

HETEROTERMIA Y GRADIENTE CALÓRICA SECTORIAL DIURNA DEL COMPLEJO ESCROTO-TESTICULAR EN TOROS FLECKVIEH BAJO ESTRÉS CALÓRICO EN LA ÉPOCA SECA EN EL TRÓPICO

Edil Enrique Araúz¹, Reinaldo de Armas¹, Nelson Santamaría¹,
Luis Cuevas¹, Richard Mudarra¹*



¹Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Zootecnia.

 *edilenriquea@gmail.com, reinaldo.dearmas@up.ac.pa, ponacha@cwpanama.net, lucho19-@hotmail.com, ramh9327@gmail.com

RESUMEN

La heterotermia escrotal sectorial y el comportamiento fisiológico respiratorio y térmico rectal y tegumentario fueron evaluados en seis toros Fleckvieh (26 a 30 meses) estabulados para establecer la influencia diurna del ITH en la época seca. La temperatura escrotal sectorial cambió según el horario diurno ($P < 0.001$) al incrementarse el ITH ($P < 0.001$) de 78.9 (am) a 87.46 (md). La temperatura rectal fue 38.45 ± 0.24 (am), 39.20 ± 0.21 (md) y $38.87 \pm 0.24^\circ\text{C}$ (pm) y la frecuencia respiratoria 42.67 ± 7.45 , 68.67 ± 5.89 y 60.33 ± 3.27 mrpm ($P < 0.001$); confirmando las alteraciones fisiológicas por el estrés calórico. La temperatura sectorial del eje escrotal se modificó en la base ($P < 0.01$), plexo pampiniforme ($P < 0.05$), zona craneal ($P < 0.10$) y caudal del epidídimo ($P < 0.05$) y en el cuerpo testicular ($P < 0.10$); modificando la heterotermia escrotal modificada. La gradiente calórica máxima fue -7.18 (am), -6.60 (md) y -7.60°C (pm). El flujo calórico por radiación fue -2.715 (pm), 0.260 (md) y -1.249 kcal/h (pm) y por convección libre -0.265 , 0.116 y -0.225 kcal/h. La transición térmica escrotal de la mañana al medio día mostró una sobrecarga calórica de $+1.65^\circ\text{C}$ (base escrotal), $+1.28^\circ\text{C}$ (cono pampiniforme), $+1.02^\circ\text{C}$ (cabeza del epidídimo), $+1.0^\circ\text{C}$ (testículo) y $+1.33^\circ\text{C}$ (cola del epidídimo). El sector escrotal alrededor del testículo mostró la menor alteración térmica por el estrés calórico; sin embargo, la base y el cono pampiniforme fueron los sectores más alterados térmicamente. El mayor ITH diurno estuvo correlacionado con el incremento de la temperatura sectorial, disminución de la termólisis pasiva y generación de la hipertermia escrotal; representando un riesgo térmico y bioquímico para la fisiología testicular, procesos endocrinos locales, espermatogénesis y fertilidad en toros Fleckvieh en la fase diurna de la época seca en el clima tropical.

PALABRAS CLAVES: escroto, estrés calórico, Fleckvieh, ITH, temperatura escrotal, testículo.



SCROTAL TEMPERATURE AND SECTORIAL CALORIC GRADIENT IN THE SCROTAL – TESTICULAR COMPLEX IN FLECKVIEH BULLS CRONICALLY ADAPTED TO HEAT STRESS DURING SUMMER TIME IN THE TROPICS

ABSTRACT

The scrotal temperature and its sectorial caloric gradient and physiological performance as the respiratory index, rectal and epidermal temperature were studied in six Fleckvieh bulls (age 26 to 30 months) to establish the influence of daily THI during summer time. Sectorial scrotal temperature changed across daytime ($P < 0.001$) when THI increased from 78.9 in the morning to 87.46 at middle day ($P < 0.001$). Rectal temperature were 38.45 ± 0.24 (morning), 39.20 ± 0.21 (middle day) and $38.87 \pm 0.24^\circ\text{C}$ (afternoon) and respiratory frequency were 42.67 ± 7.45 , 68.67 ± 5.89 and 60.33 ± 3.27 breaths per minute ($P < 0.001$) across daytime ($P < 0.001$); confirming the physiological alterations by heat stress. Sectorial scrotal – testicular axis showed different temperatures across daytime in the base ($P < 0.01$), pampiniforme cone ($P < 0.05$), cranial zone of epididimus ($P < 0.10$), testicular body ($P < 0.10$) and at tail of epididimus ($P < 0.05$); indicating that sectorial scrotal heterothermy was modified. Maximum thermal scrotal gradient were -7.18 (am), -6.60 (md) and -7.60°C (pm). Radiant caloric flux across daytime were -2.715 (am), 0.260 (md) and -1.249 kcal/h (pm) and convective caloric flux were -0.265 (am), 0.116 (md) and -0.225 kcal/h (pm). Thermal scrotal transition from morning to middle day showed the sectorial caloric overload of $+1.65^\circ\text{C}$ (scrotal base), $+1.28^\circ\text{C}$ (pampiniforme cone), $+1.02^\circ\text{C}$ (head of epididimus), $+1.0^\circ\text{C}$ (testis) and $+1.33^\circ\text{C}$ (tail of epididimus). Scrotum around testis showed the smallest thermal alteration; however, the base and pampiniforme cone were thermally most altered. The highest daily THI was correlated to thermal alteration, passive thermolytic reduction and hyperthermy in the scrotum and testis; representing thermal and biochemical risks for testis's physiology, local endocrine process, spermatogenesis and fertility in Fleckvieh bulls under daily heat stress in the tropics.

KEY WORDS: escrotum, heat stress, Fleckvieh, THI, scrotal temperature, testis.

INTRODUCCIÓN

El medio tropical durante la época seca determina las condiciones físicas y atmosféricas que conducen al estrés calórico; el cual genera alteraciones en la fisiología, el potencial de producción y el ciclo de vida. La homeostasis térmica en los homeotermos conjuga varios mecanismos integrados por el sistema nervioso, las hormonas y el propio metabolismo; permitiendo el contraste de las pérdidas, generaciones y el balance calórico momentum (Dikmen y Hansen, 2009; Yousef, 1985). La regulación de la temperatura corporal orienta los procesos, mecanismos y acciones sistémicas para mantener casi



constante la temperatura corporal; aun cuando se produzcan variaciones en la termogénesis y termólisis (Dukes y Sweenson, 1995). Dentro de la homeotermia, ocurre la heterotermia corporal en los animales homeotérmicos – endotérmicos con diferencias sectoriales en la carga calórica del tegumento, músculos y órganos vitales (McNab, 2001; Setchell, 1998). La temperatura corporal en el ganado europeo tipo leche es de 38.0 a 39.3°C con una media de 38.6°C y en el ganado europeo tipo carne de 37.7 a 39.1°C con media de 38.3°C (Andersson, 1984; Fraser *et al.*, 1993); sin embargo, las mayores variaciones térmicas corporales ocurren en la fase diurna por la influencia ambiental (Araúz *et al.*, 2010; 2017).

Termorregulación del sistema reproductor del bovino

El testículo y el complejo escrotal poseen el sistema termorregulatorio local adaptado para mantener la temperatura testicular de 4 a 6°C por debajo de la temperatura corporal en normotermia (Kastelic y Hopper, 2013). El mantenimiento térmico testicular depende del tegumento escrotal, de los músculos de dartos y cremaster y de los vasos sanguíneos arteriales y venosos con un flujo calórico arterial superior a la retención calórica; facilitando la termólisis vascular (Setchell, 1998; Slimen *et al.*, 2016). La relación anatómica y topográfica ubica a los testículos de los bóvidos en una posición especial alejada del núcleo térmico corporal y de la zona calórica mesentérica que permite unos 4 a 7°C centígrados por debajo de la temperatura corporal (Kastelic y Hopper, 2013; Hafez, 1973). La gradiente térmica del complejo escroto - testicular presenta sectores desde la temperatura corporal (39.8°C), sangre arterial (39.6°C), interior del vaso espermático (38.6°C), músculo cremaster (36.4°C) y vasos testiculares (33.0°C) hasta el núcleo testicular 33.0°C (Kastelic *et al.*, 1997; Hafez, 1973). Estas diferencias térmicas facilitan la termorregulación escroto testicular para mantener la hipotermia regional sectorial (Arauz, 2014; Kastelic *et al.*, 1996; Waites, 1970).

Las alteraciones térmicas en el saco escrotal y los testículos han sido asociados con anomalías en los espermatozoides debido a los efectos del estrés oxidativo y a las implicaciones en las células espermatogénicas al alterarse el ADN y producirse la muerte por apoptosis (Murray *et al.*, 2008; Paul *et al.*, 2008, 2009; Pérez-Crespo *et al.*, 2008; Roth, 2015).

Plexo arterio-venoso, perfil circulatorio y dinámica biotérmica escroto – testicular

La regulación de la temperatura en los testículos, tejidos y elementos adyacentes en el complejo escroto – testicular depende de la circulación regional y del contraste arterio – venoso ajustado por la hemodinámica y estática del flujo sanguíneo en el plexo pampiniforme y músculos según la sectorización térmica testicular (Kastelic *et al.*, 2017; Senger, 1997). La cinética circulatoria se



desarrolla para mantener la hipoxia testicular sin producir alteraciones en el metabolismo y mantener la espermatocitogenesis, nutrición celular y maduración de los espermatozoides (de Armas, 2013).

El incremento de la temperatura testicular conduce a la hipertermia regional con un flujo sanguíneo en la arteria testicular de 12.4 ml/min (13.13 g/min); produciendo cambios en la tasa metabólica y en el consumo de oxígeno (Kastelic y Hopper, 2013). Las ramas arteriales y los músculos que termorregulan los testículos y el escroto son múltiples (Kastelic *et al.*, 2017; Senger, 1997). La anastomosis arterio-venosa en los testículos y el plexo pampiniforme definen el suministro y secuestro calórico vascular (Kastelic, 2013; khalifa y Noor, 2017). Sin embargo, la temperatura escrotal es influenciada por la temperatura ambiental; encontrándose que la región superior, media e inferior presentan 36.5, 36.3 y 34.8°C a una temperatura ambiental de 25°C; mientras que, a 15°C, las temperaturas son 34.3, 33.4 y 31.7°C (Kastelic *et al.*, 1997).

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del estudio, área geográfica y entorno climático

El estudio fue desarrollado entre marzo y abril del 2016 en las facilidades del Proyecto Bovino de Carne en la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Corregimiento de Chiriquí, Distrito de David, Provincia de Chiriquí; a una altitud de 26 msnm, entre las coordenadas 8°23'17.86" latitud norte y 82°19'50.80" longitud oeste, con un clima tropical húmedo de sabana (Aw).

Animales experimentales, condición corporal y estado hematimétrico

Se evaluaron seis toros de la raza Fleckvieh entre 26 y 30 meses de edad, todos productos de la transferencia de embriones con la identificación: 64/3, 65/3, 29/3, 44/3, 36/3 y 42/3. La condición corporal fue establecida según Kalabeski y Catti (2013), Herd y Sprott (1998) y Ocampo (2016), y el análisis hematimétrico se realizó según Fraser *et al.* (1993) mediante el analizador hematológico automatizado MINDRAY 3000Plus.

Peso corporal, peso metabólico, superficie corporal, alimentación y manejo

El peso corporal fue determinado por perimetría torácica según Coburn y Co (2008) y por pesaje digital. El peso metabólico fue generado según NRC (2001) y la superficie corporal estimada según Curtis (1981). Se utilizó ensilaje integral de maíz a razón de 13.61 kg/día, alimento concentrado 2.72 kg/día y agua a voluntad. El consumo diario ajustado de ensilaje fue 11.48 kg/día según el sobrante diario de 2.13 kg/animal; aportando 6.82 kg de materia seca/día, 0.695 kg de proteína total/día y 10.08 Mcal de EM/día.



Caracterización microambiental y presión calórica ambiental

El entorno microambiental fue evaluado dentro de la galera de estabulación en la fase diurna en la mañana (6:15 a 7:15 am), medio día (12:15 md a 1:15 pm) y tarde (6:15 a 7:15 pm) en la 3^{ra} y 4^{ta} semana de marzo y en la 1^{ra} semana de abril en el 2016 mediante psicrometría directa (Araúz, 2016; Curtis, 1981; Martínez, 2016) y la presión calórica ambiental se obtuvo mediante el ITH (Armstrong, 1994; Dikmen y Hansen, 2009; Mader *et al.*, 2006; NOAA, 2010, 2014).

Determinación de la temperatura escrotal sectorial

La temperatura escrotal se midió en la base, plexo pampiniforme, área craneal del epidídimo, centro del cuerpo testicular y zona caudal del epidídimo por termometría laser en los horarios de AM (6:15 – 7:15), MD (12:15 – 1:15) y PM (6:15 – 7:15).

Determinación de los indicadores fisiológicos, biotérmicos y de flujo calórico

La frecuencia cardiaca y respiratoria fueron establecidas por estetoscopia directa (Fraser *et al.*, 1993), la Temperatura Rectal (°C) por termometría (Equipo HANNA, modelo HI9040) y la temperatura tegumentaria pre escapular (°C) por termometría láser a 40cm sobre la piel (Termómetro laser NUBEE NUB8380). La longitud del eje escrotal fue medida por el método central seccionado según (Araúz, 2015). El flujo calórico escrotal se estableció; utilizando la superficie escrotal, el coeficiente de Steffan-Boltzmann $4.93 \times 10^{-8} \text{ kcal/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}^4 \text{ H}$, el coeficiente convectivo atmosférico de $6.20 \times 10^{-3} \text{ cal/cm}^2 \text{ } ^\circ\text{C min}$ y el diferencial térmico ambiente – tegumento (Araúz, 2018, 2018a; Curtis, 1981).

Diseño experimental y análisis estadístico

Las fuentes de variación fueron el horario diurno y las covariables peso corporal, superficie escrotal, hemoglobina y el índice de temperatura - humedad. Se utilizó el diseño dividido en tiempo modificado más covarianza múltiple según el modelo lineal aditivo:

$$Y_{ijk} = u + A_i + b_1 (T_{ij} - \hat{u}_1) + b_2 (X_{ij} - \hat{u}_2) + b_3 (W_{ij} - \hat{u}_3) + b_4 (Z_{ij} - \hat{u}_3) + e_{ikj} \quad \text{donde}$$

Y_{ijk} = variables fisiológicas y biotérmicas (tr, fc, fr, tt, tet)

u = Media general, A_i : son los horarios del muestreo fisiológico y térmico ($k^{mo} = 1$ (6: 15 a 7:15 am), 2 (12:15 a 1:15 pm) y 3 (6:15 a 7:15 pm); $b_1(T_{ij} - \hat{u}_1)$ es el peso corporal de los toros, $b_2 (X_{ij} - \hat{u}_2)$ es la superficie escroto - testicular total (cm^2), $b_3 (W_{ij} - \hat{u}_3)$ es la concentración de hemoglobina ($\text{g}/100 \text{ ml}$) y $b_4 (Z_{ij} - \hat{u}_4)$ es el ITH para bovinos y e_{ijk} = Residuo. Se utilizó el Arreglo Factorial más covarianza múltiple para la carga térmica sectorial escrotal modelo lineal:



$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_k + (AB)_{ik} + b_1 (T_{ijk} - \bar{u}) + b_2 (X_{ijk} - \bar{u}) + b_3 (W_{ijk} - \bar{u}) + b_4 (Z_{ijk} - \bar{u}) + e_{(ijkl)}$$

Y_{ijk} = Temperatura escrotal en el toro j^{mo} en el horario i^{mo} según el sector escrotal k^{mo} .

μ : Media general, A_i : son los horarios del muestreo fisiológico y térmico ($k^{mo} = 1$ (6: 15 a 7:15 am), 2 (12:00 a 1:15 pm) y 3 (6:15 a 7:15 pm)), B_k : Sectores escrotales ($k^{mo} =$ base (1), cono pampiniforme (2), zona craneal del epidídimo (3), cuerpo testicular (4) y zona caudal del epidídimo (5)), $b_1(T_{ij} - \hat{u}_1)$ es el peso corporal, $b_2 (X_{ij} - \hat{u}_2)$ es la superficie escroto - testicular total (cm^2), $b_3 (W_{ij} - \hat{u}_3)$ es la hemoglobina (g/100 ml), $b_4 (Z_{ij} - \hat{u}_4)$ es el ITH para bovinos y e_{ijk} es el Residuo. Las medias cuadradas fueron ajustadas por covarianza, comparadas por Tukey y la tendencia genérica diurna por regresión polinomial (Herrera y Barreras, 2000; Gill, 1978; Wilcox, 1986) a través del Programa SAS (2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones microambientales, presión calórica ambiental y grado del estrés calórico

El microambiente según se aprecia en la Tabla 1, en la mañana fue el más confortable para los bovinos según la temperatura ambiental (28.2°C), humedad relativa (72%) y el ITH (78.9); periodo que mostró una presión calórica ligera según Dikmen y Hansen (2009). El entorno al medio día mostró una temperatura ambiental de 35.2°C y 63% de humedad relativa con un ITH de 87.46. La presión calórica disminuyó ligeramente durante las horas de la tarde; alcanzando 31.6°C y 82% de humedad relativa y un ITH de 85.38 en la tarde; con una tendencia genérica diurna curvo lineal ($P < 0.001$).

Tabla 1. Indicadores del entorno micro climático dentro del área de estabulación.

Indicador Microclimático	Unidad	Horario del muestreo microclimático		
		6:15 – 7:15 AM	12:00 – 1: 15 MD	6:15 a 7:15 PM
Temperatura del aire Bulbo seco*	°C	28.2	35.2	31.6
Temperatura del aire Bulbo Húmedo*	°C	24.3	28.2	28.2
Humedad Relativa*	%	72	62	82
Entalpia*	KJ/kg as	91	110	108
Volumen Específico*	M ³ /kg as	0.876	0.902	0.885
Radio de Humedad*	g H ₂ O/kg as	17.5	21.8	22.5
Presión de Vapor de Agua*	mmHg	19.8	25	27.2
Indice Temperatura – Humedad (ITH) [†]	°C %	78.90	87.46	85.38
Diferencial ITH AM – MD y AM - PM			+8.56	+6.48
Diferencial ITH MD - PM				-2.0

* (Según Curtis, (1981) y NOAA (2010, 2014). (Según Mader *et al.*, 2006).

La mayor presión calórica al medio día modificó el balance calórico general, la termorregulación y generó la hipertermia e hipernea. Estos resultados indican que se debe utilizar medidas preventivas para evitar el estrés calórico tropical (Araúz, 2006; Arias *et al.*, 2008) y a su vez minimizar las pérdidas económicas (St-Pierre *et al.*, 2003) debido a los efectos en la reproducción (Jordan *et al.*, 2003).



Estado fisiológico de los reproductores, dimensiones escrotales y biotermia

El hematocrito venoso (31.7%), la hemoglobina (10.56 g/100 ml) y el conteo de eritrocitos (5.81 millones/ml) indicaron el buen estado de salud de los animales. Sin embargo, la frecuencia respiratoria de 43 mrpm en la mañana fue superior a los 26 mrpm según Fraser *et al.* (1993); y la temperatura rectal presentó una sobrecarga calórica de + 0.45°C (Tabla 2). La circunferencia escrotal fue de 36.5 a 42.8cm; cuyo desarrollo testicular fue apropiado (Boggio, 2008). El péndulo escrotal pretesticular promedio fue 6.65 cm y la longitud del eje escrotal total fue 22.5 cm. La superficie del segmento pretesticular fue 167.28 cm² y en el entorno testicular y del epidídimo fue 636.42 cm²; totalizando 803.75 cm² (ver Tabla 2 y 3); que representó el 1.66% de la superficie corporal para el peso promedio de 493.33 kg.

Tabla 2. Indicadores del perfil biológico de los toros Fleckvieh en la mañana (6:15 am – 7:15 am) antes de la fase circadiana de reto calórico diurno en la época seca.

Indicador Biológico	Identificación de los toros Fleckvieh experimentales						Media
	64/3	65/3	29/3	44/3	36/6-3	24/4	
Peso corporal (kg)	455	469	533	504	489	510	493.33
Peso metabólico (kg ^{3/4})	98.52	100.87	110.93	106.37	103.98	107.32	104.65
Superficie Corporal (M ²)	4.72	4.81	5.19	5.02	4.93	5.06	4.96
Hematocrito Venoso (%)	31.7	31.9	32.0	31.4	30.9	32.7	31.77
Hemoglobina (gr/100 ml)	10.54	10.61	10.64	10.44	10.28	10.87	10.56
Conteo Eritrocítico (millones/ml)	5.76	5.82	5.83	5.74	5.69	6.04	5.81
Frecuencia Respiratoria (No/min)	48	36	52	48	36	36	42.67
Sobre carga respiratoria (No/min)	+22	+10	+26	+22	+10	+10	+16.67
Frecuencia cardiaca (No/min)	60	60	68	48	44	60	56.67
Temperatura Rectal (°C)	38.1	38.3	38.8	38.4	38.5	38.6	38.45
Sobrecarga Térmica (°C)	+0.1	+0.3	+0.8	+0.4	+0.5	+0.6	0.45
Temperatura Pre Escapular (°C)	33.7	33.8	33.9	34.0	33.9	35.3	34.1
Grosor epidérmico (mm)	11.0	11.5	11.0	9.5	10.0	10.6	10.60
Largo pelo dorso lumbar (mm)	10.4	11.4	10.6	12.8	13.0	10.6	11.47

La temperatura rectal promedio en la mañana fue 38.45°C y los extremos proximal y distal del escroto fueron 34.88°C y 31.62°C con un diferencial térmico de – 7.39°C con base a la temperatura rectal (ver Tabla 4) y la gradiente calórica escrotal fue -3.62°C con una reducción calórica tegumentaria de - 0.16°C. La superficie escrotal total fue 803.7 cm² con el flujo calórica por radiación de – 2.756 Kcal/h y por convección de -0.265 Kcal/h en la mañana.



Tabla 3. Indicadores físicos y dimensionales del complejo escroto – testicular en los toros de la raza Fleckvieh.

Indicador Físico Escroto – Testicular	Identificación de los toros experimentales (Fleckvieh)						Media ± DE
	64/3	65/3	29/3	44/3	36/6-3	24/4	
Circunferencia Escroto - Testicular (cm)	42.8	37.3	37.5	38.0	36.5	37.2	38.21 ± 2.10
Diámetro base superior Escrotal PT (cm)	7.5	6.8	6.9	6.2	6.4	6.1	6.65 ± 0.48
Diámetro base inferior Escrotal PT (cm)	8.2	7.3	7.5	7.0	7.2	7.1	7.38 ± 0.39
Diámetro escrotal máx. bitesticular (cm)	15.2	13.3	13.4	13.5	13.1	13.4	13.65 ± 0.71
Diámetro escrotal máx. intertesticular (cm)	8.4	7.3	7.7	8.0	7.7	7.9	7.83 ± 0.33
Diámetro Distal Escroto Testicular (cm)	5.8	5.6	6.1	5.7	5.4	5.5	5.68 ± 0.23
Longitud del eje escroto – testicular (cm)	26	21	22	21	25	20	22.5 ± 2.22
Longitud del Testículo y afines (cm)	16	16	16	17	17	17	16.5 ± 0.50
Longitud del eje pre testicular (cm)	10	5	6	4	8	5	6.33 ± 2.05
Superficie Escrotal Superior. Ajust. (cm ²)	291.01	130.67	160.15	97.87	201.66	122.34	167.28 ± 64.14
Superficie Escrotal Inf. Ajust. (cm ²)	675.63	605.57	624.30	644.15	630.89	638.24	636.42 ± 21.33
Superficie Escroto – Testicular Total (cm ²)	966.64	736.24	784.45	742.02	832.55	760.58	803.75 ± 79.54

Tabla 4. Referentes térmicos en los sectores del eje escroto – testicular en toros Fleckvieh en la mañana durante la época seca en el medio tropical.

Indicador Térmico Escroto – Testicular	Identificación de los toros Fleckvieh experimentales						Media
	64/3	65/3	29/3	44/3	36/6-3	24/4	
Temp. base escrotal (°C)	35.0	35.1	34.8	35.3	35.3	33.8	34.88
Temp. plexo pampiniforme (°C)	34.1	34.9	34.1	34.5	34.6	33.4	34.27
Temp. cabeza del epidídimo (°C)	33.8	33.9	33.8	32.9	33.9	32.9	33.53
Temp. cuerpo testicular (°C)	32.7	33.6	31.8	32.2	33.1	31.4	32.47
Temp. cola del epidídimo	32.4	31.3	31.5	29.5	31.7	31.2	31.26
Gradiente calórica escrotal (°C)	-2.6	-3.8	-3.3	-5.8	-3.6	-2.6	-3.62
Reducción Calórica (°C/cm)	-0.10	-0.18	-0.15	-0.28	-0.14	-0.13	-0.16
Superficie Escrotal Superior (cm ²)	291.01	130.67	160.15	97.87	201.66	122.34	167.28
Superficie Escrotal Inferior (cm ²)	675.63	605.57	624.30	644.15	630.89	638.24	636.42

Alteración térmica corporal y cardiorespiratoria circadiana diurna

La temperatura rectal y epidérmica en el área pre escapular, la frecuencia respiratoria y la frecuencia cardíaca mostraron diferentes magnitudes ($P < 0.001$) según los horarios am, md y pm (Tabla 5). El peso corporal, la hemoglobina, la superficie escrotal total y el índice ITH no afectaron la carga calórica corporal ($P > 0.05$). La temperatura rectal en la mañana fue 38.5°C y la frecuencia respiratoria 42.6 mrpm; resultando superiores al patrón fisiológico (Fraser *et al.*, 1993).

Tabla 5. Análisis de Varianza de la temperatura rectal, temperatura tegumentaria, frecuencia respiratoria y cardíaca en toros Fleckvieh bajo estrés calórico en la fase diurna.

Fuentes de Variación	gl	Cuadrado Medio y Significancia Estadística			
		Temperatura Rectal (°C)	Temperatura Epidérmica (°C)	Frecuencia Respiratoria (npm)	Frecuencia Cardíaca (npm)
Horario	2	0.850 ***	18.55 ***	1057.56 ***	13.33 **
Peso Corporal (kg)	1	0.180 ns	0.03 ns	59.48 ns	1.19 ns
Hemoglobina (g/100 ml)	1	0.002 ns	0.12 ns	5.06 ns	1.46 ns
Superficie Escrotal T. (m ²)	1	0.020 ns	0.09 ns	12.32 ns	0.14 ns
ITH bovinos (° %)	1	0.033 ns	0.43 ns	20.18 ns	0.08 ns
Residuo	11	0.050	0.338	36.94	42.17



*** (Existe diferencia significativa al .1% (P < 0.001). ** Difieren al 1% (P < 0.01) ns (No existe diferencia significativa al 5%).

Las mayores alteraciones fisiológicas ocurrieron alrededor del mediodía según la temperatura rectal y el índice cardiorespiratorio (Tabla 6); sustentando la influencia calórica ambiental diurna y el estrés en la época seca sobre los reproductores Fleckvieh.

Tabla 6. Medias cuadradas ajustadas de los indicadores térmicos y cardiorespiratorios.

Horario Diurno	Temperatura Rectal	Temperatura Epidérmica	Frecuencia Respiratoria	Frecuencia Cardíaca
AM	38.45 ± 0.24 a	34.10 ± 0.59 a	42.67 ± 7.45 a	56.67 ± 8.91 a
MD	39.20 ± 0.21 b	37.05 ± 0.67 b	68.67 ± 5.89 b	76.00 ± 5.66 b
PM	38.87 ± 0.24 a	37.23 ± 0.26 b	60.33 ± 3.27 c	65.50 ± 2.35 c

Medias con letras ab difieren al 0.1% (P < 0.001), ac difieren al 5% (P < 0.05) y con la misma letra no difieren al 5% (P > 0.05).

Tabla 7. Análisis de varianza – covarianza para la temperatura sectorial escrotal en las regiones de importancia histológica y reproductiva en toros Fleckvieh bajo estrés calórico.

Fuentes de Variación	gl	Base del Escroto (°C)	Plexo Pampiniforme (°C)	Zona Craneal Epidídimo (°C)	Cuerpo Testicular (°C)	Cola del Epidídimo (°C)
Horario	2	2.97 **	2.56 *	2.08 +	1.16 +	3.55 *
Peso Corporal (kg)	1	1.68 +	1.04 ns	1.10 ns	3.45 **	3.07 +
Hemoglobina (g/100 ml)	1	0.68 ns	1.57 +	0.00 ns	0.63 ns	0.57 ns
Superficie Escrotal T. (m ²)	1	0.04 ns	0.64 ns	0.12 ns	0.72 ns	1.22 ns
ITH bovinos (° %)	1	0.24 ns	0.12 ns	0.33 ns	0.24 ns	0.09 ns
Residuo	11	0.39	0.37	0.66	0.33	0.79

** Difieren al 1% (P < 0.01); * Difieren al 5% (P < 0.05) y ns (No difieren al 5% (P > 0.05).

Temperatura sectorial, carga calórica y transición térmica escrotal diurna

La temperatura escrotal fue diferente las regiones evaluadas según el horario diurno (P < 0.05), aunque la mayor variación se observó en la zona caudal del epidídimo y el gubernáculo; seguido de la base del escroto (Tabla 7). La inclusión del peso corporal, la superficie escrotal total y el índice temperatura – humedad no contribuyeron en forma covariativa para modificar la temperatura del escroto (P > 0.05). La concentración de la hemoglobina mostró una influencia covariativa en la temperatura escrotal en la región del plexo pampiniforme (P < 0.10); mientras que el peso corporal afectó covariativamente la carga calórica escrotal en el cuerpo testicular (P < 0.01). La concentración de hemoglobina influyó sobre la temperatura del cono pampiniforme; sugiriendo que perfil hematopoyético modifica la carga calórica sectorial en el escroto.

La sobrecarga calórica escrotal fue alterada según los cambios en el ITH desde la mañana (78.9) hacia el mediodía (87.46) y la tarde (85.38). La elevación diurna del ITH alteró la cardiorespiración y el balance calórico corporal; coincidiendo con los efectos reportados por Das *et al.* (2016) y Gupta *et al.* (2016). La hipertermia por estrés calórico afecta las células, tejidos, metabolismo y la fertilidad



(Krishnan *et al.*, 2017; Slimen *et al.*, 2016); reduciendo la productividad ganadera (Polsky *et al.*, 2017; St-Pierre *et al.*, 2006).

La temperatura escrotal en el cuerpo testicular en la mañana, medio día y tarde fue 32.47, 33.47 y 32.47°C; mientras que la temperatura rectal de los animales en los mismos horarios fue 38.45, 39.20 y 38.87°C; lo que indica una diferencia térmica con el cuerpo de -5.98, -5.73 y -6.4°C. Kastelic *et al.* (1995) indica que la temperatura en la superficie escrotal testicular proximal, central y distal fue 30.4, 29.8 y 28.8°C; con una gradiente térmica de 1.6, 0.4 y 0.2°C entre los extremos testiculares. La gradiente térmica escrotal mínima fue -3.57, -2.67 y -3.99°C y la máxima -7.18, -6.60 y -7.60°C; cuando la temperatura ambiental de los horarios fue 28.2 (am), 35.2 (md) y 31.6°C (pm) con un ITH de 78.90, 87.46 y 85.38; cuya presión calórica ambiental fue severa.

Tabla 8. Medias de la temperatura sectorial del eje escrotal en la base (*tet1*), plexo pampiniforme (*tet2*), zona craneal del epidídimo (*tet3*), cuerpo testicular (*tet4*) y zona caudal del epidídimo (*tet5*) en el horario mañana (1), medio día (2) y tarde (3).

Nivel de horario	N	-----sct-----		-----tpe-----		-----tet1-----	
		Media	Dev std	Media	Dev std	Media	Dev std
1	6	0.45000000	0.24289916	34.1000000	0.59665736	34.8833333	0.56361926
2	6	1.18333333	0.19407902	37.0500000	0.67453688	36.5333333	1.09300808
3	6	0.86666667	0.23380904	37.2333333	0.25819889	34.8833333	0.56361926
hor	N	-----tet2-----		-----tet3-----		-----tet4-----	
		Media	Dev std	Media	Dev std	Media	Dev std
1	6	34.2666667	0.52408651	33.5333333	0.49261209	32.4666667	0.82381228
2	6	35.5500000	0.90498619	34.5500000	1.13446022	33.4666667	0.75806772
3	6	34.7000000	0.62289646	33.5333333	0.49261209	32.4666667	0.82381228
		-----tet5-----					
hor	N	Media	Dev std				
1	6	31.2666667	0.96471066				
2	6	32.6000000	0.92520268				
3	6	31.2666667	0.96471066				

El comportamiento térmico fue variado en los sectores escrotales a partir de la lineal base escrotal hasta la zona caudal del epidídimo y gubernáculo; generando una gradiente negativa genérica. La modificación térmica escrotal a lo largo del eje vectorial total evidenció el cambio calórico producido por la influencia del plexo pampiniforme, las masas testiculares y la vectorización calórica vascular (Kastelic *et al.*, 1997, 2017).

La temperatura escrotal aumentó de la mañana (6:00 a 7:15 am) al medio día (12:00 – 1:15 pm) en +1.41°C; mientras que del medio día (12 – 1:15 pm) a la tarde (6:00 a 1.15 pm) descendió en -1.17°C.

La temperatura escrotal sobre el cuerpo testicular fue la menos alterada y su transición am – md fue de +1.02°C y del medio día a la tarde +1.0°C. El sector escrotal adyacente al testículo fue el que mantuvo

la mayor constancia calórica, aun con el mayor ITH (Figura 1). El complejo escrotal y los mecanismos de la termorregulación testicular mantienen la hipotermia regional, aun bajo el estrés calórico ambiental; sin embargo, la hipertermia fue definida durante la mayor presión calórica.

Tabla 9. Medias ajustadas de la temperatura escrotal ajustada según la sección escroto – testicular y el horario circadiano diurno bajo estrés calórico en toros Fleckvieh.

Sector Escroto – testicular	Temperatura escrotal (°C) según el horario diurno		
	Mañana (6:15 a 7:15 am)	Medio Día (12:00 md a 1:15 pm)	Tarde 6:15 a 7:15 pm
Base Escrotal	34.88	36.53	34.88
Plexo Pampiniforme	34.27 (-0.61)	35.55 (-0.98)	34.70 (-1.18)
Zona Craneal Epidídimo	33.53 (-0.74)	34.55 (-1.00)	33.53 (-1.17)
Cuerpo Testicular	32.47 (-1.06)	33.47 (-1.08)	32.47 (-1.06)
Zona Caudal Epidídimo	31.27 (-1.20)	32.60 (-0.87)	31.27 (-1.20)
Gradiente Térmica Escrotal (°C)	-3.61	-3.93	-3.61
Temperatura Rectal (°C)	38.45	39.20	38.87
Gradiente térmica mínima (°C)	-3.57	-2.67	-3.99
Gradiente térmica máxima (°C)	-7.18	-6.60	-7.60

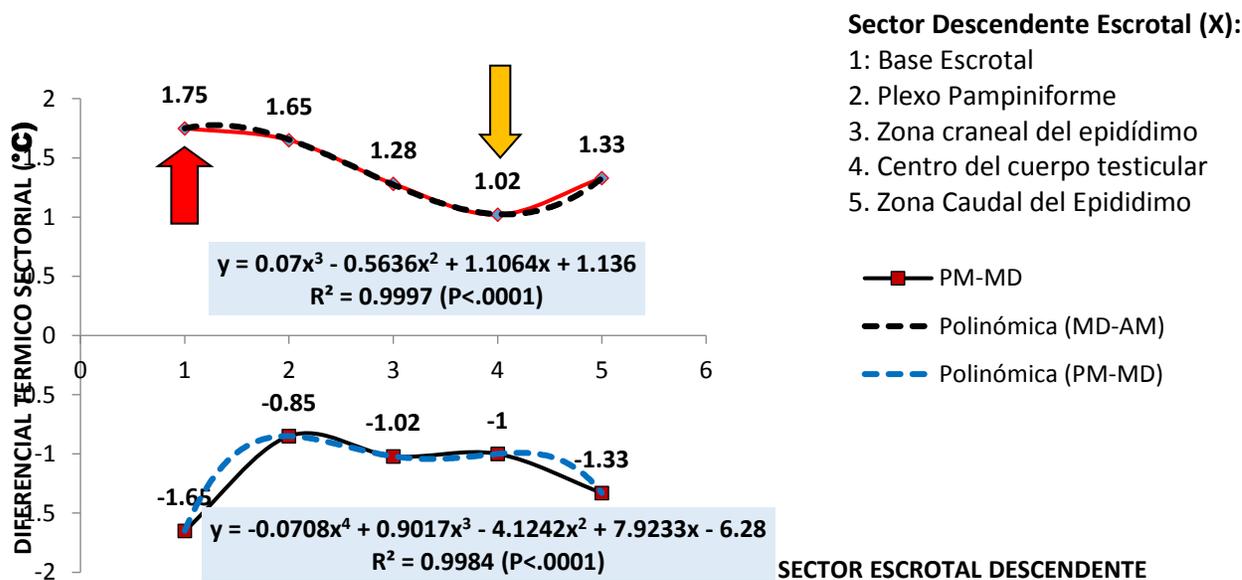


Figura 1. Diferencial térmico sectorial descendente escrotal diurno de la mañana al mediodía (MD-AM) y del mediodía a la tarde (PM-MD) en toros Fleckvieh bajo estrés calórico.

La sobrecarga calórica regional sectorial entre la mañana y el medio día presentó una ganancia calórica de +1.75°C (base escrotal), +1.65°C (plexo pampiniforme), +1.28°C (zona craneal del epidídimo), +1.02 (cuerpo testicular) y +1.33°C (zona caudal del epidídimo); resultando la superficie escrotal más próxima a los testículos la menos alterada por el mayor estrés calórico. El factor covariativo de mayor

influencia fue la superficie corporal total de los animales ($P < 0.0004$). Sin embargo, la hemoglobina, la superficie escrotal y el ITH no mostraron una influencia covariativa ($P > 0.05$).

La temperatura sectorial escrotal fue modificada por el horario diurno ($P < 0.0001$); lo que indica que cada sector puede variar en su carga calórica subregional. Entre los factores covariativos sobresalió el peso corporal ($P < 0.0001$); pero no la hemoglobina, la superficie escrotal total y el índice de temperatura – humedad ($P > 0.05$; ver tabla 10 y 11); destacando el menor incremento térmico escrotal alrededor de los testículos.

Tabla 10. Representación de las medias térmicas ajustadas de las secciones en el eje escroto – testicular en toros Fleckvieh según el horario diurno en la época seca.

Sector del Eje Escroto – testicular	Temperatura escrotal (°C)					
	Mañana (6:30 a 7:30 am)		Medio Día (12:00 md a 1:00 pm)		Tarde (6:20 a 7:30 pm)	
Base Escrotal	34.88		36.53		34.88	
Plexo Pampiniforme	34.27	-0.61	35.55	-0.98	34.70	-1.18
Zona Craneal Epidídimo	33.53	-0.74	34.55	-1.00	33.53	-1.17
Cuerpo Testicular	32.47	-1.06	33.47	-1.08	32.47	-1.06
Zona Caudal Epidídimo	31.27	-1.20	32.60	-0.87	31.27	-1.20
Gradiente Térmica Escrotal	-3.61 (°C)		-3.93 (°C)		-3.61 (°C)	

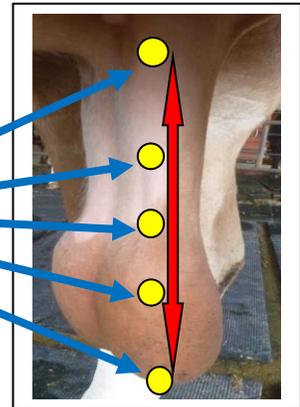


Tabla 11. Análisis de varianza – covarianza de la temperatura sectorial escrotal en toros Fleckvieh estabulados bajo estrés calórico en la época seca.

Fuente	DF	Cuadrado de		F-Valor	Pr > F
		Tipo III SS	la media		
Horario	2	14.4527272	7.2263636	14.76	<.0001
Sección escrotal	4	163.6562222	40.9140556	83.57	<.0001
Horario*sección	8	1.6937778	0.2117222	0.43	0.8977
Peso Corporal (kg)	1	6.6884892	6.6884892	13.66	0.0004
Hemoglobina (g/100 ml)	1	0.5042175	0.5042175	1.03	0.3136
Superficie Escrotal (M²)	1	0.0306528	0.0306528	0.06	0.8031
Índice Temperatura – Humedad	1	0.7894244	0.7894244	1.61	0.2083
Error	71	34.7595263	0.4895708		

R-cuadrado 0.857293 Coef. Variación 2.074326

La carga calórica del escroto es el producto de los mecanismos vasculares de contra corriente que mantienen la temperatura testicular; además de la participación de los músculos Cremaster y Dartos, del complejo arterio – venoso y del plexo pampiniforme (Kastelic y Hopper, 2013). El escroto es un componente esencial para la termorregulación en los testículos y en sus alrededores al contribuir con la pérdida calórica por radiación, convección y evaporación (Kastelic *et al.*, 1996).



CONCLUSIONES

El entorno microclimático diurno durante la época seca en el trópico de bajura representó una influencia negativa a través de la temperatura ambiental y la humedad relativa; las cuales se combinaron para aumentar el índice de percepción calórico; afectando las funciones cardiorespiratorias, el balance calórico y la temperatura rectal escrotal sectorial.

La estabulación diurna en toros de la raza Fleckvieh con adaptación crónica al estrés calórico tropical en la época seca no fue suficiente para mantener el bienestar térmico general debido al ITH; alterando el patrón cardiorespiratorio, térmico corporal y generando la hipertermia del complejo escroto - testicular.

El escroto alrededor del testicular presentó la mayor constancia en la carga calórica durante la fase diurna en la época seca y correspondió al punto del eje escrotal con el mayor beneficio de la termorregulación bajo el estrés calórico diurno en la época seca.

La temperatura escrotal sectorial fue modificada desde su base hasta la zona caudal del epidídimo con un diferencial térmico tegumentario que alcanzó las mayores alteraciones en el horario diurno al medio día; representando un riesgo calórico y bioquímico para el funcionamiento testicular y la fertilidad en los toros Fleckvieh en el medio tropical.

AGRADECIMIENTO

Se le agrade al personal del programa bovino de carne; a los señores Oduvar Cortez y Eduard Montero; quienes contribuyeron con parte del manejo animal con alto sentido colaborativo y profesional. Igualmente se le agradece a las autoridades de la Facultad de Ciencias Agropecuarias bajo la administración del Dr Juan M. Osorio; quienes brindaron el apoyo administrativo en esta investigación.

DECLARACION DE INTERESES DEL AUTOR Y COAUTORES

El autor y los coautores de este artículo científico declaramos que no hay conflictos de intereses con la fuente de financiamiento, con el parte administrativo de la institución para la cual laboramos, que esta investigación es genuina y se desarrollo bajo el marco de investigación según la Vicerrectoria de investigación y postgrado de la Universidad de Panamá. Igualmente, declaramos que este artículo no ha sido publicado en ninguno otro medio impreso y/o digital y que todos los participantes listados en la autoría contribuimos de manera proporcional a nuestra formación y especialización para consolidar el información aquí presentada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andersson, B. E. (1984). *Temperature regulations and Environmental Physiology*. En: Dukes' Physiology of Domestic Animal. Editor Melvin J Swenson, Cornell University Press, NY, USA. Pag. 719-727.
- Araúz, E. E. (2018). *Requerimientos para el cálculo de la termólisis pasiva en los animales de interés pecuario*. En: Fisiología de la Adaptación y Producción Animal, Carrera de Zootecnia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Panamá.
- Araúz, E. E. (2018^o). *Valor térmico de las superficies para los animales en las pérdidas calóricas pasivas*. En: Fisiología de la Adaptación y Producción Animal. Carrera de Zootecnia, Departamento de Zootecnia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Panamá.
- Araúz, E. E. (2014). *Pérdidas calóricas por radiación, convección y conducción en los homeotermos, Termólisis Pasiva y su influencia en la regulación térmica y el balance calórico en los animales domésticos*. En: Fisiología de la adaptación en



- los animales de interés zootécnico. Programa de Maestría en Ciencias Pecuarias con énfasis en Reproducción y Mejoramiento Genético. Universidad de Panamá.
- Araúz, E. E., Fuentes, A. G. y Méndez, N. (2010). Alteración diurna de la carga calórica corporal e interrelación de las temperaturas rectal y láctea en vacas cruzadas (6/8 *Bos taurus* x 2/8 *Bos indicus*), Pardo Suizo y Holstein bajo estrés calórico diurno durante la época seca en el clima tropical húmedo. *Revista electrónica de Veterinaria*, 11(11), 1695-7504.
- Araúz, E. E. (2017). Influencia del color del pelaje sobre el comportamiento térmico corporal, cinética de la sobrecarga calórica y alteración cardiorespiratoria circadiana en vacas lecheras cruzadas (6/8 *Bos taurus* x 2/8 *Bos indicus*) bajo estrés calórico en el trópico húmedo. Citado de internet: 05/05/2018. *Revista electrónica de Veterinaria*, 18(7), <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n070717.html>
- Araúz, E. E. (2006). *El estrés calórico y sus efectos negativos sobre la fisiología, metabolismo, reproducción y eficiencia de la producción en el ganado bovino de leche*. Departamento de Zootecnia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Panamá.
- Arias, R. A., Mader, T. L. y Escoba, P. C. (2008). Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. Climatic factors affecting cattle performance in dairy and beef farms. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 40, 7-22.
- Boggio, J. C. (2008). Evaluación de la Aptitud Reproductiva Potencial y Funcional del Toro. Capacidad de Servicio. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 40(1).
- Coburn y Co. (2010). *Metric Tape for European breeds for thoracic perimeters*, USA.
- Curtis, E. (1981). *Psychometric approach to determine heat stress in animal production*. Environmental management in agriculture. USA.
- Curtis, E. (1981). *Temperature Regulation in Homeotherms*. En: Environmental management. USA.
- Das, R. L., Sailo, N. Verma, P. Bharti, J. Saikia, I. y R. Kumar. 2016. Impact of heat stress on health and performance of dairy animals: A review. *Veterinary World*, EISSN: 2231-0916 Citado en internet: 22 de mayo de 2018. Disponible en www.veterinaryworld.org/Vol.9/March-2016/7.pdf.
- de Armas, R. (2013). *Anatomía y fisiología del sistema reproductor del macho*. En: *Anatomofisiología de la Reproducción en los Animales de Interés Zootécnico*. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Programa de Maestría en Reproducción y Mejoramiento Genético. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Vicerrectoría de Investigación y Postgrado, Universidad de Panamá.
- Dikmen, S. y Hansen, P. J. (2009). Is the temperature – humidity in the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? *Journal of Dairy Science*, 92, 109-116.
- Dukes, H. H y Swenson, M. J. (1995). *Fisiología de los Animales Domésticos*. Tomo 1. Ediciones Madrid. Cuarta edición. México.
- Fraser, C. M., Bergeron, J. A. y Aiello, S. E. (1993). *Constantes fisiológicas en circulación, respiración y termología animal*. En: El Manual Merck de Veterinaria. MSD, USA.
- Gill, J. (1978). *Block Designs and Factorial Models*. En: Design and Analysis of Experiments in the Animal and Medical Sciences. Iowa State University Press, Ames, Iowa. U.S.A.
- Gupta, S. K., Shinde, H. P., One, S. A., Thakur, A. y Kumar, N. (2016). The potential impact of heat stress on production and reproduction of dairy animals: consequences and possible solutions: E-mail: sgshailesh786@gmail.com *International Journal of Science and Technology*, 5(3), 903-911.
- Hafez, E. S. E. (1973). *Efectos de la temperatura corporal en el tracto reproductivo del bovino*. En: *Efectos del medio en la productividad animal - Adaptación de los animales domésticos*. Pag. 118 – 120. Barcelona, España. Editorial LABOR S. A.
- Hansen, P. (2009). Effects of heat stress on mammalian reproduction. *Philos. Trans. Royal Society London. Biological Science*, 364(1534), 3341-3350.
- Herd, D. B. y Sprott, L. R. (1998). *Body Condition, Nutrition and Reproduction of Beef Cows*. Texas A & M University. Texas, USA. AnimaIscience-old.tamu.edu/beef.../nutrition-body-condition-nutrition.pdf.
- Herrera, H. J. y Barreras S. A. (2000). *Análisis de avianza y covarianza. Manual de análisis estadístico en experimentos pecuarios*. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. Citado 20/05/2018. Escuela superior de Graduados.
- Jordan, E. R., Mader, T. L., Davis, M. S. y Brown-Brand T. (2003). Effects of Heat Stress on Reproduction. *Journal of Animal Science*, 77, (2), 1 January 1999, Pages 21–https://doi.org/10.2527/1997.77suppl_221x
- Kabaleski, C. D. y Catí, C. (2013). *Condición corporal en ganado de carne Ing. Agr Agente de Proyecto de Cambio Rural*. Proyecto Humedal Norte de Corrientes. danikaba83@hotmail.com www.produccion-animal.com.ar
- Kastelic, J. P. y Hopper, R. M. (2013). *Thermoregulation of the testes*. In: Hopper, R.M., editor. Bovine Reproduction. Hoboken: Wiley-Blackwell.
- Kastelic J. P., Cook, R. B. y Coulter, G. H. (1997). scrotal/testicular thermoregulation and the effects of increased testicular temperature in the bull. article · literature review in veterinaryclinicsofnorthamericafoodanimalpractice 13(2), 271-82 · august 1997 with 67 reads. doi: 10.1016/s0749-0720(15)30340-6 kastelic, j. p. 2014. thermoregulation of the testes. <https://doi.org/10.1002/9781118833971.ch3>
- Kastelic J. P., Cook, R. B. y Coulter, G. H. (1996). Contribution of the scrotum and testes to scrotal and testicular thermoregulation in bulls and rams Research Centre, Agriculture and Agri-Food Canada, PO Box 3000, Lethbridge, Alberta, Canada Ti] 4B1 *Journal of Reproduction and Fertility*, 108, 85-87.



- Kastelic J. P., Cook, R. B. y Coulter, G. H. (1995). Scrotal surface, subcutaneous, intratesticular, and intraepididymal temperatures in bulls. *Theriogenology*, 44(1), 147e52.
- Khalifa, E. F. y Nawal, A. N. (2017). Anatomical study on the testicular artery of bull (bos taurus). *Anatomy and embryology department, Faculty of veterinary medicine, c. int. j. adv. res. biol. sci.* (2017). 4(2): 80-89 80 international journal of advanced research in biological sciences issn: 2348-8069 www.ijarbs.com doi: 10.22192/ijarbs coden: ijarqg(usa) volume 4, issue 2 - 2017 research article. climate and changes. disponible en: <https://www.facebook.com/noaa/>. noaa, 2010, 2014. psicométrica evaluación para animal experimentation. usda. McNab, B. 2001. Patterns of Physical exchange with the environment. En: *The Physiological Ecology of Vertebrates: A View from Energetics*, Publisher: Cornell University Press, NY, USA. Pag. 8 – 23.
- Krishnan, G., Madijagan, B., Prathap, P., Mallenahally, K. V., Joy, A., Payyanakkal, R. A., Veerasamy, S. y Raghavendra, B. (2017). *Mitigación del impacto del estrés por calor en la reproducción del ganado*. Disponible en: www.interchoppen.com/.../mitigation-of-the-heat-stress-impa... DOI: 10.5772 / intechopen.69091
- McNab, B. (2001). Patterns of Physical exchange with the environment. En: *The Physiological Ecology of Vertebrates: A View from Energetics*, Publisher: Cornell University Press, NY, USA. Pag. 8-23.
- Mader, T. L., Davis M. S. y Brown-Brand T. (2006). *Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle*, University of Nebraska, Concord 68728; Koers-Turgeon Consulting Service, Inc., Salina, KS 67401; and USDA-ARS U.S. Meat Animal Research Center, Clay Center, NE 68933.
- Martínez, D. (2016). *Clasificación de la condición corporal del ganado*. Citado de internet: 21/05/2018. Disponible en Biblioteca.inifap.gob.mx:8080/.../Clasificación%20de%20la%20con...
- Murray, P. A. A., Spears N., y Saunders P. T. (2008). A single, mild, transient scrotal heat stress causes DNA damage, subfertility and impairs formation of blastocysts in mice. *Reproduction*, 136, 73–84 ([doi:10.1530/REP-08-0036](https://doi.org/10.1530/REP-08-0036)) [[PubMed](#)]
- National Oceanic and Atmosphere Administration (NOAA). (2010, 2014). *Environment and Psicométrica Evaluation and heat stress*. Internet, Google.
- National Research Council (NRC). (1981). *Effect of Environment on Nutrient Requirements of Domestic Animals*, National Academy press. Washington DC, USA.
- National Research Council (NRC). (2001). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th ed., National Academy Press. Washington, DC. USA.
- Ocampo, J. (2016). *Clasificación de la condición corporal del ganado bovino*. Investigador del Programa de Carne de Rumiantes. Biblioteca.inifap.gob.mx:8080/Clasificación%20de%20la%20con...
- Paul, C., Teng S. y Saunders P. T. (2009). A single, mild, transient scrotal heat stress causes hypoxia and oxidative stress in mouse testes, which induces germ cell death. *Biology of Reproduction*, 80, 913-919.
- Pérez-Crespo, M., Pintado, B. y Gutiérrez-Adán, A. (2008). Scrotal heat stress effects on sperm viability, sperm DNA integrity, and the offspring sex ratio in mice. *Molecular Reproduction and Development*, 75, 40–47. ([doi:10.1002/mrd.20759](https://doi.org/10.1002/mrd.20759)) [[PubMed](#)].
- Polsky, L. y Von Keyserlingk A. G. (2017). Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. Animal Welfare Program, 2357 Main Mall, Faculty of Land and Food Systems, University of British Columbia, Vancouver, BC, V6T 1Z4 Canada.
- Roth, Z. (2015). Cellular and molecular mechanisms of heat stress related to bovine ovarian function1 En: *Physiology and endocrinology symposium*. Department of Animal Sciences, Robert H. Smith Faculty of Agriculture, Food and Environment, The Hebrew University, Rehovot 76100, Israel. *Journal of Animal Science*, 93, 2034-2044 doi:10.2527/jas2014-8625. Consultado: 15/7/2018 Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/304404486>
- SAS. (2004). Analysis of variance and covariance. En: *General Lineal Models (GLM)*. En: *Manual de SAS. Statistical Analyses System*, NC, USA. North Caroline State University, Raleigh, NC, USA.
- Senger, P. L. (1997). *The organization and function of the male Reproductive System*. En: *Patways from Pregnancy to Parturition*. Current Conceptions Inc. Washington State University Research & Technology Park, Pullman, WA, USA. Pag. 33-56.
- Setchell, B. P. (1998). The Parkes Lecture. Heat and the testis. *Journal of Reproduction and Fertility*, 114, 179–194 ([doi:10.1530/jrf.0.1140179](https://doi.org/10.1530/jrf.0.1140179)) [[PubMed](#)].
- Slimen, B. Najar, T. Ghram, A. y Abdrabba, M. (2016). Heat stress effects on livestock: molecular, cellular and metabolic aspects. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 100, 401-412.
- St-Pierre, N. R., Cobanov, B. y chnitkey, G. (2003). *J. Dairy Sci.* 86:(E. Suppl): E52–E77 © American Dairy Science Association, 2003. Economic Losses from Heat Stress by US Livestock Industries Department of Animal Sciences The Ohio State University, Columbus, OH 43210 Department of Agricultural and Consumer Economics University of Illinois, Urbana.
- Waites G. M. H. (1970). *Temperature regulation and the testis*. In *The Testis* pp 241-279 Eds A. D. Johnson, W. R. Gomes and N. L. Vandemark. Academic Press, New York. webserver.dmt.upm.es/.../Termodinamica%20de%20aire%20hume.
- Wilcox, Ch. (1986). Biometric applications and research designs in biology of reproduction and reproductive Management and Efficiency. En: *Advanced Dairy Research Techniques in Dairy Science and Physiology*, Dairy Science Department, University of Florida, Gainesville, Florida, USA.
- Yousef, K. (1985). Temperature regulation and the environment. En: *Environmental Physiology of Livestock*. Vol. I, New York, USA.