se observó que el flujo de calor es mayor hacia las capas negras que hacia las de color café y en estas fue superior el flujo que a las

capas blancas, pero esta característica solo empieza a ser importante cuando no hay suficiente suministro de agua (Finch, 1986).

2.2.4. Métodos utilizados para el cálculo de producción de sudor

Varios métodos han sido utilizados para calcular la sudoración de los bovinos. El más reciente es un Vaporímetro desarrollado en Finlandia por Delfin Technologies Ltd, que calcula la temperatura y la humedad del aire sin el efecto del flujo del aire. Se coloca entre 10 y 20 segundos sobre 1 cm² de piel y determina la pérdida de agua transepidermal. El instrumento entrega los resultados en gramos por metro cuadrado hora. En el estudio a que hace referencia esta descripción se calculó una producción de 175.23 g/m²/h para ganado Romosinuano (Scharf, et al., 2010).

También se han desarrollado ecuaciones predictivas (Thompson, Fadel, & Sainz, 2011) para calcular tasa de sudoración (SR) en gramos / metro cuadrado / hora y frecuencia respiratoria por minuto (RR), basándose en temperatura cutánea (Ts) y temperatura corporal (Tb) medida en grados centígrados (Ts y Tb, °C). Lo han calculado para *Bos indicus*, *Bos taurus*, y sus cruces.

Las ecuaciones desarrolladas por estos autores son las siguientes:

Ecuación 4.

Para *Bos indicus*, $SR = 0.085e^{0.0227Ts}$

Ecuación 5.

Para *Bos taurus*, $SR = 0.75e^{0.15Ts}$

Ecuación 6.

Para los cruces, $SR = 0.015e^{0.25Ts}$.

Ecuación 7.

Bos taurus, $RR = -1,385 + 37 \cdot Tb$;

Ecuación 8.

Para los cruces, $RR = -2,226 + 59 \cdot Tb$.

Otro método para calcular sudoración es el de Schleger que se basa en el tiempo que toma el cambio de color de azul a rosa de un disco de papel impregnado con cloruro de cobalto. El papel para cromatografía se prepara por inmersión en una solución al 10 por ciento de cloruro de cobalto y luego es secado a temperatura ambiente en una hoja de vidrio. El papel se pasa luego a un horno de resecado a 90 grados Celsius y se sacan de allí los discos de 3 mm., que se montan en celulosa autoadhesiva (Schlerger & Bean, 1971) (Gaughan, Mader, Holt, Jorsey, & Rowman, 1999). Los resultados obtenidos con este método en los experimentos revisados oscilaron entre 22 y 43 gramos/metro cuadrado/hora (Schlerger & Bean, 1971).

2.2.5. Frecuencia cardíaca

La frecuencia cardíaca depende del número de contracciones rítmicas del miocardio que se produzcan cada minuto. Inicia en un potencial de acción que se genera espontáneamente en una de las células del marcapasos del nódulo sinoauricular. Este se propaga con rapidez de una célula a otra a través de las aurículas, provocando la

contracción de ambas. A continuación sigue su camino por el nódulo aurículo ventricular y el haz de His provocando a su vez la contracción ventricular. Las células cardíacas tienen receptores adrenérgicos y muscarino colinérgicos en sus membranas. Su activación por la adrenalina acelera los cambios iónicos responsables de la despolarización espontánea, por lo que la contracción es más rápida acortando el intervalo entre latidos, de tal manera que la frecuencia cardíaca aumenta por encima de su nivel intrínseco. La acetilcolina tiene el efecto contrario, ralentiza la despolarización espontánea de esas células cuando activa los receptores muscarínico colinérgicos. La activación de los receptores en todos los cardiomiocitos los lleva a aumentar y a acortar los potenciales de acción, y a fortalecer y acelerar las contracciones. Una de las razones por las que esto ocurre es que esa activación incrementa el número de canales de calcio que se abren durante la fase 2 de meseta del potencial de acción (Cunningham, 1999).

Los bóvidos adultos tienen una frecuencia cardíaca entre 60 y 80 pulsaciones por minuto (Radostits, Mayhew, & Houston, 2002). El aumento de la temperatura interna genera un gran incremento de la frecuencia cardíaca, a veces llega hasta el doble de lo normal. Se presume que la permeabilidad de la membrana de los cardiomiocitos aumenta con la temperatura permitiendo así un más rápido intercambio iónico que aumentaría la frecuencia de despolarización (Guyton & Hall, 2001).

Experimentos muestran frecuencias en reposo de entre 67 y 79 l/min (López, et al., 2011) y entre 60 y 75 latidos por minuto (Guevara, Rodríguez Hernández, Pacheco, & Verde, 1981).

En una investigación que comparaba respuesta a humedad y temperatura creciente entre *Bos taurus* y *Bos Índicus*, el ganado *Índicus* no presentó alteración alguna en su

frecuencia aunque esta siempre fue ligeramente mayor (Beatty, Barnes, Taylor, & Pethick, 2006).

Trabajando con ganado Sanmartinero en el Piedemonte Llanero, se encontraron frecuencias cardíacas de 71.4 l/min, con un incremento significativo de 4 latidos cuando las vacas estaban bajo el sol directo (Velásquez Penagos, Flórez, & Cardozo, 1996).

2.2.6. Frecuencia respiratoria

La función del sistema respiratorio de los bovinos es visto siempre como un mecanismo para el intercambio gaseoso pero no se le da relevancia como parte del sistema ácido básico y aún menos como elemento fundamental en el control de la temperatura interna. De hecho el mecanismo evolucionó de tal forma que permitió la reducción de la temperatura en climas cálidos o el aumento de esta en climas fríos sin modificar la concentración de los gases sanguíneos en bovinos adaptados. En los no adaptados se desequilibra el pH sanguíneo y tisular en aras de mantener la temperatura interna dentro de límites compatibles con la vida. En todos los animales domésticos la frecuencia respiratoria aumenta en proporción a la temperatura ambiente hasta llegar al jadeo en condiciones extremas. El volumen respiratorio es de unos 8 mL/Kg por movimiento ventilatorio pero puede variar ligeramente durante las fases iniciales del jadeo. Es un mecanismo usado por todos los mamíferos terrestres con excepción del hombre y el elefante (Dukes, Swenson, & Reece, 1999).

El jadeo es una forma de aumentar la evaporación por el tracto respiratorio, ya que se producen rápidos y frecuentes movimientos de pequeños volúmenes respiratorios (puede incluso llegar a 200 respiraciones por minuto) sobre el espacio muerto respiratorio. La frecuencia de jadeo se acerca a la frecuencia resonante del aparato

respiratorio, con lo que se minimiza el trabajo de respiración y no se añade a la carga de calor. El consumo de energía en el trabajo respiratorio durante el jadeo no se aumenta porque simultáneamente se reduce el aporte circulatorio a los músculos no respiratorios (Hales, 1973). En el animal que jadea actúan dos mecanismos que aumentan la pérdida de calor por evaporación: dilatación vascular de las mucosas oral y respiratoria y aumento de la salivación. Al ventilar principalmente el espacio muerto se evita la hiperventilación intensa y la alcalosis respiratoria. El efecto contrario también ocurre con ambientes fríos donde se reduce la frecuencia a tal punto que puede producir hipercapnia e hipoxemia (Robertshaw, 2006).

La frecuencia respiratoria se refiere al número de ciclos respiratorios por unidad de tiempo. Los bóvidos adultos tienen una frecuencia respiratoria entre 12 y 36 respiraciones por minuto (Radostits, Mayhew, & Houston, 2002).

En un experimento clásico en bovinos (Findlay & Hales, 1969), no se logró demostrar que la temperatura hipotalámica fuera la responsable de la respuesta ventilatoria vista en el jadeo, sino más bien la suma de la temperatura interna y la hipotalámica. El jadeo lento y profundo lo ubicaron por encima de los 40.3 grados centígrados de temperatura interna. El control de la frecuencia respiratoria depende de los centros respiratorios superiores que funciona a través de las neuronas del generador del patrón central que trabaja a su vez sobre los grupos respiratorios ventrales y dorsales (Cunningham, 1999). El generador del patrón central recibe influencia de entradas de quimiorreceptores y entradas vagales. El vago a su vez recibe información de los receptores mediadores del reflejo del Hering Breuer en los bronquiolos. Sin embargo, la responsabilidad de la frecuencia no es clara aún aunque

parece que lo determinan las neuronas marcapasos del complejo pre Botzinger (Peña Ortega, 2012).

Por otra parte en un trabajo con condiciones controladas en el Brody Environmental Center at the University of Missouri, se demostró que la frecuencia respiratoria del ganado Angus bajo estrés calórico fue superior al ganado Romosinuano aunque ambos la incrementaron (Scharf, et al., 2010).

2.2.7. Frecuencia ruminal

La aparición de los rumiantes en el Eoceno coincide con una etapa de gran calentamiento global, por lo que se podría pensar que su potencial genético evolutivo les permitiría adaptarse a los cambios ambientales actuales.

El parámetro clínico no invasivo por excelencia para determinar la función ruminal es el número de contracciones observadas por minuto en el exterior del animal. Con intervalos de 1 minuto aproximadamente el complejo reticulorumen experimenta las contracciones de mezcla con una duración de unos 20 segundos. Después se relaja completamente (Dukes, Swenson, & Reece, 1999).

La motilidad ruminal se relaciona con la velocidad de degradación del contenido del rumen. La actividad del rumen está regulada por el núcleo parasimpático del vago en la médula oblongada, que responde al estímulo de diversos receptores mediante la actividad de fibras nerviosas vagales (Dukes, Swenson, & Reece, 1999).

Cuando el animal mastica alimentándose o rumiando provoca de forma refleja un aumento de la frecuencia de las contracciones. Otros receptores de presión miden el grado de distensión de la capa muscular del rumen, abomaso e intestino. Una distensión moderada estimula los movimientos ruminales pero una dilatación excesiva

produce un cese de la actividad reticulorruminal. Los alimentos forrajeros distienden más las paredes del rumen y en consecuencia favorecen la motilidad ruminal y los procesos fermentativos. La distensión de las paredes abomasales bloquea los movimientos ruminales, mediante la inhibición de la actividad vagal. Cuando el pH se reduce por aumento de las concentraciones de AGV se inhibe la motilidad ruminal, y los procesos fermentativos se ven igualmente inhibidos con lo que se consigue equilibrar el pH del rumen (Church, 1993).

En animales sometidos a alta temperatura la tasa de pasaje y la motilidad ruminal se reducen (Kennedy, 1995) (Linn, 1997). Otros trabajos demostraron que como una respuesta adaptativa a las altas temperaturas ambientales, la motilidad del reticulorrumen y de todo el tracto digestivo, se ve reducida (Linn, 1997) y, con ello, el consumo de materia seca (CMS). La relación matemática entre consumo de materia seca y tasa de pasaje fue planteada (Ellis, 1978). Un incremento en la tasa de pasaje responde con un incremento en el CMS (Correa Cardona, 2004).

En los bovinos de zona templada y con poca adaptación a los climas cálidos, se observa una reducción en la cantidad de alimento ingerida cuando la temperatura ambiente sobrepasa los 25-27°C pero en el Cebú, adaptado morfológicamente a este tipo de clima, la depresión alimentaria se observa solo a partir de los 35°C (Dukes, Swenson, & Reece, 1999).

2.2.8. Temperatura rectal

La habilidad homeostática para mantener la temperatura interna es una de las grandes adaptaciones de los bovinos que viven en zonas tropicales y subtropicales (Olson, Olson, Lucena, & Chase, 2003).

La temperatura corporal es a menudo medida en la investigación con bovinos. La temperatura se correlaciona con muchos procesos fisiológicos internos, así como con las condiciones ambientales (Finch, 1985) (Hahn, 1999). La temperatura corporal de los bovinos se ha medido por varios métodos y en varias localizaciones del cuerpo, incluyendo el recto, la vagina, membrana timpánica, reticulorumen, peritoneo, epidermis y subdermis (Hahn, Nienaber, Eigenberg, & Littledike, 1990) (Hillman, Gebremedhin, Willard, Kennedy, & Kennedy, 2009). Cada método implica variables como la facilidad de medición, velocidad de respuesta, y la resistencia a las condiciones externas. Muchos investigadores han utilizado tradicionalmente la temperatura rectal (TR) y temperatura timpánica (TT) (Guidry & McDowell, 1966).

Los procesos bioquímicos en el bovino funcionan dentro de rangos muy estrechos de temperatura, por eso debe tener mecanismos termorreguladores eficientes. Si la temperatura corporal disminuye los procesos metabólicos se ralentizan y si esta disminución continúa pueden llegar a cesar las funciones corporales. Por el contrario, el aumento excesivo de la temperatura puede desnaturalizar las proteínas y comprometer también la vida del bovino.

Hay varios procesos físicos que en el caso de aumento de la temperatura corporal pueden ser utilizados consciente o inconscientemente por el bovino. Los procesos conscientes hacen referencia a cambios de comportamiento. El calor se puede perder por transferencia hacia objetos más fríos que no estén en contacto (radiación) o en contacto (conducción) o al aire o el agua que lo rodean (convección) y por evaporación del sudor cutáneo, de la superficie húmeda del tracto respiratorio e incluso de la saliva. Los tejidos internos cuyo metabolismo produce más calor solo pueden perderlo por convección hacia un líquido más frío como el intersticial y de ahí

a la sangre. Estos tejidos tienen una conductividad térmica baja lo que no permite transferir calor por conducción de forma eficiente. La redistribución del flujo sanguíneo puede repartir el calor a ciertas regiones corporales o permitir que algunas regiones se enfríen cuando peligra la temperatura del cerebro y las vísceras mayores (Cunningham, 1999).

En los humanos, la TR podría tener un retraso mayor en el tiempo de respuesta al estrés por calor ambiental que la TT (Shiraki, Konda, & Sagawa, 1986). En otro trabajo la TT respondió más rápidamente a la variación ambiental que la TR o la temperatura vaginal (Guidry & McDowell, 1966).

Las temperaturas en los lugares periféricos, tales como la superficie cutánea o sitios subdérmicos, no reflejan la temperatura interna del núcleo principal debido a condiciones dinámicas ambientales y fisiológicas como la velocidad del aire, la humectación de la piel y la radiación solar (Hahn, Nienaber, Eigenberg, & Littledike, 1990). Lo mismo ocurre durante desafíos inmunes (Carrol, et al., 2009) (Reid & Dahl, 2005).

La temperatura rectal es ligeramente inferior a la central y sus cambios afectan a los de la temperatura del núcleo. Sin embargo, la temperatura rectal es una determinación conveniente en los mamíferos domésticos y orienta sobre la temperatura central (Cunningham, 1999).

La temperatura rectal normal del bovino es de 38,5 con un punto crítico de 39,5; por encima del punto crítico se considera que el bovino está hipertérmico. (Radostits, Gay, Blood, & Hinchacliff, 2002),

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Cuantificar algunas respuestas fisiológicas a tres cargas calóricas en vacas criollas en el Piedemonte Llanero.

3.2 Objetivos específicos

- Analizar las variables fisiológicas medidas como posibles indicativos de estrés térmico.
- Valorar un instrumento de medida de la sudoración nasolabial (el sudorímetro) como alternativa de medida de la sudoración nasolabial.

4 METODOLOGÍA

El presente trabajo se desarrolló mediante el análisis de datos obtenidos en el Centro de Investigación La Libertad de CORPOICA, entre abril y septiembre de 2010 en un grupo de 20 vacas criollas. Los parámetros fisiológicos en el periodo en mención se registraron y los sueros tomados se refrigeraron en un congelador a -80° Celsius hasta su utilización. El fin fue determinar las concentraciones séricas de hormonas las cuales se analizaron en el Laboratorio de Endocrinología y Metabolismo Animal de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira.

4.1 Ubicación geográfica de la toma de muestras y animales experimentales.

La toma de muestras y valoración de parámetros se llevó a cabo en el Centro de Investigaciones La Libertad de CORPOICA, ubicado en la terraza alta del municipio de Villavicencio, a $9^{\circ} 6'$ de latitud norte y $73^{\circ} 34'$ de longitud oeste, a 330 m.s.n.m. La temperatura promedio anual del Centro de Investigación es de 26°C , la humedad relativa del 80% y la precipitación anual promedio de los últimos 28 años ha sido de 2932.6 mm. La precipitación en esta área geográfica supera los 300mm entre abril y noviembre, seguido de un periodo seco entre diciembre y marzo. (IDEAM, 2005)

Se tomaron muestras en 20 vacas criollas que correspondieron a: 8 Sanmartineras, 9 Blanco Orejinegras y 3 vacas Hartón del Valle; con un rango de edades de tres a doce

años, y entre uno y cinco partos, que pastoreaban en praderas de *Brachiaria decumbens* con acceso a sal mineralizada y agua a voluntad. Estos animales se sometieron a los programas sanitarios de prevención y control de acuerdo con los cronogramas y planes de la región.

4.2 Registro de parámetros fisiológicos

El periodo de toma de muestras y registros estuvo comprendido entre abril y septiembre de 2010 con evaluaciones en las siguientes fechas: 8 de abril, 22 de abril, 6 de mayo, 20 de mayo, 8 de julio, 12 de agosto y 30 de septiembre. El día del registro de la información, las vacas se llevaban al corral de bodega a las 8:30 a.m. para ordeño, pesaje de sus terneros y de la leche producida, lo que demoraba aproximadamente 90 minutos. Después de finalizada esta labor, pasaban a otro corral contiguo al área de trabajo durante 60 minutos. Luego ingresaban para muestreo al brete a la sombra donde se les dejaba reconocer el entorno y relajarse durante 15 minutos antes de iniciar la medición de los parámetros fisiológicos y la toma de muestra sanguínea que se realizaba entre entre las 11:30 y 13:00 horas.

Los parámetros fisiológicos medidos a cada vaca fueron la frecuencia cardíaca por auscultación por un minuto, la frecuencia respiratoria por observación del flanco lateral del animal igualmente durante un minuto, la motilidad ruminal por observación de la fosa del ijar izquierdo por dos minutos y la temperatura rectal con termómetro de mercurio por tres minutos.

4.3 Sudoración en plano nasolabial.

Con el objeto de evaluar la sudoración producida por unidad de tiempo y área, se diseñó y construyó un sudorímetro, el cual consta de un cabezal construido con correas de lona sobre un soporte metálico con dos piezas que se desplazaban sobre un mismo eje lo que permitía el ajuste a los diferentes tamaños de cabeza bovina. En la parte frontal poseía una platina que cubre el morro y sobre la cual se colocaba un apósito comercial adherible absorbente compuesto de tela de transferencia no tejida que tiene un gel absorbente mezclado con celulosa. Dado el método empleado, el aparato se denominó “Sudorímetro de plano nasolabial” (Figura 1).



Figura 1. Sudorímetro de plano nasolabial utilizado para determinar la sudoración en el plano nasolabial en una vaca Sanmartinero

Fuente: Jorge E. Almansa Manrique, 2010

4.4 Evaluación de la concentración de hormona tiroidea y cortisol.

Las muestras de sangre se tomaron por punción de la vena coccígea utilizando agujas calibre 22, de 25 mm de largo y tubos plásticos al vacío (Vacutainer®). Las muestras de sangre se centrifugaron dentro de la hora siguiente al muestreo para aislar el suero y permanecieron almacenadas a -80 grados Celsius hasta su procesamiento en el laboratorio. La hormona tiroidea y el cortisol se analizaron en el Laboratorio de Endocrinología y Metabolismo Animal de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, por radioinmunoanálisis de fase sólida, con un kit (Siemens) diagnóstico comercial marcado con isotopo radiactivo I-125 sólida y el cortisol por RIA a través de kits comerciales DPC (Los Ángeles, CA); la lectura se realizó con un equipo monopocho Nucleonics (Berkeley, CA) y los valores de cada hormona se obtuvieron mediante el software RIACALC, de la Universidad de Guelph.

4.5 Información del clima

Los datos climatológicos del período de observación se obtuvieron de la estación meteorológica N°70 "La Libertad" del IDEAM ubicada en el Centro de Investigación La Libertad de CORPOICA a una latitud 4°04'N y longitud 73°28'W.

La información evaluada incluyó los registros de temperatura ambiental en bulbo seco, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar.

Con los datos obtenidos se establecieron tres rangos de carga calórica (HLI):

1. 60-65
2. 65-70
3. 70-75

4.6 Diseño y análisis estadístico

Es un estudio experimental con tres tratamientos y diferente número de repeticiones. Las vacas muestreadas en cada rango calórico se consideraron como repetición.

Para todas las variables se calcularon medidas de tendencia central (media, mediana) y la varianza y la desviación estándar como medidas de dispersión. La existencia de posibles asociaciones entre las variables estudiadas se analizó con el coeficiente de correlación de momentos de Pearson y con un modelo de regresión lineal simple. Los datos y graficas de regresión lineal, los histogramas de frecuencia, ajuste normal, el coeficiente de correlación de momentos de Pearson y la comparación entre medias se obtuvieron con SPSS versión 16.0

Por la homogeneidad del ambiente y la posibilidad de diferente número de repeticiones para cada tratamiento los datos se ordenarán en un arreglo completamente al azar (Zimmermann, 2004).

Hipótesis nula: no existe efecto del rango de carga calórica sobre las variables medidas (cortisol plasmático, T3 plasmático, sudor secretado en el plano nasolabial, frecuencias cardiaca y respiratoria, motilidad ruminal y temperatura rectal).

La validez de la hipótesis se comprobó con la prueba F. Se asumió que la prueba era significativa si la probabilidad a ella asociada era menor o igual al 5%.

Por ser tres los tratamientos al rechazar la hipótesis nula se procedió a realizar una prueba de comparación de medias de Duncan.

4. RESULTADOS

Los resultados encontrados fueron obtenidos en bovinos criollos bajo 3 cargas calóricas diferentes.

Tabla 1. Estadística descriptiva datos cuantitativos – Todas las variables

Estadística	CORTISOL	T3	Peso sudor nasolabial	f CARDIACA	f RESPIRATORIA	f RUMINAL	Tº RECTAL
No. de observaciones	71	71	71	71	71	71	71
Mínimo	6.9	0.37	0.00	40	24	1.000	38.000
Máximo	161.2	3.96	3.12	94	84	4.000	41.000
1º Cuartil	27.675	1.183	0.205	56	36	2.000	39.300
Mediana	45	1.46	0.584	68	48	3.000	39.500
3º Cuartil	71.025	1.758	0.86	80	62	3.000	39.900
Media	55.423	1.491	0.662	67.634	49.887	2.634	39.599
Varianza (n 1)	1.490	0.318	0.344	203.521	254.501	0.435	0.287
Desviación Típica (n 1)	38.597	0.564	0.587	14.266	15.953	0.660	0.536

Tabla 2. Matriz correlación Pearson – Todas las variables

Variables	HLI	CORTISOL	T3	PESO SUDOR NASOLABIAL	f CARD.	f RESP.	f RUMINAL	Tº RECTAL
HLI	1	0.088	0.034	0.139	0.361	0.556	0.064	0.161
CORTISOL	0.088	1	0.066	0.006	0.241	0.095	0.121	0.088
T3	0.034	0.066	1	0.139	-0.064	0.16	0.206	-0.054
PESO SUDOR	0.139	0.006	0.139	1	0.184	0.099	0.244	0.057
f CARDIACA	0.361	0.241	-0.064	0.184	1	0.3	-0.181	0.209
f RESPIRATORIA	0.556	0.095	0.16	0.099	0.3	1	0.411	0.27
f RUMINAL	0.064	0.121	0.206	0.244	-0.181	0.411	1	0.019
Tº RECTAL	0.161	0.088	-0.054	0.057	0.209	0.27	0.019	1

Los valores en negrilla son diferentes de 0 con un nivel de significación alfa=0,05

Tabla 3. Comparación de medias de Duncan

	Índice de carga calórica (HLI)	Cortisol ng/mL	T3 nmoL/L	Peso sudor nasolabial	Frecuencia cardíaca	Frecuencia respiratoria	Frecuencia ruminal	Temperatura rectal
Abril 22	66.34	<u>45,8833</u> _{ab}	1,4642 _{ab}	6,217 _{ab}	72,6667 _b	65,6667 _a	2,6667 _{cd}	39,7500 _a
Mayo 20	62.09	<u>57,8333</u> _{ab}	1,4408 _{ab}	8,250 _{ab}	74,0000 _b	61,0833 _{ab}	2,8333 _{cd}	39,8083 _a
Mayo 6	61.26	<u>84,7364</u> _a	1,9209 _a	11,300 _a	72,0909 _b	51,0000 _{de}	2,7273 _{cd}	39,5364 _a
Julio 8	60.41	<u>75,5778</u> _{ab}	1,4522 _{ab}	6,833 _{ab}	56,111 _d	42,2222 _{de}	2,6667 _{cd}	39,5000 _a
Sep. 30	59.48	<u>58,7429</u> _{ab}	0,9443 _b	2,775 _b	87,2500 _a	29,8750 _f	1,8750 _e	39,3500 _a
Agosto 12	58.11	<u>13,4500</u> _c	1,5125 _a	4,500 _b	43,125 _e	33,1250 _{ef}	2,3750 _{de}	39,4125 _a
Abril 08	57.92	<u>45,8091</u> _b	1,5091 _a	4,755 _b	63,7273 _c	52,3636 _{cd}	3,0000 _a	39,6636 _a

Prueba de Duncan o prueba de amplitudes múltiples para la comparación de medias de las variables estudiadas. Subíndices diferentes indican diferencia significativa (alfa=0,05)

5.1 Cortisol

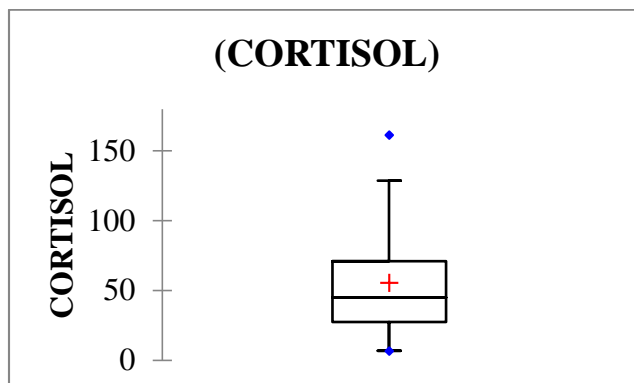
Los niveles de cortisol sérico encontrados estuvieron entre 6.9 y 161.2 ng/mL con una media de 55.43 ng/mL y una desviación estándar de 38.6. (Tabla 1; gráficas 1 y 2).

Se encontró correlación positiva significativa entre niveles de cortisol y frecuencia cardíaca (Tabla 2. R: 0,241; $P > 0.05$).

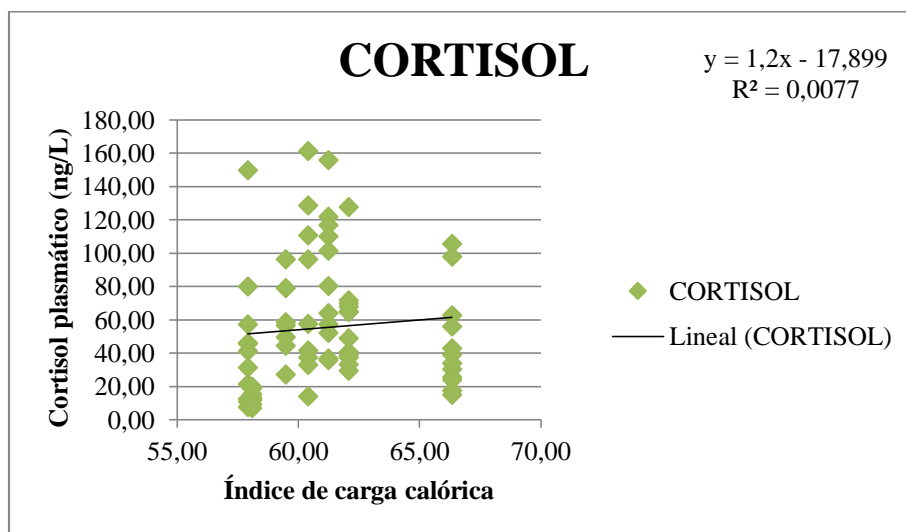
Se encontraron diferencias significativas entre grupos de carga calórica, con una ligera inclinación a valores más altos con mayores cargas calóricas. El mayor valor se observó en el mes de mayo y el menor en agosto ($P < 0.05$); sin embargo no se observó una relación significativa entre el cortisol y la carga calórica.

No hubo efecto de la raza y el número de partos de la vaca sobre el cortisol sanguíneo ($P > 0.05$).

Gráfica 1. Diagrama de caja Cortisol



Gráfica 2. Regresión lineal HLI/Cortisol



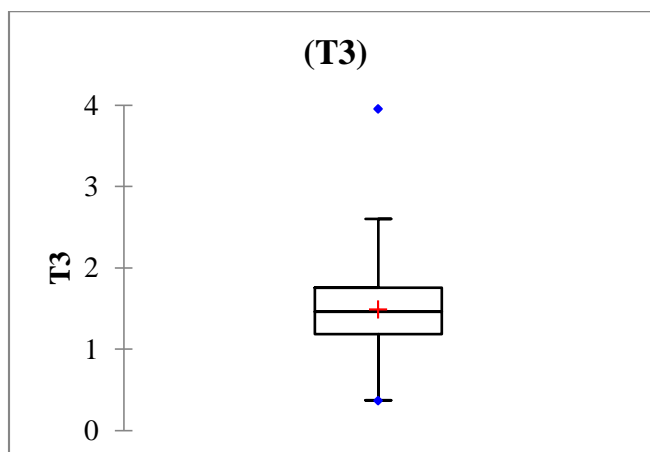
5.2 Triyodotironina

La media para T3 fue de 1.46 nmol/L con valor mínimo observado de 0.37 y máxima de 3.96 con una desviación estándar de 0,564.

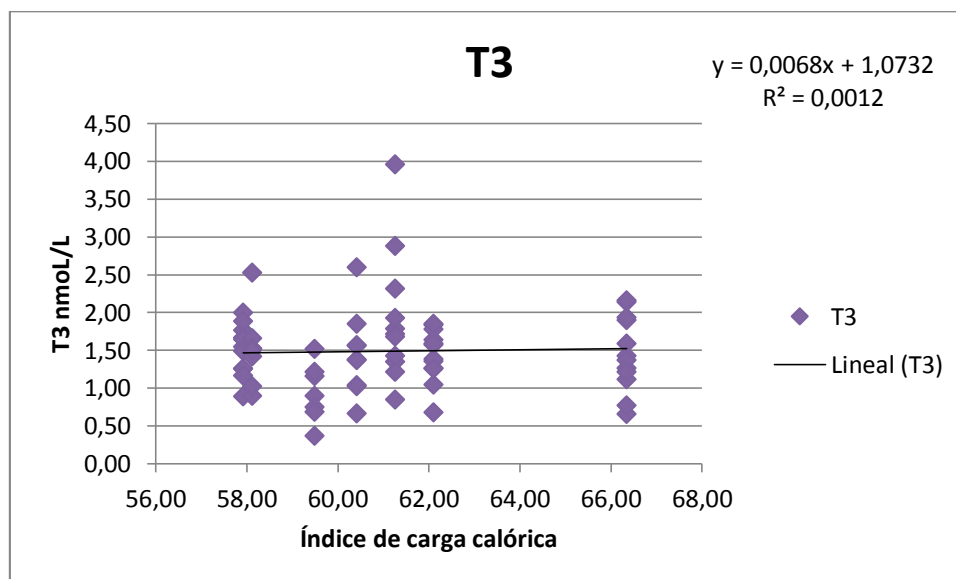
Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos. No se encontró correlación significativa con ninguna otra variable.

No hubo diferencias significativas entre razas y partos.

Gráfica 3. Diagrama de caja T3



Gráfica 4. Regresión lineal HLI/T3



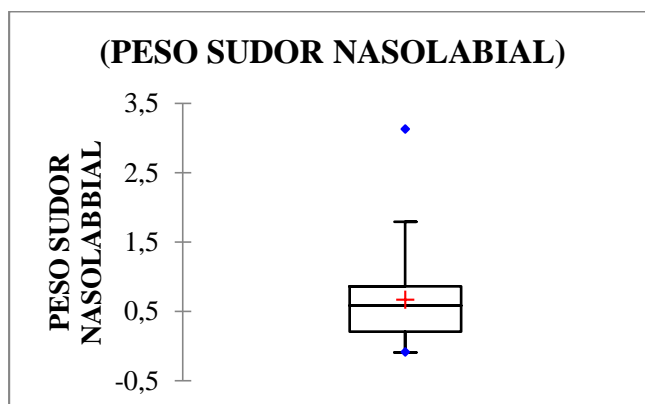
5.3 Peso del sudor nasolabial

Los valores de peso del sudor recolectado durante 5 minutos del plano nasolabial fueron en promedio de 0.6618 gramos con una desviación estándar de 0.587. El menor valor fue de 0 gramos y el máximo de 3.12 gramos.

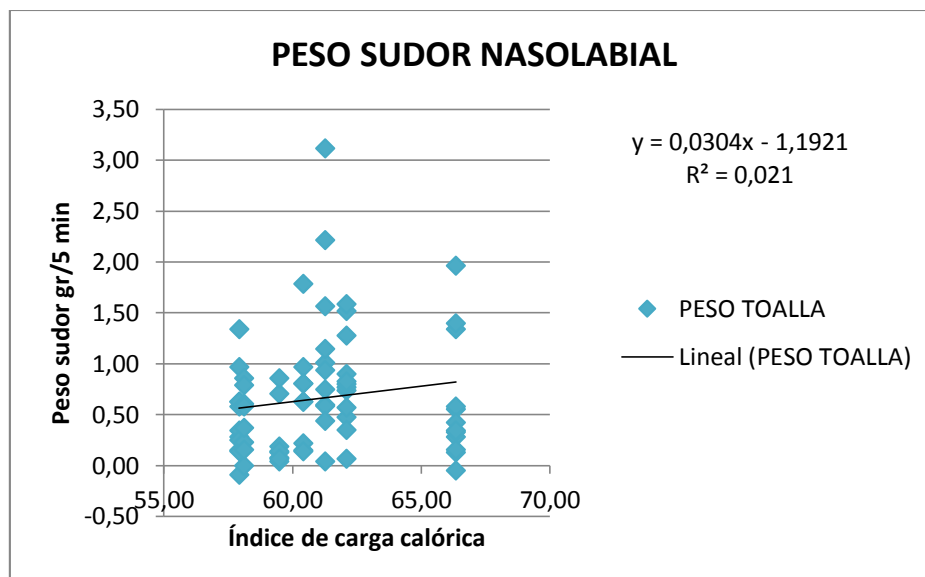
Se encontró diferencia significativa entre tratamientos, con tendencia a aumentar el peso de sudor producido con la mayor carga calórica. También se observó correlación significativa con la frecuencia ruminal.

No hubo diferencias significativas entre razas y partos.

Gráfica 5. Diagrama de caja peso sudor nasolabial



Gráfica 6. Regresión lineal HLI/Peso sudor nasolabial



5.4 Frecuencia cardiaca

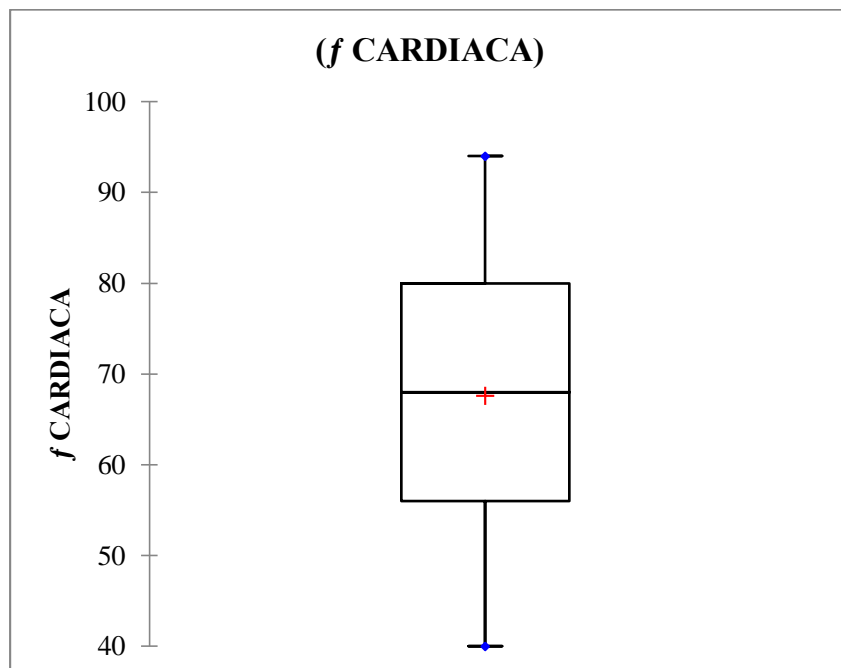
Con un mínimo de 40 pulsaciones por minuto y un máximo de 94 se halló una media de 67.63 y una desviación estándar de 14.27.

Se observaron diferencias significativas entre los tratamientos.

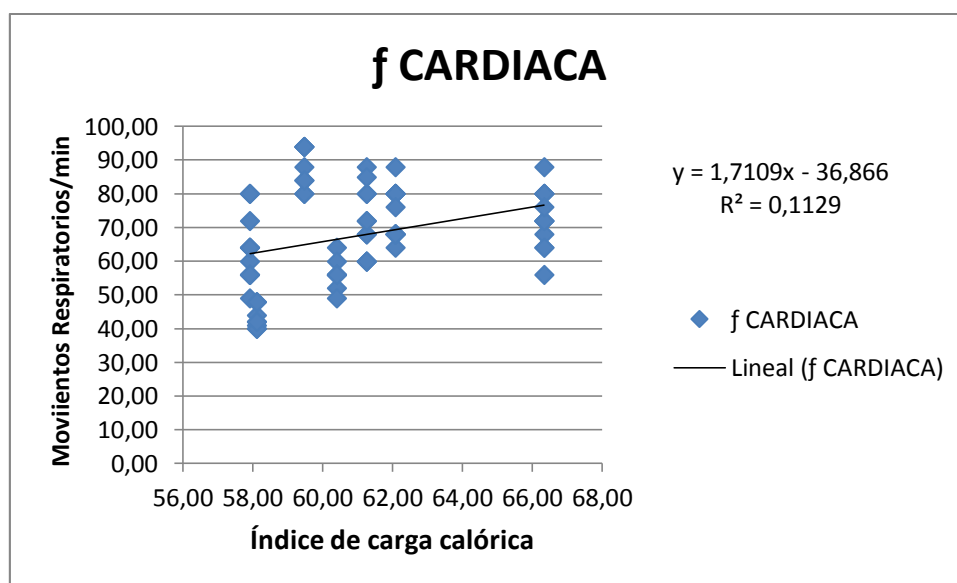
Se encontró correlación significativa entre carga calórica y frecuencia cardíaca (0.361). La línea de tendencia muestra que a mayor carga calórica mayor frecuencia cardíaca.

No hubo diferencias significativas entre razas y partos.

Gráfica 7. Diagrama de caja Frecuencia cardiaca



Gráfica 8. Regresión lineal HLI/Frecuencia cardiaca



5.5 Frecuencia respiratoria

Para frecuencia respiratoria la media fue de 49.89 movimientos ventilatorios por minuto con un registro máximo de 84 respiraciones por minuto y una mínima de 24. La desviación estándar fue de 15.96.

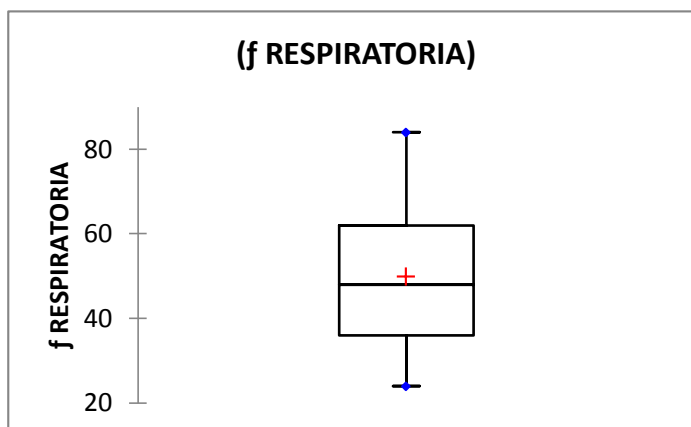
Se halló diferencia significativa entre tratamientos.

La línea de tendencia muestra que a mayor carga calórica mayor frecuencia respiratoria.

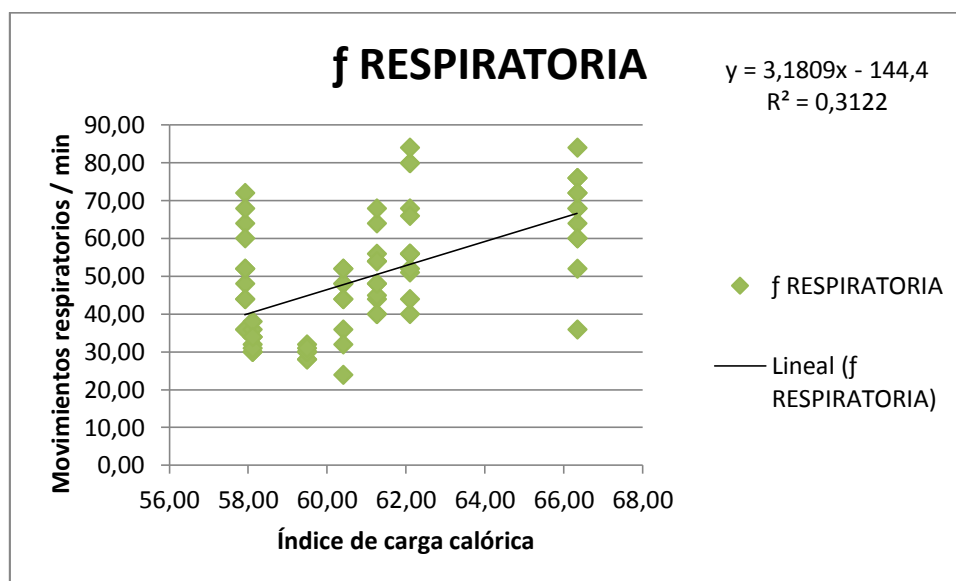
Esta variable se correlacionó positiva y significativamente ($\alpha=0.05$) con carga calórica ($r: 0.556$), frecuencia cardíaca ($r: 0.3$), movimientos ruminales ($r: 0.411$) y temperatura rectal ($r: 0.270$).

No hubo diferencias significativas entre razas y partos.

Gráfica 9. Diagrama de caja Frecuencia respiratoria



Gráfica 10. Regresión lineal HLI/Frecuencia respiratoria



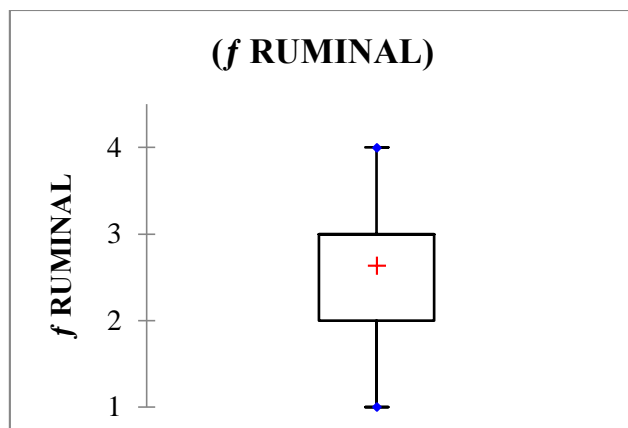
5.6 Movimientos ruminales

La media para movimientos ruminales fue de 2.63 movimientos en 2 minutos y la desviación estándar de 0.66 siendo 1 el registro más bajo y 4 el más alto. La prueba de Duncan para comparación de muestras muestra diferencias significativas entre tratamientos.

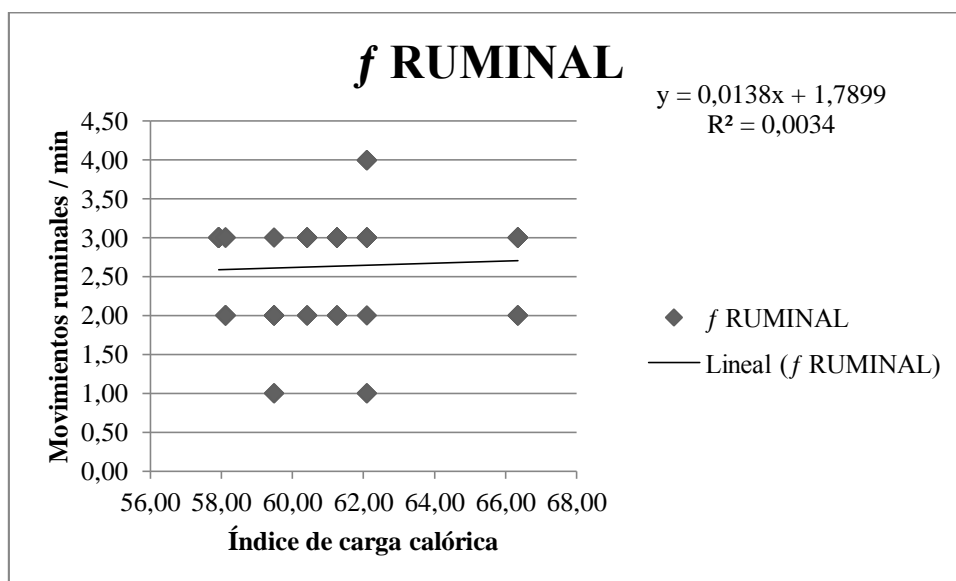
El coeficiente de correlación de productos de momentos de Pearson muestra correlación significativa (alfa=0.05) de los movimientos ruminales con el peso del sudor producido en el plano nasolabial (r: 0.244) y con la frecuencia respiratoria (r: 0.411).

No hubo diferencias significativas entre razas y partos.

Gráfica 11. Diagrama de caja Frecuencia ruminal



Gráfica 12 Regresión lineal HLI/Frecuencia ruminal



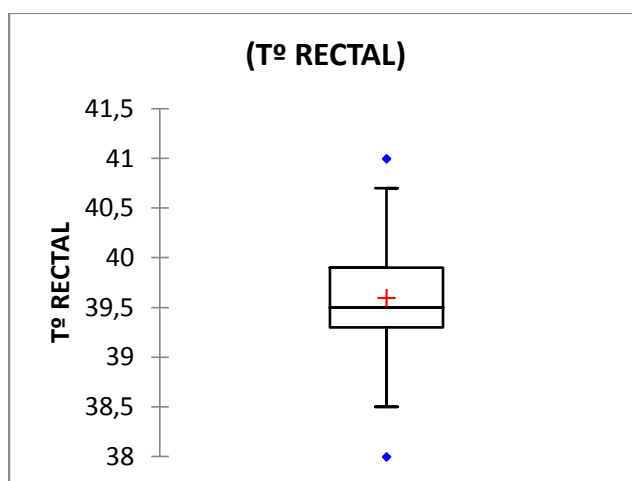
5.7 Temperatura rectal

La media fue de 39.6 grados centígrados y la desviación estándar de 0.536 con un mínimo registrado rectalmente de 38 y un máximo de 41.

Se correlaciono significativamente con la frecuencia respiratoria ($r: 0.270$) y la línea de tendencia mostro aumento de la temperatura a mayor carga calórica.

No hubo diferencias significativas entre partos, pero si entre razas mostrando una diferencia significativa entre la raza hartón del valle y las sanmartineras y blanco orejinegras.

Gráfica 13. Diagrama de caja Temperatura rectal



Gráfica 14. Regresión lineal HLI/Temperatura rectal

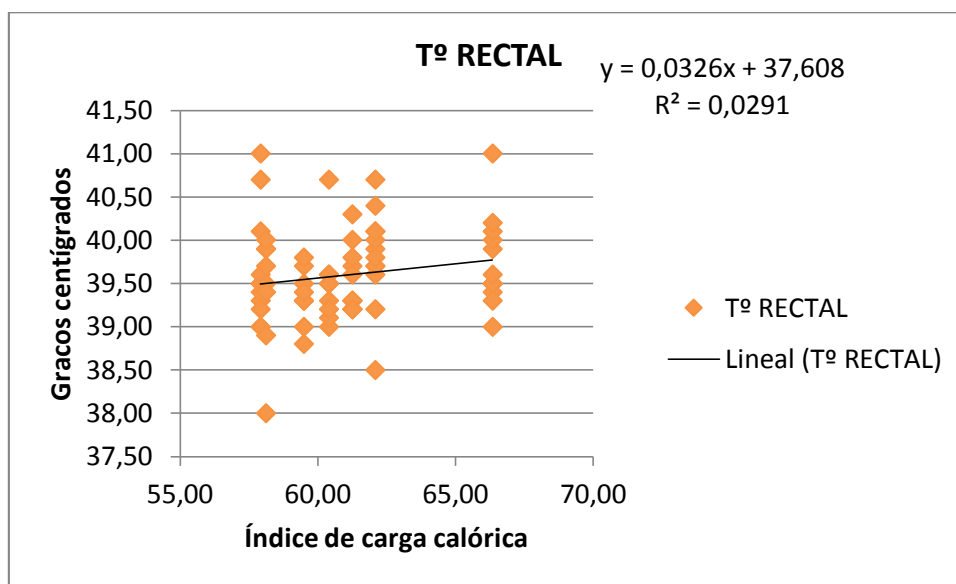


Tabla 1. Subconjuntos homogéneos. Temperatura rectal

	RAZA	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
			1	2
HSD de Tukey^{a,b}	BON	34	39,42 _a	
	SM	31	39,64 _a	
	HV	6		40,40 _b

5. DISCUSIÓN

Las referencias previas de comportamiento de los bovinos criollos en diversas condiciones climáticas se basaban solo en los cambios de temperatura y humedad. En el presente trabajo se usa por primera vez el índice de carga calórica que contempla además la radiación solar y la velocidad del viento.

La concentración media de cortisol encontrada fue de 55 ng/mL. Muy por encima de las reportadas por (Henricks, Cooper, Spitzer, & Grime, 1984) que estaban en 5.7 para novillas de carne y con las encontradas para vacas lactantes (Dunlap, et al., 1981), que fueron de 12.9 de promedio y una media de valores máximos de 146.3. El valor máximo encontrado en nuestro estudio fue de 161.2 ng/mL y concuerda con otro trabajo. (Campos Gaona, Giraldo Patiño, & Hernández, Comportamiento metabólico en el parto de vacas Hartón del Valle, bajo condiciones de trópico bajo, 2010) y ligeramente superiores, a las encontradas por el mismo investigador en vacas Hartón del Valle, cuyos valores promedio fluctuaron entre 34,1 – 34,42 ng/ml. (Campos Gaona, García Alegría, Hernández, & Giraldo Patiño, 2012)

A pesar de que estadísticamente existieron diferencias significativas entre grupos de carga calórica no se evidenció una relación entre momento climático y nivel de cortisol a pesar de ser una hormona de respuesta aguda que responde ya a las 2 horas de exposición al calor (Johnson G. I., 1972).

La correlación significativa entre cortisol y frecuencia cardiaca se debe al efecto del cortisol sobre los niveles de adrenalina (Cunningham, 1999) (Dukes, Swenson, & Reece, 1999).

El valor promedio de la concentración de T3 encontrado fue de 1.46 nmol/L con un mínimo de 0.37 y máximo de 3.96 nmol/L que concuerda con los hallazgos de quien además encontró diferencia significativa entre razas criollas (Campos R. , González, Rodas, & Cruz, 2004). También están dentro de los rangos encontrados para vacas en lactancia.

Igual resultado mostraron las concentraciones encontradas por otros investigadores (McGuire, 1991) (M. L. Rhoads, 2010) al someter vacas lactantes a estrés calórico de forma aguda. Reportaron valores de 0.95 nmol/L en vacas lactantes sometidas a estrés calórico.

La respuesta tiroidea a cambios climáticos no es inmediata (Dukes, Swenson, & Reece, 1999) y por esto a pesar de existir diferencias significativas entre grupos no hay tendencia que indica una relación entre carga calórica y tenor tiroideo.

Por otra parte nuestros hallazgos indican que el peso del sudor producido durante 5 minutos por las glándulas sudoríparas del plano nasolabial de los bovinos criollos tuvo un promedio de 0.66 gramos lo que nos daría un aproximado de 4 gramos por hora llegando en los mayores registros a 19 gramos hora en esta área anatómica, inferiores a los descritos por (Church, 1993), quien señala una producción de 80mg/20 cm²/ 5 minutos (Tountain), citado por (Church, 1993).

Manuel Bernardo Álvarez en vacas Holstein encontró valores entre 660 y 1090 gramos de humedad cutánea producida por hora a 35 grados centígrados de temperatura ambiente. Los valores más altos fueron obtenidos tras la infusión de epinefrina con lo que demostraba la redistribución circulatoria hacia la piel. (Alvarez, Leroy, & Johnson, 1970).

La diferencia significativa entre cargas calóricas muestra la tendencia a mayor producción de sudor en concordancia con lo encontrado en ganado Brahman: producciones de sudor por metro cuadrado entre 108 y 175 gramos por hora con la mayor producción relacionado con ITH mayores de 90 (Gaughan, Mader, Holt, Jorsey, & Rowman, 1999).

Para frecuencia cardíaca se registraron valores entre 40 y 94 latidos por minuto. El análisis estadístico mostró correlación positiva entre frecuencia cardíaca y carga calórica. Igual tendencia encontraron otros autores (Peña, López, Martínez, & Género, 2011), trabajando con ganado criollo patagónico. La respuesta cardíaca se debe al aumento del trabajo respiratorio para perder calor y al aumento de la sudoración superficial por vasodilatación cutánea. (Alvarez, Leroy, & Johnson, 1970).

Por otra parte (Beatty, Barnes, Taylor, & Pethick, 2006) señala una tendencia en *Bos taurus* a bajar su frecuencia cardíaca en la medida que se adaptan a una temperatura dada.

Con respecto a la motilidad ruminal la comparación entre medias de Pearson mostró diferencias significativas del número de movimientos ruminales a diferentes cargas calóricas y el análisis de regresión lineal mostro una ligera tendencia a aumentar con mayor carga.

En la medida que los mecanismos de respuesta termorreguladora actúan en el bovino los movimientos ruminales no sufren y esto nos puede aclarar su correlación positiva significativa con la frecuencia respiratoria y la producción de sudor.

La ventilación pulmonar mostró una clara línea de tendencia que indica que a mayor índice calórico mayor frecuencia respiratoria (correlación significativa de 0.556) al igual que muchos trabajos de investigación previos (Kibler & Brody, 1953) (Choshniak, McEwan Jenkinson, Blatchford, & Peaker, 1982) (Gaughan, Mader, Holt, Jorsey, & Rowman, 1999) (Al-Haidary, Spiers, Rottinghaus, Garner, & Ellersieck, 2001) Citados por (Hansen, 2004).

La razón de la elevada frecuencia respiratoria presentada a altas temperaturas radica en que el bovino utiliza la ventilación pulmonar como un mecanismo de disipación de calor junto a la sudoración y el cambio comportacional que lo lleva a buscar menor exposición a la radiación solar (Hansen, 2004).

La temperatura rectal al igual que en toda la literatura revisada se mantuvo dentro de límites normales lo que es de esperarse si los mecanismos termorregulatorios están funcionando. Debido a esto no hubo estadísticamente diferencias entre tratamientos aunque la línea de tendencia mostro que a mayor carga calórica mayor temperatura rectal.

7. CONCLUSIONES

Los ajustes homeostáticos se evidenciaron claramente con el aumento de la frecuencia cardíaca para suplir las necesidades metabólicas del trabajo respiratorio y el redireccionamiento circulatorio hacia la piel para contribuir a la pérdida de calor por evotranspiración y convección.

La actividad ruminal a su vez indicó que la temperatura y humedad elevadas posiblemente no afectan el consumo de materia seca por las vacas criollas estudiadas. Aunque esto no se estudió

Los niveles de cortisol encontrados indican que bajo los cambios climáticos estudiados las vacas criollas no experimentaron estrés agudo. Igualmente los niveles de triyodotironina muestran claramente la perfecta adaptación de los bovinos criollos a nuestros climas tropicales.

El instrumento diseñado para la recolección de sudor en el morro mostro su efectividad y se obtuvieron resultados concordantes con otros métodos de valoración.

La utilización por primera vez del índice de carga calórica que valora temperatura, humedad y radiación solar crea una base para nuevos trabajos sobre adaptación al cambio climático.

La no correlación entre carga calórica y cortisol sérico, evidencia el importante papel del sistema respiratorio en mantener la temperatura corporal dentro de límites muy precisos. Así, el bovino criollo en los ambientes evaluados no experimenta estrés calórico.

8. REFERENCIAS

- Akasha, M., Anderson, R., Ellersieck, M., & Nixon, D. (1987). Concentration of thyroid hormones and prolactin in dairy cattle serum and milk at three stages of lactation. *Journal of Dairy Science*(70), 271-276.
- Al-Haidary, A., Spiers, D., Rottinghaus, G., Garner, G., & Ellersieck, M. (2001). Thermoregulatory ability of beef heifers following intake of endophyte-infected tall fescue during controlled heat challenge. *Journal of Animal Science*(79), 1780-1788.
- Allen Tucker, H., Petitclerc, D., & Zinn, S. (1984). The Influence of Photoperiod on Body Weight Gain, Body Composition, Nutrient Intake and Hormone Secretion. *Journal Animal Science*(59), 1610-1620.
- Alvarez Díaz, A. (2004). Fisiología de la termorregulación de los vertebrados superiores en su entorno. *Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Agraria de la Habana* (pág. 23). La habana, Cuba: UNAH.
- Alvarez, M., Leroy, H., & Johnson, H. (1970). Cutaneous Moisture Loss in the Bovine during Heat Exposure and Catecholamine Infusion. *Journal of Animal Science*(30), 95-101.
- ASOCRIOLLO, A. N. (2003). Razas criollas y colombianas puras.
- Beatty, D., Barnes, A., Taylor, E., & Pethick, D. (2006). Physiological responses of *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle to prolonged, continuous heat and humidity. *Journal of Animal Science*, 84:972-985.
- Beckett, G., Beddows, S., Morrice, P., Nicol, F., & Arthur, J. (1987). Inhibition of hepatic deiodination of thyroxine is caused by selenium deficiency in rats. *Biochem Journal*, 443-447.
- Beerda, B., Kornalijnslipjer, J. E., Van der Werf, J. T., Noordhuizen-Stassen, E. N., & and Hopster, H. (2004). Effects of milk production capacity and metabolic status on HPA function in early postpartum dairy cows. *Journal Dairy Science*(87), 2094-2102.
- Bitman, J., Tao, H., & Akers, R. (1984). Triiodothyronine and thyroxine during gestation in dairy cattle selected for high and low production. *Journal of Dairy Science*(67), 2614-2619.

- Blum, J., Kunz, P., & Leuenberger, H. (1983). Thyroid hormones, blood plasma metabolites and hematological parameters in relationship to milk yield in dairy cows. *Journal of Animal Production*(36), 93-104.
- Brody, S. (1956). Climatic physiology of cattle. *Journal of Dairy Science*, 715-725.
- Campos Gaona, R., García Alegría, K., Hernández, E., & Giraldo Patiño, L. (2012). Metabolitos protéicos y minerales en vacas lecheras en periodo de transición bajo condiciones tropicales. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*.
- Campos Gaona, R., Giraldo Patiño, L., & Hernández, E. A. (2010). Comportamiento metabólico en el periparto de vacas Hartón del Valle, bajo condiciones de trópico bajo. *60*, págs. 13-26. Palmira: Feriva.
- Campos Gaona, R., Hernández, E., & Giraldo Patiño, L. (2011). Comportamiento metabólico en el periparto de vacas Hartón del Valle bajo condiciones de trópico bajo. *Acta Agronómica*.
- Campos, R., González, F., Coldebella, A., & e Lacerda, L. (2005). Indicadores do controle endócrino em vacas leiteiras de alta produção e a sua relação com a composição do leite. *33 (2)*, (págs. 147-153).
- Campos, R., González, F., Rodas, A., & Cruz, C. 2. (2004). Thyroid hormones in native Colombian bovine breeds. *Rev Bras Ci Vet*, 3(11), 174-177.
- Carrol, J., Reuter, R., Chase, J., Coleman, S., Riley, D., Spiers, D., . . . Galyean, M. (2009). Profile of the bovine acute-phase response following an intravenous bolus-dose lipopolysaccharide challenge. *Innate Immun*(15), 81-89.
- Channing, C., Tsai, V., & Sachs, D. (1976). Role of insulin, thyroxine, and cortisol in luteinization of granulose cells grown in chemically defined media. *Biol Reprod*(15), 235-247.
- Choshniak, I., McEwan Jenkinson, D., Blatchford, D., & Peaker, M. (1982). Blood flow and catecholamine concentration in bovine and caprine skin during thermal sweating. *Comp. Biochem. Physiol*(71C), 34-42.
- Church, D. (1993). *El rumiante: Fisiología digestiva y nutrición*. (1 ed.). Zaragoza: Acribia S.A.
- Collins, K., & Weiner, J. (May de 1962). Observations on arm-bag suppression of sweating and its relationship to thermal sweat-gland 'fatigue'. *Journal of physiology*(161), 538-556.
- Contreras, P., Matamoros, R., Monroy, R., Kruze, J., Leyvan, V., Andaur, M., . . . Wittner, F. (2002). Effect of a Selenium Deficient Diet on Blood Values of T3 and T4. *11*, 65-70.
- Correa Cardona, H. J. (2004). Limitaciones metabólicas para la producción bovina en el trópico bajo. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Producción Animal. Sección de Nutrición Animal. Universidad Nacional de Colombia.

- Cunningham, J. (1999). *Fisiología Veterinaria. 2ª ed.* (2009 ed.). México D.F., México: Editorial McGraw-Hill Interamericana.
- DANE. (2009). Cuentas Nacionales Anuales. Recuperado el Septiembre de 2013, de http://www.dane.gov.co/daneweb_V09/index.php?option=com_content&view=article&id=127&Itemid=84
- DANE. (2009). *Encuesta Nacional Agropecuaria - ENA*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, de Colombia.
- DANE. (2012). *Boletín mensual - Insumos y factores asociados a la producción agropecuaria*. Bogota: DANE.
- Davis, M. (2001). Management strategies to reduce heat stress in feedlot. Nebraska, Lincoln, USA.
- Dickson, W. (1984). Endocrine glands. En H. Dukes, M. J. Swenson, & W. Reece, *Duke's Physiology of Domestic Animals* (10 ed., págs. 761-797). New York.
- Dukes, H. H., Swenson, M. J., & Reece, W. O. (1999). *Fisiología de los animales domésticos de Dukes* (Segunda ed., Vols. Cap 33-34).
- Dunlap, S., Kiser, T., Vallner, J., Rampacek, G., Kraeling, R., & Beneshek, L. (1981). Clearance of serum cortisol in suckled and non suckled postpartum beef cows. *Journal of Animal Science*, 53, 1082-1087.
- Ellis, W. (1978). Determinants of grazed forage intake and digestibility. *Journal of Dairy Science*(61), 1828.
- Elsasser, A. L., Elsasser, A., Lefcourt, & T., H. (1995). Adrenal responses of Angus x Hereford cattle to the stress of weaning. *Journal of animal science*(73), 2669-2676.
- Espinoza, J., Ortega, R., Palacios, A., & Guillén, A. (2011). Tolerancia al calor y humedad atmosférica de diferentes grupos raciales de ganado bovino. *Revista MVZ*, 16(1), 2302-2309.
- Faroog, U., Samad, H., & Shezhazd, A. Q. (2010). Physiological responses of cattle to heat stress. *World Appl Sci J 8. Special Issue of Biotech and Gamet Engineer*, 38-43.
- FEDEGAN. (2006). *Plan Estratégico de la Ganadería Colombia 2019*. Bogotá.
- FEDEGAN. (2009). *La Ruta de la Industria Bovina*. Bogotá.
- Finch, V. (1985). Comparison of non-evaporative heat transfer in different cattle breeds. *Journal of animal science*(36), 497-508.
- Finch, V. (1986). *Body temperature in cattle: Its control and relevance to production in the tropics*. *Journal of Animal Science*,62.

- Finch, V., Bennet, I., & Holmes, C. (1982). Sweating response in cattle and its relation to rectal temperature, tolerance of sun and metabolic rate. *Journal of Animal Science*, 99, 479-487.
- Findlay, J., & Hales, J. (1969). Hypothalamic temperature and the regulation of respiration of the ox exposed to severe heat. *J Physiol.*(203), 651-663.
- Gaughan, J., Mader, T., Holt, S., & Lisle, A. (2008). A new heat load index for feedlot cattle. *Journal Animal Science*(86), 226-234.
- Gaughan, J., Mader, T., Holt, S., Jorsey, M., & Rowman, K. (1999). Heat tolerance of Boran and Tuli crossbred steers. *The Journal of Agricultural Science*, 77:2398-2405.
- Guarnizo, J., & Rueda, R. (2011). Productividad del sector ganadero en Colombia durante los años 2000 a 2009.
- Guevara, L., Rodríguez Hernández, T., Pacheco, C., & Verde, O. (1981). Factores climáticos sobre índices fisiológicos y producción de leche en vacas lecheras. *VIII Reunión Lationamericana de Producción Animal*. 5, págs. 51-68. Santo Domingo, República Dominicana: Veterinaria Tropical.
- Guidry, A., & McDowell, R. (1966). Tympanic membrane temperature for indicating rapid changes in body temperature. *Journal of dairy science*(49), 74-77.
- Guyton, C., & Hall, J. (2001). *Tratado de fisiología médica* (10 ed.). México D.F., México: Mc Graw Hill - Interamericana.
- Hahn, G. (1999). Dynamic responses of cattle to thermal heat load. *Journal of animal science*(77), 10-20.
- Hahn, G., Gaughan, J., Mader, T., & Eigenberg, R. (2009). Thermal indices and their applications for livestock environments. St. Joseph, Mich: American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Hahn, G., Nienaber, J., Eigenberg, R., & Littledike, E. (1990). Measuring physiological responses of animals to environmental stressors using a microcomputer-based portable datalogger. *Journal of animal science*(68), 2658-2665.
- Hales, J. (1973). Effects of heat stress on blood flow in respiratory. *Pflügers archiv european journal of physiology*, 345(2), 123-130.
- Hansen, P. (2004). Physiological and cellular adaptations of zebu cattle to thermal stress. *Animal Reproduction Science*(89), 349-360.
- Henricks, D., Cooper, J., Spitzer, J., & Grime, L. (1984). Gender differences in plasma cortisol and growth in the bovine. *Journal Animal Science*(59), 376-383.
- Hillman, P., Gebremedhin, K., Willard, C., Kennedy, L., & Kennedy, A. (2009). Continuous measurements of vaginal temperature of female cattle using a data logger encased in a plastic anchor. *App.Eng.Agric*(25), 291-296.

- IDEAM. (2005). *Atlas climatológico de Colombia*. Bogotá: IDEAM.
- IGAC, I. G. (2008). *Atlas Básico de Colombia* (7º ed.).
- Jenkinson, D., McEwan, D., & Robertshaw, D. (1971). Studies on the nature of sweat gland fatigue in the goat. *Journal of physiology*(212), 455-465.
- Johnson, G. I. (1972). Cortisol Turnover in Heat-Stressed Cows. *Journal Animal Science*(35), 1005-1010.
- Johnson, H., & Vanjonack, W. (1976). Effects of Environmental and Other Stressors on Blood Hormone Patterns in Lactating Animals. *Journal of Dairy Science*, Pages 1603–1617.
- Johnson, K. (1974). Effects of moderate heat and milk yield on plasma thyroxine in cattle. *Journal Dairy Science*(58), 507-511.
- Kennedy, P. (1995). "Comparative adaptability of herbivores to tropical environments". Recent developments in the Nutrition of Herbivores. *Proceedings of the 1vth International Symposium on the Nutrition Herbivores*. (págs. 309-328). Paris: INRA Editions.
- Kibler, H. (May de 1964). Physiology and shelter engineering with special reference to domestic animals. LXVII. Thermal effects of various temperature-humidity combinations on Holstein cattle as measured by eight physiological responses. *Research Bulletin*(862).
- Kibler, H., & Brody, S. (1953). Influence of humidity on heat exchange and body temperature regulation in Jersey, Holstein, Brahman and Brown Swiss cattle. *Missouri Agric. Exp. Sta. Bull*(522).
- Lammoglia, M., Bellows, R., Short, R., Bellows, S., Bighorn, E., Stevenson, J., & Randel, R. (1997). Body temperature and endocrine interactions before and after calving in beef cows. *Journal of Animal Science*(75), 2526-2534.
- Lefcourt, A., Akers, R., Miller, R., & Weinland, B. (1986). Effects of intermittent electrical shock on responses related to milk ejection. *Journal Animal Science*(68), 391-401.
- Linn, J. (1997). Nutritional Management of Lactating Dairy Cows During Periods of Heat Stress. *University of Minnesota, St. Paul, Dairy Update*(125). Obtenido de <http://www.ansci.umn.edu/dairy/dairyupdates/du125.htm>
- López, G., Peña, S., Martínez, R., Genero, E., Abbiati, N., Scodellaro, C., & Melani, G. (2011). Variables Fisiológicas en Hembras Bovinas Criollas Patagónicas y Aberdeen Angus., (págs. 388-391).
- M. L. Rhoads, J. W. (2010). Effects of heat stress and nutrition on lactating Holstein cows: II. Aspects of hepatic growth hormone responsiveness. *Journal Dairy Science*(93), 170-179.
- Mader, T. (2003). Environmental stress in confined beef cattle. *Journal of Animal Science*.
- Magdub, A., & Johnson, H. (1982). Effect of environment heat and dietary fiber on thyroid physiology of the lactating cows. *Int J Biometeoro*(25), 2323-2329.

- Matamoros, R., Contreras, P., Wittwer, F., & Mayorga, M. (2003). Hipotiroidismo en rumiantes. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 35(11), 1-11.
- Matamoros, R., Gómez, C., & Aduar, M. (2002). Hormonas de utilidad diagnóstica en Medicina Veterinaria. *Archivos de medicina veterinaria*(34), 167-182.
- McGuire, M. A. (1991). Effects of acute thermal stress and amount of feed intake on concentrations of somatotropin, insulin-like growth factor (IGF)-I and IGF-II, and thyroid hormones in plasma of lactating Holstein cows. *Journal Animal Science*(69), 2050-2056.
- Morales, C. A., & Rodríguez, N. (2005). Hormonas tiroideas en la reproducción y en la producción láctea del ganado lechero: revisión de literatura. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 5,6,8.
- Olson, T., Olson, A., Lucena, C., & Chase, J. (2003). Evidence of a major gene influencing hair length and heat tolerance in *Bos taurus* cattle. *Journal of animal Science*(81), 80-90.
- Parker, D. (1984). Limitantes metabólicos para la producción de leche en los trópicos. *Prod. Anim. Trop.*(9), 263-269.
- Peña Ortega, F. (2012). Tonic Neuromodulation of the Inspiratory Rhythm Generator. *Front Physiol.*(3), 253.
- Peña, S., López, G., Martínez, R., & Género, E. (2011). COMPARACION DE VARIABLES FISIOLÓGICAS EN HEMBRAS BOVINAS CRIOLLAS. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal* (págs. 388-391). Facultad de Ciencias Agrarias-UNLZ.
- Pipes, G., Premchandra, B., & Turner, C. (1959). The biological half-life of LT4 and LT3 in the blood of the dairy cow. *Journal Dairy Science*(42), 1606.
- Radostits, O., Gay, C., Blood, D., & Hinchcliff, K. (2002). *Medicina veterinaria, tratado de las enfermedades del ganado bovino, ovino, porcino, caprino y equino*. (9 ed.). España: McGraw Hill.
- Radostits, O., Mayhew, I., & Houston, D. (2002). *Examen y diagnóstico clínico en veterinaria* (1 ed.). Madrid, España: Harcourt-Sanders.
- Rafsal, K., Nacreiner, C., & Anderson, C. (1984). Relationship of season, herd,. *Domestic Animal Endocrinology*, 225-234.
- Randall, D., Burggren, W., & French, K. (2004). *Eckert Fisiología Animal* (4ª ed.). McGraw Hill.
- Reid, E., & Dahl, G. (2005). Peripheral and core body temperature sensing using radio-frequency implants in steers challenged with lipopolysaccharide. *Journal of animal science*(83), 352.
- Rhoad, A. (1940). Absorption and reflection of solar radiation in relation to coat color in cattle. *Am. Soc. Anim. Prod.*, 291-293.

- Riis, P., & Madsen, A. (1983). Thyroxin concentration and secretion rates in relation to pregnancy, lactation and energy balance in goats. *Journal of endocrinology*(107), 421-427.
- Rijnberk, A. (1996). *Clinical Endocrinology of Dogs and Cats*. Kluwer Academic Publishers.
- Robertshaw, D. (2006). Mechanisms for the control of respiratory evaporative heat loss in panting animals. *J. Appl. Physiol.*(101), 664-668.
- Roche, J. R., Kolver, E. S., & Kay, J. K. (2005). Influence of precalving feed allowance on periparturient on metabolic and hormonal responses and milk production in grazing dairy cows. *Journal Dairy Science*(88), 677-689.
- Sano, H., Takahashi, K., Ambo, K., & Tsuda, T. (1983). Turnover and oxidation rates of blood glucose and heat production in sheep exposed to heat. *Journal of Dairy Science*(66), 856-861.
- Scharf, B., Carroll, D., Riley, C., Chase, J., Coleman, S., & Keisler, D. (2010). Evaluation of physiological and blood serum differences in heat-tolerant (Romosinuano) and heat-susceptible (Angus) *Bos taurus* cattle during controlled heat challenge. *Journal of Animal Science*(88), 2321-2336.
- Scharf, B., Max, L., Aiken, G., & Spiers, D. (August de 2008a). Regional differences in sweat rate response of steers to short-term heat stress. *Int. J. Biometeorol.*(52), 725-732.
- Schlenger, A., & Bean, K. (1971). Factors determining sweating competence of cattle skin. *Australian Journal of biological Science*(24), 1291-1300.
- Shiraki, K., Konda, N., & Sagawa, S. (1986). Esophageal and tympanic temperature responses to core blood temperature changes during hypothermia. *J. Appl. Physiol.*(61), 98-102.
- Silva, R., Débora Andréa, E., & Guilhermino, M. (2007). Evaluation of thermal stress indexes of dairy cows in tropical regions. *R. Bras. Zootec*, 36(4), 1192-1198.
- Sisson, Septimus, & Grossman, J. (1947). *Anatomía de los animales domésticos*. Barcelona: Salvat.
- Slebodzinki, A., & Brezezinska, E. (1991). *Local generation of triiodothyronine by the mammary gland as a source of measurable quantities of the hormone in milk*. *Journal of endocrinology*.
- Spicer, L., Alonso, J., & Chamberlain, C. (2001). Effects of thyroid hormones on bovine granulosa and thecal cell function in vitro: dependence on insulin and gonadotropins. *Journal Dairy Science*(84), 1069-1076.
- Thompson, V., Fadel, J., & Sainz, R. (December de 2011). Meta-analysis to predict sweating and respiration rates for *Bos indicus*, *Bos taurus*, and their crossbreds. *Journal of Animal Science*(89), 3973-3982.
- Torres Campos, A., Avila, M., Verneque, R. d., Campos, A., & Santos, D. (2001). Pronóstico disminución en la leche clima procação m Função para la Región de Goiania, GO. *Reunion anual de la sociedad Brasileña de Zootencia*, (pág. 11).

- Trenkle, A. (1978). Relation of Hormonal Variations to Nutritional. Studies and Metabolism of Ruminants. *Journal Dairy Science*(61), 281-293.
- Velásquez Penagos, J., Flórez, H., & Cardozo, J. (1996). Respuesta fisiológica al estrés por calor de vacas criollas Sanmartinero. *Memorias del tercer congreso iberoamericano de razas autóctonas y criollas.*, 14, 141-142.
- Yeates, N. (1967). Avances en zootecnia. En *Modern aspects of animal production*. (pág. 403). Zaragoza: Acribia.
- Yeck, R., & Kibler, H. (1956). Moisture vaporization by Jersey and Holstein cows during diurnal temperature cycles as measured with a hygrometric tent. *Mo. Agric. Exp. Sta. Res. Bull.*, 600.
- Yousef, M., & Johnson, H. (1967). Thyroid activity and heat production in cattle following sudden ambient temperature changes. *Journal of Animal Science*(142), 1.
- Zimmermann, J. (2004). Estadística para investigadores. Bogotá D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería.