

**UNIVERSIDAD DE PANAMÁ  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
ESCUELA DE CIENCIAS PECUARIAS**

**DETERMINACIÓN DE LA TOLERANCIA TÉRMICA DE HEMBRAS  
CRUZADAS *Bos taurus* X BRAHMAN EN UN ECOSISTEMA DEL  
BOSQUE HÚMEDO TRÓPICAL**

**JULIO J. BARRIOS C.**

**8-764-1129**

**DAVID, CHIRIQUÍ**

**REPÚBLICA DE PANAMÁ**

**AGOSTO 2008**

**DETERMINACIÓN DE LA TOLERANCIA TÉRMICA DE HEMBRAS  
CRUZADAS *Bos taurus* X BRAHMAN EN UN ECOSISTEMA DEL  
BOSQUE HÚMEDO TRÓPICAL**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN SOMETIDO PARA OPTAR AL  
TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
ESCUELA DE CIENCIAS PECUARIAS**

**PERMISO PARA SU PUBLICACIÓN, REPRODUCCIÓN TOTAL O  
PARCIAL DEBE SER OBTENIDO EN LA FACULTAD DE  
CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**APROBADO:**

**PROF. PEDRO GUERRA**

\_\_\_\_\_  
**DIRECTOR**

**PROF. MANUEL DE GRACIA**

\_\_\_\_\_  
**ASESOR**

**PROF. NELSON SANTAMARÍA**

\_\_\_\_\_  
**ASESOR**

**DAVID, CHIRIQUÍ**

**REPÚBLICA DE PANAMÁ**

**AGOSTO 2008**

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar le agradezco a dios por darme la vida, perseverancia, sabiduría y fuerzas para culminar este trabajo de grado.

A mi madre (**MARIBEL C DE BARRIOS**) por darme el apoyo en todos estos años de mi vida, a mi padre (**ANANÍAS BARRIOS**) por darme fuerzas para seguir adelante en los momentos difíciles. Al ingeniero **PEDRO GUERRA M.Sc.** por su atención y dedicado empeño como director de este trabajo así como también, a los asesores: **Dr. NELSÓN SANTAMARÍA** y al Profesor **MANUEL DE GRACIA Ph.D** por sus atinados consejos. También quiero agradecer a los Ingenieros **RODERICK GONZÁLEZ, RAÚL DE LEÓN**, y a toda la familia del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (**IDIAP-GUALACA**) que fueron de gran apoyo para realizar este trabajo. Así como también quiero darle mis agradecimiento a mi señora (**AITZA**) y a su abuela (**Sra. ELIDIA**) que han sido de gran apoyo para mí en la elaboración de este trabajo.

**GRACIAS**

**DEDICATORIA**

A dios por servirme de guía en los años de estudio y en los momentos más difíciles y que aún quedan por venir.

A mis padres que me dieron su apoyo incondicional para finalizar mi carrera, a mis hermanos que estuvieron atentos de mí, y para toda mi familia.

A aquellas personas que confiaron en mí y para las que no también ya que todos me fueron de motivación para completar una de mis más deseadas metas.

***JULIO BARRIOS***

## DETERMINACIÓN DE LA TOLERANCIA TÉRMICA DE HEMBRAS CRUZADAS *Bos taurus* X BRAHMAN EN UN ECOSISTEMA DEL BOSQUE HÚMEDO TRÓPICAL

BARRIOS C, JULIO J. 2008. Determinación de la tolerancia térmica de hembras cruzadas *Bos taurus* x Brahman en un ecosistema del bosque húmedo tropical. Tesis Ing. Agrónomo Zootecnista. Panamá. FCA. 76 p.

### RESUMEN

El trópico es caracterizado por cambios climáticos y estos a su vez actúan sobre la fisiología del animal afectando el comportamiento del mismo. Este ensayo se realizó en el IDIAP-Gualaca. Se utilizaron novillas (GR) Brahman (BRH) y cruzadas con Charoláis (CHB), Simmental (SMB), Senepol (SEB) y Wagyu (WGB). Se realizaron ocho muestreos (M) de humedad relativa (HR), temperatura rectal (TR) y ambiental (TA), frecuencia respiratoria (FR) y cardíaca (FC), grosor de la piel (GP), largo de pelo (LP) y tasa de sudoración (TS). Se calcularon las pérdidas calóricas por aislación ( $Q_K$ ), convección ( $Q_C$ ) y radiación ( $Q_R$ ). Se usó el índice de temperatura-humedad como covariable (ITH). Los datos se analizaron por un arreglo factorial (GR y M). El GR con mayor TR lo tenemos en el SMB con 39.7°C, superando por 0.2, 0.3, 0.4, 0.6°C al BRH, CHB, SEB, y al WGB. El GR WGB fue el que tuvo la mayor FC en 91.4 lat./min, seguido por el SMB con 87.5 lat./min. El WGB superó al SEB por 12.8, al BRH por 12.5 y al WBG con 66.5 insp./min. El WGB superó por 8.36, 9.21, 9.36 y 10.41 insp./min. al SMB, CHB, BRH y al SEB. La mayor  $Q_K$  se encontró en el BRH y el WGB con 0.08 Kcal/m<sup>2</sup>.s superando al CHB y al SMB por 0.01 y al SEB por 0.06 Kcal/m<sup>2</sup>.s. La mayor  $Q_C$  de calor fue para el WGB y SEB con 0.010 Kcal/s superando al BRH, CHB y al SMB por 0.001 por Kcal/s. La mayor  $Q_R$  de calor fue para el SEB con 62.09 Kcal/m<sup>2</sup>.s superando en 6.29, 10.32, 22.28, 8.34 al CHB, SMB, BRH y al WGB. El mayor largo de pelo fue el SMB con 15.41 milímetros superando por 2.55, 5.29, 5.85, 6.24 milímetros al WGB, CHB, BRH, y al SEB. La mayor TS la encontramos en el SEB con 275.3 grs./m<sup>2</sup>.h superando por 0.77, 26.88, 86.65 y 351.06 grs./m<sup>2</sup>.h al SMB, BRH, CHB y al WGB. El SEB mostró la mejor tolerancia térmica. Sin embargo el SMB y el WGB fueron los más estresados por el calor.

**Palabras Claves:** Bioclimatología Temperatura, humedad, termorregulación, estrés calórico, sudoración, aislación, convección, radiación y adaptación.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTO	iii
DEDICATORIA	iv
RESUMEN	v
ÍNDICE DE CONTENIDO	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE CUADROS	x
ÍNDICE DE GRÁFICAS	xii
I.INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos	3
1.2. Hipótesis	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1. GENERALIDADES DE LA TOLERANCIA TÉRMICA	5
2.1.1. Factores del medio ambiente que influyen en la adaptación del bovino.	6
2.1.1.1. Radiación Solar	6

2.1.1.2. Temperatura Ambiental	6
2.1.1.3. Humedad del ambiente	7
2.1.1.4. Velocidad del aire	7
2.1.1.5. Pluviosidad	7
2.1.1.6. Luz	7
2.1.2. Factores del animal que influyen en su adaptación	8
2.1.2.1. Pigmentación del pelo	8
2.1.2.2. Largo y densidad del pelo	9
2.1.2.3. Pigmentación de la piel	9
2.1.2.4. Grosor de la piel	11
2.1.2.5. Depósitos subcutáneos	11
2.1.2.6. Extensión de la Piel	12
2.1.2.7. Sudoración	12
2.1.2.8. Glándulas Sebáceas	12
2.1.3. Requerimiento Ambiental del Bovino	12
2.1.3.1. Zona Termoneutral	12
2.1.3.2. Zona de Desventaja	13
2.1.4. Respuestas del ganado bovino a condiciones de estrés climático.	14
2.1.4.1. Cambios en las Constantes Fisiológicas	15
2.1.4.2. Cambios en la Alimentación	16
2.1.4.3. Cambios en las Concentraciones Hormonales	16

2.2. TERMORREGULACIÓN DEL BOVINO	17
2.2.1. Producción de Calor	18
2.2.2. Pérdida de calor o formas de intercambio de calor	19
2.2.2.1. Conducción	19
2.2.3.2. Convección	20
2.2.3.3. Radiación	20
2.2.3.4. Evaporación	21
2.2.3.5. Aislación	22
2.2.3. Equilibrio Térmico	22
2.3. EFECTOS DEL CALOR EN LA PRODUCTIVIDAD ANIMAL	24
2.3.1. Producción de Leche	24
2.3.2. Crecimiento Corporal	24
2.3.3. Ciclo Estral y Ovulación	25
2.3.4. Fecundación y Concepción	25
2.3.5. Gestación, desarrollo y supervivencia del Feto	25
III. MATERIALES Y MÉTODOS	27
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
V. CONCLUSIÓN	59
VI. RECOMENDACIONES	60
VII. BIBLIOGRAFÍA	61
VIII. ANEXOS	71

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	Pág.
FIGURA 1 EFECTO DEL PELAJE EN LA ELIMINACIÓN DE CALOR	9
FIGURA 2 BALANCE TÉRMICO EN EL GANADO BOVINO DE CARNE	23
FIGURA 3 MEDICIÓN DE LA TASA DE SUDORACIÓN CON EL MÉTODO DE SCHLEGER Y TURNER	72
FIGURA 4 DETERMINACIÓN DE LA TS EN EL SEB	72
FIGURA 5 DISTINTOS TIPOS DE COLORACIONES EN LA PIEL	73
FIGURA 6 DETERMINACIÓN DE LA FRECUENCIA CARDÍACA	73
FIGURA 7 PIE DE REY UTILIZADO PARA MEDIR EL GROSOR DE PIEL	74

## ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		Pág.
CUADRO I	GROSOR MEDIO DE LA PIEL EN MILÍMETRO EN DISTINTAS RAZAS DE BOVINO Y BÚFALO	10
CUADRO II	RANGO DE TEMPERATURA ACEPTABLES ZONAS DE NEUTRALIDAD TÉRMICO Y HUMEDAD RELATIVA	12
CUADRO III	MECANISMOS QUE SE DESENCADENAN COMO RESPUESTAS AL ESTRÉS	14
CUADRO IV	CONSTANTES FISIOLÓGICAS DE LOS BOVINOS DE CARNE	15
CUADRO V	ÍNDICE DE TEMPERATURA Y HUMEDAD POR FECHA	36
CUADRO VI	GROSOR DE PIEL (GP), Y ÁREA CORPORAL (A) POR GRUPO RACIAL	38
CUADRO VII	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA FRECUENCIA CARDÍACA (FC), FRECUENCIA RESPIRATORIA (FR),	41

TEMPERATURA RECTAL ( $T_R$ ), AISLACIÓN ( $Q_K$ ),  
CONVECCIÓN ( $Q_C$ ) Y RADIACIÓN ( $Q_R$ )

CUADRO VIII	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA VARIABLE DEL LP	46
CUADRO IX	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA VARIABLE DE LA TASA DE SUDORACIÓN ( $T_S$ ).	52

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICA		Pág.
GRÁFICA I	INFORMACIÓN CLIMÁTICA DEL ECOSISTEMA DE GUALACA	28
GRÁFICA II	MEDIAS AJUSTADAS PARA LA TR	40
GRÁFICA III	MEDIAS AJUSTADAS PARA LA FC	43
GRÁFICA IV	MEDIAS AJUSTADAS PARA LA FR	45
GRÁFICA V	MEDIAS AJUSTADAS PARA EL LARGO DE PELO	47
GRÁFICA VI	MEDIAS AJUSTADAS PARA LA AISLACIÓN DE CALOR	48
GRÁFICA VII	MEDIAS AJUSTADAS PARA LA CONVECCIÓN DE CALOR	49
GRÁFICA VIII	MEDIAS AJUSTADAS PARA LA RADIACIÓN DE CALOR	51

GRÁFICA IX	MEDIAS AJUSTADAS PARA LA TASA DE SUDORACIÓN	53
GRÁFICA X	RELACIÓN DE LA CONVECCIÓN DE CALOR CON EL ITH	56
GRÁFICA XII	RELACIÓN DE RADIACIÓN DE CALOR CON EL ITH	57
GRÁFICA XIII	RELACIÓN DE LA TASA DE SUDORACIÓN CON EL ITH	57
GRÁFICA XIV	RELACIÓN DE LA TEMPERATURA RECTAL CON EL (LP)	58
GRÁFICA XV	RELACIÓN DE LA TASA DE SUDORACIÓN CON EL (LP)	59
GRÁFICA XVI	RELACIÓN DE LA CONVECCIÓN DE CALOR CON EL (LP)	60
GRÁFICA XVII	RELACIÓN DE LA RADIACIÓN DE CALOR CON EL (LP)	60

## I. INTRODUCCIÓN

La influencia del clima en la producción bovina ha sido reconocida y demostrada desde hace muchas décadas (Johnson, 1987). Los bovinos de carne sufren una serie de ajustes ante cambios ambientales; tal como se dan en el trópico.

La utilización de sistemas de cruzamiento entre razas *Bos taurus* con la raza local *Bos indicus* ha permitido elevar la tolerancia al calor y mejorar hasta cierto grado la eficiencia productiva y reproductiva, especialmente cuando el nivel de sangre *Bos taurus* está por debajo del 62.5% (Olson, 1999). Por otra parte, se asegura que el cebú presenta mayores cantidades de glóbulos rojos, mayor volumen de células sanguíneas y valores más altos de hemoglobina. Esto se traduce en la capacidad de mantener menos movimientos respiratorios y más oxigenación en sus tejidos en períodos de altas temperaturas (Turner, 1984).

El medio ambiente tiene un efecto marcado sobre la fisiología, comportamiento y salud del animal. Estos efectos son de gran importancia para el buen desempeño productivo y reproductivo del animal (Bavera y Beguet, 2003). En Panamá se ha dado un auge en la introducción de razas *Bos taurus*, buscando mejorar algunas características productivas y de calidad, sin embargo estas razas son explotadas bajo condiciones distintas a las de su lugar de origen. Por lo tanto, es

necesario conocer su grado de adaptación y producción bajo condiciones tropicales. Por dichas razones, el presente estudio esta enfocado a determinar la tolerancia térmica del ganado Brahman y sus cruces con *Bos taurus* bajo condiciones de pastoreo en el trópico húmedo.

Realizamos uno de los primeros estudios en Panamá sobre la tasa de sudoración de los Bovinos. Se alcanzó a determinar los efectos del calor sobre las constantes fisiológicas e incluso se determinaron partes de las ganancias y pérdidas de calor por parte de los bovinos de carne. Sin embargo, no logramos realizar el balance calórico de los animales debido a la falta de literaturas que hay en Panamá sobre este tema.

## 1.1. OBJETIVOS

### ✓ General:

Determinar la tolerancia térmica (estrés calórico) de hembras cruzadas (Bos taurus x Bos indicus) bovinas explotadas en el Sistema Vaca-Ternero bajo condiciones de pastoreo en el trópico húmedo.

### ✓ Objetivos específicos

1. Determinar cambios en las constantes fisiológicas relacionados con estrés calórico (temperatura rectal, frecuencia respiratoria, ritmo cardiaco) por categoría animal y grupo racial.
2. Determinar correlaciones entre las constantes fisiológicas y factores como largo y color del pelaje, área corporal y peso metabólico por categoría animal y grupo racial.
3. Estimar indicadores termodinámicos y sus correlaciones con las constantes fisiológicas por categoría animal y grupo racial.
4. Determinar la tasa de sudoración por animal y grupo racial.

## HIPÓTESIS

1. Ho: No existen cambios en las constantes fisiológicas de hembras Brahman con *Bos taurus* relacionados con estrés calórico en el Instituto de investigación agropecuaria.

Ha: Existen cambios en las constantes fisiológicas de hembras Brahman con *Bos taurus* relacionados con estrés calórico en el Instituto de investigación agropecuaria

2. Ho: No existen correlaciones entre las constantes fisiológicas, el largo y color del pelaje; área corporal y peso metabólico en hembras Brahman y cruzadas con *Bos taurus*.

Ha: Existen correlaciones entre las constantes fisiológicas, el largo y color del pelaje; área corporal y peso metabólico en hembras Brahman y cruzadas con *Bos taurus*.

3. Ho: Los indicadores termodinámicos y sus correlaciones con las constantes fisiológicas son iguales a cero bajo condiciones de un bosque húmedo-tropical en hembras Brahman y cruzadas con *Bos taurus*.

Ha: Los indicadores termodinámicos y sus correlaciones con las constantes fisiológicas no son iguales a cero bajo condiciones de un bosque húmedo-tropical en hembras Brahman y cruzadas con *Bos taurus*.

4. Ho: No existen cambios en la tasa de sudoración por animal y grupo racial en hembras Brahman y cruzadas con *Bos taurus*.

Ha: Existen cambios en la tasa de sudoración por animal y grupo racial en hembras Brahman y cruzadas con *Bos taurus*.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Generalidades

La tolerancia al calor se considera como la capacidad del animal para utilizar eficientemente la energía, manteniendo su productividad en niveles elevados sin la producción excesiva de calor (Martinolli, 1925). Según, (Bavera y Beguet, 2003) los animales que tienen la capacidad de controlar la temperatura de su cuerpo dentro de un rango estrecho en un ambiente cuya temperatura puede cambiar en un margen amplio, se les clasifica como homeotermos. Aquí toma importancia la homeostasis ya que esta comprende: balance calórico y termorregulación; balance químico del agua, compuestos carbonados y electrolitos; y balance circulatorio de las actividades cardiovasculares (Hafez, 1973).

Los animales viven en un estado de cercana interacción entre la complejidad de los procesos físicos y químicos de su propio cuerpo y el entorno que los rodea (Richards, 1973); (Yousef, 1985). Es por esto que la tolerancia al clima implica características morfológicas y fisiológicas adecuadas para superar de modo eficiente los extremos climáticos que se presenten (Hafez, 1973).

### 2.1.1 Factores del medio ambiente que influyen en la adaptación

Hahn y col., (2003), describieron los factores físico-ambientales que afectan al ganado y corresponden a una compleja interacción de estos y los cuales se explican a continuación:

#### 2.1.1.1. Radiación Solar

La radiación solar (directa e indirecta) es considerada como uno de los factores más importantes que afectan el balance térmico en el ganado (NRC, 1981); (Finch, 1986); (Silanikove, 2000). Esta tiene un impacto directo en la temperatura rectal y la tasa de respiración (Brosh y col., 1998); (Sevi y col., 2001); (Collier y col., 2006). Por su posición relativa al sol, la zona ecuatorial es la que recibe la mayor radiación a lo largo del año. Esta alcanza su máximo cuando el sol alcanza su altura máxima (González, 2001).

#### 2.1.1.2. Temperatura Ambiental

Khalifa (2003), definió la temperatura ambiente efectiva de confort para el ganado como el estado constante de temperatura corporal, la cual puede ser mantenida sin necesidad de ajustes fisiológicos o de comportamiento. Por esta razón el promedio de la temperatura ambiente es generalmente considerado como la principal medida térmica utilizada para estimar confort animal (NRC, (1981); (Da Silva, 2006). Este es el factor más importante para la adaptación, sus efectos sobre los bovinos van a depender de la raza, estado fisiológico y tiene una significativa repercusión en el crecimiento, reproducción y lactación (Bonsma, 1973).

Esta es alterada por la acción del viento, humedad, precipitación y radiación entre otros factores (NRC, 1981).

#### 2.1.1.3. Humedad Relativa

La humedad relativa (HR) es considerada un factor de potencial estrés en el ganado, ya que acentúa las condiciones adversas de las altas temperaturas (Da Silva, 2006). La humedad del aire reduce notablemente la tasa de pérdida de calor del animal (Berman, 1992). El enfriamiento por evaporación a través de la piel y del tracto respiratorio depende de ella (Blackshaw y Blackshaw, 1994); (Renaudeau, 2005); (Da Silva, 2006).

#### 2.1.1.4. Velocidad del aire

La velocidad del aire sobre la piel del animal influye en la tasa de pérdida de calor a través de la superficie corporal (González, 2001). La velocidad del aire favorece también las pérdidas de calor del animal cuando la piel contiene humedad por el mecanismo de la evaporación (Hafez, 1973).

#### 2.1.1.5. Pluviosidad

Ejerce efectos directos sobre el animal al favorecer la disipación de calor mediante la evaporación (Martinolli, 1925). En un ambiente cálido, la humedad retenida en la cobertura pilosa del animal disminuirá el estrés térmico al evaporarse.

#### 2.1.1.6. Luz

A medida que los días se vuelven más cortos y las noches más largas, el ganado comienza a desarrollar el pelo más largo de invierno. Por el contrario, cuando los días se alargan, los animales mudan su pelaje y el mismo se vuelve más corto y suave (Hafez, 1973).

## 2.1.2. Factores del animal que influyen en su adaptación

### 2.1.2.1. Pigmentación de Pelo

Estas están controladas genéticamente, las cuales son resultados de modificaciones cuantitativas de la melanina las cuales son de gran importancia en regiones con grandes altitudes debido a la radiación (Hafez, 1973). Pelos de color claro reflejan una alta proporción de calor y ondas infrarrojas que el pelo rojo y negro (Hafez, 1973). Entre las tonalidades claras y oscuras de un color intermedio como el rojo, hay una escasa diferencia de absorción de aproximadamente un 26 por ciento (Riemerschmid y Elder, 1945).

### 2.1.2.2. Largo y densidad de Pelo

Hafez (1973) citado por (Yousef, 1985) dividió el pelaje para los bovinos en:

#### ✓ Corto y liso

Este tipo de pelaje está formado por folículos capilares primarios que poseen glándulas sudoríparas y sebáceas que excretan un mayor volumen de agua arrastrando mayor cantidad de energía acumulada en el animal. Poseedores de este pelaje lo encontramos en los *Bos indicus*.

#### ✓ Largo y grueso

Este es un pelaje lanoso formado por dos folículos capilares diferentes, primarios y secundarios, ondulados y semiondulados respectivamente, con glándulas sudoríparas de menor tamaño. Es el pelaje propio del ganado *Bos taurus*. El efecto del viento es mayor en el pelaje corto que en el largo, al renovar la capa de aire saturado por otro más seco.

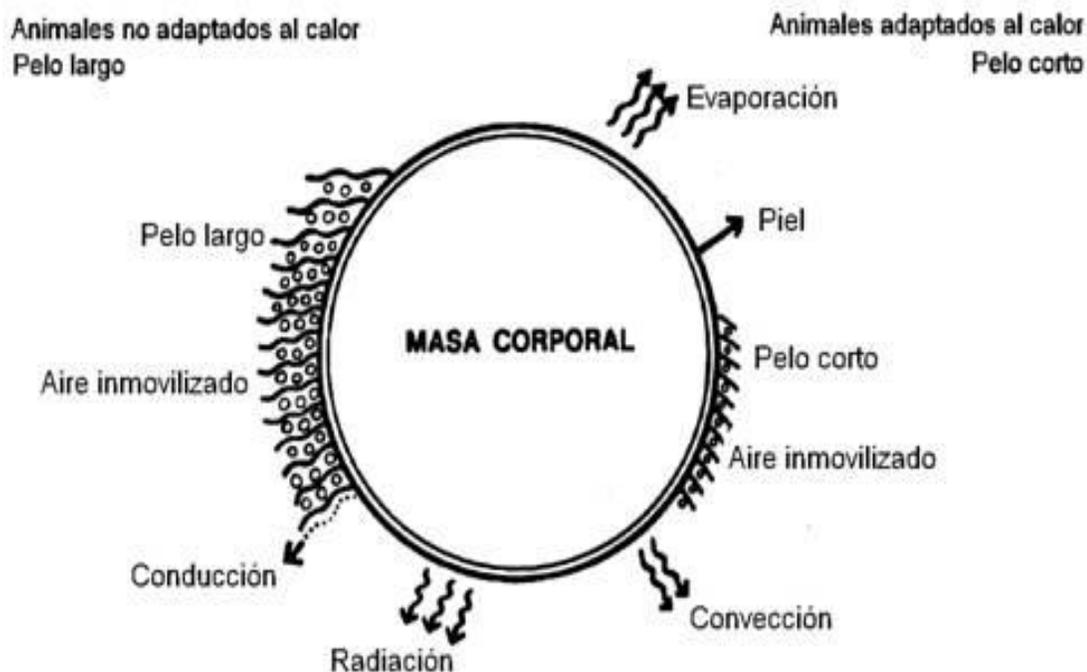


Figura 1 Efecto del pelaje en la eliminación del calor (Hafez, 1973).

La figura explica como la capa densa influye desfavorablemente en la tolerancia al calor por los bovinos en ambientes cálidos, sobre todo cuando estos son húmedos al mismo tiempo.

#### 2.1.2.3. Pigmentación de la Piel

Existen cinco pigmentos que juegan un papel en el origen del color de la piel: la melanina, el melanoide que es producto de degradación de la melanina, la oxihemoglobina, la hemoglobina reducida y los carotenos (Hafez, 1973).

#### 2.1.2.4. Grosor de la Piel

El grosor de la piel guarda relación con la tasa de intercambio de calor. Este grosor, que varía según la región del cuerpo, está influenciado por la edad, la

nutrición y la raza (Hafez, 1973). Entre las razas existen distintos grosores como podemos observar en el cuadro I.

**CUADRO I GROSOR MEDIO DE LA PIEL EN MILÍMETROS EN DISTINTAS RAZAS DE BOVINO Y BÚFALO.**

Raza	Ubicación	Milímetros
Afrikánder	África del Sur	8,73
South Devon	Reino Unido	8,15
Hereford	Estados Unidos	6,70
Búfalo	Egipto	6,50
Cruza con Cebú	Estados Unidos	6,43
Illawarra Shorthorn	Australia	6,23
Nguni	Estados Unidos	6,00
Boran	Uganda	5,98
Cebú	India y EE.UU.	5,77
Angus	Estados Unidos	5,57
Shorthorn	Estados Unidos	5,69
Jersey	Reino Unido	5,46
Angoni	África del Sur	5,46

Fuente: (Mcdowell, 1974)

En las mediciones de este cuadro, se observa que la piel gruesa se puede asociar con dos casos: climas fríos y climas cálidos y secos (Afrikánder). McDowell (1974), indica que en los climas fríos el grosor de la piel varía con la estación, aumentado durante el invierno para reducir la pérdida de calor, mientras que en los climas cálidos y secos una piel gruesa permite reducir los efectos de la radiación térmica y disminuye la absorción de calor. En cambio, en

climas húmedos y cálidos es conveniente una piel fina por razones opuestas como la de los cebuínos.

#### 2.1.2.5. Depósitos Subcutáneos

La cantidad de estos depósitos están estrechamente ligados a la temperatura del medio. Los bovinos los conservan en el trópico para el período de verano y poder sobrevivir en la época que se necesita un aislamiento subcutáneo mínimo (Hafez, 1973).

#### 2.1.2.6. Extensión de la Piel

La abundancia de piel suelta en el Cebú comparado con el bovino europeo, contribuye a su habilidad para resistir al clima caliente al incrementar el área de superficie corporal expuesto al aire (Bavera y Beguet, 2003). Son factores concurrentes al propósito de aumentar la superficie, la presencia de giba, los pliegues cutáneos de papada, ombligo o prepucio, los miembros largos y las orejas de gran desarrollo (Hafez, 1973).

Pero, Yeates (1965) determina que al parecer esto depende de la capacidad que tiene para sudar esta superficie y de su irrigación abundante. La Oklahoma State Univ. (2000) cita que la raza Brahman debe su gran tolerancia al calor al hecho de que tiene, además, una menor producción de calor interno bajo condiciones de altas temperaturas que las razas bovinas de origen europeo. De esta forma su adaptación al calor no se debería solamente a su mayor capacidad para disipar calor.

#### 2.1.2.7. Sudoración

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* esta alcanza el máximo poco después de que se da inicio al incremento en la temperatura corporal (Kennedy, 1995). El principal medio para la pérdida de calor en el ganado vacuno sometido a temperaturas elevadas es la evaporación cutánea. Este calor disipado queda en el ambiente como calor latente de vaporización (Miranda, 1997).

#### 2.1.2.8. Glándulas Sebáceas

En zonas tropicales hay mayor producción de las glándulas sebáceas. Esta mayor secreción sebácea evita la desecación excesiva de las capas superficiales de la piel y representa ciertas ventajas que le permite al bovino específicamente al *Bos indicus* tolerar mejor el calor (Hafez, 1973).

### 2.1.3. Requerimiento Ambiental del Bovino

#### 2.1.3.1. Zona Termoneutral

Esta zona es donde la temperatura del cuerpo se mantiene constante, con un esfuerzo mínimo por parte de los mecanismos termorreguladores donde no existe sensación de calor ni de frío y en donde el animal realiza sus funciones

tanto fisiológicas como productivas, lográndose en esta zona la mayor producción por parte de los animales (Curtis, 1981).

#### 2.1.3.2. Zona de Desventaja Ambiental

Esta zona es aquella donde se traslada un animal a un ambiente adverso de bienestar térmico activando su mecanismo de defensa siguiendo una secuencia (Echevarría y Miazzo, 2002).

### **CUADRO II RANGO DE TEMPERATURA ACEPTABLES Y ZONA DE NEUTRALIDAD TÉRMICO Y HUMEDAD RELATIVA.**

Tipo de Animal	Temperatura Aceptable	Zona Termoneutral	Humedad Relativa
Ganado lechero	4-24 °C	10-20 °C	40-60%
Terneros	10-26 °C	13-25 °C	40-60%
Ganado de Carne	4-26°C	10-20 °C	40-60%

Fuente: (Curtis, 1981) citado por, (González, 2001).

Rangos fuera de los normales de temperatura ambiente y humedad causan una serie de procesos en el animal que se presentan en el cuadro III.

Hafez (1973) limitó la zona termoneutral en una parte baja y otra alta. En su parte baja por la temperatura crítica inferior, definida como la temperatura ambiental bajo la cual la tasa de producción de calor metabólico de un animal homeotermo en reposo se incrementa por temblor muscular o procesos metabólicos para mantener el balance térmico. Y en su parte alta por el límite

superior de la zona termoneutral, definida como la temperatura ambiental por encima de la cual los procesos de pérdida de calor evaporativos de un animal son restablecidos.

**CUADRO III MECANISMOS QUE SE DESENCADENAN COMO RESPUESTAS AL ESTRÉS**

FRÍO	CALOR
Vasoconstricción	Vasodilatación
Piloerección	Sudoración
Disminución del consumo de agua	Jadeo
Aumento del consumo de alimentos	Aumento del consumo de agua
	Baja el consumo de alimento
Combustión de grasas de reserva	Aumento de la sudoración
Adopción y formas de encogimiento	Aumento del jadeo
Encogimiento y escalofríos.	Aumento de la temperatura

Fuente: Bavera y Beguet, 2003.

2.1.4. Respuestas del ganado bovino a condiciones de estrés climático.

Durante los períodos de condiciones climáticas adversas se han reportado variaciones en el consumo de alimento, reducciones en las ganancias de peso y en casos más extremos la muerte del ganado (Hahn y Mader, (1997); (Mader y col., 1997). Esto debido a numerosos cambios fisiológicos que ocurren en el sistema digestivo, química (ácido-base) y concentración de hormonas en la sangre del ganado bovino (West, 2003).

#### 2.1.4.1. Cambios en las Constantes Fisiológicas

Nienaber y col., (2003); Brown-Brandl y col., (2005) indican que tanto la tasa de respiración, frecuencia cardíaca y la temperatura corporal son las principales variables afectadas en relación con los procesos termorregulatorios, indicando además que la temperatura ambiental y el Índice Temperatura-Humedad (ITH) tienen un marcado efecto sobre estas.

#### **Cuadro IV CONSTANTES FISIOLÓGICAS DE LOS BOVINOS DE CARNE.**

Constante	Rango	Promedio
Frecuencia Cardíaca	60-70 lat/min	65
Temperatura Normal	37.1-39.1	38.1
Frecuencia Respiratoria	26-35 insp./min.	31

Fuente: González (2001)

- Temperatura Rectal

La Temperatura corporal varia según el estado fisiológico del animal y la tolerancia al calor está determinada por la raza. Su aumento se puede deber a dos factores según (González, 2001): por la energía en forma de calor adquirido del ambiente y por la aceleración de los procesos fisiológicos para la disipación de calor.

- Frecuencia Cardiaca

La exposición a un calor muy fuerte durante un período corto de tiempo aumenta las palpitations cardíaca (Bianca, 1963). Períodos largos de calor disminuyen el ritmo cardíaco. Durante períodos de estrés calórico hay un incremento en la sangre periférica aumentando la frecuencia cardíaca para la caída de la presión sanguínea arterial esto debido a la ruptura de la homeostasis cardiovascular (González, 2001).

- Frecuencia Respiratoria

Los efectos de la tensión calórica se dan en dos fases (González, 2001): Polipnea: la frecuencia de inspiraciones y expiraciones aumenta; y la Hípernea, que es una respiración más lenta y profunda.

#### 2.1.4.2. Cambios en la alimentación

El efecto del ambiente en el consumo voluntario de alimento ha sido bien documentado (Ames, 1980); (Beede y Collier, 1986); (Mader, 2003), destacando una relación inversa entre temperatura ambiental y consumo voluntario de alimento. El ganado expuesto a cortos períodos de calor disminuye el consumo de materia seca, especialmente cuando se utilizan dietas de alta densidad energética, (Nienaber y col., 2003).

#### 2.1.4.3. Cambios en las concentraciones Hormonales

- Tiroxina y Triyodotironina: La glándula tiroides produce las hormonas tiroxina y triyodotironina, las que influyen en diferentes procesos celulares, en

particular la termogénesis que representa cerca del 50% de la tasa metabólica basal de animales en condiciones normales (Habeb y col., 1992). Las concentraciones de estas hormonas en el plasma sanguíneo declinaron en 25% en animales bajo condiciones de estrés por calor (Magdub y col 1982); (Beede y Collier, 1986). Estas modificaciones en la actividad de la glándula tiroides son consistentes con la menor tasa metabólica, menor consumo de alimento, menor crecimiento y menor producción de leche en condiciones de estrés por calor (Beede y Collier 1986).

- Cortisol: (Christison y Johnson, 1972), describen esta hormona, como una de las principales respuestas del animal a condiciones de estrés, respuesta que es bastante más rápida que la de las hormonas secretadas por la glándula tiroides y que el animal ajusta la secreción de cortisol luego de largos periodos de calor. Abilay y col., (1975), reportaron la existencia de una estrecha relación entre la concentración de cortisol en el plasma sanguíneo y la temperatura rectal y ambiental. Así entonces, la secreción de cortisol estimula ajustes fisiológicos que permiten al animal tolerar el estrés causado por un calor excesivo, (Christison y Johnson, 1972).

## 2.2. Termorregulación

A la producción de calor y las pérdidas del mismo es un proceso conocido como termorregulación (Mcdowell, 1974). La temperatura interior debe mantenerse entre límites muy estrictos para el normal desenvolvimiento de sus actividades fisiológicas (Bavera y Beguet, 2003). Para conservar esos niveles térmicos, el

vacuno está obligado a sostener un continuo balance entre el calor que se genera en sus partes íntimas y el que puede disipar en el entorno, (Mcdowell, 1974). Bianca (1968), describió el sistema termorregulador en tres elementos básicos: sensores, que en su mayoría se encuentran en la piel, unidad termostática de control y termorreguladores efectivos. El centro termorregulador el cual recibe la información tanto de los receptores cutáneos como aquellos termoreceptores que se encuentran en el interior del cuerpo, se encuentra en el hipotálamo (González, 2001).

#### 2.2.1. Producción de calor

La ganancia de calor de un bovino según, (Bavera y Beguet, 2003); (González, 2001) es de dos formas:

- a) Endógena, dada por las distintas funciones orgánicas.
- b) Exógena, calorías provenientes de radiaciones solares y calor ambiental.

La producción de calor está en función del consumo y de la digestibilidad, estimando que alrededor del 40% de la energía consumida se transforma en calor metabólico (Blaxter, 1989). La contribución del metabolismo de compuestos nitrogenados es relativamente pequeña (Blaxter y Boyne, 1978). El metabolismo basal representa una fuente de calor incesante, formada por los procesos fisiológicos esenciales: respiración, actividad cardiaca, respiración y mantenimiento del tono muscular. Bavera y Beguet (2003), determinan que el calor producido debe agregarse al calor que el animal recibe del ambiente que circunda su cuerpo. Todas estas fuentes dependen de un factor común que es la energía que aporta la ingestión de alimento.

### 2.2.2 Pérdida de Calor

La pérdida de calor hacia el ambiente externo se realiza mediante dos rutas o formas principales: En primer lugar por la transferencia no evaporativa de calor hacia el aire y superficies adyacentes al animal mediante convección, conducción, e intercambio termal por radiación. En segundo lugar mediante la transferencia de calor evaporativo, asociado con la pérdida de vapor de agua desde la superficie corporal y el sistema respiratorio (Echevarría y Miazó, 2002).

González (2001), describió las pérdidas de calor de dos maneras:

- Pasiva, que incluye las pérdidas por convección y conducción
- Activa, son las pérdidas por evaporación cutánea y por las vías respiratorias, y las pérdidas por radiación.

La ganancia o pérdida de calor por estos procesos se realiza según que la temperatura ambiente sea más alta o más baja que la del animal (Bavera y Beguet, 2003).

#### 2.2.2.1. Conducción

Se refiere a la transferencia de calor de una superficie a otra mientras que ambas están en contacto, sin haber transferencia de materia (Hafez, 1973). La velocidad de la conducción del calor difiere enormemente; es decir la velocidad depende de la conductividad térmica de la materia y de la temperatura ambiental (Arias, 2006); (Mader y col., 1997).

Se ha considerado que las pérdidas por conducción son difíciles de estimar debido a que se asume que las pérdidas son únicamente en forma perpendicular

hacia el suelo y que el flujo de calor es constante, lo cual no ocurre en este proceso (Curtis, 1981).

#### 2.2.2.2 Convección

Según, (Hafez, 1973) la convección es el transporte de calor por corrientes de moléculas que van de objetos más calientes a otros menos fríos. Hafez, (1973); (Bavera y col., 2003) hacen una distinción entre convección natural y convección forzada. En la convección natural se elevan pequeñas corrientes de aire desde una superficie caliente. En la convección forzada una corriente de aire (ya sea por viento o producida por el desplazamiento corporal pasa sobre la superficie y elimina el calor. La convección facilita el intercambio de calor tanto interna como externamente. Internamente por medio de la sangre circulante y externamente por la rapidez del flujo del aire (Bavera y col., 2003).

#### 2.2.2.3. Radiación

Es la forma de transferencia del calor por medio de los rayos infrarrojos o calóricos, (Tippens, 1980). Necesita para su cumplimiento efectivo una diferencia entre la temperatura de la piel del animal y la del ambiente que lo rodea (Bavera y col., 2003). El animal gana más calor por radiación que la que puede emitir hacia el ambiente, lo cual es importante en condiciones tropicales de estrés calórico (Mendoza y col., 2003). Es posible que existan algunas diferencias en la exposición a la radiación de acuerdo al tipo racial (Sprinkle y col., 2000).

#### 2.2.2.4. Evaporación

El fenómeno de evaporación se produce desde el bovino al medio de las siguientes maneras (Hafez, 1973); (Mendoza y col., 2003); (Bavera y col., 2003):

- a) Al pasar el aire espirado por las partes húmedas de las vías respiratorias.
- b) Por transpiración, es decir, por la actividad de las glándulas sudoríparas.
- c) A través de la piel por difusión de agua desde los tejidos subcutáneos sin intervención de las glándulas sudoríparas (perspiración).
- d) Evaporación de agua proveniente de lameduras y mojaduras que se depositan sobre la superficie de la piel, fortuita o intencional.
- e) Pérdida por saliva, consecuencia del babeo que se produce cuando los animales se hallan muy agitados por el calor.

La evaporación respiratoria es importante entre los 10° y 27° C aunque pierde importancia con respecto a la evaporación total cuando las temperaturas ambientes sobrepasan los 30° C (Bavera y col., 2003). Para la evaporación de 1 kg de agua del cuerpo se necesitan aproximadamente 575 Kcal, según sea la temperatura de la superficie evaporante, la temperatura y humedad del ambiente (Hafez, 1973); (Mendoza y col., 2003). La evaporación cutánea es afectada según (Bavera y col., 2003) por: temperatura del ambiente, humedad del ambiente, movimiento del aire, edad del animal, longitud del pelo, número de glándulas sudoríparas por unidad de superficie, volumen de las glándulas sudoríparas y capacidad de las mismas para producir sudor.

### 2.2.2.5. Aislación

Se denomina aislante, a cualquier material que reduce la transferencia de calor de un área a otra (Echevarría y Miazzi, 2002). Describen estos autores que en el invierno la aislación conserva calor, reduce el calor suplementario necesario, reduce la condensación de humedad y la pérdida de calor por radiación del alojamiento y durante los meses cálidos del verano la aislación reduce la ganancia de calor mejorando el confort de los animales.

### 2.2.3 Equilibrio Térmico ó Balance Calórico

Los bovinos en pastoreo tienden a establecer un balance entre el calor producido en sus procesos metabólicos y digestivos comprendidos en la carga calórica y sus mecanismos de disipación de calor. Para mantenerse dentro de esta condición los animales necesitan ganar o perder calor del medioambiente circundante, (Figura III). Este proceso se denomina balance térmico, resultando ser muy dinámico y complejo (Bianca, 1968); (Silanikove, 2000). El balance calórico radica en que se deben buscar estrategias de manejo y alimentación que permitan reducir el estrés, (De Dios, 2001).

González (2001), define una ecuación para el balance calórico:

Balance calórico= calor endógeno + calor exógeno - Requerimiento para temperatura corporal + Pérdidas.

Calor Endógeno= Metabolismo Basal + Locomoción + Digestión.

Calor Exógeno= Radiación Principalmente.

Requerimiento para temperatura Corporal= Capacidad calórica de la vaca.

Pérdidas= Pérdidas pasivas por radiación, convección, conducción, heces, orina y alimentación.

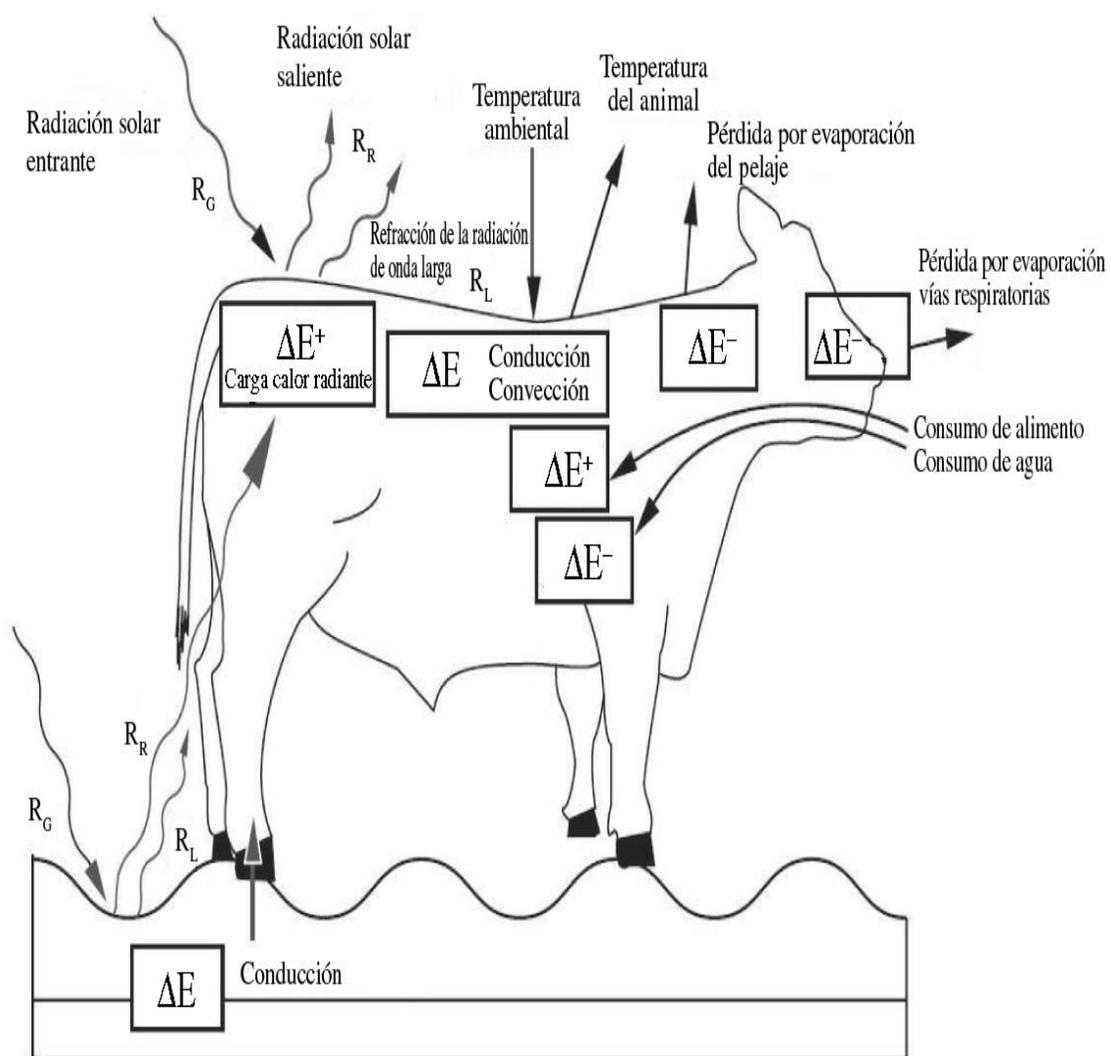


Figura 2 Balance térmico en el ganado bovino de carne (Meat & Livestock Australia, 2002).

## 2.3. Efectos del calor en la productividad animal

### 2.3.1. En la Producción y Composición de la Leche

La producción de leche no es sólo afectada por la falta de ingestión de alimento que les provoca el calor a los animales, también es debida por efectos que surte este a los mecanismos fisiológicos de la lactación, principalmente debido al bajo nivel de tiroxina que existe durante los días de altas temperaturas (Hafez, 1973).

La composición de leche en bovinos expuestos a temperaturas por encima de los 27 grados centígrados sufre cambios en algunos de sus constituyentes. Aumenta el nitrógeno no proteico, ácidos palmíticos y esteárico, y sólidos no grasos; mientras que disminuyen grasa butírica, sólidos totales, sólidos grasos, nitrógeno total, lactosa, ácidos grasos de cadena corta, ácido oleico, potasio, ácido cítrico e iones de calcio (Hafez, 1973).

### 2.3.2. Crecimiento Corporal

El estrés por el calor ocasiona problema en el ritmo de crecimiento fetal, y el de antes y después del destete debido a que afecta la cantidad de ingestión de agua y alimentos, la cantidad de energía potencial del forraje ingerido, su sistema termorregulador, la energía neta disponible para la producción y para el ajuste del cuerpo de los animales en crecimiento y la composición química del cuerpo esto influyendo en la calidad de la canal (Hafez, 1973); (Bavera y col., 2003). Las altas temperaturas decrecen la actividad de la glándula tiroides, mientras que condiciones frías incrementan su actividad, afectando la motilidad y la tasa de pasaje de los alimentos (NRC, 1981); (Habeeb y col., 1992).

Turner (1984), demostró que existe una disminución en la ganancia de peso en función del incremento en la temperatura rectal y señaló que aunque el ganado *B. indicus* regula de manera eficiente la temperatura corporal, y su productividad no es deprimida marcadamente en ambientes cálidos, en ausencia de estrés calórico son inherentemente menos productivos que el ganado *B.taurus* en condiciones sin estrés. La razón de este comportamiento, según este autor, es debido al menor consumo de materia seca de los animales *B. indicus*.

### 2.3.3. Ciclo Estral y Ovulación

Ciclos estrales de larga duración (Fryer y col., 1958), y una alta frecuencia de anestro son asociadas al estrés térmico (Hall y col., 1959). Hall y col., (1959), encontró una reducción del estro de las 18 horas que se consideran normales a una duración de 10 o menos horas.

### 2.3.4. Fecundación y Concepción

La proporción de fecundación se reduce al exponer a los bovinos a una hipertermia causando un medio ambiente uterino desfavorable (Stott y Williams, 1962). Ulberg (1967), asocio el menor porcentaje de concepción con las altas temperaturas corporales.

### 2.3.5. Gestación, Desarrollo y Supervivencia del Feto

Las Temperaturas extremadamente altas, aumentan el porcentaje de aborto y de reabsorción fetal (Hafez, 1973). Según (Hafez, 1973), en climas cálidos las partes del cuerpo que maduran al final como lo es la cadera y el ijar, quedan definitivamente atrofiadas. El becerro al nacer debe hacer ajustes

termorreguladores de acuerdo con las fluctuantes condiciones del medio ambiente. La eficacia de estos ajustes depende principalmente del grado de la inmadurez fisiológica.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### Localización

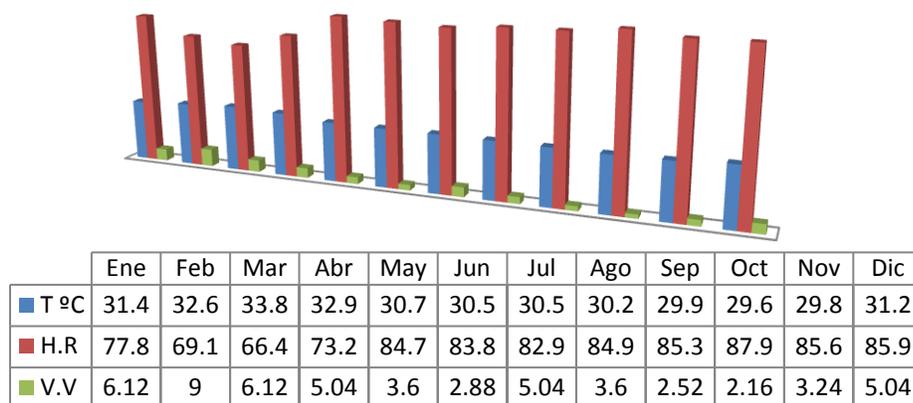
El estudio se realizó en la estación experimental de Gualaca Carlos M. Ortega (EEG-CMO) del Centro de Investigación Agropecuaria Occidental (IDIAP-CIAOc) ubicada en el distrito de Gualaca, provincia de Chiriquí.

#### Duración del estudio

El estudio tuvo una duración de 9 meses. Se inició en mayo del 2007 y finalizó en febrero de 2008.

#### Información del ecosistema

El ecosistema de Gualaca Bajo comprende el distrito de David, Dolega y Gualaca Bajo hasta una altura de 600 msnm. La EEG se eleva a 100 msnm, posee un suelo franco-arcilloso, latosólico, color rojo de origen mixto basáltico y andesítico. Posee buena estructura y drenaje, pH de 5.0 a 5.2; MO de 5%; P de 2 ppm y K de 35 a 40 ppm. De acuerdo con la clasificación de Holdridge la EEG está ubicada en un bosque húmedo tropical (bh-T). La topografía del área varía de plana hasta moderadamente ondulada. La vegetación predominante está formada por pastizales y bosques secundarios.



Gráfica I Información general climática del ecosistema de Gualaca.  
Fuente: Estación Meteorológica de ETESA-Gualaca, (2005).

### Grupos raciales

Se utilizaron hembras bovinas pertenecientes a los siguientes grupos raciales

(GR):

- Brahman (BRH)
- Simmental (SMB)
- Senepol (SEB)
- Charoláis (CHB)
- Wagyu (WGB)

## Categoría animal

Las hembras se agruparon en las siguientes categorías:

- Terneras: 4 a 12 meses.
- Novillas I: 12 a 24 meses.
- Novillas II: 24 a 36 meses.
- Vacas.

## Pasturas y manejo

Durante los meses de estudio, los animales pastorearon rotacionalmente praderas mixtas de *Brachiaria decumbens*; *Brachiaria humidicola*, *Brachiaria dictyoneura* y *Digitaria swasilandensis*.

## Fertilización de las pasturas

La fertilización anual, de acuerdo al tipo de pastura, varió de 60 a 80; 50 a 30 y 30 a 20 kg por hectárea de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O, respectivamente. El nitrógeno se fraccionó en tres aplicaciones, el fósforo y el potasio se aplicaron en los meses que se estabilizaron las lluvias.

## Suplementación energética proteica

Para suplir los nutrimentos diarios que la pastura no cubre y obtener una condición corporal de 5.0 a 5.5 y ganancia de peso vivo de acuerdo a la (NRC, 1976), se utilizó una suplementación energética proteica (3,24 Mcal de EM/Kg de Materia seca y 13.0% de proteína cruda). Esta basada en melaza, harina de soya, urea, pulidura de arroz y pica de arroz. Se adicionaron siete gramos diarios por animal de Lasalocid Sódico al 4%.

### Plan sanitario

Los animales fueron desparasitados interna y externamente. Cada 30 días se bañaron con una solución ecto-parasiticida y cada 60 días se desparasitaron internamente contra lombrices planas y redondas, de acuerdo al grado de infestación.

### Suplementación mineral

Se le añadieron, dos onzas diarias por animal de una mezcla mineral con 12% de Ca, 8% de P y micro-minerales.

### Información de interés

La información de interés en el presente estudio es la siguiente:

- a. Información ambiental: Para cada día de toma de información se utilizó la temperatura ambiental (termómetro de bulbo seco) y humedad relativa promedio del mes para calcular el Índice Temperatura-Humedad (ITH) de acuerdo a (NOAA, 1976) citado por (West, 1994).

$$\text{ITH (t, hr)} = (1.8) t + 32 - (0.55) (0.55hr) (1.8t - 26)$$

Donde: t es la temperatura ambiental en °C y hr es la humedad relativa (HR) en decimales.

- b. Información en el animal: A cada animal experimental se le tomó la siguiente información:
  - a. Temperatura interna ( $T_i$ ): es la temperatura rectal y se midió a través de un termómetro de vidrio por un período de un minuto.
  - b. Frecuencia respiratoria (FR): se contó la cantidad de inspiraciones observadas en la caja de las costillas en 15 segundos y se

multiplico por cuatro para obtener la frecuencia en un minuto. Se tomaron varias medidas para posteriormente sacar un promedio.

- c. Frecuencia cardiaca (FC): a través de un estetoscopio se contaron los latidos cardiacos en 15 segundos y se multiplico por cuatro para obtener la frecuencia en un minuto. Se tomaron varias medidas para posteriormente sacar un promedio.
- d. Largo del pelo (LP): a la altura de las vértebras lumbares se tomaron muestras de pelo, cortados por medio de un bisturí. Se tomaron 10 pelos completos al azar para medirlos mediante un micrómetro y posteriormente obtener un promedio.
- e. Temperatura de la superficie corporal ( $T_s$ ): con un termómetro digital colocado encima de la piel a la altura de las vértebras lumbares se determinó la temperatura superficial durante un minuto de tiempo.
- f. Grosor de la piel (GP): mediante el instrumento “pie de rey” se le tomo el grosor del pliegue de la piel del animal. El valor obtenido se dividió entre dos para obtener el grosor de la piel en milímetros.
- g. Área corporal (A): para determinar el área corporal aproximada, se utilizó las fórmulas presentadas por, (Alencar Nããs, 1989):

1. Para ganado Brahman y Nelore:  **$A = 0.12W^{0.60}$**

2. Para ganado Cruzado:  **$A = 0.15W^{0.56}$**

Donde: A es el área ( $m^2$ ) y W es el peso corporal (kg).

- h. Tasa de Sudoración (TS): se determinó mediante el método de (Schleger y Turner, 1965).

$$SW [g/(m^2 \cdot h)] = 3.84 \times 10^4/s$$

La tasa de sudoración es medida en intervalos de 120 minutos, la cual está basada en el tiempo tomado para discos de papel impregnados de cloruro de cobalto para cambiarse de azul al color rosado.

#### Cálculo de características de termorregulación

El calor es un sinónimo de la energía cinética total de todas las moléculas en los sistemas con temperaturas arriba del cero absoluto (-273 °C), mientras que la temperatura es una medida de la energía cinética de las moléculas en un sistema. Los bovinos poseen mecanismos que les permite ganar o perder calor y los más importantes son:

- a. Aislación: es el proceso en el cual la energía térmica se mantiene o se libera a través del medio material (Tippens, 1980).

La fórmula para calcular la aislación térmica de acuerdo a la versión modificada de la Ley de Fick (Willmer y col., 2000) es:

$$Q_k = kA[(T_i - T_s)/l]$$

Donde:  $Q_k$  es la tasa de retención calórica por aislación (Kcal/m<sup>2</sup>·s);  $k$  es el coeficiente de conductividad térmica, el cual describe la facilidad con el cual el calor fluye por aislación a través de un material dado (para la piel bovina es 0.000002 Kcal/ m·s<sup>-1</sup>·°C<sup>-1</sup>);  $A$  es el área de contacto del animal (m<sup>2</sup>);  $T_s$  es la temperatura corporal superficial (°C);  $T_i$  es la temperatura corporal interna (TR) o rectal (°C) y  $l$  es el grosor de la piel (mm).

- b. Convección: es el flujo de calor entre dos cuerpos por el movimiento de masa de un fluido intervector, ya sea líquido o gas (Willmer y col., 2000) ó es el proceso por el cual el calor se transfiere mediante el movimiento real de un fluido (Tippens, 1980).

Para un animal en un fluido sin movimiento, la pérdida de calor se calcula a través de la siguiente fórmula (Louns, 1993):

$$Q_c = hA(T_s - T_f)$$

Donde:  $Q_c$  es el flujo de calor por convección (Kcal/s);  $h$  es el coeficiente de convección en  $Kcal/m^2 \cdot s^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$  ( $h = 0.000493 \times (T_s - T_f)^{1/4}$ );  $A$  es el área de contacto ( $m^2$ );  $T_s$  es la temperatura de la superficie del animal ( $^\circ C$ ) y  $T_f$  es la temperatura del aire ( $^\circ C$ ).

- c. Radiación: es el proceso por el cual el calor se transfiere en forma de ondas electromagnéticas (Tippens, 1980) o energía intercambiable por medio de energía electromagnética la cual viaja a la velocidad de la luz y no necesita medio de propagación. La tasa de transferencia calor radiante entre un animal y su ambiente ( $Q_r$ ) se calculó de acuerdo a (Louns, 1993):

$$Q_r = \{CA\varepsilon[(T_s + 273)^4 - (T_{amb} + 273)^4]\}/w$$

Donde:  $Q_r$  es la tasa de pérdida de calor radiante ( $Kcal/m^2 \cdot s$ ),  $C$  es el coeficiente que incorpora la constante de Stefan-Boltzman ( $5.67 \times 10^{-8} W/m^2 \cdot s \cdot K^4$ ),  $A$  es el área de contacto ( $m^2$ ),  $\varepsilon$  es la constante de emisión ( $\varepsilon = 0.4$  para BR;  $1/2$  NE;  $1/2$  CH y  $1/2$  BL;  $\varepsilon = 0.55$  para  $1/2$  SE;  $1/2$  SM;  $1/2$  AR;  $1/2$  LM;  $1/2$  HR y  $1/2$  BM;  $\varepsilon = 0.7$  para WG).  $T_s$  es la temperatura de la superficie del animal ( $^\circ C$ ),  $T_{amb}$  es la temperatura ambiental ( $^\circ C$ ) y  $w$  es

una constante ( $1 \text{ Kcal/m}^2\text{°C} = 1.163 \text{ W/m}^2\text{°C}$ ) para transformar watts (W) en Kilocalorías (Kcal).

### Variables de Respuesta

Para el siguiente estudio respondimos a la siguientes variables: TR, FC, FR, LP, TS,  $Q_K$ ,  $Q_C$  y  $Q_R$ .

### Análisis estadísticos de la información

La información de interés (FC, FR, TR, TS y LP) y los indicadores para las pérdidas de calor ( $Q_K$ ,  $Q_C$ , y  $Q_R$ ) son las variables dependientes y se analizó a través de un modelo lineal fijo usándola suma de cuadrado tipo III, cruzado clasificado con desigual número de observaciones por subclases (Searle, 1971):

$$Y_{ijkm} = \mu + \beta_i(ITH_i - ITH_p) + \alpha_i + \tau_j + \tau_j^* \alpha_i + \varepsilon_{ijkm}$$

Donde:  $Y_{ijkm}$  es la variable dependiente;  $\mu$  es la media general de la característica de interés;  $ITH$  es el índice Temperatura-Humedad utilizado como covarianza, en la cual  $\beta_i$  es el coeficiente parcial de regresión y  $(ITH_i - ITH_p)^2$  es la desviación cuadrática del THI en el momento  $i$  con el promedio ( $p$ ) de  $ITH$ ;  $\alpha_i$  es el efecto de las fechas de muestreos;  $\tau_j$  es el efecto de grupos raciales (GR);  $\tau_j^* \alpha_i$  es la interacción entre los grupos raciales y las épocas del año y  $\varepsilon_{ijkm}$  es el error aleatorio. Se estimarán medias ajustadas y errores estándares (Harvey, 1975) y se compararán a través de pruebas de  $t$  de Student.

Las variables de respuestas tales como: FC, FR, TR, LP, TS,  $Q_K$ ,  $Q_C$ , y  $Q_R$  se analizarán a través de técnicas de correlación simple y regresión (lineal, lineal-

cuadrática y cuadrática) sin intercepto con la variable independiente ITH (Draper y Smith, 1981; Steel y Torrie, 1980).

El “mejor modelo” de regresión para estimar y predecir se seleccionará de acuerdo a criterios como: significancia del modelo, significancia de los parámetros de la regresión, coeficiente de determinación, coeficiente de variación y distribución de los residuales. El nivel mínimo de significancia ( $\alpha$ ) para las correlaciones es de 10%, mientras que para los coeficientes de regresión va ser de 5%. Los modelos de regresión a evaluar son:

$$Y_{ij} = \beta_i(\text{THI}) + \varepsilon_{ij} \quad (\text{Lineal})$$

$$Y_{ij} = \beta_i(\text{THI}) + \beta'_i(\text{THI})^2 + \varepsilon_{ij} \quad (\text{Lineal-Cuadrático})$$

$$Y_{ij} = \beta'_i(\text{THI})^2 + \varepsilon_{ij} \quad (\text{Cuadrático})$$

Donde:  $\beta_i$  y  $\beta'_i$  son los coeficientes parciales lineales y cuadráticos de la ecuación de regresión, respectivamente, y  $\varepsilon_{ij}$  es el error aleatorio.

## I.V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Índice Temperatura-Humedad, Temperatura Ambiental y Humedad Relativa.

El índice de temperatura-humedad desarrollado por Thom (1959) ha llegado a ser el estándar para la clasificación térmica del medioambiente en muchos estudios de producción y manejo animal para todas las estaciones.

**CUADRO V    ÍNDICE DE TEMPERATURA Y HUMEDAD POR FECHA DE MUESTREO EN EL ECOSISTEMA DE GUALACA BAJO (ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE GUALACA, IDIAP).**

FECHA	HR, %	T,°C	ITH
29-mayo-07	81	27.4	75.8
13-junio-07	67.5	31.7	82.8
28-junio-07	72	32.4	82.9
12-sept-07	55	33.9	86.9
26-sept-07	69	33.7	86.3
29-nov-07	56	33	86.2
16-enero-08	59	32	84.7
27-feb-08	48	30.2	83.02

Según los datos del presente estudio incluimos a la región dentro de un estrés moderado (THI 80-89) de acuerdo a las divisiones del ITH, (Caballero y col., 1995), con excepción de la primera fecha incluida en el ligero (70-79), esto debido a un aumento de la humedad relativa relacionado con la disminución de la temperatura ambiente. En el estrés calórico se consideran tres etapas: ligero (THI 72-79); moderado (THI 80-89) y severo (THI 90-98).

Temperatura ambiente y humedad relativa confortables para los bovinos de carne oscilan entre 4-26°C y 40-60% respectivamente. Los valores obtenidos de estos factores ambientales están por fuera de los rangos, esto ocasionando aumento en la actividad fisiológica de los bovinos con el fin de mantener su balance energético.

Guerra y col., (2004) en un estudio realizado bajo las mismas condiciones ambientales, obtuvieron valores de ITH entre 78-83. Comparándolo con los resultados de este estudio, obtuvimos un ITH superior variando en las distintas fechas (75-86) demostrando los diferentes cambios en la temperatura y humedad que se dan a lo largo del año, estos teniendo efectos significativos sobre el rendimiento del animal.

### **Grosor de Piel y Área Corporal**

Tanto el tamaño del animal como el grosor de la piel son aspectos de mucha importancia para la disipación de calor en el trópico, Bavera y Beguet 2003; Hafez (1973).

La mayor área corporal la encontramos en el SEB con 3.74 superando por 0.02, 0.05, 0.24, 0.48 m<sup>2</sup> al CHB, WGB, BRH y al SMB respectivamente (cuadro VI).

Guerra y col. (2004), encontraron valores en 7.08, 6.82 y 7.17 para el BRH, CHB, SMB respectivamente. Con diferencias significativas y esto debido a que los animales utilizados por estos eran de mayor edad que los nuestros.

Para el grosor de piel, el mayor espesor lo encontramos en el BRH con 9.4 mm superando en 0.9, 0.14, 0.26 y 0.27 mm al WGB, SMB, SEB y CHB respectivamente (cuadro VI).

**Cuadro VI Grosor de Piel (GP), y Área Corporal (A) por grupo racial.**

Grupo Racial	GP (mm)	A (m <sup>2</sup> )
BRH	0.94	3.50
SMB	0.80	3.26
SEB	0.68	3.74
CHB	0.67	3.72
WGB	0.85	3.69

Cabe destacar, que para estas dos características no se les realizó un análisis estadístico debido a que no formaban parte de las variables de importancia en este estudio pero, decidimos presentarlas ya que son partes importantes para los procesos de termorregulación.

## **Temperatura Rectal**

La temperatura rectal resultó afectada significativamente ( $P < 0.01$ ) con respecto a las fechas de muestreos, sin embargo, no fueron significativas para el grupo racial y el índice temperatura humedad ( $P < 0.05$ ), como se muestra en el cuadro VII. Se obtuvo un coeficiente de variación de 1.7 %, excelente para esta variable.

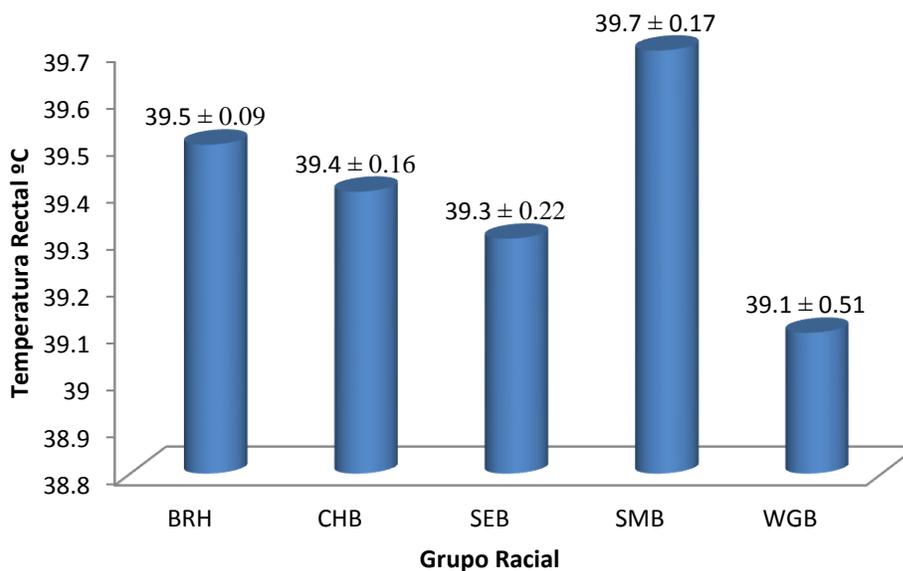
La temperatura corporal es afectada por los diferentes cambios que se dan en cuanto a la temperatura ambiente y humedad ambiente, sobre todo cuando estos aumentan ya que son deprimentes para el animal, en lo que respecta a los procesos de termorregulación y esto a su vez causando una alteración en el comportamiento fisiológico del animal.

El grupo Racial WGB fue el que tuvo la menor temperatura rectal con 39.1 grados centígrados mostrando gran habilidad para mantener su temperatura corporal en este sentido y esto debido a que tiene en su constitución genética 50% de BRH. El SEB y los CHB mostraron una gran habilidad para mantener su temperatura corporal (39.3 y 39.4 respectivamente), debido a que mantuvieron su temperatura cercana a las confortables, inclusive menor que la del BRH (39.5) que se es una raza adaptada al trópico. Temperaturas confortables para los bovinos de carne oscilan entre los 37.1-39.1 con un promedio de 38.3. El grupo racial con mayor Temperatura rectal fue el SMB con 39.7, mostrando por esta constante reflejos de estrés (Gráfica II).

Valores encontrados para el BRH y el SBR por, Guerra y col., (2004) oscilan entre los 39.6 y 39.2 °C, esto bajo condiciones de pastoreo. Estos valores fueron

similares a los encontrados en el presente estudio para estos GR. Hammond y col., (1996), describieron a la temperatura rectal como el indicador más común para la tolerancia al calor.

La mayor temperatura rectal se tomó el 12 de septiembre que fue de 43 °C para un SMB y la más baja fue de 36.9 grados centígrados tomada el 29 de noviembre para un BRH.



GRÁFICA II MEDIAS AJUSTADAS PARA LA TEMPERATURA RECTAL (TR).

**CUADRO VII ANÁLISIS DE VARIANZA PARA FRECUENCIA CARDÍACA (FC), FRECUENCIA RESPIRATORIA (FR), TEMPERATURA RECTAL (TR), AISLACIÓN (Q<sub>K</sub>), CONVECCIÓN (Q<sub>C</sub>) Y RADIACIÓN (Q<sub>R</sub>).**

FUENTE DE VARIACIÓN	g.l	CUADRADOS MEDIOS					
		F.C	F.R	T.R	Q <sub>K</sub>	Q <sub>C</sub>	Q <sub>R</sub>
ITH	1	2.143 <sup>ns</sup>	24.264 <sup>ns</sup>	0.245 <sup>ns</sup>	0.00012 <sup>ns</sup>	0.001 <sup>***</sup>	23796.53 <sup>***</sup>
FECHA	7	7904.203 <sup>***</sup>	405.883 <sup>***</sup>	2.652 <sup>***</sup>	0.229 <sup>***</sup>	0.00004 <sup>***</sup>	1350.11 <sup>***</sup>
GR	4	1170.098 <sup>*</sup>	43.041 <sup>ns</sup>	0.316 <sup>ns</sup>	0.008 <sup>**</sup>	0.000004 <sup>ns</sup>	1827.88 <sup>***</sup>
ERROR	108	143.539	52.615	0.459	0.003	0.000003	96.88
CV,%		14.8	12.4	1.7	72.0	19.4	22.1

\*\*\*Diferencia altamente significativa (P<0.01). \*\*Diferencia Significativa (P<0.05). \*Diferencia Significativa (P<0.10)  
ns=No hay diferencia Significativa

## **Frecuencia Cardíaca**

La fecha de muestreo resultó altamente significativa ( $P < 0.01$ ) para la frecuencia cardíaca y una diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) para los grupos raciales (Cuadro VII). Sin embargo, para el ITH no tubo diferencias significativas. Obtuvimos un coeficiente de variación de 14.8% dándole confiabilidad a esta variable.

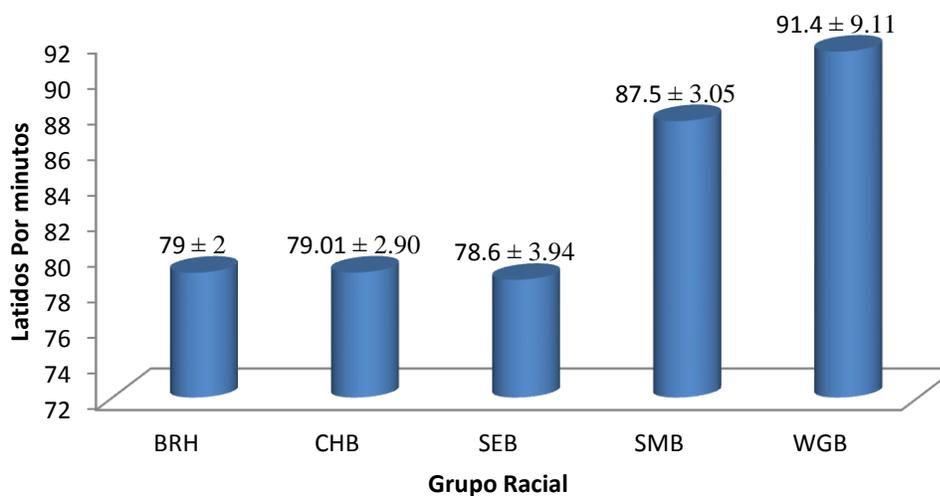
Es de importancia el comportamiento del clima en las diferentes fechas de muestreos ya que estas se caracterizan por cambios constantes en los factores climáticos, estos importantes para los procesos de termorregulación. Esta tolerancia a los diferentes cambios que se dan, van a depender en gran parte a la raza. Cabe destacar, que el aumento de la temperatura corporal causa una serie de ajuste por parte del animal, y esto a su vez causa un incremento de las palpitaciones cardíacas.

El grupo Racial WGB fue el que tuvo la mayor frecuencia cardíaca en 91.4 latidos por minuto, seguido por el SMB encontrando su media en 87.5 latidos por minuto, 3.9 latidos menos que el WGB (Gráfica III). El grupo racial con menor frecuencia cardíaca lo tenemos en el SEB con 78.6 latidos por minuto, seguido por el BRH con 78.9 latidos por minuto. El WGB supera al SEB por 12.8 latidos por minuto y al BRH por 12.5 latidos por minuto, seguido está el CHB que es superado por el WGB en 12.39 latidos por minuto.

Frecuencias cardíacas ideales para los bovinos de carne oscilan entre los 60-70 latidos por minutos, con un promedio de 65 latidos. Los grupos BRH, CHB y SEB se encuentran cerca de los rangos sin embargo, el grupo WBR sufrió un

aumento de las palpitations cardiacas al igual que el SMB, esto debido a los procesos de termorregulación.

Guerra y col., (2004) obtuvieron valores para BRH, CHB y SMB en 74.3, 78.9 y 72.8 latidos por minutos respectivamente, valores muy cercanos a los que obtuvimos en el presente estudio con excepción del SMB mostrando una diferencia de 14.7 latidos por minuto. La mayor frecuencia cardíaca se tomo el 16 de enero con 124 latidos por minuto para un WGB y la más baja se tomo el 26 de septiembre con 40 latidos por minutos para un SEB.



GRÁFICA III MEDIAS AJUSTADAS PARA LA FRECUENCIA CARDÍACA (FC).

### Frecuencia Respiratoria (FR)

Los resultados para esta variable fueron altamente significativos ( $P < 0.01$ ) para las fechas en que fueron tomadas estas frecuencias, no hubo significancia

( $P < 0.05$ ) para los grupos raciales al igual para el índice temperatura humedad, con un coeficiente de variación de 12.4% (Cuadro VII).

Las fechas de muestreos tuvieron caracterizadas por cambios en la temperatura y humedad ambiente esto a su vez tiene un efecto marcado sobre las constantes fisiológicas sobre todo en la FR, está aumentada por el animal para perder calor por las vías respiratorias.

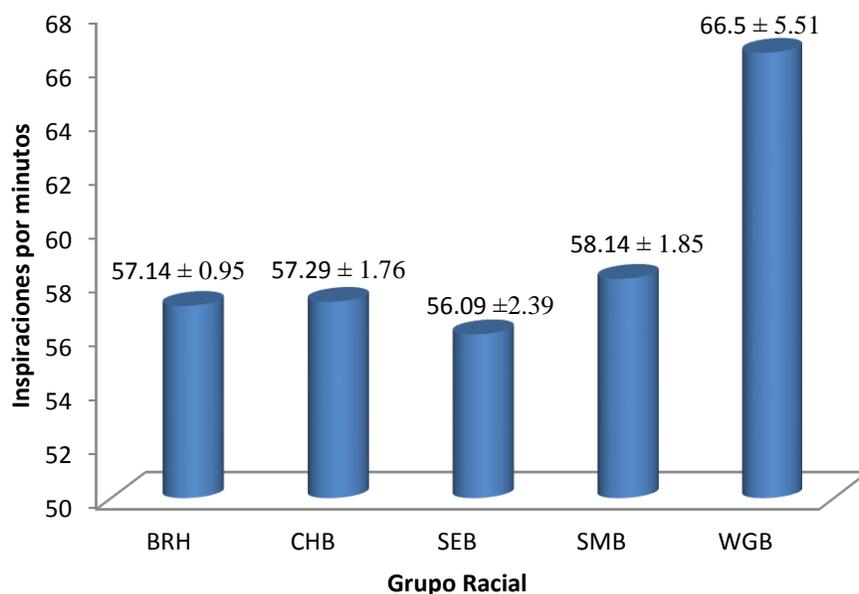
Rangos normales de FR oscilan entre 26-35 inspiraciones por minutos con un promedio de 31 inspiraciones. El WGB fue el grupo racial con la frecuencia respiratoria más alta en 66.5 inspiraciones/minutos, superando por, 9.36, 9.21 y 8.36 al BRH, CHB y al SMB respectivamente. La FR más baja fue para el SEB con 56.09 inspiraciones por minutos, 10.41 inspiraciones menos que el WGB. Los resultados para la frecuencia respiratoria están lejos de los rangos normales, esto evidenciando síntomas de estrés prácticamente para los cinco grupos evaluados, sobre todo en el WGB y en el SMB (Gráfica IV).

Este aumento de las FR es debido también, a los ajustes fisiológicos que los animales hacen para regular su temperatura corporal, sobre todo para el SMB que mostró la TR por encima de los rangos, al igual que su FC. El WG muestra un control de su TR, esto ocasionando ser el GR con la FR Y FC más alto.

Guerra y col., (2004), encontraron para el BRH, CHB y el SMB una frecuencia respiratoria de 44.67, 48.10 y 47.98 inspiraciones por minutos respectivamente.

Cabe destacar que, Hammond y col., (1996), describieron a la FR, como una medida de jadeo y un mejor indicador de estrés calórico que la TR. La mayor FR la tomamos el 27 de febrero con 88 inspiraciones por minutos en un BRH y la

más baja fue de 36 inspiraciones por minutos tomada el 13 de junio, también para un BRH; habiendo un efecto marcado de los factores ambientales sobre las fechas de muestreo.



GRÁFICA IV MEDIAS AJUSTADAS PARA LA FRECUENCIA RESPIRATORIA (FR).

### Largo de Pelo

El largo de pelo tuvo una diferencia altamente significativa ( $P < 0.01$ ) entre los grupos raciales, una diferencia significativa entre las fechas ( $P < 0.05$ ) y una diferencia significativa ( $P < 0.10$ ) atribuida al índice temperatura-humedad, (Cuadro VIII).

**CUADRO VIII ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA VARIABLE DE EL LARGO DE PELO (LP).**

FUENTE DE VARIACIÓN	g.l	Cuadrado medio
THI	1	11.214*
FECHA	6	13.685**
GR	4	104.249***
ERROR	100	6.151
CV, %	24.4	

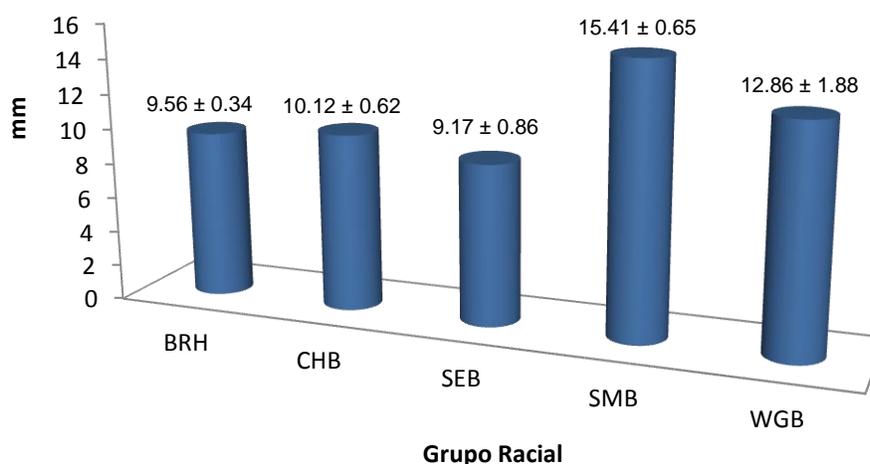
Altamente significativo\*\*\* (P<0.01)      significativo \*\* (P<0.05)  
 Significativo \*(P<0.10)                      NS: no significativo

Unas de las diferencias principales entre los *Bos indicus* y los *Bos taurus* es el largo y tipo de pelo que tiene mucha importancia en la tolerancia tanto al calor como para el frío. Para los fines del trópico se necesitan pelos cortos y lisos, que no retengan el calor en su pelaje. El largo de pelo tiene diferencias en las épocas del año debido a que en el verano el pelo es más corto con el fin de retener menos calor, no obstante, para el invierno un poco más largo

El grupo Racial SMB fue el que tuvo el mayor largo de pelo, encontrando su media en 15.4 milímetros. El grupo racial con menor largo de pelo lo tenemos en el SEB con 9.17 milímetros, seguido por el BRH con 9.56 milímetros. El SMB supera al SEB por 6.23 milímetros y al BRH por 5.85 milímetros, (Gráfica V).

El pelo largo del SMB explica por qué es el GR con la más alta TR y valores altos de FR, y FC, al igual para el WGB que mostró alta FR y FC. El pelo más

corto del SBR y del BRH es una características del por qué se adaptan bien al trópico.



GRÁFICA V. MEDIAS AJUSTADAS PARA EL LARGO DE PELO (LP).

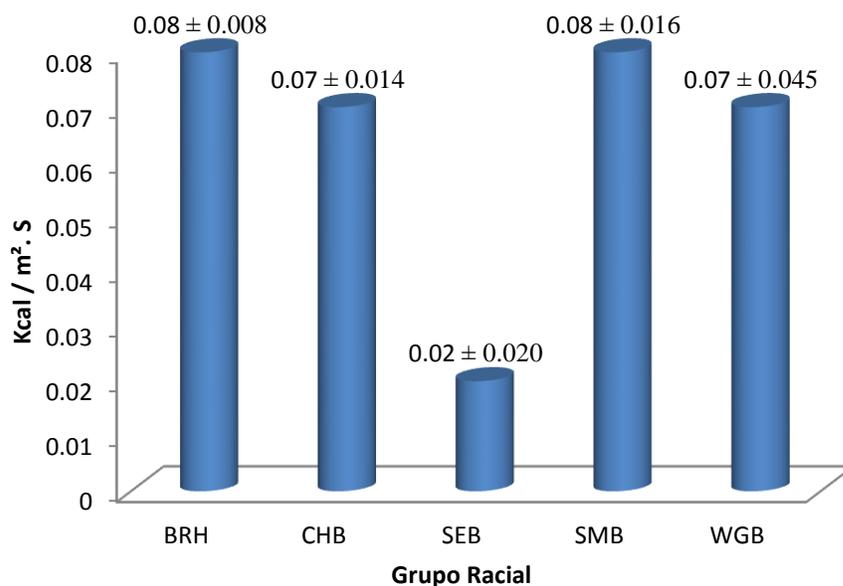
### Aislación de calor ( $Q_k$ )

La retención de calor por aislación fue altamente significativa ( $P < 0.01$ ) para las fechas en que fueron tomadas estas medidas, al igual tuvo diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) para los diferentes grupos raciales (Cuadro VII). No obstante no tuvo diferencias significativas para el ITH. Esta característica presentó un coeficiente de variación alto (72%), esto debido a la variabilidad de los datos, empezando que en la fórmula se utilizaba una constante para todos los GR. Los cambios climáticos que se daban en las diferentes fechas de

muestreo tienen un efecto marcado sobre las ganancias y pérdidas de calor. Al igual el LP tiene gran importancia en la aislación de calor y este a su vez es varía para cada GR.

El grupo Racial con mayor aislación de calor lo encontramos en el SMB y en el BRH con  $0.08 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{s}$ . Muy seguido esta el CHB y el WGB con  $0.07 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{s}$  con  $0.01 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{s}$  que el BRH y el SMB (gráfica VI).

El grupo con menor aislación de calor lo tenemos en el SEB en  $0.02 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{s}$  con  $0.06 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{s}$  menos que el BRH y el SMB, y  $0.05 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{s}$  que el CHBR y el WBR.



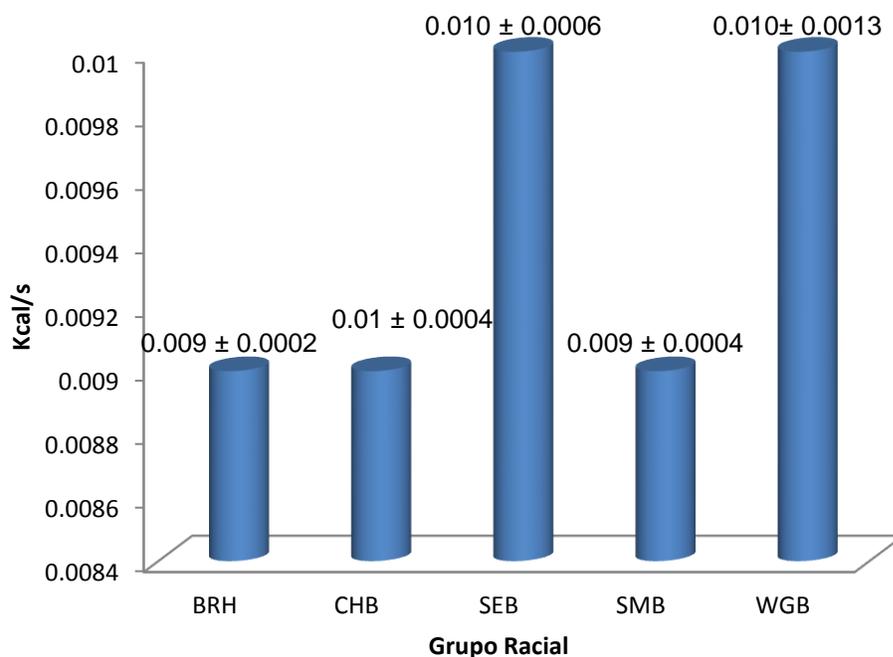
GRÁFICA VI MEDIAS AJUSTADAS PARA LA AISLACIÓN DE CALOR ( $Q_k$ ).

La mayor aislación de calor en el SMB se debe prácticamente a que posee el pelo más largo dentro de los GR evaluados y el por qué su TR, FC, FR están por encima de los promedios aceptables, lo mismo pasa para el WGB.

La aislación térmica está también asociada con el grosor de Piel (GP), y área corporal (A). A mayor GP, y A la aislación de calor será mayor y viceversa.

### Convección ( $Q_c$ )

Esta característica resultó altamente significativa para el ITH al igual para la fechas en que fueron tomadas las muestras ( $P < 0.01$ ). Sin embargo, no fue significativa para los grupos raciales ( $P < 0.05$ ). Obteniendo un coeficiente de variación aceptable de 19.4% (Cuadro VII).



GRÁFICA VII MEDIAS AJUSTADAS PARA LA CONVECCIÓN DE CALOR ( $Q_c$ ).

La temperatura ambiental que se dio para las diferentes fechas ejerció un efecto marcado sobre la convección de calor, al igual que el área corporal ( $m^2$ ) de los GR. Aquí toma importancia la velocidad del viento, la velocidad de desplazamiento de los animales y la temperatura de la superficie del animal.

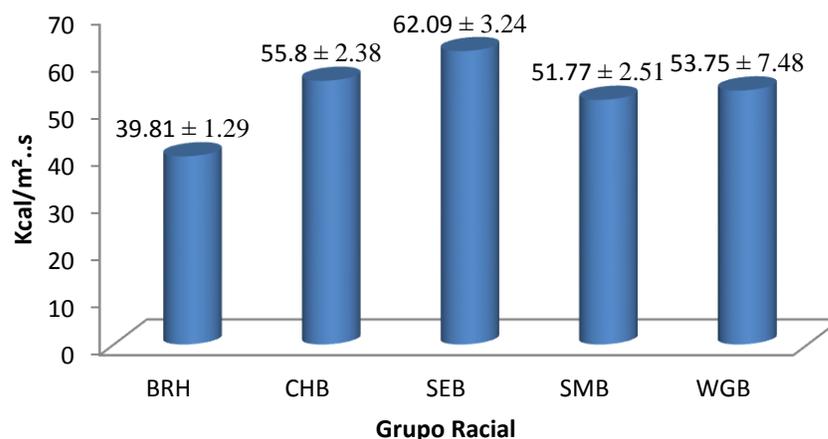
La mayor convección de calor en el presente estudio la encontramos en los grupos raciales SEB y en el WGB con 0.010 Kcal/s (Gráfica VII). Después tenemos al BRH, CHB y al SMB con 0.009 Kcal/s, con 0.001 Kcal/s menos que el SEB y el WGB.

Los animales SEB y WB superaron al BRH, SMB y al CHB en 10% equivalente a pérdidas de calor por convección.

Guerra y col., (2004) en sus experimentos bajo las mismas condiciones tropicales, calcularon las pérdidas calor por convección resultando ser mayores para el CHB con 0.013 Kcal/ $m^2$ .s. Muy cercano está el SMB con 0.011 Kcal/ $m^2$ .s y por último el BRH con 0.0097 kcal/ $m^2$ .s.

### **Radiación ( $Q_R$ )**

Las pérdidas calóricas por radiación resultaron altamente significativa para el índice temperatura-humedad (ITH), para las fecha en que eran tomadas las muestras y para los grupos raciales ( $P < 0.01$ ), (Cuadro VIII). Obtuvimos un coeficiente de variación de 22.1% considerado como bueno dándole confiabilidad a esta variable. Aquí toma importancia la intensidad de los rayos solares en forma de radiación sobre el animal, sabiendo que la zona ecuatorial es la que recibe mayor radiación a lo largo del año.



GRÁFICA VIII MEDIAS AJUSTADAS PARA LA RADIACIÓN DE CALOR ( $Q_R$ ).

En el presente estudio el grupo racial con la mayor radiación de calor lo encontramos en el SEB superando en 22.28, 10.32, 8.34, y 6.29 al BRH, SMB, WGB y CHB respectivamente (Gráfica VIII).

Valores para radiación fueron encontrados por (Guerra y col., 2004) para BRH, CHB y SMB en 34.89, 42.48 y 54.66 kcal/m<sup>2</sup>.s respectivamente. Estos valores están muy cercanos a los del presente estudio para el BRH, CHB y SMB dándole confiabilidad al presente estudio.

### Tasa de Sudoración (TS)

La tasa de sudoración resultó con una diferencia altamente significativa ( $P < 0.01$ ) para la fecha con respecto a la producción de sudor, no hubo una diferencia significativa para el Índice temperatura-humedad ( $P < 0.10$ ) y tenemos una diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) para los GR (Cuadro IX).

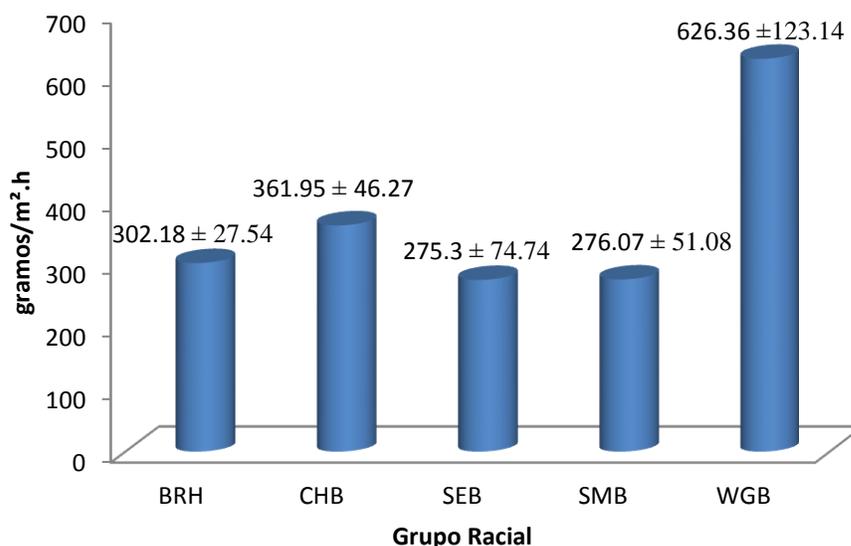
**CUADRO...IX ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA TASA DE SUDORACIÓN.**

FUENTE DE VARIACIÓN	g.l	Cuadrado medio
THI	1	22757.53 <sup>ns</sup>
FECHA	5	123501.81 <sup>***</sup>
GR	4	57599.95 <sup>**</sup>
ERROR	60	26500.74
CV, %	49.3	

Altamente significativo<sup>\*\*\*</sup> (P<0.01)  
Significativo \*(P<0.10)

Significativo \*\* (P<0.05)  
<sup>ns</sup>: no significativo

La tasa de sudoración es afectada por los cambios en la temperatura y en la humedad relativa. A medida que aumenta la humedad relativa disminuye la cantidad de sudoración llevándola a cero si la humedad relativa llega a 100%. Esta es determinada por la raza y por la época en que se encuentre el animal. La TS está determinada por el número de glándulas sudoríparas, que varían entre los GR. El LP también tiene un efecto sobre la disipación calórica por la evaporación cutánea (sudoración).



GRÁFICA IX MEDIAS AJUSTADAS PARA LA TASA DE SUDORACIÓN (TS).

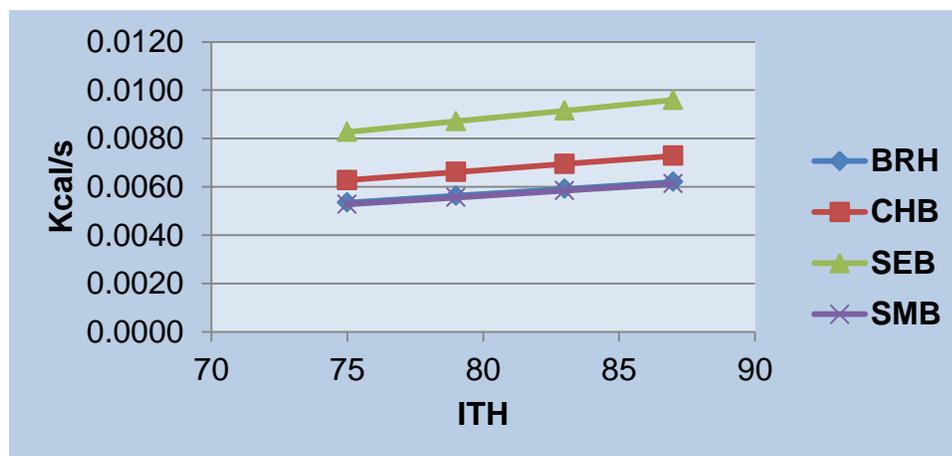
La tasa de sudoración más alta la encontramos en el WGB con 626.36 gramos/m<sup>2</sup>.h (Gráfica IX). Esto posiblemente es el factor que le sirvió al WGB a tener la TR más baja pero, esto a su vez le implicó ser el GR con mayor FC, FR. Después le sigue la del CHB con 361.95 gramos/m<sup>2</sup>.h teniendo 264.41 gramos/m<sup>2</sup>.h de diferencia. La tasa sudoración más baja la tenemos en el SEB con 275.3 gramos/m<sup>2</sup>.h, seguido por el SMB con 276.07 y después por el BRH con 302.18 gramos/m<sup>2</sup>.h. El SEB difiere en 361.06, 86.65, 26.88 y 0.77 gramos/m<sup>2</sup>.h con WGB, CHB, BRH y SMB respectivamente, 86.65 gramos/m<sup>2</sup>.h. La TS del SEB implica una pérdida en su sudor de 158.3 Kcal, mientras que para el WGB es de 360.2 Kcal. Mcmanus y col., (2005) encontraron valores para los Bos Indicus (270 gramos/m<sup>2</sup>.h) y para los Bos Taurus (290 gramos/m<sup>2</sup>.h) muy cercanos a los nuestros. La Perdida de 1 Kg de sudor implica

alrededor de 575 Kcal, (Hafez, 1973). La baja TS del SMB se debe a que este posee el pelo más largo, y además de que la sudoración de los *Bos taurus* no es muy eficiente en comparación con los *Bos indicus*.

### Análisis de Regresión

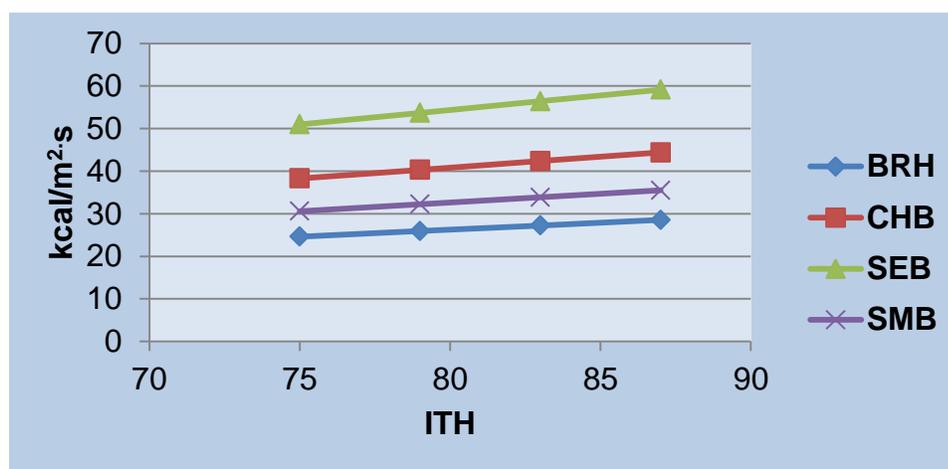
Para los análisis de aislación de calor con respecto al ITH y el LP no se presentaron debido a la alta variabilidad de los datos. Nos gustaría que en próximos estudios se realice estos análisis para corroborar nuestra información.

Para la convección de calor, a medida que aumentó el ITH la convección de calor aumentó para todos los GR. Sin embargo el SEB tuvo una diferencia notable con respecto a los demás GR siendo el que más perdió calor por esta característica a medida que el ITH aumentaba. Entre el BRH y el SMB no hubo diferencias entre sí, siendo estas las más baja. El CHB se mostró con una pequeña diferencia ocupando un intermedio en comparación con los otros GR (Gráfica X).



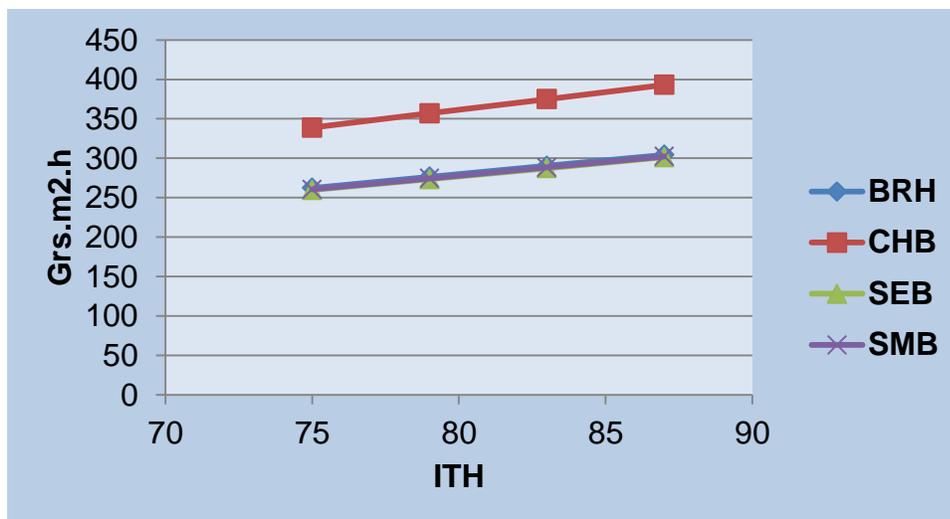
GRÁFICA X RELACIÓN DE LA CONVECCIÓN DE CALOR CON EL ITH.

La radiación de calor en relación con el ITH aumentó para todos los GR habiendo diferencia entre los GR, siendo el SEB el que pierde más calor a medida que aumenta el ITH, esto explica el porque es el que mostró mayor tolerancia al calor (Gráfica XI).



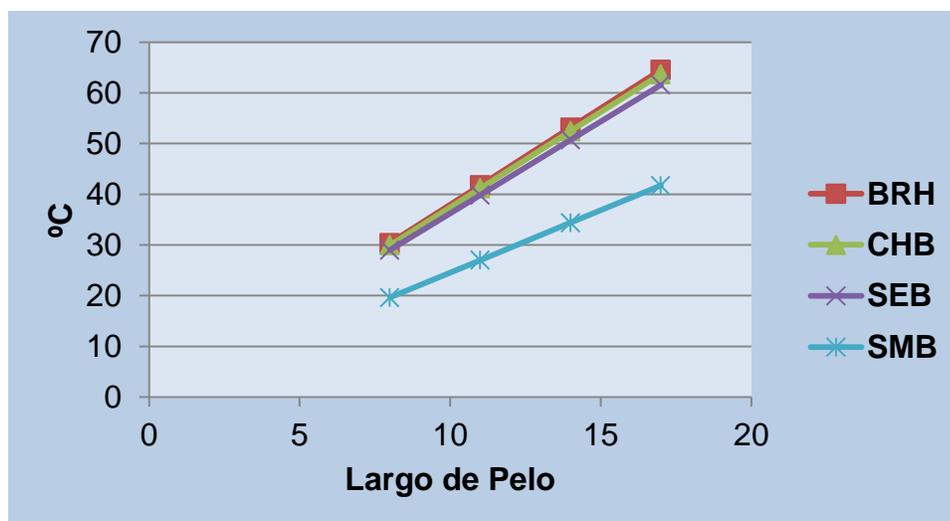
GRÁFICA XI RELACIÓN DE LA RADIACIÓN DE CALOR CON EL ITH

La tasa de sudoración aumentó a medida que el ITH también para todos los GR. El CHB es el que más sudor produjo teniendo diferencia con los demás GR (Gráfica XII). El BRH, SEB y el SMB no mostraron diferencias entre sí ocupando una misma línea de tendencia.



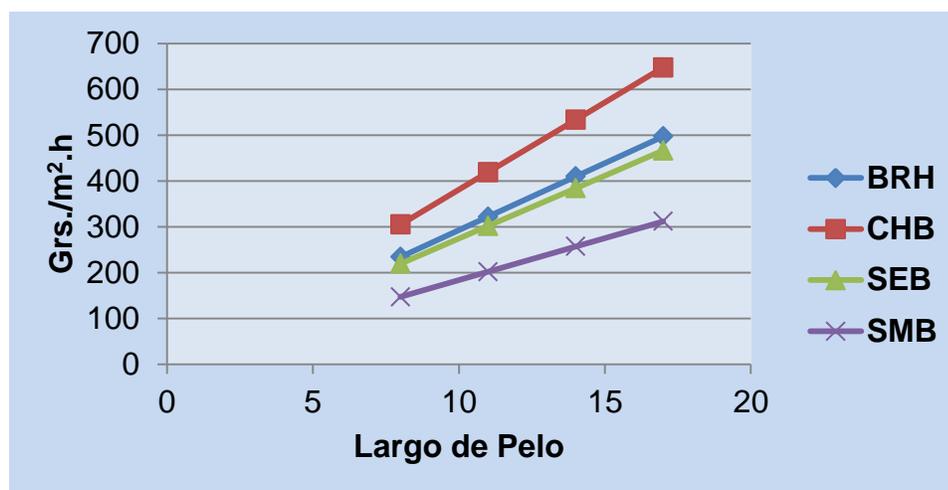
GRÁFICA XII RELACIÓN DE LA TASA DE SUDORACIÓN CON EL ITH

La temperatura rectal aumentó para todos los GR a medida que aumentó el LP, sin embargo, no hay diferencias para los BRH, SEB y en los CHB siendo estos los más afectados por un incremento del LP (Gráfica XIII).



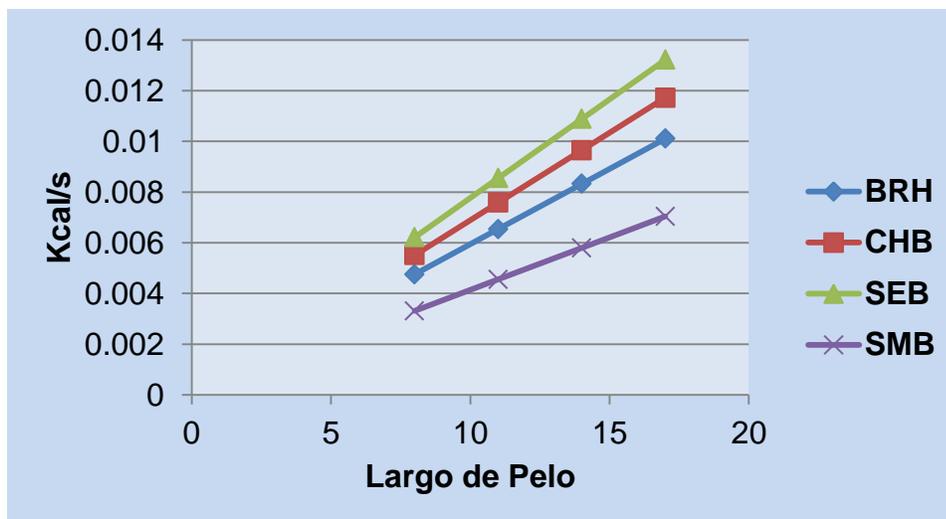
GRÁFICA XIII RELACIÓN DE LA TR CON EL LARGO DE PELO.

Todos los GR mostraron un aumento debido al mayor LP en relación a la tasa de sudoración esto debido a un mayor incremento de su temperatura corporal que ocasiona un mayor LP, sin embargo hubo diferencia entre GR con excepción del BRH y el SEB(Gráfica XIV).



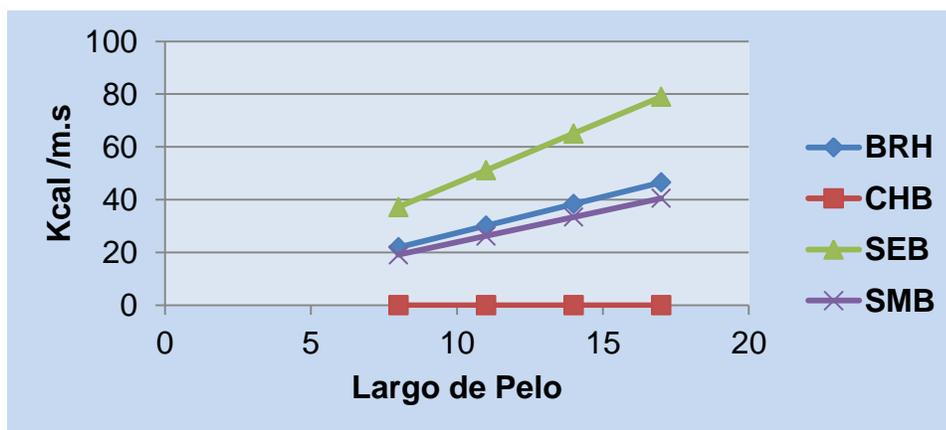
GRÁFICA XIV RELACIÓN DE la TS CON EL LARGO DE PELO

La convección de calor mostró un aumento en comparación con un aumento del LP habiendo una diferencia notable entre el SEB y el SMB. Sin embargo el BRH y el CHB no hay una diferencia notable (Gráfica XV).



GRÁFICA XV RELACIÓN DE LA  $Q_k$  CON EL LARGO DE PELO

La radiación de calor aumentó a medida que el LP aumentaba para el SEB, BRH y el SM respectivamente. Sin embargo para el CHB se mantuvo constante (Gráfica XVI)



GRÁFICA XVI RELACIÓN DE LA  $Q_k$  DE CALOR CON EL LARGO DE PELO

## CONCLUSIONES

- ❖ Las constantes fisiológicas sufren un aumento debido al estrés por calor como parte de los ajustes vitales para mantener la homeostasis. Los GR que estuvieron por fuera de las constantes fisiológicas lo tenemos en el WGB y SMB. Siendo el SEB y el BRH los más estables.
- ❖ El GR SMB fue el de mayor LP, teniendo una significativa relación con la . Siendo el LP un factor de importancia para las explotaciones ganaderas que se encuentran en el trópico ya que este es una característica que determina en cierto grado la adaptación a un determinado ambiente.
- ❖ Existe una significativa relación entre el ITH y el LP con respecto a las características de termorregulación para todos los GR con excepción del CHB que se mantuvo constante en la  $Q_R$  de calor con el LP. La TS aumentó para todos los GR en comparación con el ITH y el LP. La TR aumentó para todos los GR en relación al LP.
- ❖ La TS es el medio principal de disipación calórica en el trópico, esta toma una aceleración cuando la temperatura ambiental pasa de los 30° C y la humedad la favorezca. El GR con mayor TS lo encontramos en el WGB seguido por el CHB, BRH, SMB y el SEB.

## RECOMENDACIONES

- ▶ Para los sistemas de cría y ceba que se desarrollan en el trópico caracterizado por condiciones de alta temperatura y variaciones en la humedad, sabiendo las exigencias del mercado actualmente en cuanto a cantidad y calidad del producto éstas serían mis recomendaciones:
  - ✓ Utilizar un sistema de cruzamiento entre razas *Bos taurus* y *Bos indicus* conjuntamente con un programa de selección para escoger los mejores animales que presenten características ideales para el trópico, como lo son largo y color de pelo.
  - ✓ Colocar sombra (natural o artificial) en el potrero para que los animales puedan protegerse de los rayos solares. Asegurarse de tenerle una buena fuente de agua a los animales en los potreros, ya que es indispensable para la mayoría de los procesos metabólicos y sobre todo de termorregulación.
  - ✓ Utilizar este trabajo como fuente de estudios de estrés calórico y de balance energético.

## BIBLIOGRAFÍA

- ABILAY, T; MITRA, R; JOHNSON, H. 1975. Plasma cortisol and total progesterin levels in Holstein steers during acute exposure to high environmental temperature (42 °C) conditions. *J Anim Sci* 41, 113-117.
- ALLEN, M. 2002. A model of ruminant heat transfer. Dept. of Mechanical Engineering, Prince of Songkla University. Had Yai, Thailandia. 11 pp.
- AMES, D. 1980. Thermal environment affects production efficiency of livestock. *BioScience* 30, 457-460.
- ARIAS, R. 2006. Environmental factors affecting daily water intake on cattle finished in feedlots. Master Thesis, University of Nebraska-Lincoln, Nebraska, USA.
- BAVERA, G; BEGUET, H. 2003. Termorregulación Corporal y Ambientación Cursos de Producción Bovina de Carne FAV UNRC. Documento obtenido en internet el 15 de mayo del 2008 disponible en la siguiente dirección: [www.produccion-animal.com.ar](http://www.produccion-animal.com.ar) o [www.produccionbovina.com](http://www.produccionbovina.com).

- BEEDE, D; COLLIER, J.1986. Potential nutritional strategies for intensively managed cattle during thermal stress. *Journal of Animal Science*. Vol. 62: 543-548.
- BERMAN, A.1992. Upper critical temperature and forced ventilation effects for high yielding dairy cows in subtropical climate. *J.Dairy Sci*. 68 p 14-88.
- BIANCA, W.1968. Thermoregulation. In Hafez E.S. E., (ed). *Adaptation of domestic animals*. Lea et Fébiger, Philadelphie. p 97-118
- BIANCA, W.1963. Rectal temperatura and respiratory rate as indicators of heat tolerance in cattle. *Journal of Agricultural Science*. Vol. 60:113-116.
- BLACKSHAW, J; BLACKSHAW, A.1994. Heat stress in cattle and the effect of shade on production and behaviour: a review. *Aust J Exp Agric* 34, 285-295.
- BLAXTER, K.1989. *Metabolismo energético de los rumiantes*. Ed. Acribia, Zaragoza.
- BLAXTER, K; BOYNE, A.1978. The estimation of nutritive value of feeds as energy source for ruminants and the derivation of feedingsystems. *J. Agric. Sci (Camb.)* 90: 47-68.
- BONSMA, J. 1973. Breeding cattle for increased adaptability to tropical and subtropical environments. *Journal of Agricultural Science*, 39:204-221
- BROWN, T; EIGENBERGR, R; HAHN, G; NIENABER, J; MADER, T. PARKHURST, A. 2005. Analyses of thermoregulatory responses of feeder cattle exposed to simulated heat waves. *Int J Biometeorol* 49, 285-296.

- BROSH, A; AHARONI, Y; DEGEN, A; WRIGHT, D; YOUNG, A. 1998. Effects of solar radiation, dietary energy, and time of feeding on thermoregulatory responses and energy balance in cattle. *J Anim Sci* 76, 2671-2677.
- CABALLERO, S; OCAMPO, L; LÓPEZ, H. 1995. El uso de la somatropina bovina recombinante (STBr) durante el estrés calórico en el ganado bovino. *Técnica Pecuaria en México*. Vol. 33. Nº 3: 168-178.
- COLLIER, R; DAHL, G; VANBAALE, M., 2006. Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. *J Dairy Sci* 89, 1244-1253.
- CHRISTISON, G; JOHNSON, H. 1972. Cortisol turnover in heat-stressed cows. *J Anim Sci* 35, 1005-1010.
- CUNNINGHAM, M; ACKER, Y. 2000. *Animal Science and Industry*. Six Edition. Prentice Hall
- CURTIS, S. 1981. Environmental management in animal agriculture. *Animal Environmental Services*. Iowa State University Press. Illinois. EEUU. pp. 53-57.
- DA SILVA, R. 2006. Weather and climate and animal production. In: Update of the guide to agricultural meteorological practices. WMO-No.134 published in 1982.
- DE ALENCAR NÃÃS, I. 1989. PrincÍpios de conforto térmico na produção animal. Editora Icone. Coleção Brasil Agrícola. São Paulo, Brasil. 183p.
- DE DIOS, V. 2001. *Ecofisiología de los bovinos en Sistemas de Producción del Trópico Húmedo*. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Colección José N. Rovirosa. UJAT. 376 pp.

- DRAPER, N; SMITH, H.1981. Applied regression analysis. 2nd Edition. John Wiley & Sons Inc. New York, USA. 70
- ECHEVARRÍA, A; MIAZZO, R. 2002. El ambiente en la producción animal Cursos de Producción Animal, FAV UNRC. Pagina revisada en internet el 15 de mayo del 2008 disponible en la siguiente dirección: [www.produccion-animal.com.ar](http://www.produccion-animal.com.ar)
- ETESA.2005. Estación Meteorológica de Etesa-Gualaca. Informes sin publicar.
- FINCH, V. 1986. Body temperature in beef cattle: its control and relevance to production in the tropics. Journal of Animal Science. Vol. 62:531-542.
- FINDLAY, J. 1950. Los efectos de temperatura, humedad, movimiento del aire y radiación solar sobre la fisiología y comportamiento de los animales de granja. Hannah Dairy Research. Institute, Bull. Nº 9.
- FRYER, H; MARION, G; FANNER, E.1958. Nonreturn rates of artiicially inseminated dairy cows as affected by age of semen, bred of bull and season. J. Dairy Sci. 41:987.
- GUERRA, P; QUIEL, R. 2002. Programa de mejoramiento genético para hatos Cebú en sistemas de Cría y Ceba. En: Seminario Internacional de Reproducción y Mejoramiento Genético en Bovino. JICA-FCA-UP-PROMEGA. 18 al 20 de septiembre de 2002. 35p.
- GUERRA, P; DE GRACIA, M; DE GRACIA, M; QUIEL, R; DEL CID, IVÁN.2004. Tolerancia térmica de animales cebú y sus cruces en sistemas de ceba en pastoreo, en el bosque húmedo tropical. Revista Nº 17 del Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Panamá, p-p: 75-106.

- GONZÁLEZ M, R. 2001. El estrés calórico y su repercusión endocrina y reproductiva en el ganado bovino de leche y carne en el trópico. Panamá: Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Dip. 2001.- (Maestría en producción Animal) pp:10-45.
- HABEEB, A; MARAI, I; KAMAL, T.1992. Heat stress. In: Phillips C, Piggins D (eds). Farm animals and the environment. CAB International, Wallingford, UK, pp 27-47.
- HAFEZ, E.1973. Adaptación de los animales domésticos. Editorial Labor-Barcelona. pp: 85-368
- HALL, J; BRANTON, C; STONE, E. 1959. Estrus, estrous cycles, ovulation time, time of service, and fertility of dairy cattle in Louisiana. J. Dairy Sci;42: 1086.
- HAMMOND, A; OLSON, T; CHASE, C; BOWERS, E; RANDEL, R; MURPHY, C; VOGT, D; TEWOLDE, A. 1996. Heat tolerance in two tropically adapted Bos taurus breeds, Senepol and Romosinuano, compared with Brahman, Angus, and Hereford cattle in Florida. Journal of Animal Science. Vol. 74:295-303.
- HAHN, G; MADER, T.1997. Heat waves and their relation to thermoregulation, feeding behavior and mortality of feedlot cattle. Proc 5th Int Livestock Environ Symp, Minneapolis, USA, American Society of Agricultural Engineers (ASAE), St. Joseph, MO, pp 563-567.
- HAHN, G; MADER, T; EIGENBERG, R. 2003. Perspectives on development of thermal indices for animal studies and management. Proc Symp

- Interactions between climate and animal production, EAAP Technical series N° 7, pp 31-44.
- JOHNSON, H. 1987. Bioclimates and livestock. In: Johnson HD (ed). World Animal Science B5 Bioclimatology and the adaptation of Livestock, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, Netherlands, pp 3-16.
- KENNEDY, P. 1995. Comparative adaptability of herbivores to tropical environments. In: M. Journet, E. Grenet, M. - H. Farce, M. Thériez, C. Demarquilly (eds.). Recent developments in the Nutrition of Herbivores. Proceedings of the 14th International Symposium on the Nutrition Herbivores, 309 - 328. INRA Editions, Paris.
- LOUNS, N. 1993. Physiological Animal Ecology. Longman Scientific and technical. Londres. pp 1-31.
- KHALIFA, H. 2003. Bioclimatology and adaptation of farm animals in a changing climate. In: Interactions between climate and animal production. Proc Symp, EAAP Technical series N° 7, pp 15-29.
- MCDOWELL. 1974. Bases biológicas de la producción animal en zonas tropicales. Editorial Acribia, Zaragoza, España.
- MCMNUS, C; PALUDO, G; LOUVANDINI, H; GARCÍA, J; EGITO, A; MARIANTE, A. 2005. Heat Tolerance in naturalised cattle in Brazil : Physical Factors. Revista científica de América Latina y del Caribe, España y Portugal. pp: 453-458.
- MADER, T. 2003. Environmental stress in confined beef cattle. J Anim Sci 81, E110-E119.

- MADER, T; DAHLQUIST, J; HAHN, G. 1997. Wind protection effects and airflow patterns in outside feedlots. *J Anim Sci* 75, 26-36.
- MAGDUB, A; JOHNSON, H; BELYEA, R. 1982. Effect of environment heat and dietary fiber on thyroid physiology of the lactating cows. *Int J Biometeorol* 25, 2323-2329.
- MARTINOLLI, C. 1925. El pelaje y la adaptación al medio. *Zootecnia General*, Bs.As. Capitulo VII. Página revisada en internet el 22 de marzo del 2008 disponible en la siguiente dirección: [www.produccion-animal.com.ar](http://www.produccion-animal.com.ar)
- MEAT AND LIVESTOCK. 2002. Understanding excessive heat load in feedlot cattle. On farm tips & tools. Feedlot FL11, Australia.
- MENDOZA M, G; PINOS R, J; RICALDE, V. 2003. Modelo de simulación para estimar el balance calórico de bovinos en pastoreo. *INCI*, vol.28, no.4, p.202-207. ISSN 0378-1844.
- MIRANDA, F. 1997. Alojamiento para ganado porcino. Mira Editores. España
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 1976. Nutrient requirements of domestic animals. N°4. Nutrient requirements of beef cattle. 5th Revised Ed. National Academy of Sciences - NRC. Washington, D.C. USA. 92p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 1981. Effect of environment on nutrient requirement of domestic animals. National Academy Press. Washington DC, USA.
- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. 1976. Livestock hot weather stress. Regional Operations Manual Setter C: US

Department of Commerce. NOAA. National Weather Service Central region, Kansas City, Missouri. pp. 31-76.

NIENABER, J; HAHN, G; BROWN, T; EIGENBERG, R. 2003. Heat stress climatic conditions and the physiological responses of cattle. 5th International Dairy Housing Proceedings of the 29-31 January Conference, Fort Worth Texas, USA. ASAE publication N° 701P0203, pp. 255-262.

OLSON, T. 1999. Control genético de la tolerancia al calor en ganado bovino: Evidencia de la existencia de un gen mayor que afecta la longitud del pelo y la tolerancia al calor en ganado *Bos taurus*. Conferencia Internacional de Ganadería. Animal Science. University of Florida, Gainesville, USA. 9p.

RAVAGNOLO, O; MISZTAL, I; HOOGENBOOM. 2000. Genetic component of heat stress in dairy cattle, development of heat index function. *Journal of Dairy Science*. Vol., 83:2120-2125.

RENAUDEAU, D. 2005. Effects of short-term exposure to high ambient temperature and relative humidity on thermoregulatory responses of European (Large White) and Caribbean (Creole) restrictively-fed growing pigs. *Anim Res* 54, 81-93.

RIEMERSCHMID, G; ELDER, J. 1945. Calidad absorbente para la radiación solar, propia del color del pelaje del ganado vacuno. *Onderst J. Res.Sci. Animal Industry* 20 225-234.

RICHARDS, SA. 1973. Temperature regulation. Wykeham Publications, London, Great Britain, pp 212.

- SEARLE, R. 1971. Linear models. 1st Edition. John Wiley & Sons Inc. New York, USA. 532p.
- SEVI, A; ANNICCHIARICO, G; ALBENZIO, M; TAIBI, L; MUSCIO, A; DELL'AQUILA, S. 2001. Effects of solar radiation and feeding time on behavior, immune response and production of lactating ewes under high ambient temperature. *J Dairy Sci* 84, 629-640.
- SCHLEGER, A; TURNER, H.1965. Sweating rate of cattle in the field and their reaction to diurnal and seasonal changes. *Aust. J. Agric. Res.* 16:92-106.
- SILANIKOVE, N. 2000. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livest Prod Sci* 67, 1-18.
- SPRINKLE, J; HOLLOWAY, J; WARRINGTON, B; ELLIS, W; STUTH, J; FORBES, T; GREENE, L. 2000. Digesta kinetics, energy intake, grazing behavior, and body temperature of grazing beef cattle differing in adaptation to heat. *J. Anim. Sci.* 78: 1608-1624.
- STEEL, R; TORRIE, J.1980. Principles and procedures of statistics: A biometrical approach. 2nd Edition. McGraw Hill Company. New York, USA. 631p.
- STOH, G; WILLIAMS, R.1962. Causes of low breeding efficiency in dairy cattle associated with seasonal high temperature. *Anim. Sci.* 45:1369.
- TIPPENS, P. 1980. Física, conceptos y aplicaciones. 3ª Edición. McGraw-Hill Company. New York, USA. 930p.
- TURNER, H. 1984. Variation in rectal temperature of cattle in a tropical environment and its relationship to growth rate. *Animal Production*. Vol. 38:417-427.

- ULBERG, L. AND BURFENING, P. 1967. Embryo death resultin froro adverse environmental on spennatazoa nr ova. J. Anim. Sei. 26:571.
- WEST, J. 1994. Interactions of energy and bovine somatropin with heat stress. Journal of Dairy Science. Vol. 77:2091-2096.
- WEST, J. 2003. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. J Dairy Sci 86, 2131-2144.
- WILLMER, P; STONE, G; JOHNSTON, I. 2000. Environmental physiology of animals: Temperature and its effects. 1st Edition. Blackwell Science Ltd. Maryland, USA. pp. 192-245.
- YOUSEF, M. 1985. Stress Physiology: Definition and terminology. In: Yousef MK (ed). Stress physiology in Livestock Volume I Basic Principles. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, pp. 3-8.





FIGURA 4 MEDICIÓN DE LA TS CON EL MÉTODO DE SCHLEGER Y TURNER (1965).



FIGURA 5 DETERMINACIÓN DE LA TS EN EL SEBR 50%.



FIGURA 6 DISTINTOS TIPOS DE COLORACIONES EN LA PIEL.



FIGURA 7 DETERMINACIÓN DE LA FRECUENCIA CARDÍACA



FIGURA 8 PIE DE REY UTILIZADO PARA MEDIR EL GROSOR DE PIEL.