

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EXPRESIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE ADAPTACIÓN, CRECIMIENTO
Y COMPORTAMIENTO EN LA CRUZA BONSMARA-HEREFORD EN
SISTEMAS PASTORILES DEL URUGUAY**

por

Ing. Agr. Paula Alicia BATISTA TABORDA

**Tesis presentada como uno de los
requisitos para obtener el título de
Magister en Ciencias Agrarias
opción Ciencias Animales**

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2016**

Tesis aprobada por el tribunal integrado por:

Ing. Agr. (PhD.) Laura Astigarraga

Med. y Tec. Vet. (PhD.) Alejandro Bielli

Lic. en Cien. Meteo. (Dr.) Mario Caffera

Fecha: 14 de octubre de 2016

Autor/a: Ingeniera Agrónoma Paula Alicia Batista Taborda

Directora Ing. Agr. (Dr.) Ana C. Espasandin

Co-directora Ing. Agr. (MSc.) Celmira Saravia

Le dedico este trabajo a mi familia....

A mi hermana Noella, a mi madre María del Huerto y a mi padre Julio

que estuvieron siempre a mi lado y los quiero mucho.

AGRADECIMIENTOS

A mis tutoras Ana y Celmira por el apoyo y conocimiento brindado.

A los estudiantes que realizaron su tesis de grado en conjunto conmigo.

A profesionales que colaboraron con el proceso de muestras e interpretación.

A la Facultad de Agronomía, EEMAC y personal de ganadería.

... en fin, a todos aquellos que permitieron que este trabajo fuera posible.

TABLA DE CONTENIDOS

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
TABLA DE CONTENIDOS.....	V
RESUMEN	IX
SUMMARY	X
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
1.1. LA RAZA BONSMARA	4
1.1.1. <u>El fenotipo de la raza</u>	5
1.2. MEDIOAMBIENTE Y ENTORNO ANIMAL.....	9
1.2.1. <u>Caracterización meteorológica a través de índices biometeorológicos</u>	9
1.2.1.1. Índice de temperatura y humedad (ITH).....	9
1.2.1.2. Índice de temperatura y humedad contemplando esferas de vernon (BGITH).....	10
1.2.1.3. Índice de temperatura y humedad ajustados por velocidad del viento y radiación solar (ITH _{ajust}).....	10
1.2.1.4. Índice climático integral (CCI)	12

1.2.2. <u>Efecto del ambiente sobre los animales</u>	13
1.3. HIPÓTESIS	28
1.4. OBJETIVO GENERAL	28
1.4.1. <u>Objetivos específicos</u>	29
2. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	30
2.1. CARACTERIZACIÓN METEOROLÓGICA EN BASE A ÍNDICES BIOMETEOROLÓGICOS.....	30
2.1.1. <u>Índice de temperatura y humedad (ITH)</u> <u>e ITH de esfera negra (BGITH)</u>	31
2.1.2. <u>Índice de temperatura y humedad ajustados por</u> <u>velocidad del viento y radiación solar (ITH_{ajust})</u>	32
2.1.3. <u>Índice climático integral (CCI)</u>	32
2.1.4. <u>Caracterización de la condiciones meteorológicas</u>	33
2.2. CARACTERES PRODUCTIVOS	35
2.2.1. <u>Disponibilidad y composición química de la pastura</u>	35
2.2.2. <u>Peso vivo y condición corporal</u>	36
2.2.3. <u>Carga de parásitos gastrointestinales</u>	37

2.3. CARACTERES ADAPTATIVOS A LA VARIACIÓN	
METEOROLÓGICA.....	37
2.3.1. <u>Respuestas fisiológicas: frecuencia respiratoria,</u>	
<u>temperatura rectal y corporal superficial</u>	38
2.3.2. <u>Morfológicos</u>	38
2.3.2.1. Características del pelaje.....	38
2.3.2.2. Histología de la piel.....	39
2.4. CARACTERES COMPORTAMENTALES.....	43
2.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	44
3. <u>RESULTADOS</u>	47
3.1. CONDICIONES METEOROLÓGICAS	47
3.2. DISPONIBILIDAD Y COMPOSICIÓN QUÍMICA	
DEL FORRAJE	53
3.3. DESEMPEÑO ANIMAL	54
3.4. CARGA DE PARÁSITOS GASTROINTESTINALES	56

3.5. RESPUESTAS FISIOLÓGICAS:	
FRECUENCIA RESPIRATORIA, TEMPERATURA	
RECTAL Y CORPORAL SUPERFICIAL	57
3.6. MORFOLÓGICOS: CARACTERÍSTICAS DEL PELAJE	63
3.7. MORFOLÓGICOS: HISTOLOGÍA DE LA PIEL	64
3.8. COMPORTAMIENTO EN PASTOREO	65
4. <u>DISCUSIÓN</u>	69
5. <u>CONCLUSIONES</u>	77
6. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	79
7. <u>ANEXOS</u>	89

RESUMEN

En un sistema pastoril, en el Litoral Noroeste del Uruguay, en vaquillonas de sobreño cruza Bonsmara-Hereford (BH, n=15) y Hereford puras (HH, n=18) contemporáneas, se midieron rasgos adaptativos: frecuencia respiratoria (FR), temperatura rectal (TR) y temperatura corporal superficial de la frente (TCSFr) y flanco (TCSFl), a las 08 (AM) y 16 horas (PM); rasgos morfológicos (pelaje e histología de la piel), productivos (peso vivo (PV) y ganancia de peso absoluta (GPA), condición corporal (CC) y conteo de parásitos gastrointestinales (HPG), y comportamiento en pastoreo. Se caracterizó el ambiente con Índices de Temperatura y Humedad (ITH), ITH ajustado por velocidad del viento y radiación (ITH_{ajust}), ITH de Esfera Negra (BGITH), olas de calor leve (OCL), severa (OCS) y sin ola (NOC) e Índice Climático Integral (CCI). En GPA, los genotipos no fueron diferentes, pero sí en CC, BH fue superior a HH en verano (p=0,02) e invierno (p=0,03). Los genotipos no fueron diferentes (p=0,772) en HPG. En verano, AM, BH presentó TCSFr superior en NOC (p=0,03) y en OCL (p=0,04). En cambio, HH fue superior en FR durante estrés moderado (p=0,05) y severo (p=0,029) y TR en estrés leve (p=0,02) y severo (p=0,03) según CCI. En PM, HH fue superior en FR durante OCL (p=0,0007) y en todos los niveles de CCI (p<0,0001), y en TR en OCL (p=0,0003), estrés moderado (p=0,001) y severo (p<0,0001). En invierno, no hubo diferencias significativas entre genotipos. BH presentó pelaje más corto que HH en verano (p=0,004) e invierno (p=0,014), sin diferencias en el peso de los pelos. No hubieron diferencias en densidad de glándulas sudoríparas (GS) (p=0,5) y folículos pilosos (p=0,5), altura del epitelio de GS (p=0,6), profundidad apical (p=0,5) y basal (p=0,3) del adenómero de las GS, pero sí una tendencia (p=0,07) en mayor área de GS en HH. En verano, BH descansaba menos tiempo (p=0,04) y se mantuvo más tiempo al sol (p=0,01), sin diferencias con HH en pastoreo (p=0,35), ni rumia (p=0,33). BH presenta mayor tolerancia a climas calurosos, mejor rendimiento en PV y CC, y se comporta diferente en pastoreo respecto al HH puro.

Palabras clave: bioclimatología, bovinos, cruzamientos, comportamiento, termorregulación.

SUMMARY

EXPRESSION OF CHARACTERISTICS OF ADAPTATION , GROWTH AND BEHAVIOR IN THE CROSSING BONSMARA-HEREFORD IN GRAZING SYSTEMS OF URUGUAY

In a grazing system, in Northwest Uruguay, in contemporary heifer yearling crosses Bonsmara-Hereford (BH, n=15) and Hereford pure (HH, n=18, adaptive traits were measured: respiratory rate (RR), rectal temperature (RT) and body surface temperature of the forehead (BST Fo) and flank (BST Fl), at 08 (AM) and 16 hours (PM); morphological features (coat and histology of the skin), production (live weight (LW) and absolute weight gain (AWG), body condition (BC), egg counts of gastrointestinal parasites (EGP), and grazing behaviour. The environment was characterized with Temperature and Humidity Index (THI); THI adjusted by wind speed and radiation (THI_{adjust}); THI Black Sphere (BGITH); mild heat waves (MHW), severe (SHW) without wave (WHW); and Comprehensive Climate Index (CCI). In AWG, genotypes were not different, but was in BC, BH was higher than HH in summer ($p=0,02$) and winter ($p=0,03$). The genotypes were not different ($p=0,772$) in EGP. In summer, AM, BH presented higher BSTFo in WHW ($p=0,03$) and MHW ($p=0,04$). Instead, HH was higher in RR during moderate ($p=0,05$) and severe stress ($p=0,029$) and RT in mild stress ($p=0,02$) and severe ($p=0,03$) as CCI. In PM, HH was higher in RR during MHW ($p=0,0007$) and at all levels of CCI ($p<0,0001$), and RT in MHW ($p=0,0003$), moderate stress ($p=0,001$) and severe ($p<0,0001$). In winter, there were no significant differences between genotypes. BH presented shorter summer coat than HH ($p=0,004$) and also in winter coat ($p=0,014$), with no difference in the weight of the hair. There were no differences in density of sweat glands (SG) ($p=0,5$) and hair follicles ($p=0,5$), SG epithelial height ($p=0,6$), apical depth ($p=0,5$) and baseline ($p=0,3$) of adenomere SG, was a trend ($p=0,07$) in greater area of SG in HH. In summer, BH rested less time ($p=0,04$) and remained more time in the sun ($p=0,01$), with no differences with HH grazing ($p=0,35$), or rumination ($p=0,33$). BH has increased tolerance to hot weather, better performance in LW and BC, and behaves different to the pure HH in grazing.

Keywords: bioclimatology, cattle, crossbreeding, behaviour, thermoregulation.

1. INTRODUCCIÓN

Los animales se encuentran continuamente en interacción con el ambiente. Este entorno comprende factores meteorológicos (radiación solar, temperatura y humedad del aire, velocidad del viento, precipitaciones); y otros factores como el consumo de alimento y agua que inciden sobre la energía metabolizable destinada a generar calor para mantenimiento, actividad y producción (Foster et al., 2009, Arias et al., 2008, Beede y Collier 1986, Finch 1986).

Un cambio desfavorable en el ambiente provoca consecuentemente un estrés a nivel fisiológico y de comportamiento, repercutiendo en producción y bienestar animal (Arias et al., 2008, Beede y Collier 1986).

Adaptación es un término que se conoce como el cambio necesario en la fisiología del individuo para reducir un efecto provocado por que lo rodea un medio ambiente estresante. Este cambio puede transcurrir durante la vida del individuo (fenotípico) o puede ser el resultado de la selección genética de la especie en el medio que habita (genotípico) (Bligh y Johnson, 1973).

La producción sostenible del ganado hoy en día requiere un exhaustivo análisis en la planificación de los sistemas de producción, partiendo desde la base en que se debe de tener en cuenta las respuestas de los animales como señal de un estrés ambiental, y la capacidad de implementar prácticas que aminoren los efectos de ese estrés sobre los animales (Nienaber y Hahn, 2007).

El sistema ganadero uruguayo se caracteriza principalmente por ser pastoril, a cielo abierto y sustentado por pasturas naturales, lo que depende ampliamente del ambiente meteorológico o el “grado de exposición” (naturaleza y grado en que un sistema experimenta estrés ambiental) de la producción del campo natural y la producción de carne subsiguiente (MGAP-FAO, 2013).

Los sistemas de cría bovina en la producción ganadera de nuestro país, históricamente se han caracterizado como un proceso ineficiente en la relación

oferta/demanda de energía en los animales para cubrir sus funciones básicas, principalmente si son alimentados en base a campo natural. Dickerson (1978) indica que el 70% de energía consumida por la vaca es destinada al mantenimiento de funciones vitales, no llegando a cubrir los requerimientos para reproducción o producción.

A nivel nacional, los índices reproductivos y productivos reportados por DIEA (2012) evaluado en el período 1996 a 2011 indican en promedio tasas de preñez de 73 % y tasas de destete de 60 %. Para aumentar estos índices y consecuentemente aumentar la rentabilidad del sector, es necesario plantear nuevos escenarios productivos que consideren el efecto de la variabilidad climática, nutrición y manejo.

Conociendo estos aspectos climáticos que determinan restricciones sobre la producción ganadera en el Uruguay, se proyectan estrategias básicas para atenuar o mitigar los efectos de un ambiente climático severo para los animales. Breede y Collier (1986) presentan como algunas estrategias: la modificación física del ambiente (mediante incorporación por ejemplo de sombra natural o artificial, ventilación), cambios en el manejo nutricional (cambios en la composición de la dieta en periodos calurosos o cambios en la hora del día de suministro de suplementos), o la utilización de genotipos adaptados a las condiciones climáticas existentes.

Actualmente se conocen nuevos recursos genéticos ganaderos que han sido seleccionados por su mayor adaptabilidad a climas extremos: resistencia a parásitos, tolerancia al calor, eficiencia en conversión alimenticia, entre otras (Frisch y Vercoe 1992, Bonsma 1985).

En nuestro país, en el año 2005 fue introducida desde Sudáfrica (vía Argentina) la raza Bonsmara, creada y seleccionada en el continente africano que reúne estas características de adaptación a climas severos. Bonsmara es una raza sintética de origen sudafricano ($\frac{5}{8}$ Afrikaner - $\frac{3}{16}$ Shorthorn - $\frac{3}{16}$ Hereford) desarrollada en la Estación de Investigaciones de Mara, Transvaal, Sudáfrica por el Zootecnista Prof. Dr. Jan C. Bonsma.

Con el objetivo de conocer su productividad, se comienza a partir del año 2009 en Paysandú, en la Estación Experimental “Dr. Mario. A. Cassinoni” (EEMAC) de la Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Uruguay una evaluación de su productividad mediante la cruce con hembras Hereford, así como el estudio de variables relacionadas con la adaptación en sistemas pastoriles de nuestro país.

Se selecciona esta región geográfica (Norte del Uruguay) por caracterizarse por veranos con elevada temperatura y humedad del aire que pueden generar estrés por calor en el ganado. Cruz y Saravia (2008) reportaron que a nivel de promedios mensuales y en términos climáticos (normales climatológicas 1961-1990) durante el verano, al norte del Río Negro, se encontraron valores por encima del crítico (72) en estrés térmico (mediante el uso del índice de Temperatura y Humedad: ITH, Thom, 1959) para los bovinos.

Teniendo en cuenta la región geográfica y las consecuencias en los animales que pueden generarse debido a estas condiciones climáticas, este trabajo se centra en el estudio de la expresión de rasgos adaptativos, de comportamiento y de crecimiento en el verano y el invierno en cruces Bonsmara-Hereford comparadas a Hereford puras contemporáneas, sobre pasturas naturales.

La temática de este trabajo escrito se desarrollará con la presentación de la raza Bonsmara con sus atributos y características. La influencia del ambiente sobre los bovinos, las características de los mismos que permiten la adaptación o regulación de su zona de confort ante condiciones adversas del ambiente y los resultados generados en este trabajo de maestría.

1.1. LA RAZA BONSMARA

Bonsmara es una raza sintética de origen sudafricano ($\frac{5}{8}$ Afrikaner - $\frac{3}{16}$ Shorthorn - $\frac{3}{16}$ Hereford) desarrollada en la Estación de Investigaciones de Mara, Transvaal, Sudáfrica. A partir de una tesis de investigación que comenzó en 1937 a cargo del Zootecnista Prof. Dr. Jan C. Bonsma, se observó que las razas europeas importadas a este país no presentaban un desarrollo satisfactorio y manifestaban síntomas de desnutrición. Mediante diversos estudios concluyó que este mal desarrollo no era debido a desnutriciones producidas por falta de forraje, sino que por la incidencia de altas temperaturas. En este escenario, los animales disminuían el consumo de forraje para contrarrestar el estrés causado por el calor y por la necesidad de permanecer en la sombra.

Bonsma (1985) presentó como hipótesis de su tesis de investigación que “si una vaca sufre mucho calor, no engorda y produce poco”. Postula además que como es imposible cambiar el clima, “es necesario pensar en cambiar los animales”.

Bonsmara fue creada a partir de la raza nativa Afrikaner (*Bos taurus taurus*, biotipo Sanga o criollo africano), adaptada a condiciones climáticas de Sudáfrica. Esta raza criolla, destacada por su tolerancia al calor y resistencia a ectoparásitos, fue cruzada con las razas Hereford y Shorthorn (también *Bos taurus taurus*) para agregar los complementos en potencial de producción de carne de calidad y producción de leche (Bonsma, 1980).

Luego de siete generaciones de cruzamientos seleccionando enfáticamente por características adaptativas, productivas y reproductivas, en 1963 se crea la raza sintética Bonsmara, adaptada con éxito al clima sudafricano (Bonsmara South Africa Cattle Breeders Society, 2016).

Para su caracterización los animales fueron pesados a intervalos de 14 días, determinando 14 medidas zoométricas en cada animal. Paralelamente también se midieron temperatura corporal, frecuencia cardíaca y respiratoria, conteo de pelos

por centímetro cuadrado y conteo de garrapatas. Los animales presentaban pelo rojo, liso y corto, piel suave, cuero grueso y pigmentado, muy vascularizado, con un subcutáneo muy móvil. Mostraban resistencia natural a parásitos internos y una gran eficacia para repeler las garrapatas. Según su creador, los animales de conformación respiratoria ancha, frente amplia y perfil de la cara convexo eran capaces de enfriar su tejido cerebral de manera más eficiente que otros. A su vez, sufrían menos el estrés generado por las altas temperaturas en comparación a las razas británicas y mostraban mayor productividad, cumpliendo el pelaje y la piel del animal un papel relevante en el proceso de disipación del calor, lo que es de gran importancia para regular su temperatura en el ambiente (Bonsma, 1980).

1.1.1. El fenotipo de la raza

En Namibia, otro país del sur de África, a partir de datos del año 1992 al 1994 se caracterizaron diferentes genotipos Simmental (31 animales), Bonsmara (36), Sanga (45) según su productividad en algunas variables productivas desde nacimiento hasta vida adulta (Lepen, 1996).

En el cuadro n° 1 se presentan los resultados generados por este autor de los genotipos evaluados según las principales características consideradas.

Cuadro N° 1. Registros de eficiencia reproductiva (%) y productiva (kg y %) de animales de genotipos Bonsmara, Simmental y Sanga.

	Bonsmara	Simmental	Sanga
Eficiencia reproductiva (% terneros nacidos)	92,4	93,3	95,3
Peso al nacimiento (kg)	34,0	41,0	28,0
Peso al destete (kg)	232,3	257,6	173,6
Peso posdestete (kg) a los 27 meses de edad	413,0	427,0	308,0
Peso (kg) y rendimiento de carcasa (%) a los 27 meses de edad	223,0 / 57,8	229,0 / 53,6	164,0 / 53,3
Peso posdestete (kg) a los 33 meses de edad	547,5	561,3	422,3
Peso (kg) y rendimiento de carcasa (%) a los 33 meses de edad	284,8 / 52	285,0 / 50,8	218,3 / 51,7

Conforme se presenta en el cuadro n° 1, la raza Bonsmara presenta bajos pesos al nacer, siendo éste un carácter indicador de facilidad de parto. Así mismo, se observan aceptables pesos al destete, así como ganancias de peso pre y post destete, acompañados de altos rendimientos de carcasa a edades tempranas (57,8 % a los 27 meses de edad).

En Uruguay, se ha estudiado la raza Bonsmara en su cruce con Hereford desde el año 2008 en la Estación Experimental “Mario A. Cassinoni” (EEMAC). Álvarez et al. (2011) determinaron el largo de gestación de vacas Hereford gestando terneros hijos de padres Bonsmara y Hereford, observaron que las vacas gestando terneros

cruza BH presentaron significativamente mayores largos de gestación (machos $285 \pm 2,1$ días y hembras $290 \pm 2,6$ días) en comparación de las que gestaron HH (machos $279 \pm 1,6$ días y hembras $279 \pm 1,6$ días).

Batista y Tecco (2011) determinaron el peso al nacer y destete de los terneros F1 (Bonsmara-Hereford, BH) y Hereford puros (HH), y la producción de leche de las madres Hereford amamantando terneros cruza o puros. La información de los pesos al nacer y al destete se presenta en el cuadro n° 2.

Cuadro N° 2. Pesos al nacer (kg) y destete (en kg a los 60 días de nacer) en terneros machos y hembras cruza Bonsmara-Hereford (BH) y Hereford puros (HH).

Genotipo del ternero	Sexo	Peso al Nacer (kg)	Peso al destete (60 días, kg)
BH	Macho	35,0	$119,0 \pm 7,0$ a
	Hembra	34,0	$96,0 \pm 7,5$ ab
HH	Macho	34,0	$91,0 \pm 5,0$ b
	Hembra	33,4	$84,0 \pm 4,2$ b

Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

Como se observa en el cuadro n° 2, en pesos al nacer no presentaron diferencias significativas entre genotipos, sí encontraron diferencias en pesos al destete destacándose los terneros cruza BH más pesados tanto hembras como machos respecto a los puros HH ($p=0,002$).

Estas diferencias en pesos al destete pueden ser debidas a que se encontraron diferencias significativas ($p=0,03$) en la producción de leche de las madres Hereford HH amamantando terneros hijos de Bonsmara ($6,8 \pm 0,5$ kg/d) respecto a madres HH amamantando terneros HH ($5,8 \pm 0,5$ kg/d). Esta diferencia probablemente sea debida a la habilidad del ternero cruza para mamar más veces al día y así estimular una mayor producción de leche en la vaca. Cabe destacar que no hubieron implicancias reproductivas en criar un ternero cruza al año siguiente, las vacas que

criaron un ternero cruza BH presentaron 73 % de preñez, en tanto aquellas que criaron terneros Hereford 63 % (Batista y Tecco, 2011).

En el cuadro n° 3 se presentan los pesos al nacer y al destete en Bonsmara puros o cruzamientos recopilados de diferentes autores en experimentos realizados en diversos países (Batista et al., 2013).

Cuadro N° 3. Pesos al nacer (kg) y al destete (kg, convencional y precoz) de la raza Bonsmara pura y cruzada con otras razas en diferentes regiones del mundo.

	Peso al nacer (kg)	Peso al destete (kg)
Van Zyl et al. (1992), Transvaal, Sudáfrica (B)	38,6	226,5 *
Lepen (1996), Namibia, África (B)	34,0	232,0 *
Ostrowski (2005), Bs. As., Argentina (B-A) (B-Ho)	33,5	248,5 *
Du Plessis y Hoffman (2004), Transvaal, Sudáfrica (B)	36,1	231,0 *
Alencar et al. (2009), San Pablo, Brasil (B-AN) (B-SN)	34,8	227,9 *
Batista y Tecco (2011), Paysandú, Uruguay (B-H)	34,3	107,5 **

B: Bonsmara, A:Aberdeen Angus, S: Simmental, N: Nelore, H: Hereford, Ho: Holando

* Peso destete convencional (205 días)
** Peso destete precoz (60 días)

La raza pura Bonsmara utilizada en Sudáfrica (excepto lo reportado por Van Zyl et al., 1992) genera pesos al nacer similares a las cruzas con Holando en Argentina, o cruzada con madres Angus×Nelore o Simmental×Nelore en Brasil, y a los encontrados en Uruguay cruzados con madres Hereford.

En tanto, en pesos al destete (a los 205 días de nacidos) la mayoría de los reportes por los autores son similares, excepto lo reportado Batista y Tecco (2011) que presentan pesos al destete de 107,5 kg a a los 60 días en cruzas Bonsmara×Hereford.

1.2. MEDIOAMBIENTE Y ENTORNO ANIMAL

El clima actúa directamente sobre los animales domésticos, los principales elementos meteorológicos son la radiación, temperatura y humedad del aire, viento y precipitaciones, siendo la temperatura la que ejerce mayor influencia directa (Arias et al., 2008, Hahn 1997).

1.2.1. Caracterización meteorológica a través de índices biometeorológicos

Para caracterizar el ambiente donde se encuentran los animales y determinar si los mismos se encuentran bajo una situación de estrés calórico existen diversos índices que sintetizan varios elementos meteorológicos y que facilitan el análisis: el Índice de Temperatura y Humedad (ITH, Thom, 1959), ITH de Esfera Negra (BGITH por sus siglas en inglés de Black Globe ITH, Mader et al., 2006), ITH ajustado por velocidad del viento y radiación solar (ITH_{ajust}, Mader et al., 2006) e Índice Climático Integral (CCI por sus siglas en inglés de Comprehensive Climate Index, Mader et al., 2010).

1.2.1.1 Índice de Temperatura y Humedad (ITH)

Es un índice que contempla en una ecuación valores de temperatura y humedad del aire, el cual fue desarrollado por Thom (1959) para humanos y luego validado para bovinos lecheros (Johnson et al. 1961).

En bovinos de leche se ha comprobado que se encuentran en estrés térmico cuando disminuye la producción de leche y a su vez se ha cuantificado como nivel crítico de ITH 72, por encima del cual el animal se encuentra bajo estrés calórico (Saravia, 2009).

1.2.1.2. Índice de Temperatura y Humedad contemplando Esferas de Vernon (BGITH)

ITH de Esfera Negra es un índice confeccionado a partir de los datos de temperatura registrados en las esferas de Vernon que integran el calor por convección y radiación, y expresa las ganancias y pérdidas de calor del ambiente medido (Berbigier, 1988).

Las esferas de Vernon o globos negros son esferas de cobre de 16 cm de diámetro que se ubican en el lugar donde se encuentren los animales y son capaces de caracterizar el ambiente meteorológico que rodea a los mismos (Saravia, 2009).

Este índice es otro elemento que caracteriza el ambiente meteorológico integrando esos registros de temperatura a los calculados en condiciones estandarizadas (ITH) (Mader et al., 2006).

1.2.1.3. Índice de Temperatura y Humedad ajustados por velocidad del viento y radiación solar (ITH_{ajust})

Mader et al. (2006) consideraron el ITH desarrollado por Thom (1959) e integraron al mismo valores de velocidad del viento y radiación solar, proponiendo una nueva ecuación (ITH_{ajust}).

Consideran que durante el periodo estival es importante además del efecto que presentan la temperatura y humedad del aire, la velocidad del viento y la radiación solar, ya que estas variables pueden incrementar el calor corporal en los animales, reduciendo su performance y modificando su confort.

Estos autores, para validar este nuevo índice generan niveles críticos para bovinos de carne bajo condiciones de feedlot a partir del Livestock Weather Safety Index, Livestock Conservation Institute y estudios realizados en novillos midiendo

niveles de jadeo. Mediante esta respuesta fisiológica, el jadeo, se permite cuantificar el nivel de estrés en los animales. La eliminación del calor corporal mediante evaporación por las vías respiratorias es uno de los principales mecanismos termorregulatorios de los animales para mantener su bienestar ante condiciones adversas de altas temperaturas del aire (Bianca, 1965).

Cuadro N° 4. Rangos de ITH_{ajust} para el bienestar animal de bovinos con propósito carnívoros. Mader et al. (2006)

Normal	≤ 74
Alerta	74 - 78
Peligro	78 - 84
Emergencia	> 84

Las olas de calor son períodos anormalmente cálidos y generalmente húmedos, de tres días consecutivos o más, con valores de temperatura por encima de los umbrales de confort, los criterios de dichos umbrales varían de una región a otra dependiendo de las condiciones normales o climáticas (American Meteorological Society, 2016).

1.2.1.4. Índice Climático Integral (CCI)

Aunque el ITH e ITH_{ajust} presentan limitaciones, ambos índices generan valores para condiciones de estrés en los animales bajo condiciones de calor (Mader et al., 2006, Thom 1959).

Para condiciones de frío existe un índice denominado Winchill Index (WCI) desarrollado por Siple y Passel (1945) que relaciona temperatura del aire y velocidad del viento, es decir, el enfriamiento que se produce por viento; pero no está validado bajo modelos biológicos.

Mader et al. (2010) desarrollaron un nuevo índice bajo modelos fisiológicos que integra varios índices denominado Índice Climático Integral (CCI, por sus siglas en ingles).

El Índice Climático Integral (CCI) se basa en las fórmulas anteriormente desarrolladas por Mader et al. (2006), que obtuvieron el ITH_{ajust} (ITH ajustado por radiación solar y velocidad del viento) y Gaughan et al. (2008), creadores del índice de carga calórica (Heat Load Index), los cuales ajustaron sus umbrales en base a la respuesta animal (jadeo en bovinos para carne) y consideraron para su cálculo la temperatura y humedad del aire, la velocidad del viento y la radiación.

El CCI es la combinación de submodelos y fue confeccionado a partir de índices conocidos como el ITH, ITH_{ajust} , el nuevo HI (New Heat Index, Rothfusz, 1990) y el índice de enfriamiento por el viento y la temperatura, WCT, (Windchill Temperature, Tew et al., 2002) utilizando modelos de regresión, para condiciones de temperatura del aire desde -30°C a 45°C.

1.2.2. Efecto del ambiente sobre los bovinos

Los bovinos, al ser homeotermos, presentan la habilidad de controlar su temperatura interna estable. Pueden mantener su temperatura aún cuando son sometidos a grandes variaciones de la temperatura ambiente, teniendo en cuenta que no sea limitante la disponibilidad y calidad del agua para consumo durante el verano, y que durante el invierno no haya deficiencias de alimento para los animales (Dias y Vieira 1997, Hahn 1997, Frisch y Vercoe 1992).

La combinación de estos elementos meteorológicos muchas veces puede causar estrés calórico en los animales. La severidad del estrés depende principalmente de la temperatura y humedad del aire. Cuando se presentan durante el día y la noche estas variables atmosféricas por encima de los críticos máximos para cada región, se genera un estrés en los animales debido a la carga calórica que no puede liberarse. Pero si por la noche la temperatura del aire desciende por debajo de los niveles máximos durante 6 a 8 horas, el animal puede generar pérdidas de calor y así mantener su normotermia (Bianca, 1965).

Por lo tanto, la capacidad de los animales homeotermos de controlar la temperatura interna dentro de un estrecho rango, aún ante grandes variaciones de la temperatura ambiente, es debida a los mecanismos fisiológicos para termorregular que presentan los mismos.

Los mecanismos de termorregulación se definen como el flujo de calor que ocurre mediante cuatro mecanismos de transferencia de energía: conducción, convección, radiación y evaporación.

Los tres primeros (conducción, convección y radiación) son conocidos como mecanismos de transferencias sensibles que se dan por gradiente térmico, mientras que la cuarta vía (evaporación) opera por un gradiente de vapor, se le denomina pérdida insensible de calor y presenta un marcado control por parte de la fisiología del animal (Bianca, 1965).

En una zona de confort térmico estos mecanismos funcionan en conjunto balanceando el calor corporal con el entorno (Collier et al., 2006), pero si el animal se expone afuera de la zona de confort térmico, se encuentra en un desbalance calórico, y para volver a la misma tiende a modificar su fisiología, a corto-mediano plazo y su anatomía a mediano plazo (Arias et al., 2008, Mader et al., 2006).

Si el animal se encuentra en un ambiente de alta temperatura ambiente, a nivel fisiológico, las terminaciones nerviosas que se encuentran a nivel de la piel, captan sensaciones de calor y transmiten este efecto hacia el hipotálamo, sistema nervioso, sistema respiratorio, sistema circulatorio y glándulas sudoríparas, generando vasodilatación periférica, sudoración, incremento de la frecuencia respiratoria, cambios en el apetito (sensación de saciedad), menor intensidad del metabolismo, estas acciones conjuntas intentan eliminar el exceso de calor del animal, (Dias y Vieira 1997, Frish y Vercoe 1979).

En la figura n°1 se ilustra cómo repercuten algunas variables del ambiente (clima, alimentación, manejo) en la fisiología interna de un animal (adaptado de Finch, 1986).

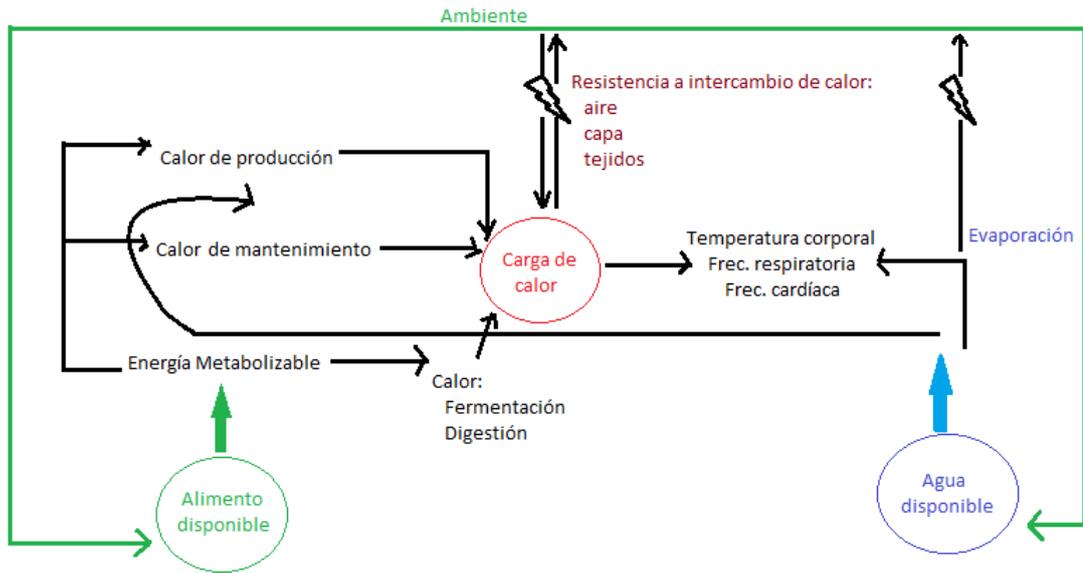


Figura N° 1. Influencia del ambiente (clima, alimentación, manejo) sobre el animal. Explicación de la repartición de la energía en calor de producción y mantenimiento y posible aumento de carga de calor en cómo se traduce a cambios fisiológicos en el animal y pérdidas de calor.

Si comenzamos a describir el efecto que presenta el ambiente sobre el animal, las variables como la disponibilidad de alimento y agua constituyen los efectos con mayor incidencia externa, ya que la restricción de los mismos generan disturbios en la homeotermia del animal (Hahn 1997, Frisch y Vercoe 1992).

Si nos aproximamos a lo que sucede en el animal, el pelaje (capa) y los tejidos más externos (piel) de los bovinos representan como una “frontera” entre el entorno y el interior del animal (Geneser, 2007). Si se destaca una influencia externa (cualquier efecto de las variables meteorológicas), el pelaje y la piel son los primeros en soportar estos cambios y generan una cierta resistencia a los intercambios de calor entre el animal y el entorno.

Este efecto externo repercute en la fisiología animal, variando instantáneamente la frecuencia respiratoria y cardíaca para atenuar cambios en la temperatura corporal (Finch, 1986).

Dentro de los factores meteorológicos que afectan a los animales, la radiación solar incidente es uno de estos agentes que repercute directamente sobre la superficie corporal del animal, las características de la misma (color, brillo, rugosidad) juegan un rol importante en el mantenimiento del equilibrio térmico a través de intercambios por radiación (reflexión, absorción y posterior emisión) (Esquivel 2012, Foster et al., 2009).

Para determinar el efecto del color y tipo de pelaje en relación a la temperatura rectal y frecuencia respiratoria de diferentes razas, Foster et al. (2009) en Zastron, Sudáfrica, observaron vacas (10 por raza) Afrikaner, Bonsmara, Braford, Charolais, Drakensberger y Simmental, destacando que el color de la capa varía en función de la raza y es adecuado para comprobar la influencia de altas temperaturas sobre el animal. Destacan que las razas Simmental y Charolais son más propensas a sufrir estrés por calor ya que presentaban elevada temperatura rectal y frecuencia respiratoria respecto a las demás razas en días calurosos. Afrikaner y Bonsmara presentan espesor de la piel más gruesa que las demás razas confiriéndole mayor aislación y repercutiendo en menores temperaturas rectales.

Si bien existen diferencias raciales, el pelaje en los animales constituye un papel fundamental en la termorregulación de la temperatura corporal, considerándose una característica adaptativa ya que en condiciones de altas temperaturas ambiente los animales son capaces de cambiar el pelaje a menor volumen por cm^2 y menor longitud, disminuyendo la aislación por una menor capa límite y favoreciendo el intercambio por convección con el ambiente exterior.

Bonsma (1985) fue pionero en relacionar las características de piel, pelo y pelaje con la productividad del bovino en ambientes tropicales y subtropicales, demostrando que para estas zonas se destaca una marcada superioridad en

crecimiento, reproducción y adaptación de los animales que presentan pelo corto frente a otros de pelo largo.

Cuando la temperatura ambiente se aproxima a la corporal los procesos de conducción, convección y radiación dejan de ser mecanismos de pérdida de calor y se acumula calor en el cuerpo del animal, siendo la evaporación el único mecanismo restante para disiparlo (siempre que exista un adecuado gradiente de humedad). En bovinos *bos taurus* y *bos indicus*, la mayor cantidad de agua evaporada es mediante la piel, es decir, por las glándulas sudoríparas y en menor proporción por el tracto respiratorio (Henaó, 1986).

La piel recubre toda la superficie externa de los organismos, y cumple varias funciones. Entre ellas, conforma una barrera contra la invasión de microorganismos y confiere protección contra acciones mecánicas, compuestos químicos, el calor, el frío y la radiación. Tiene gran importancia en la regulación del calor y mantenimiento del equilibrio hídrico. En cuanto a su estructura, la piel se compone de dos capas, una externa epitelial, la epidermis y una interna más gruesa compuesta de tejido conectivo, la dermis. Ambas capas son compactas entre sí y descansan sobre una capa subyacente de tejido conectivo, el tejido celular subcutáneo (hipodermis). A la piel se asocian estructuras de origen epidérmico como el pelo, uñas, glándulas sebáceas y sudoríparas (Geneser, 2007).

Varios componentes de la epidermis se ilustran en la figura n° 2 a través de un esquema transversal de la piel (Herrera, 1980).

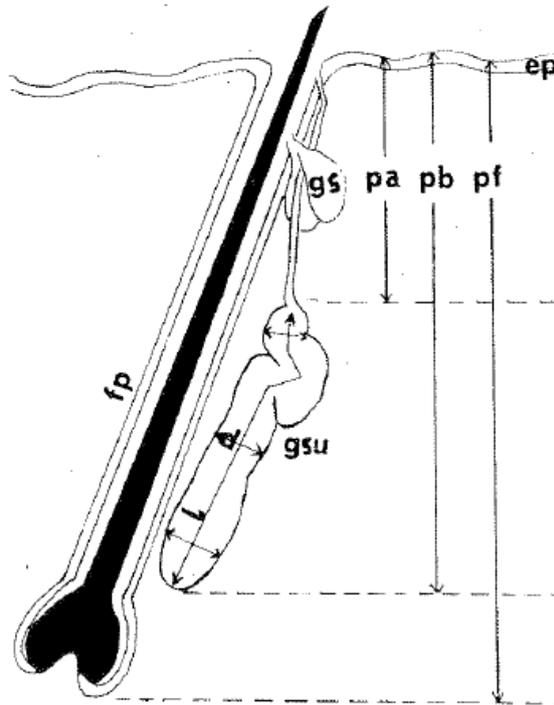


Figura N° 2. Ilustración de un corte transversal de una muestra de piel bovina, donde se esquematiza la epidermis (ep), folículo piloso (fp), glándula sudorípara (gsu), glándula sebácea (gs), profundidad apical y basal (pa y pb) del adenómero de una glándula sudorípara, profundidad de folículo (pf).

Los pelos están fijados en una invaginación tubular de la epidermis, el folículo piloso, que se extiende de forma oblicua hasta la dermis. Cada folículo se relaciona con un músculo liso, el músculo erector del pelo, y con una o más glándulas sebáceas ubicadas en la porción superior del folículo (Geneser 2007, Samuelson 2007).

Las glándulas sebáceas son alveolares y tienen la función de lubricar con sebo la epidermis y los pelos para mantener la textura y flexibilidad, entre otras funciones (Samuelson, 2007).

Las glándulas sudoríparas son tubulares y se encuentran asociadas a cada folículo piloso. El sudor es llevado hasta la superficie de la epidermis y luego allí

evaporado por el calor del cuerpo, se secreta un 99% de agua, así como sales, sodio y potasio (Samuelson, 2007).

La morfología de la glándula se compone de un conducto excretor y una base o porción secretora. El conducto excretor se dirige a la superficie de la epidermis y desemboca en la parte superior del folículo piloso. La porción secretora (adenómero) es sacular en animales *Bos taurus indicus* y helicoidales en *Bos taurus taurus*, presenta células secretoras, entre medio células mioepiteliales y revistiendo una lámina basal (Samuelson, 2007) tal como se ilustra en la figura n° 3 (Geneser, 2007).

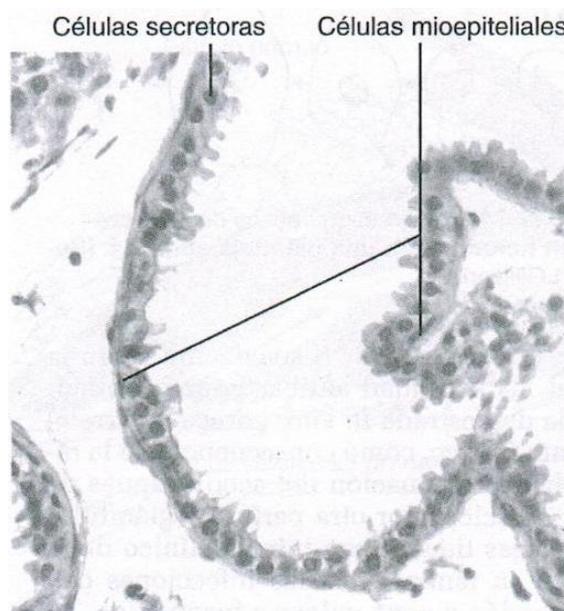


Figura N° 3. Porción secretora de una glándula sudorípara, donde se muestran células secretoras y mioepiteliales.

Las glándulas sudoríparas son importantes en la regulación de la temperatura, dado que la secreción sudorípara aumenta la liberación de calor mediante la evaporación (Geneser, 2007).

La secreción del sudor se realiza en forma refleja, ya que las glándulas sudoríparas están invadidas por fibras posganglionares simpáticas. Las células

mioepiteliales son células contráctiles y con presencia de músculo liso; cuando estas células se activan, el sudor es retenido dentro de la luz del adenómero de las células secretoras y es propulsado rápidamente a la superficie por el conducto excretor (Samuelson, 2007).

Las glándulas sudoríparas en los bovinos varían en número, tamaño, forma según genotipo y sitio de extracción de la muestra, estación del año y actividad que desarrolle el animal cuando se quiere observar el funcionamiento de las mismas (Esquivel 2012, Henao 1986, Herrera 1980).

Jenkinson y Nay (1972) compararon grupos de razas según su relación largo/diámetro de las glándulas sudoríparas (L/D), encontrando que animales Jersey presentan L/D de 8 y profundidad de 1,5 mm desde la superficie epitelial al comienzo de la glandula sudorípara, relativizando estos valores como aceptables. Las razas que presenten relación L/D de 8 y profundidades de 1,5 mm de las glándulas sudoríparas son consideradas razas adaptadas. Otras razas consideradas no adaptadas al calor pueden presentar una relación de L/D mayores a 12 y una profundidad de las glándulas sudoríparas mayores a 1,5 mm, entre este grupo, se encuentran las razas británicas.

La morfología de las glándulas sudoríparas de animales *Bos taurus taurus* y *Bos taurus indicus* es diferente, mientras que las de los *Bos indicus* (adaptados al calor) son saculares y de gran diámetro, en tanto *Bos taurus taurus* (menos adaptados al calor) presenta glándulas estrechas y helicoidales como se ilustra en la figura n° 4, Nay (1958).

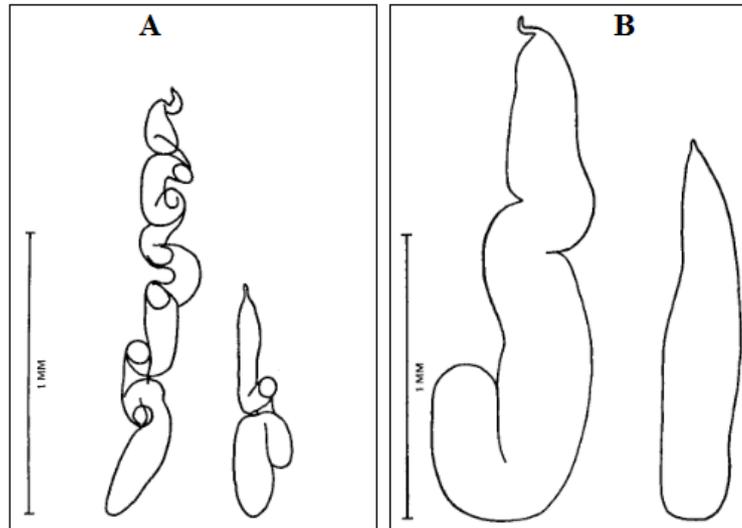


Figura N° 4. Diferencias en la morfología de glándulas sudoríparas. Largas, estrechas y helicoidales en *Bos taurus taurus*, genotipo Shorthorn (A) y saculares de gran tamaño en *Bos taurus indicus*, genotipo Sahiwal (B). Dibujadas a escala.

También se encontraron dentro de bovinos europeos individuos que poseían glándulas más largas que el promedio, de tipo estrecha y helicoidal, con lo que su resistencia es mayor que la de otros miembros de su mismo origen (Nay, 1958).

Para determinar la influencia de la temperatura y humedad ambiental algunos investigadores (Gaughan et al., 2010, Frisch y Vercoe 1992, Finch 1986, Thomas y Pearson 1986, Cartwright 1955) han observado que las frecuencias respiratoria y cardíaca, son indicadores de la reacción del animal frente a una situación de estrés térmico impidiendo el incremento de la temperatura rectal.

Se ha estudiado que las altas temperaturas del aire influyen sobre la actividad de pastoreo de los animales. Thomas y Pearson (1986) y Cartwright (1955) encontraron que animales *Bos taurus taurus* presentaban menores tasas de consumo de forraje, que conllevaba a menores ganancias de peso vivo en relación a animales *Bos taurus indicus*. Los animales al encontrarse sometidos a altas temperaturas del

aire pasaban mayor tiempo a la sombra y no pastoreaban o lo hacían con menor intensidad en un intento de volver al estado de normotermia.

El incremento de la actividad respiratoria suele ser el primer síntoma de la respuesta al estrés por calor ya que los bovinos aumentan la frecuencia y disminuyen la profundidad respiratoria (polipnea térmica) para aumentar las pérdidas de calor por las vías altas del tracto respiratorio, a su vez eliminan calor mediante la sudoración por las glándulas sudoríparas. Tienden a mantener su temperatura corporal dentro de un estrecho rango ante una gran variabilidad de la temperatura del aire, esta capacidad varía con la especie, raza, edad, características del pelaje y piel, largo del pelaje y plano nutricional (Arias et al., 2008).

Si estos mecanismos no son suficientes para disipar el calor, se producirá un incremento en la temperatura rectal, generando efectos negativos sobre las variables productivas (ganancia de peso vivo, condición corporal, producción de leche) y reproductivas (Mc Dowell et al., 1976).

Thomas y Pearson (1986) indican que normalmente la frecuencia respiratoria basal en bovinos varía entre los límites de 20 a 40 respiraciones por minuto (rpm). Estos autores postulan que es posible calificar la severidad del estrés que presentan los animales de acuerdo a su frecuencia respiratoria en: *bajo* (40 a 60 rpm.); *medio-alto* (60 a 80 rpm.); *alto* (80 a 120 rpm.) y *muy severo* (si supera las 150 rpm.).

A temperaturas del aire por encima de los 30 °C en Sudáfrica, Bonsma (1985) observó en animales Afrikaner frecuencias de 47-148 (rpm), presentando los mismos 40 °C de temperatura corporal.

En la figura n° 5 se ilustra la frecuencia respiratoria de diferentes genotipos y edades en función de la temperatura del aire (Bonsma, 1985).

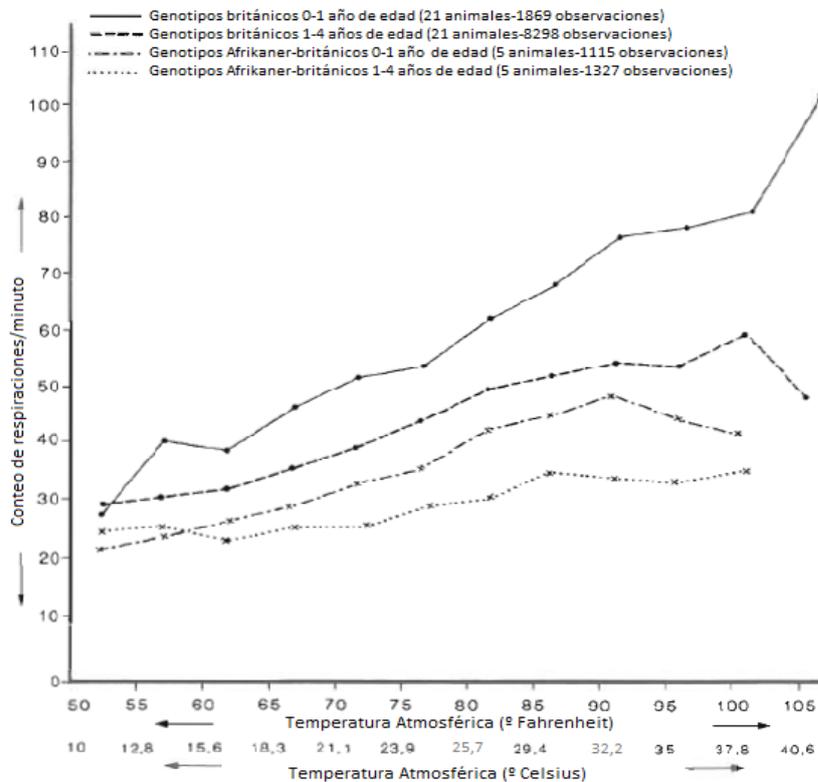


Figura N° 5. Frecuencia respiratoria (rpm) en genotipos de origen británico y cruza Afrikaner-británicos en dos estratos de edades (0-1 año y 1-4 años) en un amplio rango de la temperatura del aire (de 10 a 40°C).

Se observa en la figura n° 5 que a altas temperaturas del aire (32,2 a 37,6 °C) los animales pertenecientes a la crza Afrikaner-Británica presentan menores frecuencias respiratorias con rangos de 30-50 rpm respecto a animales Británicos puros con 50-100 rpm. Claramente se destaca que los genotipos británicos a altas temperaturas del aire presentan un estrés térmico, aumentando su frecuencia respiratoria y no les resulta posible atenuar este efecto.

Cuando ocurren altas temperaturas del aire, además de manifestarse un aumento en la frecuencia respiratoria, la temperatura corporal de los animales se eleva por encima de su temperatura crítica máxima, expresando este indicador una situación de estrés calórico.

Esquivel (2012) y Bonsma (1985) afirman que en términos generales los bovinos adultos presentan valores de temperatura corporal entre 37,5 y 39 °C considerándose normales, existen variaciones que dependen de las características de cada animal (raza, edad, pelaje, piel).

Cuando la temperatura corporal es inferior a la temperatura del aire el animal es capaz de perder calor, pero en presencia de alto contenido de humedad en el aire, esta capacidad de disipación decrece y el calor se acumula en el cuerpo (Brosh et al., 1998).

Bonsma (1985) en 1937 en las Estaciones Experimentales de Mara y Messina, Sudáfrica, realizó trabajos experimentales sobre 400 vacas Afrikaner donde las separó en 8 grupos de 50 vacas cada uno. A dos de estos grupos los entoró con toros Aberdeen Angus Rojo, otros dos con Hereford, y los restantes grupos a cada uno entoró con Red Poll, Shorthorn, Sussex y Afrikaner. Midió en algunos grupos la temperatura corporal superficial y la frecuencia respiratoria por minuto.

En la figura n° 6 se ilustra la evolución de la temperatura corporal superficial de animales de razas británicas y sus cruzas con Afrikaner, en diferentes estratos de edades (0 a 1 año y 1 a 4 años) (Bonsma, 1985).

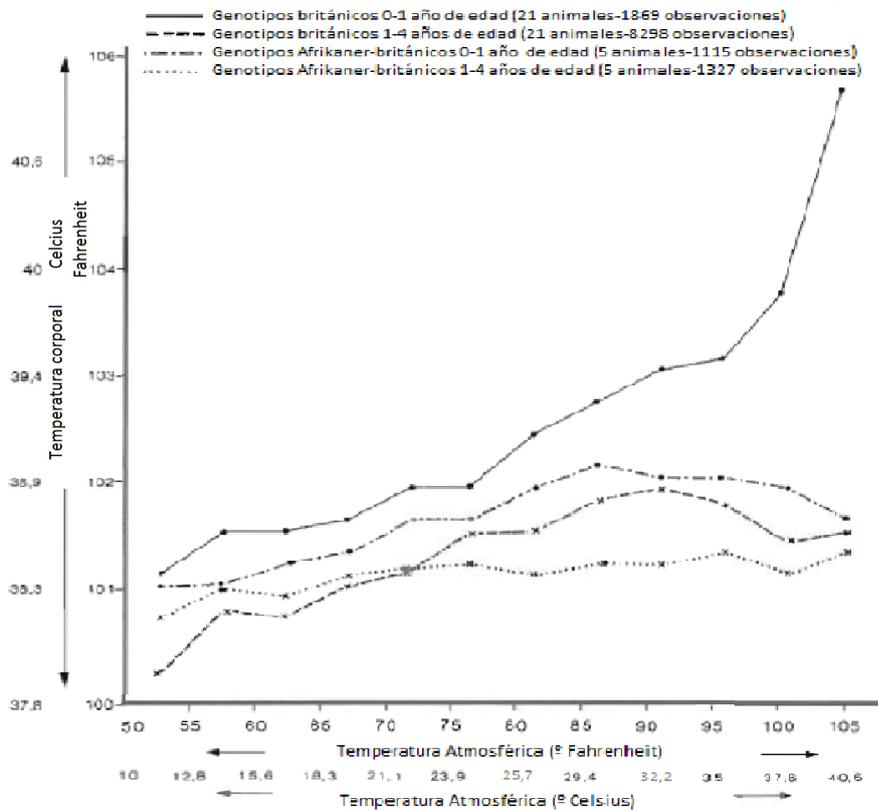


Figura N° 6. Temperatura corporal superficial de animales de genotipo británico y la cruce Afrikaner-Británicos medidas en dos estratos de edades en un amplio rango de la temperatura del aire (de 10 a 40°C) (Bonsma, 1985).

Se observa que a temperaturas del aire mayores a 24 °C todos los genotipos aumentan su temperatura corporal, siendo de mayor magnitud en animales jóvenes (0 a 1 año de edad) independiente del genotipo considerado. Observando las variaciones por biotipo, a temperaturas mayores a 24 °C, la temperatura corporal de los genotipos británicos acompañan este aumento de temperatura y no consiguen disminuirla, en cambio la cruce Afrikaner-Británicos presenta una marcada estabilidad en su temperatura corporal (aproximadamente hasta los 38-39 °C) y aún a altas temperaturas del aire (40,5 °C). Se observa además que animales correspondientes a esta cruce de 1 a 4 años son los que mantienen su temperatura corporal aún más estable en los 38 °C.

Frisch y Vercoe (1992) indican que el efecto de un incremento en la temperatura rectal es similar para todas las razas, pero influye en gran medida la temperatura del aire en que se encuentren estas razas. Estos autores destacan que a una misma temperatura del aire de 25 °C la raza Brahman y la cruce Hereford-Shorthorn (HS) no presentan diferencias en temperatura rectal (38,5 °C). Sin embargo a 33 °C de temperatura del aire, los animales HS presentan 40 °C de temperatura rectal y recién a los 39-40 °C de temperatura del aire los animales Brahman alcanzan 40 °C de temperatura rectal.

El aumento de la frecuencia respiratoria y la temperatura corporal, desencadenan un estrés en el animal, lo que repercute en menores tasas de consumo de alimento y agua, ya que el animal se encuentra en disconfort con el ambiente y la reducción de la ingesta de alimentos resulta una estrategia fisiológica del organismo para mantener la homeotermia. Una disminución en el consumo de alimentos genera pérdidas de peso vivo (Thomas y Pearson 1986, Cartwright 1955).

En Texas (Estados Unidos) trabajando con animales en pastoreo, se registraron en animales británicos pérdidas de peso vivo en verano de 9,98 kg, mientras que animales cebú pérdidas de 2,2 kg en el mismo período de tiempo. La adaptación que presentan los animales cebú a ambientes del trópico y subtropical está comprendida por la capacidad de no interrumpir el pastoreo aún a altas temperaturas (Cartwright, 1955).

En trabajos realizados en Sudáfrica, donde se midió la distancia recorrida en animales británicos de pelaje corto y largo y en animales de la raza Afrikaner, el ganado británico de pelaje largo recorrió en caminata una distancia de 6,4 km presentando temperaturas corporales mayores a 41 °C con síntomas de estrés, el de pelaje corto llegó a recorrer 25,6 km y el ganado Afrikaner recorrió 64 km en 12 horas sin presentar síntomas de estrés (Bonsma, 1985).

En un experimento realizado en San Pablo, Brasil, evaluaron el comportamiento en pastoreo de 24 novillos de aproximadamente 9 meses de edad y 250 kg peso vivo promedio hijos de toros Angus, Bonsmara y Canchim con vacas

cruzas Angus×Nelore y Simmental×Nelore, generando 6 grupos genéticos (De Oliveira et al., 2008). Observaron a los animales cada 10 minutos desde las 7 a las 18 horas, por 3 días. La actividad de rumia no presentó diferencias significativas entre razas ($p=0,24$) en tanto en la actividad de descanso sí se encontraron diferencias significativas ($p=0,01$). Para tiempo en pastoreo, el genotipo Angus (Angus×Nelore) pastoreó 433 m, 407 m los animales Angus (Simmental×Nelore), 409 m Bonsmara (Angus×Nelore), 412 m para Bonsmara (Simmental×Nelore) y 424 m en Canchim (Angus×Nelore) y Canchim (Simmental×Nelore).

Este escenario, genera ciertas ventajas sobre la elección de animales para cada ambiente en el que se quiera producir, ya que aquellos animales que aún a altas temperaturas del aire continúan pastoreando no generan pérdidas en peso vivo respecto a los animales no adaptados, que interrumpen el consumo de forraje para evadir y mitigar este discomfort.

Otra variable indicadora en los animales que muestran adaptación de los mismos a ambientes calurosos es la baja presencia de endoparásitos.

La incidencia de parasitosis producidas por nematodos gastrointestinales en los sistemas ganaderos del Uruguay ha generado pérdidas productivas que el productor muchas veces no considera relevantes, siendo el manejo y el año los factores que influyen estas parasitosis (Nari y Risso, 1994).

Estos mismos autores indican que los efectos fisiopatológicos que causan los nemátodos gastrointestinales en los animales, repercuten en una menor eficiencia en la utilización de energía y reconversión de la proteína vegetal en proteína animal.

Las categorías jóvenes en bovinos presentan fundamentalmente *Cooperia spp* (64 % de los casos), *Ostertagia spp* (25 %) y *Haemonchus spp* (6 %). En categorías de sobreaño hay una gran incidencia de *Trichostrongylus axei* (Nari y Risso, 1994).

En síntesis, los animales están condicionados por el ambiente en el que se encuentran, muchas veces estos animales no se adaptan al mismo, disminuyendo su

producción en carne, leche y eficiencia reproductiva, que generan resultados negativos para el productor por bajos retornos económicos.

Es motivo de estudio, hallar un determinado genotipo que cumpla con determinados caracteres adaptativos y productivos para optimizar el rendimiento en el sistema ganadero que corresponda, ya que se ha destacado que no todos los genotipos responden por igual ante el mismo ambiente.

1.3. HIPÓTESIS

Las vaquillonas cruza Bonsmara-Hereford presentan diferencias en sus respuestas adaptativas, productivas y comportamentales, en relación a las vaquillonas de raza Hereford pura contemporáneas, comprobándose con la misma alimentación pastoril y manejo, y en las condiciones meteorológicas adversas del Litoral Noroeste del Uruguay.

1.4. OBJETIVO GENERAL

Evaluar en verano e invierno variables de respuesta adaptativas, de comportamiento y crecimiento en vaquillonas de sobreño cruza Bonsmara-Hereford (F1) y Hereford puras contemporáneas, en un sistema pastoril de campo natural y ante las condiciones adversas del Litoral Noroeste del Uruguay.

1.4.1. Objetivos específicos

Evaluar en vaquillonas de sobreño cruce Bonsmara-Hereford (BH) en relación a la raza pura Hereford (HH) contemporáneas:

- ❖ Caracteres productivos: evolución de peso vivo y condición corporal.
- ❖ Respuestas fisiológicas (frecuencia respiratoria, temperatura corporal superficial (en frente y flanco) y temperatura rectal).
- ❖ Caracteres de pelaje (longitud, peso y cantidad de pelos) y piel (densidad, altura del epitelio secretor y volumen de glándulas sudoríparas, distancia epidermis-glándula sudorípara inicio, distancia epidermis-glándula sudorípara final y densidad de folículos pilosos).
- ❖ Carga de parásitos gastrointestinales.
- ❖ Comportamiento en pastoreo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se realizó en la Estación Experimental “Dr. Mario A. Cassinoni” (EEMAC), Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Uruguay, ubicada en Ruta 3 km 363, Paysandú (latitud 32°22`S, longitud 58°03`W, 42 m por encima del nivel del mar).

En esta región, la temperatura del aire promedio en verano (diciembre, enero y febrero) alcanza los 24 °C (con máximos absolutos de 41 °C) y la humedad del aire promedio del 69 %. Para las mismas variables el promedio en invierno (junio, julio y agosto) es de 11 °C (con mínimos absolutos de -4 °C) y la humedad relativa de 80 %. Registros históricos de precipitación total promedio en enero y febrero son de 115 mm y en junio y julio, de 70 mm (INUMET, 2015).

El período experimental abarcó dos etapas: verano (desde enero a marzo) e invierno (julio a agosto) durante el año 2013.

Los animales utilizados (33 en total) fueron vaquillonas de sobreño contemporáneas, 15 cruza Bonsmara-Hereford (BH) y 18 Hereford puras (HH).

Durante el periodo experimental fueron relevadas variables en el ambiente y en los animales desarrolladas a continuación.

2.1. CARACTERIZACIÓN METEOROLÓGICA EN BASE A ÍNDICES BIOMETEOROLÓGICOS

Primariamente se debe caracterizar el ambiente donde se encuentran los animales, para ello existen varios índices que permiten su caracterización.

Para caracterizar el ambiente meteorológico se utilizaron registros horarios de temperatura del aire (t_a , °C) y humedad del aire (HR, %), radiación solar global (RAD, W/m^2) y velocidad del viento a 2 metros de altura (VV, m/s) de la Estación

Meteorológica Automática (EMA) ubicada en EEMAC (Modelo Vantage Pro 2, Davis Instruments, CA, 2007).

También se instalaron esferas de Vernon o Black Globe (Berbigier, 1988) a 1,5 m de altura al sol y a la sombra en el potrero donde se encontraban las vaquillonas.

Estas esferas son de cobre, pintadas de color negro mate de 16 centímetros de diámetro, que en su interior tienen colocado un dispositivo sensor Kooltrak (iButtons-TMEX modelo DS1921, Dallas Semiconductors, Dallas, TX). El Kooltrak registra de forma electrónica cada quince minutos datos de temperatura (tBG, °C) que integran calor por convección y radiación, que expresa las ganancias y pérdidas de calor del ambiente medido.

Los registros de EMA y de las esferas de Vernon se utilizaron para realizar varios índices entre ellos: el Índice de Temperatura y Humedad (ITH, Thom, 1959), el ITH ajustado (ITH_{ajust} , Mader et al., 2006), el ITH de Esfera Negra el BGTHI (Mader et al., 2006) y el Índice Climático Integral (CCI, Mader et al., 2010).

2.1.1. Índice de Temperatura y Humedad (ITH) e ITH de Esfera Negra (BGITH)

Se utilizaron registros horarios y diarios de temperatura y humedad del aire extraídos de la EMA y datos de temperatura provenientes de las Esferas de Vernon se integraron a ecuaciones del Índice de Temperatura y Humedad (ITH) (Thom, 1959) y BGTHI (Mader et al., 2006).

Ecuación 1 (Thom 1959, conversión de Valtorta y Gallardo, 1996):

$$ITH = (0,8 \times ta + ((HR/100) \times (ta - 14,4)) + 46,4$$

Ecuación 2 (Mader et al., (2006):

$$BGITH = (0,8 \times tBG + ((HR/100) \times (tBG - 14,4)) + 46,4$$

2.1.2. Índice de Temperatura y Humedad ajustados por velocidad del viento y radiación solar (ITH_{ajust})

Utilizando los datos horarios y diarios de temperatura y humedad del aire, velocidad del viento y radiación solar global obtenidos de la EMA se estimó el ITH_{ajust} (Mader et al., 2006).

Ecuación 3 (Mader et al., 2006):

$$\text{ITH horario ajustado} = 4,51 + \text{ITH} - (1,992 \times \text{VV}) + (0,0068 \times \text{RAD})$$

Ecuación 4 (Mader et al., 2006):

$$\text{ITH ajustado diario} = 6,8 + \text{ITH} - (3,075 \times \text{VV}) + (0,0114 \times \text{RAD})$$

2.1.3. Índice Climático Integral (CCI)

El CCI es un índice que se ajusta por temperatura y humedad del aire, velocidad del viento y radiación solar global para condiciones ambientales que abarcan calor o frío. Este índice, al incorporar condiciones meteorológicas de ambientes fríos, es más amplio para predecir la susceptibilidad de los animales al ambiente ya que los demás índices, como el ITH, no consideran umbrales para condiciones de frío, puesto que las condiciones meteorológicas que implican condiciones de estrés incluyen además de la temperatura del aire, las pérdidas de calor por convección (viento) y radiación.

El CCI fue validado por Mader et al. (2010) en base a la repuesta de bovinos (mortalidad de animales durante olas de calor y consumo de alimento durante el invierno) a partir de un amplio espectro de condiciones ambientales (eventos de olas de calor severas e inviernos extremadamente fríos) y proporciona un ajuste con varios elementos meteorológicos por lo que en este experimento se utilizó para considerar la respuesta animal verano e invierno, tratando de unificar las condiciones

de comparación al utilizar el mismo índice en condiciones ambientales tan contrastantes.

Ecuación 5 (Mader et al., 2010):

$$CCI = \text{Taire} + \text{Ecuación A} + \text{Ecuación B} + \text{Ecuación C}$$

$$\text{Ecuación A} = \exp^{(0,00182 \times \text{HR}) + (1,8e-05 \times \text{Taire} \times \text{HR})} \times ((\text{Taire}^2) \times 0,000054) + (0,00192 \times \text{Taire}) - (0,0246) \times (\text{HR} - 30)$$

$$\text{Ecuación B} = (-6,56 / \exp^{((1/2,26 \times \text{VV} + 0,23) \times 0,45) \times (2,9 + 1,14 \times 10^{-6} \times \text{VV}^2,5 - \log 0,3(2,26 \times \text{VV} + 0,33) - 2)}) - 0,00566 \times \text{VV}^2 + 3,33$$

$$\text{Ecuación C} = 0,0076 \times \text{RAD} - 0,00002 \times \text{RAD} \times \text{Taire} + 0,00005 \times \text{Taire}^2 \times \sqrt{\text{RAD}} + 0,1 \times \text{Taire} - 2$$

2.1.4. Caracterización de las condiciones meteorológicas

A partir de la realización de los ITH ajustados diarios (*Ecuación 4*) se clasificaron rangos de ITH para el bienestar animal en bovinos de carne en condiciones de feedlot (Livestock Weather Safety Index, Livestock Conservation Institute citados Mader y Davis, 2002).

Se definieron olas de calor con los siguientes criterios:

- ❖ Si al menos durante tres días consecutivos o más, la recuperación nocturna (referida a la normotermia de los animales) no abarca al menos diez horas (ITH menor a 74), o sea si en el día, el ITH horario (utilizando *Ecuación 3*) fue mayor o igual a 74 durante 14 horas o más (Valtorta et al., 2002).
- ❖ Si el ITH promedio diario (utilizando *Ecuación 4*) fue mayor a 74 durante tres días consecutivos o más considerándose que la ola no se interrumpe si solo en un día no se alcanzaba este umbral (Valtorta et al., 2004).

Se clasificaron en ola de calor severa (OCS) si se cumplen los dos criterios, ola de calor leve (OCL) si se cumple al menos un criterio, días de no ola de calor (NOC) si no se cumple ningún criterio (Saravia et al., 2011).

En las ecuaciones empleadas para determinar el CCI se tuvo en cuenta el cuadro n° 5, que indica los niveles de estrés o susceptibilidad animal en condiciones de frío y calor según lo reportado por Mader et al. (2010). En este cuadro, el mínimo nivel del índice CCI en condiciones de calor es 25 °C y a partir de ese umbral se generan niveles de estrés de diferente severidad: leve, moderado, severo, extremo y peligro para el bienestar animal y también se indica que en temperaturas del aire de 0 a 5 °C ya hay condiciones de susceptibilidad leve por parte de los bovinos.

Cuadro N° 5. Niveles de estrés o susceptibilidad animal según el Índice Climático Integral (CCI) en condiciones de calor y frío (rangos de temperaturas del aire expresadas en °C) (Mader et al., 2010).

Ambiente	Condiciones de calor	Condiciones de frío	
		Susceptibilidad animal	
		alta	baja
No estrés	< 25	> 5	> 0
Leve	25 a 30	0 a 5	0 a -10
Moderado	> 30 a 35	< 0 a -5	< -10 a -20
Severo	> 35 a 40	< -5 a -10	< -20 a -30
Extremo	> 40 a 45	< -10 a -15	< -30 a -40
Peligro	> 45	< -15	< -40

2.2. CARACTERES PRODUCTIVOS

Los caracteres productivos contemplan desde la oferta del forraje del potrero en cuanto a cantidad y calidad de la misma, el peso vivo registrado y evaluado como ganancia diaria y la condición corporal de las vaquillonas.

Además se estudia la carga de parásitos gastrointestinales en ambos genotipos.

2.2.1. Disponibilidad y composición química de la pastura

Los animales fueron localizados en el potrero N° 26 de la Estación Experimental Mario A Cassinoni (EEMAC), correspondiendo a un campo sembrado con una pradera de festuca de 4to año.

En tres momentos, inicio, mitad y final del período estival, se estimó la disponibilidad de forraje por el Método de Rendimientos Comparativos de Haydock y Shaw (1975), el cual consta de los siguientes pasos:

- ❖ Determinación de 3 o 5 escalas visuales dependiendo de la heterogeneidad de la pastura al momento del muestreo en el potrero.
- ❖ Asociar los valores de la escala a un rectángulo de 0,2 por 0,5 m según disponibilidad y altura de la pastura
- ❖ Corte de las muestras al ras (dentro del rectángulo) de cada escala.
- ❖ Observaciones cada 10 pasos en todo el potrero (se adjudica un punto de la escala)
- ❖ Peso fresco de las muestras de forraje de cada corte en balanza electrónica (precisión 0,5 kg).

- ❖ Secado a estufa durante 48 hs a 60 °C.
- ❖ Peso seco de muestras en balanza electrónica (precisión 0,5 kg).

Posteriormente, las muestras de forraje se procesaron en el Laboratorio de Nutrición Animal del Departamento de Producción Animal y Pasturas de la Facultad de Agronomía, ubicado en Montevideo y se determinó la composición química (Proteína Cruda (PC) (Kjeldahl, 1883), Fibra Detergente Neutro (FDN) y Fibra Detergente Ácido (FDA) (Van Soest, 1994).

En invierno no se realizó esta medición debido a que al haber poca disponibilidad forrajera se rotaban los animales continuamente entre varios potreros y no se podía seguir una continuidad o diferencias de entrada y salida para disponibilidad forrajera.

2.2.2. Peso vivo y condición corporal

Desde el mes de diciembre a julio, se registró quincenalmente en todas las vaquillonas el peso vivo mediante una balanza electrónica (0,5 kg de precisión).

Posteriormente se estimó la ganancia de peso absoluta (GPA) mediante la ecuación $[(\text{Peso } 1 - \text{Peso } 2) / (\text{Edad } 1 - \text{Edad } 2)]$ (kg/días), según lo reportado por Cardozo y Saint-Upery (1996).

Se consideró el peso vivo como GPA y no como peso vivo como tal, debido a que las F1 por ser cruza presentan siempre peso vivo superior a las puras por la expresión del vigor híbrido.

Simultáneamente, al registrarse el peso vivo en la balanza electrónica, a la salida del tubo de trabajo se registró por apreciación visual la condición corporal mediante la Escala de 1-8 validada por Vizcarra et al. (1986).

2.2.3. Carga de parásitos gastrointestinales

Desde el mes de febrero a octubre, cada 15 días se realizó extracción rectal de heces (200 gramos aprox.) de cada animal para determinar la carga parasitaria de nematodos gastrointestinales.

Se estimó la cantidad de huevos por gramo promedio por genotipo y por mes. Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Parasitología de Facultad de Veterinaria CENUR Litoral Norte, sede Salto.

La estimación de la carga parasitaria se realizó determinando para cada muestra la cantidad de huevos por gramo (HPG) de nematodos gastrointestinales eliminados, a través de la técnica de Mc Master, con una sensibilidad de 20 HPG (Thienpont et al., 1986).

A los efectos de conocer los géneros de nematodos que se encontraban involucrados, se efectuó un agrupamiento de muestras por raza y categoría animal y se procesó para la obtención e identificación de larvas infestantes de acuerdo a la técnica de O'Sullivan (Othaix y Tolosa 2014, Niec 1968).

Por medidas de manejo fijo de la EEMAC, los animales en estudio se dosificaron con fosfato de levamisol al 22,3 % a la dosis de 6,2 mg/kg PV por vía subcutánea en los meses de agosto y octubre.

2.3.CARACTERES ADAPTATIVOS A LA VARIACIÓN METEOROLÓGICA

En este sector se determinaron respuestas fisiológicas, caracteres morfológicos que contemplan características del pelaje según la estación de medición e histología de la piel, observando glándulas sudoríparas y folículos pilosos.

2.3.1. Respuestas fisiológicas: frecuencia respiratoria, temperatura rectal y corporal superficial

En el período experimental de verano, semanalmente, dos días consecutivos, en las primeras horas de la mañana (7 AM, temperatura del aire más baja) y de tarde (4 PM, temperatura del aire más elevada) se determinó la temperatura rectal con termómetro de mercurio de 0,1 °C de precisión durante 1 minuto, y la temperatura corporal superficial en la frente y flanco con un termómetro infrarrojo (Modelo Extech, Pocket IR Thermometer, IR201A).

Al mismo momento se registró la frecuencia respiratoria en un minuto mediante la observación del flanco (número de respiraciones por minuto, rpm), conforme descrito por Gaughan et al. (2000).

Entre el ingreso de las vaquillonas al tubo de las mangas y el registro de las mediciones fisiológicas se esperaba un tiempo de 5 minutos para que estuvieran tranquilas y no se modificara el registro de estas variables debido al arreo.

Para el período experimental de invierno se realizaron la mismas mediciones que en verano pero en los horarios 8 AM y 5 PM.

2.3.2. Morfológicos

2.3.2.1. Características del pelaje

A cada animal se le extrajo un mechón de pelo de aproximadamente un cm² de la zona dorsal, una vez en verano y otra vez en invierno.

Se midió la longitud y el peso de 25 pelos (para objetivizar el cm² extraído). La longitud de cada pelo por vaca se midió con un calibre digital (0-200 mm) Stainless

Hardened. Luego se promediaron las longitudes de los 25 pelos y con este dato se analizó por genotipo.

El peso en conjunto de los 25 pelos de cada vaca se determinó en una balanza analítica digital FA 2104 (0,1 mg) en el laboratorio de Fisiología Vegetal, EEMAC.

2.3.2.2. Histología de la piel

Las muestras de piel para determinar la morfología y cantidad de las glándulas sudoríparas fueron extraídas de la zona costal (flanco) de cada animal, una sola vez en el mes de agosto. Según la revisión bibliográfica la zona elegida para la extracción de la muestra es representativa respecto a todo el cuerpo del animal en glándulas sudoríparas y folículos pilosos.

Se aplicó anestesia local en un cm² de piel hasta la hipodermis en cada animal.

Para su extracción se utilizó un “sacabocado” con una trefina con cuchilla circular de 1,0 cm de diámetro con corte perpendicular según procedimiento descrito por Carter y Clarke (1959).

Las muestras se fijaron inmediatamente de tomadas, en una solución de formol (paraformaldehído) a una concentración de entre 4 y 10% (frecuentemente 5%), para su posterior análisis en el Laboratorio de Histología de Piel Animal de la Estación Experimental de Facultad de Agronomía en Salto, (EEFAS) Universidad de la República.

Cada muestra fue procesada según la técnica de Maddocks y Jackson (1988). La muestra que ha sido conservada en formol 10 %, se traslada en un primer paso a alcohol 96° manteniéndola durante 12 horas. Posteriormente, se pasa a un primer alcohol absoluto (100°) donde permanece por 1 hora. Luego, a un segundo alcohol absoluto (100°) donde también permanece por una hora. Antes de hacer la primera inclusión en parafina se realizan 2 pasadas sucesivas por cloroformo comercial

manteniéndola en cada uno de ellos una hora. Una vez terminada la etapa de deshidratación mediante los alcoholes, se realiza la infiltración de los especímenes en parafina fundida, con dos pasajes sucesivos por parafina pura (p.f. 54-56°) de una hora el primero y de 3 horas el segundo. Posteriormente cada biopsia de espécimen fue embebida en parafina con el lado epitelial hacia dentro, y luego suavemente aplastada mientras que la parafina estaba fundida todavía, en un pequeño molde quedando en forma de bloques de parafina, prontas para ser cortadas. Para esto se utilizó un Micrótopo de Rotación Manual (Spencer, Modelo 820) con cuchillas descartables marca Leica Modelo 819. Para la extracción de las secciones de piel una vez colocada la biopsia sobre el porta bloque del micrótopo se cortaron dos bandas de sección de piel parafinadas, de 4 a 5 micrómetros de espesor, una más superficial para poder realizar el conteo de los folículos secundarios derivados, y una al nivel estándar (Maddocks y Jackson, 1988), a la altura media de la glándula sudorípara. Los cortes fueron llevados a un baño de flotación con agua a 40 °C y fijados a portaobjetos con gelatina, siendo secados en estufa a 45 °C, durante toda la noche. Para la desparafinización se realizaron dos pasajes sucesivos en Xilol. Se hidrató con sucesivos cambios de alcoholes de graduación decreciente y finalmente, agua destilada. La coloración se realizó con los siguientes colorantes: hematoxilina de Mayer (en este caso se substituyó por hematoxilina de Harris porque colorea mejor los núcleos), ácido pícrico y eosina. Primeramente se colocó la muestra en hematoxilina durante 5 minutos, se enjuagó con agua corriente y se puso durante 10 minutos en agua para lograr el viraje de la hematoxilina. Luego se colocó 5 minutos en ácido pícrico, se lavó con agua destilada por 1 minuto, se hizo un pasaje por alcohol 70° y por último se mantuvo en la eosina de 1 a 3 minutos, posteriormente se hizo un pasaje por alcohol 95° enjuagando y de ahí se colocó en alcohol 100° (alcohol absoluto) por unos 3 minutos. Los cortes fueron deshidratados nuevamente y posteriormente, aclarados en dos baños de xilol de 3 minutos cada uno. Instaladas de manera permanente en los portaobjetos los cortes de piel a partir de las biopsias tomadas, el montaje se realizó con bálsamo del Canadá sintético, secándose las láminas por 72 horas en estufa a 40 °C (Vallejo, 2011).

Luego de procesadas las muestras, en el Laboratorio de Análisis de Imágenes, Área de Histología y Embriología, Departamento de Morfología y Desarrollo de la Facultad de Veterinaria, Universidad de la República, ubicado en Montevideo, se utilizó un microscopio Olympus BX50, el programa Image Pro-Premier y se realizaron las siguientes mediciones:

- ❖ Corte longitudinal de la muestra:
 - ❖ Conteo de glándulas sudoríparas (mediano aumento 100x).
 - ❖ Conteo de folículos pilosos (mediano aumento 100x).
- ❖ Corte transversal de la muestra:
 - ❖ Profundidad de cada glándula sudorípara respecto a la epidermis, profundidad apical y basal (menor aumento 40x).
 - ❖ Volumen de cada glándula sudorípara (mediano aumento 100x).
 - ❖ Altura del epitelio secretor (células secretoras) de cada glándula sudorípara (máximo aumento 400x).

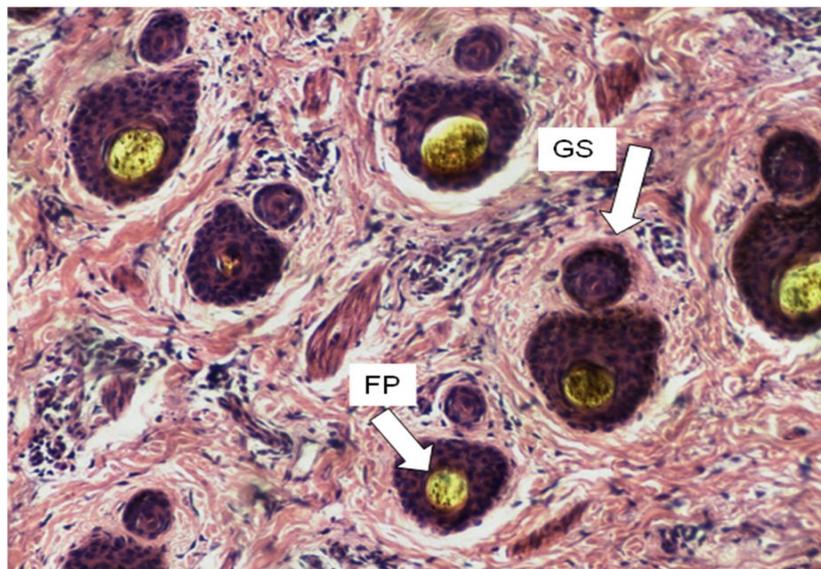


Figura N° 7. Corte longitudinal de muestra histológica de piel bovina. Se muestran folículos pilosos (FP) y conductos de glándulas sudoríparas (GS) (mediano aumento 100x).

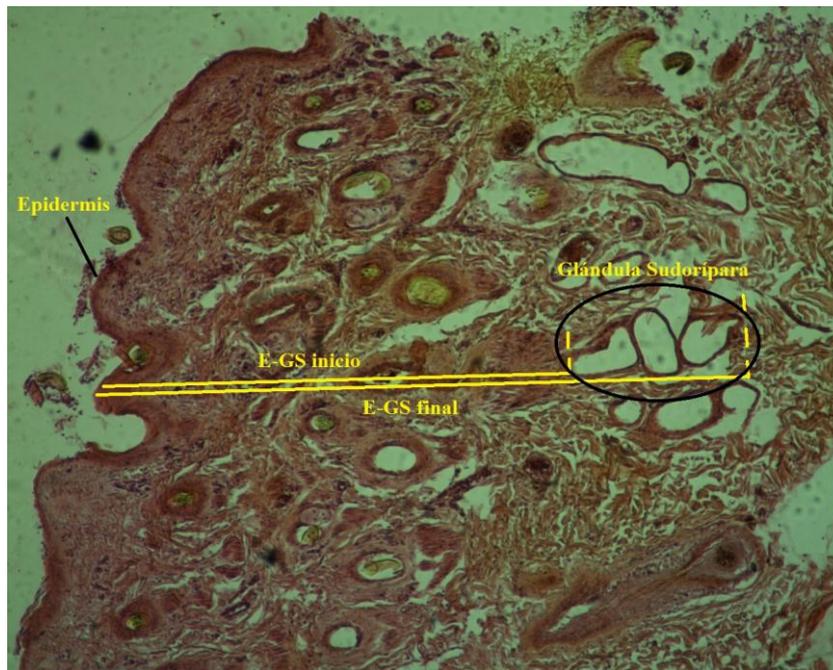


Figura N° 8. Corte transversal de muestra histológica de piel bovina. Se muestra la epidermis, glándulas sudoríparas, (adenómeros) y la distancia entre la epidermis y el inicio de cada adenómero de glándula sudorípara ($E-GS_{início}$) así como la distancia entre la epidermis y el final de cada adenómero de la glándula sudorípara ($E-GS_{final}$) (menor aumento 40x).

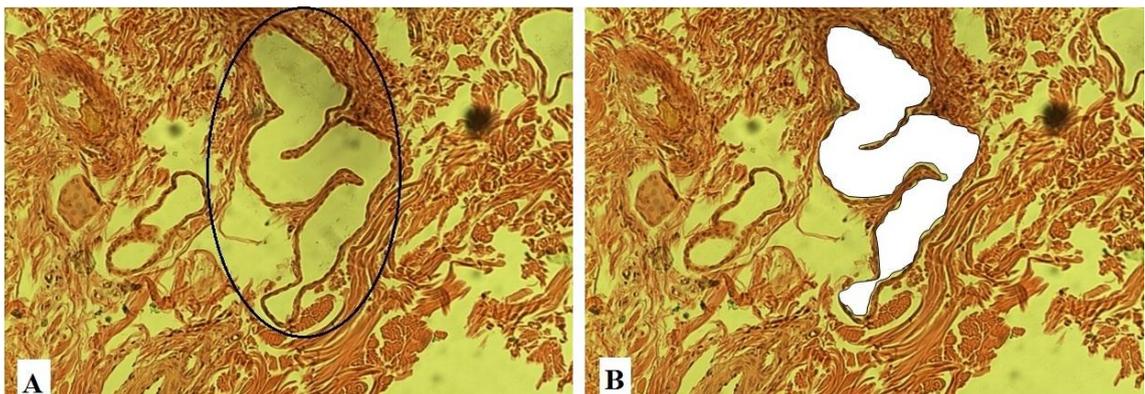


Figura N° 9. Corte transversal de muestra histológica de piel bovina. Se muestra una glándula sudorípara (A) y cómo se estima el volumen de su luz a partir del área de sección de dicha luz (B) (mediano aumento 100x).



Figura N° 10. Corte transversal de muestra histológica de piel bovina. Se muestra la altura del epitelio secretor de una glándula sudorípara (flecha blanca) (máximo aumento 400x).

2.4. CARACTERES COMPORTAMENTALES

Durante el verano se evaluó comportamiento en pastoreo por observación de 10 animales (5 HH y 5 BH), observando en tres ocasiones a lo largo del período experimental.

Cada 10 minutos se registró la ubicación de cada animal (a la sombra o al sol), así como su actividad: pastoreo (P), rumia (R) o descanso (D), desde la salida hasta la puesta del sol.

En invierno no se realizó esta medición debido a que al haber poca disponibilidad forrajera se rotaban los animales continuamente entre varios potreros.

2.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Las variables peso vivo, ganancia de peso absoluta y condición corporal fueron analizadas mediante un modelo de medidas repetidas en el tiempo bajo un diseño completamente aleatorizado.

El modelo contenía los efectos fijos: el genotipo (HH y BH), los momentos de medición (10 medidas) y la interacción genotipo \times momentos de medición; en tanto la identificación de la vaca fue considerado como efecto aleatorio.

$$y_{ijk} = \mu + G_i + \delta_{ij} + M_k + (G*M)_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde $y = PV, GPV$ y CC , $G_i =$ Genotipo (BH y HH), $\delta_{ij} =$ Error aleatorio con media=0 y varianza σ^2_{δ} , varianza entre animales (subjects) dentro de cada genotipo, igual a la covarianza entre medidas repetidas en cada animal, $M_k =$ Momentos de medición, $(G \times M)_{ik}$ la interacción entre Genotipo y Montento, y $\varepsilon_{ijk} =$ Error del modelo.

ANOVAs (ánalisis de varianza) y medias de mínimos cuadrados fueron analizados por el procedimiento MIXED del programa SAS, comparando con el test de Tukey ajustado, cada nivel de cada efecto significativo ($p < 0,05$) (SAS Institute, Cary, NC, 2009).

Las variables fisiológicas determinadas en verano e invierno (FR, TR, TCS) en AM y PM fueron analizadas mediante un modelo de medidas repetidas en el tiempo bajo un diseño completamente aleatorizado.

El modelo contenía como efectos fijos el Genotipo (HH y BH), el Día de medición (incluye olas de calor en verano y niveles de CCI en verano e invierno), la interacción Genotipo \times Día de medición; y como efecto aleatorio, la vaca.

$$y_{ijk} = \mu + G_i + \delta_{ij} + D_k + (G \times D)_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

Siendo: y = variables fisiológicas (FR, TR y TCS (frente y flanco)), G_i = Genotipo (BH y HH), D_k = Día de medición que contiene olas de calor (NOC = No Ola de Calor, OCL = Ola de Calor Leve, OCS = Ola de Calor Severa) o los niveles de CCI (sin estrés, estrés leve, moderado, severo y extremo), δ_{ij} = Error aleatorio con media=0 y varianza σ^2_{δ} , varianza entre animales (subjects) dentro de cada genotipo, igual a la covarianza entre medidas repetidas en cada animal, $(G \times D)_{ik}$ la interacción entre Genotipo y Día de medición, y ε_{ijk} = Error del modelo.

La comparación de medias se realizó mediante contrastes ortogonales entre genotipos y dentro de cada genotipo cada día de medición. (SAS Institute, Cary, NC, 2009).

Las variables de pelaje, histología de la piel y comportamiento en pastoreo se realizaron a través de un ANOVA donde el modelo contenía los efectos fijos: el genotipo (HH y BH) y los momentos de medición, la interacción genotipo \times momentos de medición; y la identificación de la vaca como efecto aleatorio.

$$y_{ijk} = \mu + G_i + M_j + (G*M)_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Donde y = Longitud y peso de pelos; densidad, altura del epitelio secretor, volumen de glándulas sudoríparas, densidad de folículos pilosos, distancia epidermis-glándula sudorípara, G_i = Genotipo (BH y HH), M_j = Momentos de medición (verano e invierno), $(G*M)_{ij}$ la interacción entre Genotipo y Momento y ε_{ij} = Error del modelo.

ANOVAs y medias de los mínimos cuadrados fueron analizados por el procedimiento MIXED del programa SAS comparando con el test de Tukey ajustado

para cada nivel de cada efecto significativo ($p < 0,05$) (SAS Institute, Cary, NC, 2009).

El conteo de HPG (Huevos por Gramo de Materia Fecal) se analizó bajo modelo con distribución de Poisson, mediante modelo lineal generalizado usando el procedimiento GLIMMIX del programa SAS (SAS, 2009). El modelo incluyó los efectos fijos del grupo genético (HH y BH) y mes de muestreo, y la vaca como efecto aleatorio.

$$\text{Ln}(y_{ijk}) = \beta_0 + G_i + \delta_{ij} + M_k + (G*M)_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde Ln (logaritmo natural de la media poblacional) de $y = \text{HPG}$, $\beta_0 =$ Intercepto del modelo, $G_i =$ Genotipo (HH y BH), $\delta_{ij} =$ Error aleatorio con media=0 y varianza σ^2_{δ} , varianza entre animales (subjects) dentro de cada genotipo, igual a la covarianza entre medidas repetidas en cada animal, $M_k =$ Mes de medición (febrero a octubre), $(G*M)_{ik}$ interacción entre Genotipo y Momento y $\varepsilon_{ijk} =$ Error del modelo.

ANOVAs y medias de los mínimos cuadrados fueron analizados por el procedimiento MIXED del programa SAS comparando con el test de Tukey ajustado para cada nivel de cada efecto significativo ($p < 0,05$) (SAS Institute, Cary, NC, 2009).

3. RESULTADOS

3.1. CONDICIONES METEOROLÓGICAS

Se compararon los datos meteorológicos del período experimental en Paysandú, EEAMC (2013) con los datos meteorológicos históricos del período 1961-1991 de la Estación Meteorológica de Paysandú del Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET, 2015) (figura n° 11).

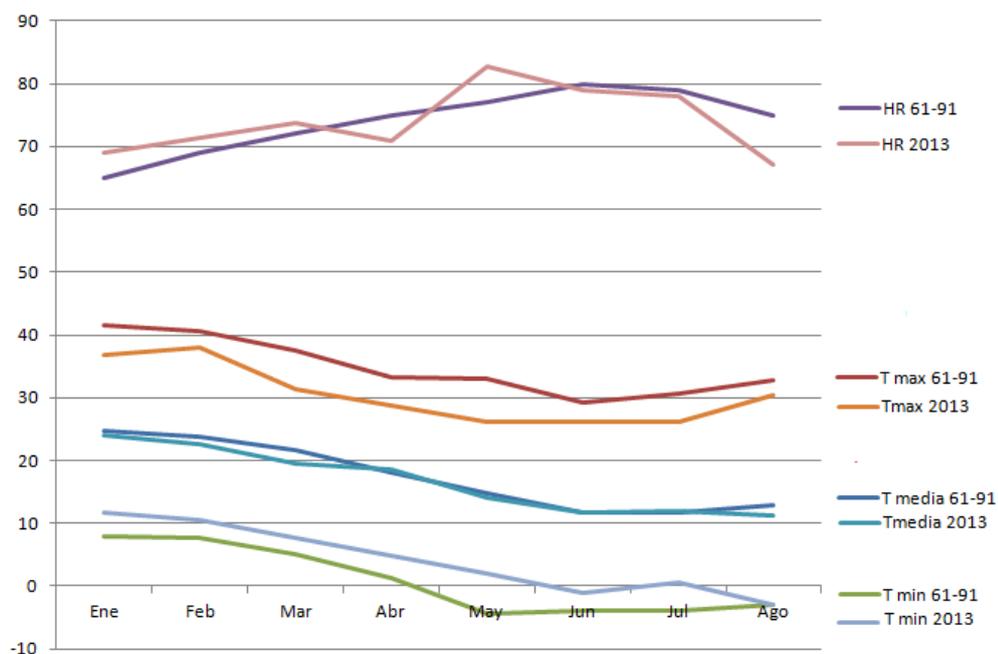


Figura N° 11. Datos meteorológicos promedios mensuales de enero a agosto de Temperatura del aire media (T media, °C), máximas (T max, °C) y mínimas (T min, °C), y Humedad del aire (HR, %) del período histórico 1961-1991 vs el período experimental 2013, en Paysandú.

Se observa que las temperaturas máximas fueron menores a las máximas históricas y las temperaturas mínimas del período experimental fueron mayores a las

históricas, lo que determinó una menor amplitud térmica que lo históricamente esperado.

La humedad del aire medida en 2013 evidenció grandes oscilaciones respecto a datos históricos.

Se realizó la caracterización meteorológica a través de varios índices biometeorológicos, donde posteriormente se consideró sólo uno para representar el ambiente.

Se compararon el Índice de Temperatura y Humedad, ITH (Thom, 1959), el Índice de Temperatura y Humedad ajustados por velocidad del viento y radiación solar, ITH_{ajust} (Mader et al., 2006), el Índice de Temperatura y Humedad ITH de la Esfera Negra, BGITH (Mader et al., 2006) y el Índice Climático Integral, CCI (Mader et al., 2010).

El período donde se realizó la comparación entre todos los índices abarcó desde el 1° de diciembre del 2012 al 30 de marzo 2013. Exceptuando los registros que provienen de las esferas de Vernon (BGITH) que abarcan desde el 29 de enero 2013 al 20 de febrero 2013.

A continuación se ilustra en la figura n° 12 la variación estimada de los índices antes mencionados.

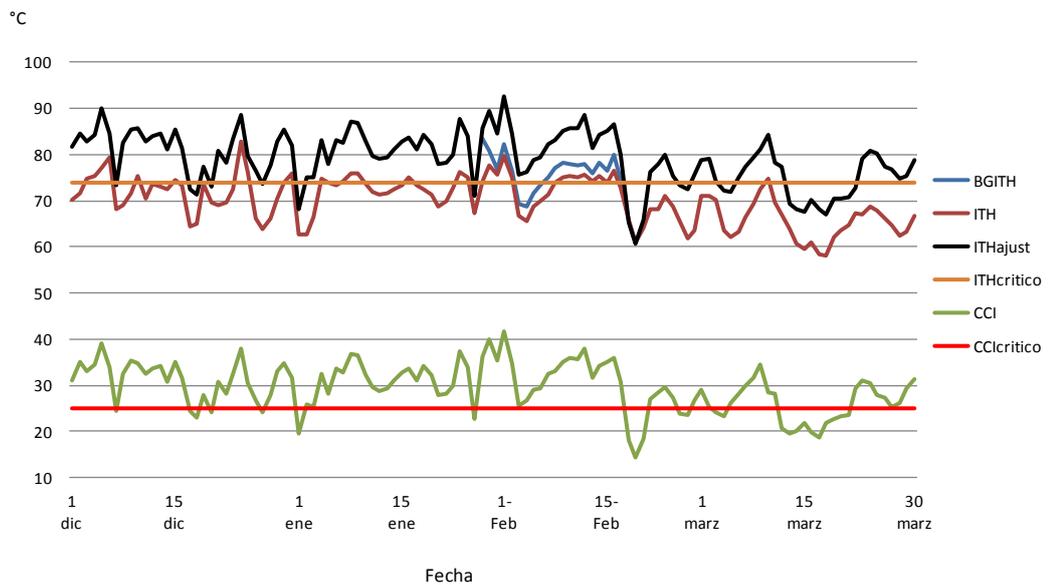


Figura N° 12. Variación de los índices de Temperatura y Humedad (ITH), el Índice de Temperatura y Humedad ajustado (ITH_{ajust}), el Índice de Temperatura y Humedad de la Esfera Negra (BGITH) y el Índice Climático Integral (CCI) durante el período de medición en verano 01/12/2012 y 30/03/2013.

Dentro del rango de fecha considerado (diciembre a marzo, 116 días) en la figura n° 12 se detectan 92 días (80 %) con ITH_{ajust} y CCI por encima de los críticos (ITH_{ajust} crítico: 74 y CCI crítico: 25). ITH representa solamente un 25 % (29 días) con ITH mayores al crítico.

Para el índice BGITH se consideraron 23 días totales pertenecientes a los registros de las Esferas de Vernon, de esos 23 días, 16 corresponden a ITH mayores a 74 (70 %).

Al comparar los índices ITH, BGITH, ITH_{ajust} este último incluye velocidad del viento y radiación solar además de los parámetros incluidos en los restantes índices (temperatura y humedad del aire) por lo que se considera más completo cuando se estima el efecto que presentan las variables meteorológicas sobre el aumento de la carga de calor en los bovinos (Mader et al., 2006).

Es importante aclarar que los índices antes mencionados sólo pueden estimarse para los meses de verano, en cambio, el Índice Climático Integral (CCI) estima para verano e invierno y presenta diferentes niveles críticos según la estación del año (Mader et al., 2010).

En el verano (enero a marzo) se detectaron 68 días (78 %) con olas de calor leve (OCL) en estado de peligro y emergencia para el bienestar de los animales (ITH_{ajust} : 81 ± 4 promedio) y 19 días (22 %) sin presencia de olas de calor, NOC (ITH_{ajust} : 69 ± 3 promedio). No se detectaron olas de calor severas durante el período estival evaluado.

De los 15 días en que se realizaron mediciones de frecuencia respiratoria, temperatura rectal y temperatura corporal superficial, 9 días correspondieron a OCL y 6 en NOC, destacándose la mayoría del período experimental dentro de OCL, como se ilustra en la figura n° 13.

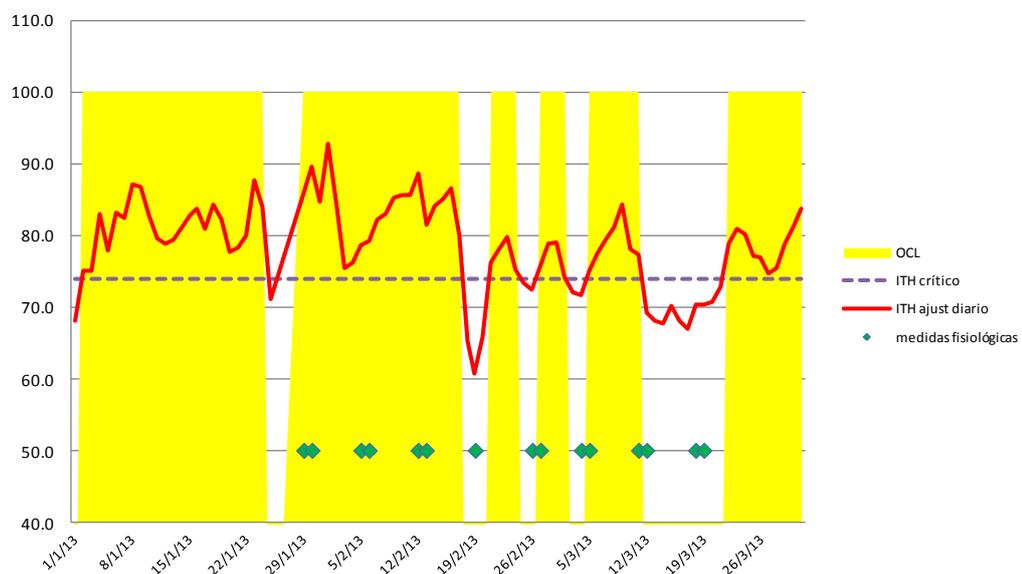


Figura N° 13. Índice de Temperatura y Humedad ajustado (ITH_{ajust}) diario (línea negra) e ITH crítico (74, línea roja) para el período experimental del verano (considerando enero a marzo 2013), ubicación del período de olas de calor leves (en franjas amarillas) e indicación de los días en que se realizaron mediciones fisiológicas

(Frecuencia respiratoria: FR, temperatura rectal: TR, y temperatura corporal superficial (TCS) medida en la frente y flanco, rombos rojos).

Las mediciones de FR y TR realizadas en verano se concentraron dentro de las zonas de estrés por calor como corresponde en la figura n° 13 donde las mediciones también se realizaron en OCL.

Cabe aclarar que no se buscó determinar las mediciones fisiológicas según el ambiente que había, sino que se realizaron en momentos prefijados y luego se analizaron.

Se analizó además el número de horas al día con ITH mayor a 74 como se ilustra en la figura n° 14.

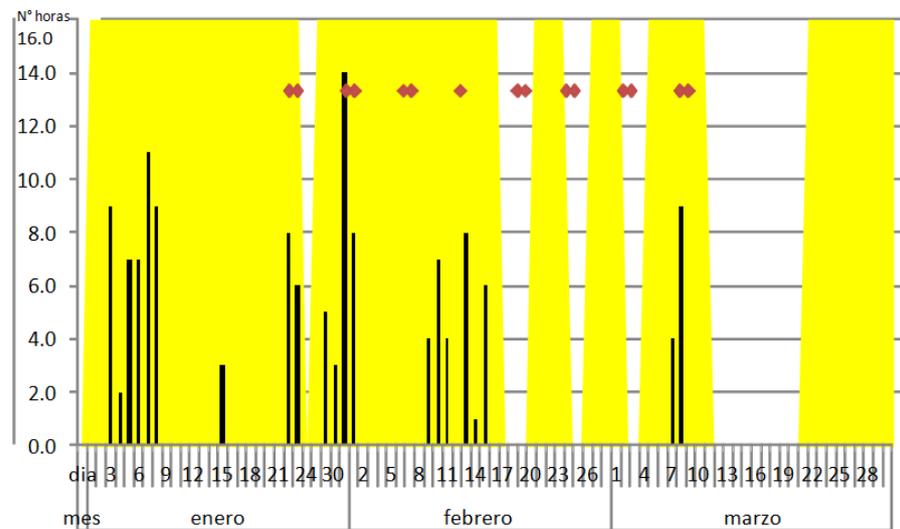


Figura N° 14. Número de horas al día con ITH mayor a 74 (barras negras), períodos de olas de calor leve (barras amarillas) e indicación de los días donde se realizaron las mediciones fisiológicas en los animales (rombos rojos).

Como se observa en la figura n° 14 en enero, 11 días fueron con ITH > 74, con máximos de 11 horas acumuladas al día de ITH > 74 lo que implica que pudo haber

recuperación térmica a la noche por parte de los animales volviendo al estado de normotermia.

En febrero, hubieron 8 días con ITH > 74, principalmente en las dos primeras semanas del mes. Por otro lado, en uno de estos días se alcanzaron 14 horas con ITH > 74, lo que quiere decir, que los animales posiblemente no hayan podido recuperar su normotermia durante la noche.

En marzo, dos días del mes resultaron con ITH > 74 y los máximos de horas diarias no fueron mayores a 9 horas. Además, se observan los períodos de olas de calor leve menos recurrentes que en enero y febrero, concordando con los menores valores de ITH y horas de ITH > 74 acumulados al día.

Realizando un análisis según el CCI se puede observar en la figura n° 15, los días de mediciones de respuestas fisiológicas en verano y en invierno, en diferentes franjas de colores se pueden apreciar los niveles de estrés según umbrales de CCI.

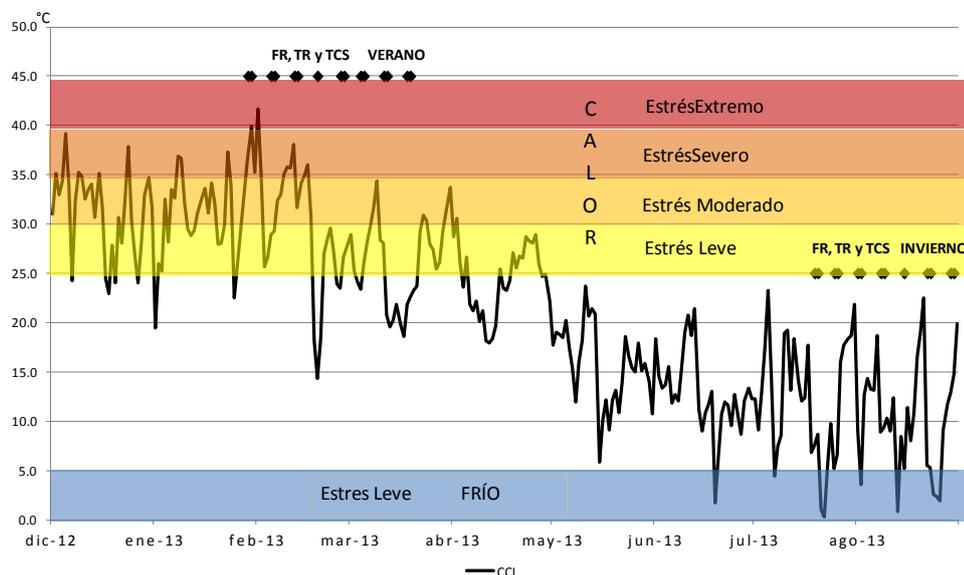


Figura N° 15. Evolución del Índice Climático Integral (CCI) durante los períodos experimentales de verano e invierno, indicación de niveles de estrés por calor (Extremo, Severo, Moderado y Leve) y por frío (Leve), ubicación de las fechas de muestreo de medidas fisiológicas en verano e invierno: frecuencia respiratoria (FR),

temperatura rectal (TR) y temperatura corporal superficial (TCS) medida en la frente y flanco.

En la figura n° 15 se ilustra la totalidad del período experimental según el CCI. Observando por estación, en verano (diciembre a febrero) la mayor cantidad de días presentaron estrés moderado (38 %), luego leve (24 %) y por último severo (19 %).

Se realizaron tres mediciones fisiológicas en días de estrés severo, una medición en estrés moderado, tres mediciones en estrés leve y dos mediciones se realizaron en días sin estrés para los animales.

En otoño (marzo a mayo), como debía de esperarse, la mayor cantidad de días fueron sin estrés para los animales (65 %) aunque se registraron 27 % de días de estrés leve donde además se realizaron dos días de mediciones.

En invierno (junio a agosto) hubo 10 % de los días con estrés leve por frío pero la mayoría de las mediciones fisiológicas se realizaron durante los días en donde no se detectó estrés por frío para los animales.

Esta evaluación de la figura n° 15 concuerda con la figura n° 13, donde la mayoría de las mediciones de respuesta fisiológica se realizaron durante OCL (9 días de mediciones de un total de 15) y durante estrés severo, moderado y leve según CCI (7 días de mediciones de un total de 15).

3.2. DISPONIBILIDAD Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL FORRAJE

Las disponibilidades de pastura observadas fueron 373,6 kg de MS/ha el 28 de enero (comienzo), 500,2 kg de MS/ha el 15 de febrero (mitad) y 388,3 kg de MS/ha el 22 de marzo (fin del experimento).

El cuadro n° 6 muestra los resultados del análisis de materia seca (MS), cenizas (C), proteína cruda (PC), fibra detergente neutro y corregida por cenizas (FDN), fibra

detergente ácido corregida por cenizas (FDA) y extracto etéreo (EE). Los resultados se expresan en base seca.

Cuadro N° 6. Composición del forraje en base seca según momento de medición experimental.

	MS (%)	C (%)	PC (%)	FDN %	FDA %	EE %
Comienzo	93,52	13,07	8,34	67,15	31,79	2,48
Mitad	93,15	12,07	6,86	68,85	33,02	3,55
Fin	93,5	13,35	7,74	68,48	31,99	2,61

Durante el verano el potrero donde se encontraban las vaquillonas presentó muy baja disponibilidad forrajera además de baja calidad tanto por el alto porcentaje de fibra como por el bajo contenido de proteína cruda.

3.3. DESEMPEÑO ANIMAL

Al inicio del experimento, las vaquillonas BH presentaron en promedio 307 ± 35 kg y las HH 301 ± 23 kg. Al final del experimento (invierno-Julio) las cruas BH pesaban en promedio 329 ± 47 kg en tanto las HH 309 ± 26 kg.

Durante el período experimental (verano e invierno) se determinó la ganancia de peso absoluta (GPA) y se ilustra en la figura n° 16.

No se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) en ganancias de peso vivo absoluto (GPA) entre los genotipos.

A pesar de la baja disponibilidad y calidad forrajera no se encontraron diferencias significativas en variación de peso vivo entre los genotipos durante el período evaluado. A partir de marzo ambos genotipos presentan disminuciones de peso vivo como era de esperarse, debido a las menores cantidades y calidad del

forraje del campo natural. En mayo y junio el genotipo HH presentó mayor variación (desvío estándar) en ganancia diaria (siendo ésta negativa) respecto a BH, a pesar de no ser significativa (Figura 16).

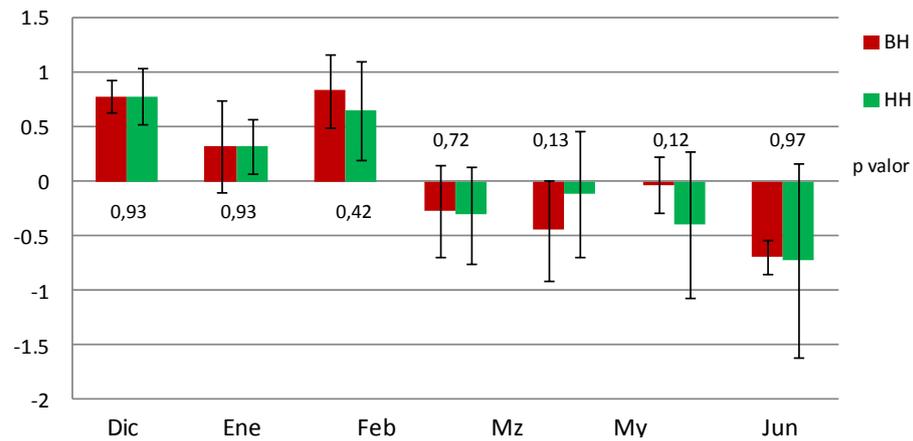


Figura N° 16. Ganancia de peso absoluta (kg, GPA, media \pm desvío estándar) representados para ambos genotipos Bonsmara-Hereford (BH) y Hereford puros (HH).

En la figura n° 17 se presenta la evolución de la condición corporal de la vaquillonas a lo largo del período experimental.

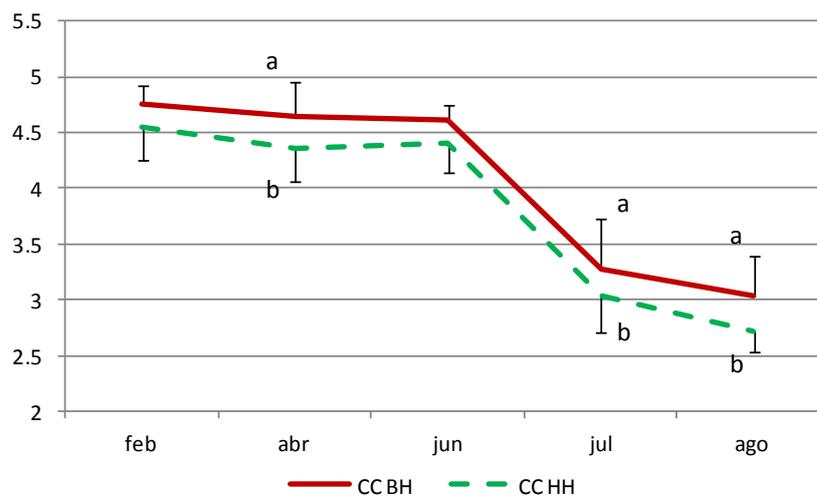


Figura N° 17. Condición corporal representada como media \pm desvío estándar para ambos genotipos: Bonsmara-Hereford (BH) y Hereford puros (HH)

La condición corporal indica el grado de recubrimiento de grasa que presenta el animal en puntos clave de su fisionomía, importantes como reserva de grasa en invierno. Como se observa en la figura n° 17 la condición corporal de las vaquillonas BH resultó significativamente superior a HH en verano (febrero, $p=0,02$) e invierno (julio, $p=0,03$; agosto $p=0,01$).

3.4. CARGA DE PARÁSITOS GASTROINTESTINALES

Por su parte, no se encontraron diferencias significativas en carga parasitaria contabilizada como huevos por gramo (HPG) entre cruza BH ($92,3 \pm 17,05$ HPG) y las puras Hereford ($96,7 \pm 11,10$ HPG) ($p=0,772$).

Tampoco se encontraron diferencias entre la interacción genotipo×mes ($p=0,735$). Sin embargo, sí hubieron marcadas diferencias en el conteo de HPG entre los meses muestreados, tal como se ilustra en la figura n° 18.

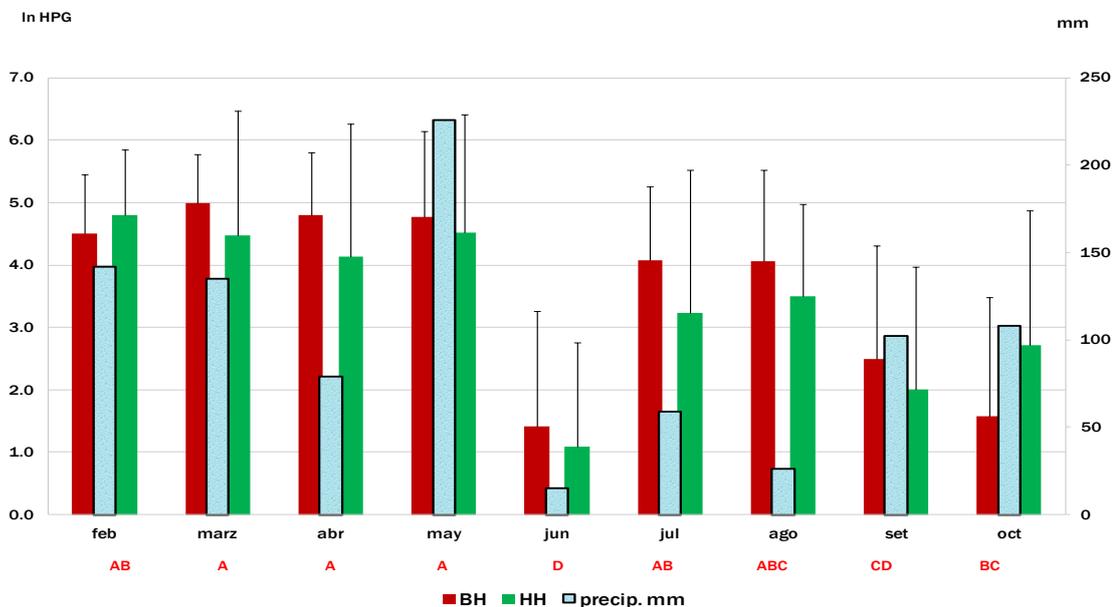


Figura N° 18. Media de recuento de huevos por gramo (HPG) según el mes de colecta de la muestra y precipitaciones totales mensuales (mm) durante el período experimental.

Desde febrero hasta mayo, el recuento parasitario resultó elevado para ambos genotipos, existiendo una marcada variabilidad entre animales, viéndose reflejada en los desvíos estándar presentados en la figura n° 18.

El aumento creciente de HPG a medida que avanza el otoño está dado por el ambiente favorable (temperatura media $17,5 \pm 2,8$ °C, alta humedad del aire $76 \pm 6,2$ % y presencia de lluvias $147 \pm 74,2$ mm). En este microclima se propicia la infestación larvaria desde la materia fecal a las pasturas, conforme describen Nari y Risso (1994).

En el invierno, en el mes de junio, se observa una fuerte caída en HPG debido a la ausencia de precipitaciones (lo que perjudica la sobrevivencia de las larvas).

En el mes de julio, los conteos de HPG concuerdan con lo reportado por Nari y Risso (1994) donde en los meses invernales se presencia una mayor carga parasitaria y menores valores en verano (diciembre a febrero) debidas a las condiciones meteorológicas anteriormente mencionadas.

Cabe destacar que en agosto y octubre se realizaron dosificaciones antiparasitarias disminuyendo la carga parasitaria aún cuando las condiciones eran favorables para su desarrollo.

3.5. RESPUESTAS FISIOLÓGICAS: FRECUENCIA RESPIRATORIA, TEMPERATURA RECTAL Y CORPORAL SUPERFICIAL

Los resultados obtenidos de las mediciones fisiológicas en BH y HH analizados según las condicionantes meteorológicas (olas de calor) en verano se ilustran en el cuadro n° 7.

Cuadro N° 7. Respuestas fisiológicas (medias \pm desvíos estándar) determinadas en verano según momento de medición (AM y PM), condición meteorológica (días de no ola de calor, NOC y días con ola de calor leve OCL) y genotipo animal Bonsmara-Hereford (BH) y Hereford puro (HH).

Condicionantes meteorológicas y variables fisiológicas	Momento de medición al día			
	AM		PM	
	Genotipos		Genotipos	
	BH	HH	BH	HH
NOC				
Frecuencia respiratoria, FR (rpm)	28,0 \pm 1,6	29,4 \pm 1,0	31,4 \pm 2,9	38,6 \pm 1,8
Temperatura rectal, TR (°C)	38.,6 \pm 0,06	38,6 \pm 0,04	38,9 \pm 0,07	39,0 \pm 0,04
Temperatura corporal superficial Frente, TCSFr (°C)	21,7 \pm 0,7 **	19,9 \pm 0,4 **	27,3 \pm 0,8	28,5 \pm 0,5
Temperatura corporal superficial Flanco, TCSFl (°C)	26,2 \pm 0,6	25,3 \pm 0,4	31,0 \pm 0,5	31,5 \pm 0,3
OCL				
Frecuencia respiratoria, FR (rpm)	30,3 \pm 1,3	33,8 \pm 0,8	45,8 \pm 2,8 **	58,4 \pm 1,7 **
Temperatura rectal, TR (°C)	38,6 \pm 0,05	38,8 \pm 0,03	39,2 \pm 0,06 **	39,5 \pm 0,04 **
Temperatura corporal superficial Frente, TCSFr (°C)	24,8 \pm 0,5 **	23,7 \pm 0,3 **	38,6 \pm 0,6	38,3 \pm 0,4
Temperatura corporal superficial Flanco, TCSFl (°C)	28,6 \pm 0,4	27,7 \pm 0,2	38,5 \pm 0,4	39,1 \pm 0,2

** en gris, diferencias significativas (P<0,05) entre genotipos para cada variable.

Como se ilustra en el cuadro n° 7, en verano, a la mañana, cuando no hubo olas de calor, sólo hubieron diferencias significativas ($p=0,03$) entre genotipos en las mediciones de la temperatura corporal superficial de la frente ($21,7 \pm 0,7$ °C en BH y $19,9 \pm 0,4$ °C en HH).

En presencia de olas de calor leve (OCL), a la mañana hubieron diferencias significativas ($p=0,04$) entre genotipos en las mediciones de la temperatura corporal superficial de la frente ($24,8 \pm 0,5$ °C en BH y $23,7 \pm 0,3$ °C en HH).

En tanto a la tarde, en OCL, se destacaron diferencias significativas ($p=0,0007$) en FR entre genotipos siendo mayores los valores en HH ($58,4 \pm 1,7$ rpm en HH, vs. $45,8 \pm 2,8$ rpm en BH) y también HH presentó mayores valores en TR ($39,5 \pm 0,04$ °C) respecto a BH ($39,2 \pm 0,06$ °C) ($p=0,0003$).

También se relacionaron las variables fisiológicas con los niveles del índice de CCI, donde se pueden observar valores tomados en verano e invierno, como se ilustra en el cuadro n° 8.

Cuadro N° 8. Medias de mínimos cuadrados y desvíos estándar de las respuestas fisiológicas determinadas en verano y niveles del Índice Climático Integral (CCI), momento de medición al día (AM y PM) y genotipo animal Bonsmara-Hereford (BH) y Hereford puro (HH). (Ver página siguiente).

VERANO		Niveles de CCI							
		Sin estrés	Estrés leve	Estrés moderado	Estrés severo				
Momento de medición al día		Genotipos		Genotipos		Genotipos			
Variable Fisiológica		BH	HH	BH	HH	BH	HH		
AM									
Frecuencia respiratoria, FR (rpm)		28,0 ± 1,2	29,4 ± 0,7	28,2 ± 1,1	29,9 ± 0,7	33,5 ± 1,8 **	37,6 ± 1,0 **	33,8 ± 1,6 **	39,5 ± 1,0 **
		38,56 ± 0,04	38,56 ± 0,03	38,49 ± 0,04 **	38,59 ± 0,02 **	38,79 ± 0,07	38,90 ± 0,04	38,95 ± 0,06 **	39,11 ± 0,04 **
Temperatura rectal, TR (°C)		31,4 ± 2,1 **	38,6 ± 1,3 **	39,9 ± 2,0 **	49,5 ± 1,2 **	49,0 ± 2,9 **	68,1 ± 1,8 **	57,3 ± 2,9 **	70,7 ± 1,8 **
		38,87 ± 0,08	39,10 ± 0,07	39,10 ± 0,07	39,21 ± 0,04	39,26 ± 0,11 **	39,67 ± 0,07 **	39,37 ± 0,11 **	39,95 ± 0,07 **
PM									
Frecuencia respiratoria, FR (rpm)		31,4 ± 2,1 **	38,6 ± 1,3 **	39,9 ± 2,0 **	49,5 ± 1,2 **	49,0 ± 2,9 **	68,1 ± 1,8 **	57,3 ± 2,9 **	70,7 ± 1,8 **
		38,87 ± 0,08	39,10 ± 0,07	39,10 ± 0,07	39,21 ± 0,04	39,26 ± 0,11 **	39,67 ± 0,07 **	39,37 ± 0,11 **	39,95 ± 0,07 **
Temperatura rectal, TR (°C)		31,4 ± 2,1 **	38,6 ± 1,3 **	39,9 ± 2,0 **	49,5 ± 1,2 **	49,0 ± 2,9 **	68,1 ± 1,8 **	57,3 ± 2,9 **	70,7 ± 1,8 **
		38,87 ± 0,08	39,10 ± 0,07	39,10 ± 0,07	39,21 ± 0,04	39,26 ± 0,11 **	39,67 ± 0,07 **	39,37 ± 0,11 **	39,95 ± 0,07 **

** en gris, diferencias significativas (P<0.05) entre genotipos para cada variable.

En el cuadro n° 8 en verano, en el horario AM, en los niveles de CCI de estrés moderado la FR fue significativamente menor en BH ($33,5 \pm 1,8$ rpm) respecto a HH ($37,6 \pm 1,0$ rpm) ($p=0,05$). También para los niveles de estrés severo en BH fue significativamente menor ($p=0,029$) ($33,7 \pm 1,6$ rpm) respecto a HH ($39,5 \pm 1,0$ rpm).

En tanto, en la misma hora de medición, la variable TR en BH resultó significativamente menor ($p=0,02$) respecto a HH en estrés leve ($38,5 \pm 0,04$ vs. $38,6 \pm 0,02$ °C) y estrés severo ($38,9 \pm 0,06$ vs. $39,1 \pm 0,04$ °C) ($p=0,03$).

Siguiendo con la misma tendencia, en PM, la FR de las vaquillonas BH fue significativamente menor ($p<0,0001$) respecto a HH, en todos los niveles de CCI.

En la TR hubieron diferencias significativas ($p=0,001$) entre genotipos durante el estrés moderado ($39,3 \pm 0,11$ °C en BH vs. $39,7 \pm 0,07$ °C en HH) y en estrés severo también hubieron diferencias significativas ($p<0,0001$) ($39,4 \pm 0,11$ °C en BH vs. $39,9 \pm 0,07$ °C en HH) siguiendo la misma tenendencia, BH presentó menores valores que HH.

En el cuadro n° 9 se ilustran los resultados de las variables fisiológicas determinadas durante el invierno y los niveles del Índice Climático Integral (CCI) que se estimaron en ese período.

Cuadro N° 9. Respuestas fisiológicas: frecuencia respiratoria (FR, rpm) y temperatura rectal (TR, °C) (medias de mínimos cuadrados \pm desvíos estándar) determinadas en invierno y niveles del Índice Climático Integral (CCI), momento de medición al día (AM y PM) y genotipo animal Bonsmara-Hereford (BH) y Hereford puro (HH).

INVIERNO	Niveles de CCI			
	Sin estrés		Estrés leve	
	Genotipos		Genotipos	
	BH	HH	BH	HH
Momento de medición				
VARIABLES fisiológicas				
AM				
Frecuencia respiratoria, FR (rpm)	21,5 \pm 1,4	24,1 \pm 0,8	16,7 \pm 2,8	17,7 \pm 1,7
Temperatura rectal, TR (°C)	38,30 \pm 0,17	38,80 \pm 0,04	38,30 \pm 0,17	38,36 \pm 0,10
PM				
Frecuencia respiratoria, FR (rpm)	23,7 \pm 1,4	26,4 \pm 0,8		
Temperatura rectal, TR (°C)	38,97 \pm 0,05	39,02 \pm 0,03		

** diferencias significativas ($p < 0.05$) entre genotipos para cada variable.

En el cuadro n° 9 en invierno, en ningún nivel de CCI, ni ningún momento de medición en el día (AM o PM) se encontraron diferencias significativas para las variables fisiológicas.

Cabe aclarar que en horas de la tarde donde ocurrió estrés leve por frío no se encuentra el resultado, debido a que en ese momento no se realizó dicha medición por problemas de disponibilidad del área de trabajo.

Se constató una tendencia ($p=0,083$) en FR en horas de la tarde donde BH presentó en promedio $23,7 \pm 1,4$ rpm respecto a HH con $26,4 \pm 0,8$ rpm.

3.6. MORFOLÓGICOS: CARACTERÍSTICAS DEL PELAJE

Para las mediciones de pelaje realizadas en verano se encontró que las vaquillonas BH presentaron significativamente ($p=0,004$) pelos más cortos que las HH. Así como en el invierno donde también las BH presentaron pelos significativamente ($p=0,014$) más cortos respecto a las HH (cuadro n° 10).

Cuadro N° 10. Longitud (mm) y peso (mg) promedios de 25 pelos por genotipo extraídos en verano e invierno.

Característica	VERANO			
	Genotipo			
	BH		HH	
Longitud (mm)	23,2 ± 1,7	a	29,7 ± 1,1	b
Peso (mg)	3,4 ± 0,6	a	4,5 ± 0,4	a

Característica	INVIERNO			
	Genotipo			
	BH		HH	
Longitud (mm)	45,6 ± 2,9	A	54,4 ± 1,8	B
Peso (mg)	6,7 ± 0,9	A	7,7 ± 0,5	A

Letras diferentes y sector gris indican diferencias significativas entre genotipos para cada variable

No se encontraron diferencias significativas pero sí una tendencia ($p=0,09$) entre el peso de los pelos de los genotipos en verano e invierno (cuadro n° 10). El pelo de las vaquillonas BH resulta ser más corto, grueso y brillante respecto a las HH.

3.7. MORFOLÓGICOS: HISTOLOGÍA DE LA PIEL

El análisis histológico de glándulas sudoríparas, folículos pilosos y distancia desde la superficie de la piel hasta el inicio y fin de los adenómeros de la glándula sudorípara se resume en el cuadro n° 11.

Cuadro N° 11. Medias \pm desvíos estándar del análisis histológico por genotipo, densidad de glándulas sudoríparas y folículos pilosos (número por milímetro cúbico, N°/mm^3), altura del epitelio secretor de las glándulas sudoríparas (micrómetros, μm), área de las glándulas sudoríparas (milímetros cúbicos, mm^3) y profundidad del adenómero de la glándula sudorípara respecto a la epidermis (distancia desde la epidermis al inicio del adenómero de la glándula sudorípara y distancia epidermis al final del adenómero de la glándula sudorípara, micrómetros, μm)

Característica	Genotipo	
	BH	HH
Densidad de glándulas sudoríparas (N°/mm^2)	$3,4 \pm 0,7$	$3,6 \pm 0,9$
Densidad de folículos pilosos (N°/mm^2)	$4,0 \pm 0,6$	$4,3 \pm 0,9$
Altura del epitelio secretor de glándulas sudoríparas (μm)	$29,3 \pm 4,1$	$27,9 \pm 6,3$
Área de glándulas sudoríparas (mm^2)	$12550,2 \pm 7686,7$	$26063,4 \pm 9780,1$
Epidermis-Adenómero de la glándula sudorípara inicio (μm)	$4954,3 \pm 451,4$	$5785,0 \pm 1436,5$
Epidermis-Adenómero de la glándula sudorípara final (μm)	$9071,5 \pm 622,5$	$9939,1 \pm 332,1$

No se encontraron diferencias significativas entre genotipos en ninguna medición histológica ($p=0,5$) para densidad de glándulas sudoríparas, ($p=0,5$) densidad de folículos pilosos, ($p=0,6$) altura del epitelio secretor de la glándula sudorípara, ($p=0,5$) distancia epidermis-adenómero de la glándula sudorípara inicio, ($p=0,3$) distancia epidermis-adenómero de la glándula sudorípara final.

Se encontró una tendencia ($p=0,07$) en mayor área de glándulas sudoríparas en las HH respecto a BH.

3.8. COMPORTAMIENTO EN PASTOREO

Se ubicó gráficamente cada día de observación de comportamiento realizado en pastoreo respecto a los ITH_{ajust} y CCI (calculados desde 6 días previos a la observación de cada comportamiento) como ilustra la figura n° 19.

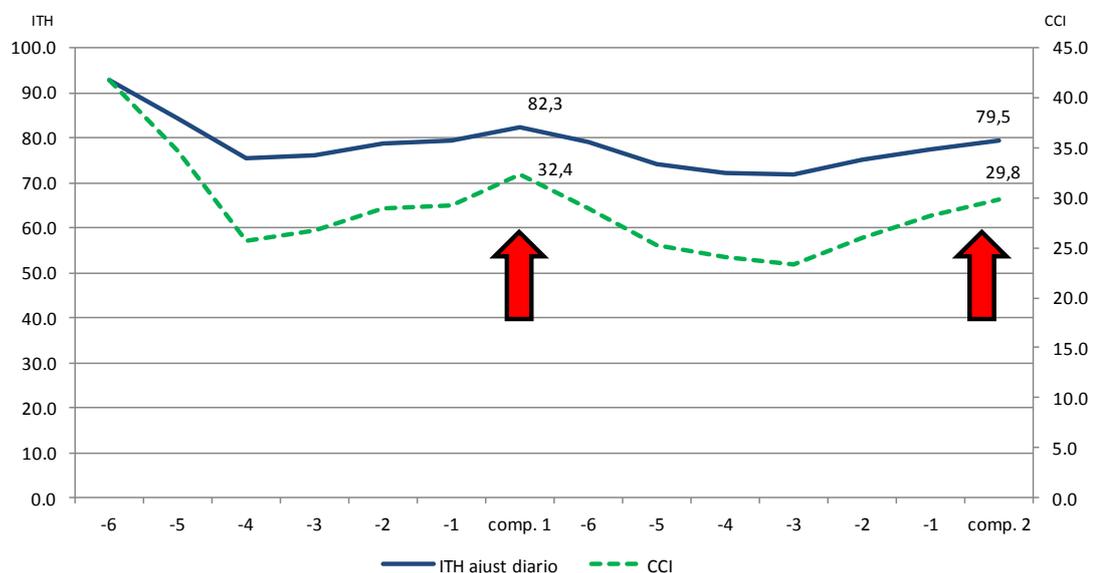


Figura N° 19. Momentos de observación de comportamiento en pastoreo (momentos 1 y 2) y evolución del ITH_{ajust} diario y CCI 6 días antes de cada comportamiento.

Como se muestra en la figura n° 19, durante la primera observación del comportamiento en pastoreo de las vaquillonas, el ITH_{ajust} diario alcanzó valores de 82,3 y el CCI fue de 32,4. En la segunda observación del comportamiento el ITH_{ajust} y CCI fueron más bajos (79,5 y 29,8 respectivamente). En ambas observaciones los índices fueron superiores a los umbrales críticos que se mencionan en la bibliografía $ITH_{ajust} = 74$ y $CCI = 25$.

La figura n° 20 muestra en porcentaje la actividad de las vaquillonas en pastoreo en el total del día (pastoreo, rumia o descansando, y si se encontraban al sol o a la sombra) en los dos momentos de observación del período experimental de verano que corresponden al comportamiento 1 y 2.

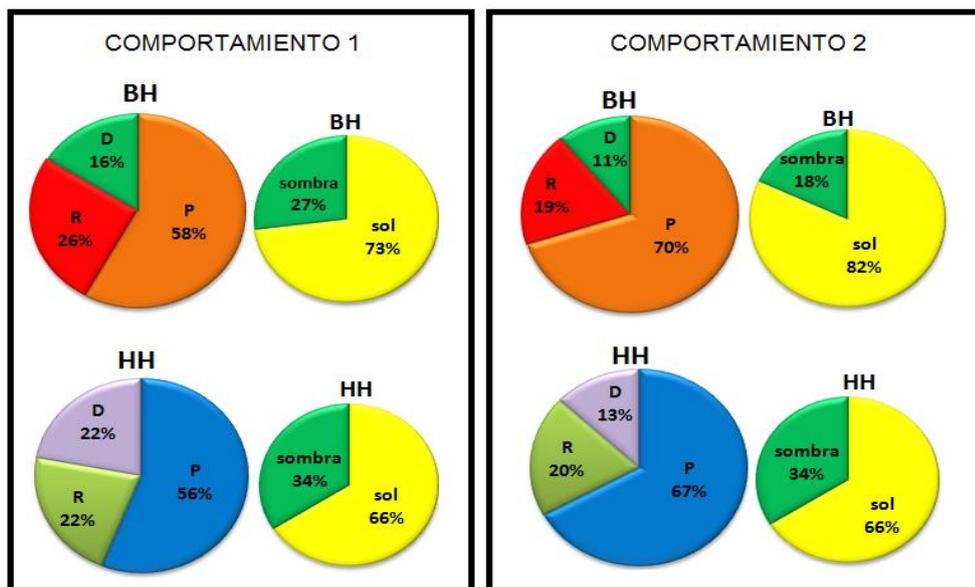


Figura N° 20. Proporción del tiempo de actividad en porcentaje (%) utilizado por ambos genotipos Hereford puras (HH) y Bonsmara-Hereford (BH) destinado a cada actividad (P: pastoreando, R: rumiando, D: descansando) y localización (a la sombra o al sol). Comportamiento 1 observado el 7 de febrero (comienzo); Comportamiento 2 observado el 7 de marzo (fin del experimento en verano).

No se encontraron diferencias significativas según genotipo para las variables pastoreo ($p=0,8$), descanso ($p=0,18$), permanencia al sol ($p=0,26$) o a la sombra ($p=0,31$) al comienzo (comportamiento 1) y fin del experimento (comportamiento 2). La rumia presentó una tendencia ($p=0,06$) siendo mayor el tiempo para BH al comienzo de experimento, respecto a HH.

Se analizaron en conjunto los comportamientos 1 y 2 para observar si habían diferencias solamente atribuidas al genotipo y no al momento determinado del comportamiento. Los resultados se presentan en la figura n° 21.

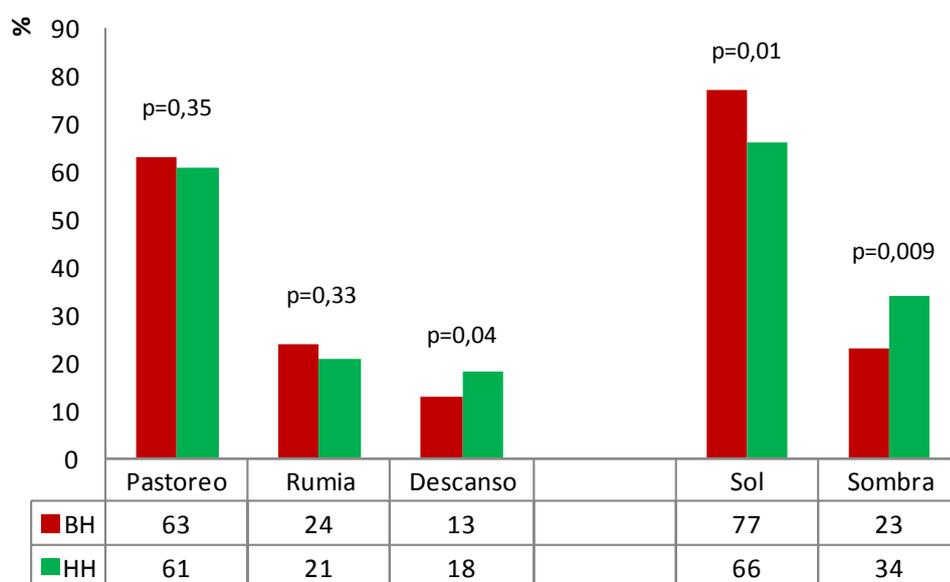


Figura N° 21. Proporción del tiempo de actividad en porcentaje (%) de ambos genotipos Hereford puras (HH) y Bonsmara-Hereford (BH) destinado a cada actividad (Pastoreo, Rumia y Descanso) y localización (a la sombra o al sol).

Las vaquillonas BH y HH no presentaron diferencias significativas en los tiempos destinados a pastoreo ($p=0,35$), ni rumia ($p=0,33$).

Por el contrario, sí fueron observadas diferencias significativas ($p=0,04$) en tiempo de descanso, en donde las cruas BH descansaron menos tiempo ($108 \pm 10,6$ m, 13 %) respecto a las HH puras ($141 \pm 10,6$ m, 18 %).

Se observaron diferencias significativas ($p=0,01$) en los tiempos de permanencia al sol y a la sombra. El genotipo BH se mantuvo más tiempo al sol a lo largo del tiempo de observación ($610 \pm 20,34$ m, 77 %) respecto a HH ($527 \pm 20,34$ m, 66 %). En el mismo sentido, HH pasó más tiempo en la sombra ($268 \pm 20,6$ m, 34 %) que BH ($182 \pm 20,6$ m, 23 %) ($p=0,009$).

4. DISCUSIÓN

En este trabajo se encontró un marcado efecto de cómo repercute el ambiente en el bienestar animal. La exposición de diferentes genotipos (BH y HH) a altas temperaturas afectó sus respuestas fisiológicas y comportamentales.

El estudio del efecto de las variaciones meteorológicas sobre los animales comienza a cobrar importancia en este siglo; donde se ha reportado la incidencia de la variabilidad y cambio climático mediante oscilaciones en temperatura del aire, ampliación de los períodos de sequía en algunos meses y aumento de la intensidad de lluvias en otros (Oyanthçabal 2009, Martino 2008). Estos factores extremos producen cambios en la distribución anual de las pasturas naturales y afectan la persistencia de las mismas, desencadenando problemas para la alimentación ganadera y la disponibilidad de agua para su consumo (MGAP-FAO, 2013).

En cada año se produce un aumento de la temperatura de la atmósfera terrestre y marítima. Durante el período de años 1951-2012 se ha calculado un incremento de la tasa de calentamiento global de 0,12 °C por década (IPCC, 2013).

Poder cuantificar el efecto que produce la variabilidad del clima sobre los animales es indispensable para los tiempos venideros. El CCI proporciona un valor de temperatura del aire ajustado por humedad relativa, velocidad del viento y radiación bajo condiciones de calor o frío. Este índice incorpora los efectos meteorológicos que repercuten en la superficie corporal del animal, indicando el nivel al cual es posible o no generar un intercambio calórico entre el animal y el ambiente.

Al analizar las respuestas fisiológicas medidas en este experimento de los bovinos frente a las condiciones meteorológicas dadas en la región noroeste del Uruguay, se destaca que la craza BH tolera mejor las altas temperaturas en presencia de olas de calor leves y en todos los niveles de CCI en verano respecto a HH. Similares resultados ya fueron reportados por Bonsma (1980) en un estudio comparativo entre bovinos Británicos, Afrikaner y sus cruzas en la sabana

sudafricana. Las cruzas Afrikaner-Británicas presentaban menor frecuencia respiratoria y menores temperaturas corporales respecto a las puras británicas.

Por otra parte, Brosh et al. (1998) reportan que cuando resulta un desbalance calórico en el animal, la ganancia de calor corporal no se pierde, tiende a acumularse y por consiguiente se produce un aumento de la temperatura corporal. Esto concuerda con los aumentos de temperatura rectal encontrados en las puras HH y conlleva a que para contrarrestar ese aumento calórico corporal pasaban más tiempo a la sombra cuando se observaba el comportamiento en pastoreo.

Frisch y Vercoe (1992) indican que el efecto de un aumento de la temperatura rectal es similar para todas las razas, pero está fuertemente influenciado por la temperatura del medio ambiente. En el mismo sentido, Gaughan et al. (1999) reportan que después de los 25 °C de temperatura del aire la frecuencia respiratoria aumenta entre valores de 60 a 200 rpm, pero está sujeto a la variación de razas. Ya cuando los animales se encuentran a temperaturas del aire de 40 °C los aumentos de la frecuencia respiratoria (120 a 150 rpm) no pueden evitar el aumento de la temperatura corporal.

Coincidiendo con Gaughan et al. (1999), Brosh et al. (1998), Frisch y Vercoe (1992) y Bonsma (1980) en este experimento se observa que la condición meteorológica dada en el Noroeste del país, provoca cambios fisiológicos y comportamentales más notorios en las puras vs. las cruzas con Bonsmara.

Se destaca claramente que los animales del genotipo británico puro a temperaturas ambiente elevadas, presentan síntomas de estrés térmico mediante el aumento de la frecuencia respiratoria, no pudiendo mitigar este efecto incrementando la temperatura corporal.

Este efecto podría llegar a notarse marcadamente en terneros de hasta un año de edad, como son reportados los resultados de Bonsma (1985) trabajando con terneros y genotipos adultos de Afrikaner-Británicas y Británicas puros, donde observó que los terneros presentaban mayores frecuencia respiratoria y temperatura

corporal respecto al animal adulto; y a su vez eran mayores los valores de estas variables en los puros británicos respecto a las cruzas afrikaner – británicos.

En este experimento se utilizaron vaquillonas de sobreaño que estaban disponibles en la estación experimental, no pudiéndose percibir este efecto de la sensibilidad a la temperatura del aire según la edad de los animales.

Además la edad incide en la carga parasitaria, según bibliografía animales antes del año de edad presentan mayor susceptibilidad a mayores infestaciones parasitarias, luego del año confieren resistencia e inmunidad biológica, lo que puede llegar a explicar que no se encontraron diferencias significativas entre los genotipos respecto a la carga parasitaria.

Se resalta una mayor capacidad de las cruzas en tratar de atenuar el efecto del estrés calórico. Ante estrés moderado y severo, y en presencia de las olas de calor leve, el genotipo HH no consigue mitigar el efecto de los elementos meteorológicos adversos o lo hace en menor grado que las BH, debido a que las primeras presentan altas frecuencias respiratorias y temperatura rectal comparado con lo observado en las BH.

En el comportamiento en pastoreo, también se observaron algunas diferencias. Las cruzas BH pastorearon mayor tiempo al sol que a la sombra respecto a las HH. Estos resultados son similares a los encontrados por Bennett et al. (1985) donde determinaron el tiempo de pastoreo y comportamiento de novillos Brahman, Shorthorn y cruzas Brahman×Hereford-Shorthorn. En estas observaciones, el genotipo Brahman pastorea mayor tiempo al sol, estando relacionado directamente a la temperatura del aire y a la radiación solar en el pastoreo y a la sombra.

Algunas razas pertenecientes a *Bos taurus taurus* deberían ser consideradas como fuentes alternativas de germoplasma, por presentar características de adaptación a ambientes cálidos. En los tiempos actuales y futuros deberían de ser considerados por la incidencia recurrente de la variabilidad climática y como forma de adaptación al cambio climático. La raza Bonsmara es una de ellas, siendo creada

para presentar adaptación a climas de altas temperaturas, sin dejar de lado altos indicadores en reproducción y producción.

El experimento se llevó a cabo durante un año, caracterizándose el mismo con temperaturas del aire máximas por debajo, y las mínimas por encima del promedio histórico de Paysandú. Para poder afirmar adaptabilidad de los animales se debería de continuar este estudio varios años para caracterizar adecuadamente el ambiente según las variaciones que se generan año a año.

A pesar de contener registros de sólo un año, la craza BH refleja mejores resultados productivos y de termorregulación ante altas temperaturas y humedad del aire en verano. BH generó en promedio altos pesos vivos y adecuada condición corporal, frecuencias respiratorias y temperatura rectal más bajas que HH durante el verano.

En cambio, si se observa la temperatura superficial corporal medida en la frente, la craza BH presentó diferencias significativas respecto a las puras Hereford, no pudiendo ser explicado biológicamente este efecto, ya que si lo relacionamos a los mecanismos internos del animal para disipar el calor, las BH presentaron menor frecuencia respiratoria y menor temperatura rectal.

En condiciones atmosféricas de frío, los animales aumentan su tasa metabólica para mantener las necesidades de energía para el mantenimiento basal, esto conlleva a un aumento de la velocidad de pasaje alimenticio en el proceso de la digestión, lo que resulta en la reducción de la eficiencia digestiva para la acumulación de reservas corporales (Hahn, 1997).

En invierno, ambos genotipos responden favorablemente ante las condiciones ambientales, manteniendo constante la frecuencia respiratoria y la temperatura rectal. Sin embargo, es de destacar una tendencia a que BH presenta la ventaja de mantener menores frecuencias respiratorias para mantener elevada su temperatura interna. Además, BH también alcanzó mejores condiciones y pesos corporales en esta estación, en comparación con HH.

Blackshaw y Blackshaw (1994) reportan que *Bos Indicus* y sus cruzas presentan una mayor capacidad regulatoria del calor corporal respecto a *Bos taurus taurus* debido a diferencias en la tasa metabólica, consumo de alimentos y agua, tasa de sudoración y características del pelaje.

Respecto a la temperatura corporal superficial medida en horas de la tarde, en este trabajo no se encontraron diferencias significativas entre genotipos. Esto no concuerda con lo encontrado por Olson et al. (2002), quienes registraron la temperatura superficial en vacas cruza Holstein×Senepol en ambiente de ITD > 73 en Florida, EEUU. Los autores destacan que las diferencias encontradas son debidas al tipo de pelo. Los bovinos que presentan pelos cortos, lisos y brillantes (slick hair) tienen menores temperaturas corporales superficiales respecto a los animales de pelaje normal.

El pelaje sirve como aislamiento para el animal con el entorno, tanto en verano e invierno. En verano, los animales generalmente cambian su pelaje, acortando el largo de los pelos, lo que ofrece un intercambio favorable para la conducción del calor corporal a la superficie, también el mayor brillo influye pues ese cambio en el albedo de la superficie favorece la reflexión de radiación solar y por lo tanto menor absorción. En tanto, en invierno, los pelos son más largos para retener el aire y generar una capa límite de mayor tamaño que colabora con la aislamiento térmica con el entorno (Finch, 1986).

Esta tendencia del largo de pelo en verano e invierno se correspondió al trabajo realizado, siendo más largos los pelos en invierno en cruza y puras. Entre genotipos se destaca la diferencia que las BH presentaron pelos más cortos en verano e invierno respecto a HH, pero no difirieron respecto al peso en gramos de un total de 25 pelos por muestra.

La fisiología y funcionamiento de las glándulas sudoríparas son importantes en animales adaptados a altas temperaturas y humedad del aire. Henao (1986), Bonsma (1985) y Nay (1958) reportan que aquellos animales adaptados (generalmente *Bos taurus indicus*, y entre *Bos taurus taurus* los genotipos Jersey, Bonsmara, Senepol)

presentan glándulas suporíparas de diversas morfologías y profundidad epitelial diferente a los genotipos no adaptados (otros *Bos taurus taurus*) a esas condiciones climáticas.

En este trabajo no pudo constatar ese efecto de variabilidad genotípica en las glándulas sudoríparas. Posiblemente puede ser explicada por varios factores, entre ellos que los animales cruza BH comparten su genotipo con los puros, ya que la composición racial de Bonsmara presenta Afrikaner, Shorthorn y Hereford; además al ser cruza las madres de las vaquillonas del experimento eran Hereford.

Similares resultados son reportados por Dowling (1955) donde genotipos cruza Zebú×Shorthorn presentan menor densidad de folículos pilosos (1230 folículos pilosos/cm²) respecto a Zebú puros (1528 folículos pilosos/cm²), en tanto las cruza presentan densidades similares a Shorthorn puros (1124 folículos pilosos/cm²).

También puede ser debido a que las muestras se extrajeron a mediados de agosto (por precaución a infestación y miasis) donde no hay presencia de altas temperaturas y humedad atmosférica, lo que podría haber significado cambios importantes en la expulsión del sudor en el día de la extracción de las muestras lo que podría haber variado en el volumen de las glándulas sudoríparas.

Según Esquivel (2012), Henaó (1986) y Herrera (1980) el volumen de las glándulas sudoríparas varían según la estación del año que fueron extraídas o si el animal realizó actividad previa a la extracción que permitió la sudoración. Herrera (1980) reporta que el diámetro glandular en otoño-invierno es significativamente mayor que en primavera-verano.

Hayman y Nay (1957) en Sydney Australia, estudiaron el volumen de glándulas sudoríparas en cruza Zebú×Jersey y Jersey puras. Las cruza presentaban un volumen de glándulas sudoríparas promedio de $9,8 \times 10^6 \pm 2,3 \mu\text{m}^3$ y Jersey puros $4,4 \times 10^6 \pm 1,3 \mu\text{m}^3$, luego de realizar una caminata de media hora bajo condiciones de temperatura del aire de 25 °C extrajeron otras muestras de piel y las cruza

presentaban $4,0 \times 10^6 \pm 1,5 \mu\text{m}^3$, en tanto las Jersey $2,4 \times 10^6 \pm 0,6 \mu\text{m}^3$. Concluyen que existe un efecto del ejercicio (caminata) en la reducción del volumen de las glándulas sudoríparas por la expulsión del sudor.

Además, estos autores estudiaron la variabilidad del volumen de las glándulas sudoríparas respecto a la estación del año de extracción de la muestra de piel. Observaron máximos volúmenes de las glándulas en primavera y otoño, y mínimas en verano (por altas tasas de sudoración) e invierno (por no generar sudor en esta época).

Todas estas explicaciones aumentan el error experimental y por lo tanto no se encontraron diferencias significativas, impidiendo la correcta interpretación de ciertos resultados, por lo que valdría la pena seguir investigando esta temática con estos genotipos contrastantes o incluir otros genotipos de origen cebuino.

Las diferencias encontradas en este experimento respecto al crecimiento, caracteres adaptativos y de comportamiento entre el genotipo cruzado y los puros pueden atribuirse a la expresión del vigor híbrido por ser un cruzamiento entre dos razas, pero no puede estimarse este componente ya que estaría faltando la comparación de las variables medidas para el genotipo Bonsmara puro como testigo.

Por sí sólo, el genotipo puro Bonsmara al ser una raza sintética, que fue formada en su origen por la combinación de tres genotipos presenta vigor híbrido. Pero tampoco se sabe cuánto de la superioridad de este genotipo es debido a la heterosis y cuánto es respecto al efecto racial. Para saber con exactitud se deberían tener en cuenta los componentes del efecto racial del Afrikaner, Hereford y Shorthorn para estimar cuánto de la superioridad en características adaptativas es atribuible al genotipo Sanga Afrikaner que le confiere rusticidad y adaptación a ambientes hostiles.

Puede llegar a haber efecto padre, pero en este trabajo no fue considerado, ya que si se tenía en cuenta el número de animales experimentales por padre sería menor el (n) para el estudio y comparación de cada característica. Los padres

utilizados Bonsmara fueron tres, Pimentón, Texas Ranger y Gringo, ninguno presenta EPD evaluado hasta el momento, y dos para Hereford, Místico y Legend, con EPD.

Investigar en el área de bioclimatología es importante para los tiempos venideros, ya que se ha constatado una gran variabilidad climática que tiene un fuerte impacto sobre la viabilidad y producción del campo natural (base forrajera mayoritaria de la ganadería uruguaya) que repercute en la sobrevivencia, alimentación y producción de los animales.

Además existe la acción directa de la variabilidad climática sobre el estrés en los bovinos tanto en verano (por altas cargas de calor corporal) como en invierno (por las pérdidas de calor) que incide en el bienestar y producción de los bovinos.

5. CONCLUSIONES

En relación a aspectos productivos, no existen diferencias significativas entre variaciones de peso entre puras y cruza, ambos genotipos presentaron ganancias de peso durante el verano y pérdidas en invierno, lo que concuerda con las variaciones de forraje que ofrece el campo natural.

Se observa una mejor performance en condición corporal en las BH respecto a las HH en todo el período experimental, este aspecto es positivo pues es una característica buscada ya que resulta favorable para la acumulación de reservas de energía que necesitan los bovinos para la época invernal.

En lo que respecta a los caracteres adaptativos que se trabajaron, frecuencia respiratoria, temperatura rectal y corporal superficial medida en frente y flanco, los animales BH demostraron más tolerancia a las condiciones de estrés ambiental, respecto a los HH.

En presencia de eventos meteorológicos extremos (olas de calor) en los registros fisiológicos medidos a la mañana en las cruza BH no se encuentran diferencias, pero en HH sí, destacándose mayores frecuencias respiratorias en ola de calor respecto a los períodos de no ola de calor.

En presencia de olas de calor en las horas de la tarde, los animales BH evidenciaron una mayor habilidad de termorregulación pues presentaron menor frecuencia respiratoria y menor temperatura rectal en comparación con HH.

Las BH mostraron mayor tolerancia al calor evidenciada por menores variaciones fisiológicas (FR, TR) frente a un discomfort ambiental (alta temperatura y humedad del aire).

En tanto en invierno no hubo diferencias significativas respecto a las variables fisiológicas, sí fue evidenciada una mejor performance de peso vivo en BH.

El pelaje de los animales evaluados resultó diferente en verano e invierno variando entre genotipos en el largo de los pelos pero no en el peso de los mismos.

BH presentó pelos más cortos que HH en las estaciones consideradas colaborando esta característica en su adaptación a los ambientes térmicos menos favorables.

La morfología de la piel (glándulas sudoríparas y folículos pilosos) no fue diferente entre genotipos, posiblemente porque surgieron algunas limitaciones que impidieron la correcta interpretación de los resultados, lo que valdría la pena seguir investigando esta temática con estos genotipos contrastantes o incluir otros genotipos de origen cebuino.

Tampoco se encontraron diferencias en la carga de parásitos gastrointestinales entre genotipos, posiblemente debido a que fue un año típico respecto al promedio de precipitaciones, temperatura y humedad del aire, o posiblemente por el manejo sanitario fijo realizado en la EEMAC.

Las vaquillonas cruzas se comportaron diferentes en pastoreo respecto a las Hereford puras, destacándose diferencias entre ellas en permanencia al sol y sombra y en los períodos de descanso.

Este trabajo resultó interesante por el aporte de técnicas, datos y resultados que se obtuvieron, si bien, algunos resultados no fueron los esperados, como lo son la morfología de la piel y la carga de parásitos internos, causa por lo cual sería adecuado continuar su estudio.

Se esperaría obtener resultados diferentes y con mayor contraste entre genotipos si se realizara esta investigación en años que consideren la variabilidad meteorológica, es decir, contar con días de alta temperatura y humedad del aire que determinen la ocurrencia de eventos extremos más severos que los ocurridos durante este período experimental.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Alencar M, Gonçalves A, Barichello F, Franklin P, Taveira R, Maria da Cruz G, Ramiz R. 2009. Desempenho de bezerros cruzados do nascimento à desmama. 46° Reuniao Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. Consultado 22 de marzo 2016. Disponible en: http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/_CPPSE-2009-09/18462/1/PROCIMMA2009.00024.pdf.
- Álvarez M, Taullard M, Gómez P. 2011. Desempeño de vacas Hereford gestando y amamantando terneros puros y cruza Bonsmara en condiciones pastoriles del Uruguay. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 108 p.
- American Meteorological Society. 2016. Meteorological Glossary. Consultado marzo 2015. Disponible en: http://glossary.ametsoc.org/wiki/Heat_wave.
- Arias R, Mader T, Escobar P. 2008. Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado de carne y leche. Archivos de Medicina Veterinaria. 40: 7-22. Consultado agosto 2012. Disponible en: <http://www.scielo.cl/pdf/amv/v40n1/art02.pdf>
- Batista P, Saravia C, Ordeix S, Guillenea A, Van Eeden J, Espasandin A. 2013. Bonsmara-Hereford: una cruza que promete mayor adaptación al estrés térmico al Norte del Uruguay. Facultad de Agronomía. EEMAC. Nota técnica. Cangüé 34: 32-37. Consultado julio 2015. Disponible en: www.eemac.edu.uy/publicaciones/revista-canguuee.
- Batista P, Tecco N. 2011. Desempeño de terneros cruza-Hereford y Hereford puro desde el nacimiento hasta el destete en condiciones pastoriles del Uruguay. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 94 p.

- Beede D, Collier R. 1986. Potential nutritional strategies for intensively managed cattle during thermal stress. *Journal of Animal Science* 62: 543-554.
- Bennett I, Finch V, Holmes C. 1985. Time spent in shade and its relationship with physiological factors of thermoregulation in three breeds of cattle. *Applied Animal Behaviour Science*. 13: 227-236.
- Berbigier P. 1988. *Bioclimatologie des ruminants domestiques en zone tropicale*. Paris. INRA. 237 p.
- Bianca W. 1965. Reviews of the progress of dairy science. Section A Physiology. Cattle in a hot environment. *Journal Dairy Reserch*. 32: 291-345.
- Blackshaw J, Blackshaw A. 1994. Heat stress in cattle and the effect of shade on production and behaviour: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 34: 285-95.
- Bligh J, Johnson K. 1973. Glossary of terms for thermal physiology. *Journal of Applied Physiology*. 35: 941– 961.
- Bonsma J C. 1985. Jan Bonsma and the Bonsmara beef cattle breed. In: *Bonsmara Cattle Breeders Society's 21st Anniversary Publication. Proceedings*. South Africa. 42 p.
- Bonsma J C. 1980. *Livestock production: a global approach*. s.l. Tafelberg Publishers. 201 p.
- Bonsmara South Africa Cattle Breeders Society. 2016. Consultado 12 julio 2016. Disponible en: <http://bonsmara.co.za/eng>
- Brosh A, Aharoni Y, Degen A, Wright D, Young B. 1998. Effects of solar radiation, dietary energy, and time of feeding on thermoregulatory

responses and energy balance in cattle. *Journal of Animal Science*. 76: 2671-2677.

Cardozo R, Saint-Upery C. 1996. Cruzamientos entre padres Hereford, Aberdeen Angus, Nelore y Salers con vientres Hereford. III. Crecimiento hasta los 22 meses de edad. Tesis Ing. Agr. Montvideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 97 p.

Carter H, Clarke W. 1957. Hair follicle group and skin follicle population of Australian Merino Sheep. *Australian Journal Research*. 8 (1): 91-108.

Cartwright T. 1955. Responses of Beef Cattle to High Ambient temperatures. *Journal of Animal Science* 14: 350-362.

Collier R, Dahl G, Van Baale M. 2006. Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 89: 1244-1253.

Cruz G, Saravia C. 2008. Un índice de temperatura y humedad del aire para regionalizar la producción lechera en Uruguay. *Agrociencia Uruguay*. 12 (1): 56-60.

De Oliveira V, Menezes P, Bueno A, Mello M, Maria G, Santanna A. 2008. Comportamento em Pastejo de Bovinos de Grupos Genéticos com Diferentes Níveis de Adaptação ao Clima Tropical. Lavras. UFLA. 3 p.

Dias L, Vieira D. 1997. *Bioclimatología Animal*. Ministerio da Educação e Cultura. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Instituto de Zootecnia. Departamento de reprodução e avaliação animal. 130 p.

Dickerson G. 1978. Animal size and efficiency: basic concepts. *Animal Production*. 27: 367-379.

DIEA (Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias). Ferrari J, Freiría G, Rincón F. 2012. Anuario estadístico agropecuario 2012.

Montevideo, Uruguay. Consultado julio 2013. Disponible en:
<http://www.mgap.gub.uy>

Dowling D. 1955. The hair follicle and apocrine gland populations of Zebú (*B. Indicus L.*) and Shorthorn (*B. Taurus L.*) cattle skin. *Australian Journal of Agricultural Research*. 6: 645-654.

Du Plessis I, Hoffman L. 2004. Effect of chronological age of beef steers of different maturity types on their growth and carcass characteristics when finished on natural pastures in the arid sub-tropics of South Africa. *South African Journal of Animal Science*. 34 (1): 1-12.

Esquivel C. 2012. La raza, el pelo y la piel en función del bienestar animal. *Mundo Pecuario*. 8 (1): 73-85.

Finch A. 1986. Body temperature in beef cattle: its control and relevance to production in the tropics. *Journal of Animal Science*. 62: 531-542.

Foster L, Fourie P, Naser F. 2009. Effect of heat stress on six beef breeds in the Zastron district: The significance of breed, coat colour and coat type. *South African Journal of Animal Science* 39: 224-228.

Frisch J, Vercoe J. 1992. Genotype (breed) and environment interaction with particular reference to cattle in the tropics. *Asian-Australasian Association of Animal Societies*. 5 (3): 401-409.

Frisch J, Vercoe J. 1979. Adaptive and productive features of cattle growth I the tropics: their relevance to buffalo production. *Tropical Animal Production*. 4 (3): 214-222.

Gaughan, J, Mader, T, Holt, S, Sullivan, M, Hahn, G. 2010. Assessing the heat tolerance of 17 beef cattle genotypes. *International Journal of Biometeorology*. 54: 617-627.

- Gaughan J, Mader T, Holt S, Lisle A. 2008. A new heat load index for feedlot cattle. *Journal of Animal Science*. 86: 226-234.
- Gaughan J, Holt S, Hahn G, Mader T, Eigenberg R. 2000. Respiration Rate – Is It a Good Measure of Heat Stress in Cattle?. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*. 13: 329-332.
- Gaughan J, Mader T, Holt S, Josey M, Rowan K. 1999. Heat tolerance of Boran and Tuli crossbred steers. *Journal of Animal Science*. 77 (9): 2398-2405.
- Geneser F. 2007. *Histología. Sobre bases moleculares*. Buenos Aires. 3a ed. 7a reimp. Médica Panamericana. 828 p.
- Hahn G. 1997. Dynamic responses of cattle to termal heat loads. *Journal of Animal Science*. 77: 10-20.
- Haydock K, Shaw N. 1975. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Australian journal of experimental agriculture and animal husbandry*. 15 (76): 663-700.
- Hayman R, Nay T. 1957. Sweat glands in Zebú (*Bos Indicus L.*) and European (*Bos Taurus L.*) cattle. II Effect of season and excersice on sweat gland volume. *Australian Journal of Agricultural Research*. 9: 385-390.
- Henao F. 1986. Fisiología ambiental importancia de las glándulas sudoríparas en la pérdida de calor del bovino. Parte I. *Revista Veterinaria y Zootenia de Caldas*. 5 (1): 63-67.
- Herrera M. 1980. Características étnicas de la piel de la raza Retinta del Guadalquivir. I. Glándulas sudoríparas y folículos pilosos. *Archivos de Zootecnia*. 29 (113). 31 p.
- Hertig B. 1972. Medición del medio ambiente físico. En: *Adaptación de los animales de granja*. México. Ed. Herrero S.A. 438-456.

- INUMET (Instituto Uruguayo de Meteorología). 2015. Consultado octubre 2015. Disponible en: <http://www.meteorologia.com.uy/ServCli/estadisticasClimatologicas>
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2013. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Stocker T, Qin D, Plattner G, Tignor M, Allen S, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley P. New York, USA. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York. 1535 p.
- Jenkinson D, Nay T. 1972. The sweat gland and hair follicles of European cattle. *Australian Journal of Biological Sciences*. 25: 585 p.
- Johnson H, Kibler H, Ragsdale A, Berry I, Shanklin M. 1961. Role of heat tolerance and production level in responses of lactating Holsteins to various temperature-humidity conditions. *Journal of Dairy Science*. 44: 1191 p.
- Kjeldahl J. 1883. Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern. *Journal of Analytical Chemistry*. 22: 366-382.
- Lepen J. 1996. The evaluation of breeding strategies with the objective of enhancing sustainable beef production in Namibia. Windhoek, Namibia. Agra (Co-operative) Ltd, P/Bag 12011. Consultado: junio 2015. Disponible en: www.nbri.org.na/old/agricola_files/Agricola1996_Nº9_07_lepen.pdf
- Maddocks L, Jackson N. 1988. Structural studies of sheep cattle and goat skin. Australia, Melbourne. CSIRO. 57-65 p.
- Mader T, Johnson L, Gaughan J. 2010. A comprehensive index for assessing environmental stress in animals. *Journal of Animal Science*. 88: 2153-2165.

- Mader T, Davis M, Brown-Brandl T. 2006. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *Journal of Animal Science*. 84: 712-719.
- Mader T, Davis M. 2002. Climatic effects on feedlot cattle and strategies to alleviate the effects. *Plains Nutr. Counc. AREC 02-20*. Texas A&M AgriLife Research and Extension Center at Amarillo. 98–115 p.
- Martino D. 2008. El mercado del servicio de Mitigación del Cambio Climático: Oportunidades para Uruguay. CARBOSUR. Programa Apoyo a los Procesos de Apertura e Integración al Comercio Internacional (ICI). Montevideo. Uruguay. 11 p.
- Mc Dowell R, Hooven N, Camoens J. 1976. Effect of Climate on Performance of Holsteins in First Lactation. *Journal of Dairy Science*. 59: 965-971.
- MGAP-FAO (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (siglas en inglés Food and Agriculture Organization of the United Nations). Bartaburu D, Morales H, Dieguez F, Lizarralde C, Quiñones A, Pereira M, Molina C, Montes E, Modernel P, Taks J, De Torres F, Cobas P, Mondelli M, Terra R, Cruz G, Astigarraga L, Picasso V. 2013. Sensibilidad y capacidad adaptativa de la ganadería frente al cambio climático. Volumen III de: *Clima de cambios: nuevos desafíos de adaptación en Uruguay*. Resultado del Proyecto FAO TCP URU 3302, Montevideo, Uruguay. Consultado: agosto 2016. Disponible en: <http://www.fao.org/climatechange/84982/es>.
- Nari A. Risso E. 1994. Epidemiología y control de nematodos gastrointestinales. In: *Enfermedades de importancia económica en bovinos*. Montevideo. Uruguay. Ed. Nari y Fiel. ISBN: 9974-556-89-9. 155-201 p.

- Nay T. 1958. Sweat glands in cattle: Histology, Morphology, and evolutionary trends. *Australian Journal of Agricultural Research*. 10: 121-128 p.
- Niec R. 1968. Cultivo e identificación de larvas infectantes de nematodos gastrointestinales del bovino y ovino. Buenos Aires. Ed. Instituto Salesiano de Artes Gráficas. 28 p.
- Nienaber J, Hahn G. 2007. Livestock production system management responses to thermal challenges. *International Journal of Biometeorology*. 52: 149-157.
- Olson T, Avila-Chytil M, Chase Jr C, Hansen P, Coleman S. 2002. Impact of differences in the coat on the rectal temperature, skin temperature and respiratory rate of crossings Holstein x Senepol in Florida, USA. *Senepol Symposium*, St. Croix, Virgin Islands. 11 p.
- Ostrowski J. 2005. La raza Bonsmara. Buenos Aires. *Revista de Medicina Veterinaria*. 86 (1): 27-32.
- Othaix L, Tolosa I. 2014. Estudio comparativo de los endoparasitos en animales Bonsmara-Hereford y Hereford puros en iguales condiciones de manejo. Tesis Med. Vet. Facultad de Veterinaria. Montevideo, Uruguay. 103 p.
- Oyanthçabal W. 2009. Tomando conciencia del cambio climático. *Revista Plan Agropecuario* N° 129. Montevideo, Uruguay. Consultado 19 junio 2015. Disponible en: http://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R129/R_129_12.pdf
- Rothfusz L. 1990. Heat Index “Equation” (or, more than you ever wanted to know about heat index). NWS Technical Attachment SR 90-23. National Weather Service. Consultado 27 junio 2016. Disponible en: http://www.srh.noaa.gov/images/ffc/pdf/ta_htindx.PDF

- Samuelson A. 2007. Textbook of Veterinary Histology. St. Louis, Mo. Saunders 13. 546 p.
- Saravia C, Astigarraga L, Van Lier E, Bentancur O. 2011. Impacto de las olas de calor en vacas lecherasen Salto (Uruguay). Montevideo, Uruguay. *Agrociencia Uruguay*. 15 (1): 93-102.
- Saravia C. 2009. Efecto del estrés calórico sobre las respuestas fisiológicas y productivas de vacas Holando y Jersey. Tesis de Maestría en Ciencias Agrarias. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía 140 p.
- Siple P, Passel C. 1945. Measurements of Dry Atmospheric Cooling in Subfreezing Temperatures. *Proceedings of the American Philosophical Society*. 89 (1). Reports on Scientific Results of the United States Antarctic Service Expedition. 177-199 p.
- Tew M, Battel G, Nelson C. 2002. Implementation of a new Windchill temperature Index by the National Weather Service. 18th Int. Conf. Interactive Information and processing systems (IIPS) for Meteorology Oceanography and Hidrology, Orlando, Florida. American Meteorological Society. Consultado 22 junio 2016. Disponible en: <https://ams.confex.com/ams/pdfpapers/27020.pdf>
- Thienpont D, Rochette F, Vanparijs O. 1986. Diagnosing helminthiasis by coprological examination. Anssen J Research Foundation. Bélgica. 2° ed. Beerse. 205 p.
- Thom E. 1959. The discomfort index. *Weatherwise* 12: 57-59.
- Thomas C, Pearson R. 1986. Effects of ambient temperature and head colling on energy expenditure, food intake and heat tolerance of Brahman and Brahman x Fresiancattle working on treadmills. *British Society of Animal Production*. 43: 83-90.

- Vallejo A. 2011. Estudio de la población folicular pilosa de la progenie de ovejas Merino Australiano con diferentes características en su piel y vellón inseminadas con carneros MPM (Merinos multipropósito). Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agonomía. 102 p.
- Valtorta S, Gallardo M, Leva P. 2004. Olas de calor: impacto sobre la producción lechera en la cuenca central argentina. Reunión Argentina, (10a.) y Latinoamericana de Agrometeorología (4a.), Mar del Plata, Argentina, 13-15 octubre. Memorias en disco compacto. Mar del Plata, Asociación Argentina de Agrometeorología. En CD.
- Valtorta S, Leva P, Gallardo M, Scarpatti O. 2002. Milk production responses during heat waves events in Argentina. In Conference on Biometeorology and Aerobiology (15th); International Congress on Biometeorology (16th.), Kansas City, Mo, Boston. American Meteorological Society (ed). 98-101 p.
- Valtorta S, Gallardo M. 1996. El estrés por calor en producción lechera. In Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Rafaela, Argentina. Miscelánea. 81: 173-185.
- Van Soest P. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. Ithaca and London. 2d. Edition. Cornell University Press. 480 p.
- Van Zyl J, Schoeman S, Coertze R. 1992. Sire breed and breed genotype of dam effects in crossbreeding beef cattle in the subtropics. South Africa Journal of Animal Science. 22 (5): 161-164.
- Vizcarra J, Ibañez W, Orcasberro R. 1986. Repetibilidad y reproductibilidad de dos escalas para estimar la condición corporal de vacas Hereford. Investigaciones Agronómicas. 7: 45-47.

7. ANEXOS

Environment and Beef Cattle: Physiological responses and animal behaviour in Bonsmara-Hereford crosses vs. Hereford purebred on environment stress

Paula Alicia Batista Tabora^{*1,3}, Celmira Saravia², Ana Carolina Espasandin³.

¹Universidad de la República, Uruguay, PAAP, CENUR Litoral Norte.

²Universidad de la República, Uruguay, Facultad de Agronomía, CENUR Litoral Norte sede Salto.

³Universidad de la República, Uruguay, Facultad de Agronomía, Paysandú, Dept. de Producción Animal y Pasturas.

*Corresponding author: pabt2508@gmail.com

Highlights

- Crossed Bonsmara-Hereford heifers show more tolerance to environmental stress condition compared to purebred Hereford.
- Bonsmara-Hereford is ability to maintain constant and low respiration rate and body temperature under hot conditions compared to purebred Hereford.
- Bonsmara-Hereford grazed more time in the sun and rested less time compared to purebred Hereford.

ABSTRACT

Physiological responses to different temperatures in Bonsmara-Hereford crossbred (BH) and purebred Hereford (HH) heifers were studied in a grazing system of Uruguay. Adaptive traits (rectal temperature-RT, respiratory rate-RR) and grazing behavior (Grazing-Gr, Ruminating-Ru and Resting-Re time, and at Sun-Su or Shade-Sh) were measured in 33 yearling heifers (15-BH and 18-HH). Environment characterization was made using THI adjusted by radiation and wind speed (no, mild, and severe heat waves), and the comprehensive climatic index-CCI (no, middle, moderate and severe stress). At the beginning of the experiment (summer-December) the average body weight (BW) were 307 ± 35 kg and body condition score-BCS was 4.8 ± 0.1 in BH; and 301 ± 23 kg and 4.5 ± 0.1 BW and BCS, respectively in HH. At the end of the experiment (winter-July) BW were 329 ± 47 kg and BCS 3.0 ± 0.1 in BH; and BW 309 ± 26 kg and BCS 2.7 ± 0.1 in HH. Adaptive traits (RT and RR) were measured twice a day weekly in two consecutive days in summer (January to March) and winter (July and August) at 08:00 hs (lower temperature) and 16:00 hs (higher temperature). Grazing behaviour (minutes/day) were observed from 07:00 hs to 21:00 hs each 10 minutes, at the beginning, middle and the end of the experiment in summer. The records were analyzed using a mixed model with heifer genotype, day and week as fixed effects, and the heifer (ID) as random effect. Significant effect of genotype was observed in mild heat waves for RR and RT in the afternoon (being BH lower than HH). For CCI in AM, the RR was lower in BH than HH in severe stress, while in PM the RR was lower in all of the CCI levels. RT in PM in moderate and severe was lower in BH than HH. In winter, no differences were found in physiological responses between genotypes. There were no significant differences between BH and HH in total Gr and Ru, but in Re, HH rest more time than BH. Also, HH spent more time in the shade (34%) than BH (22%). BH genotype showed better performance in body weight and body condition score, thermoregulation and grazing behaviour at higher temperatures compared to HH animals.

Keywords: Bonsmara, Hereford, Grazing behavior, Thermoregulation.

INTRODUCTION

Summer conditions in high environmental temperatures, relative humidity, solar radiation and low wind speed affect the physiology responses of the cattle and the grazing behavior. As a consequence animal welfare, forage intake, growth and daily gain are affected (Gaughan et al., 2008; Mader et al., 2006; Hahn, 1997; Morrison, 1983).

Several alternatives were proposed to mitigate heat stress in cattle, providing a suitable environment, natural shade, ventilation, etc., or using genetically adapted animals (Beede and Collier, 1986).

In the North of Uruguay, the weather is variable, characterized by summers with high temperatures and humidities. Those conditions can lead to heat stress in cattle as reported by Cruz and Saravia (2008) in dairy cows.

Generally, an index of temperature and humidity (THI) (Thom, 1959) is used to estimate heat stress in animals. New equations attached this index with wind speed and radiation lead to better fit in beef cattle studies (Mader et al., 2006, Gaughan et al., 2008).

In beef and dairy breeds, several genetic resources have been selected for their adaptability to extreme climatic conditions (parasite resistance, heat tolerance, hardiness, feed conversion efficiency, Frisch and Vercoe (1992, 1979), Bonsma (1985). The complementarities of different genotypes through crossbreeding can contribute to animals adapted to different environments.

Bonsmara breed (*Bos taurus taurus* biotype Sanga or African Creole (Bonsma, 1985), is an example of adaptation to high temperature in African environment. This breed was introduced to Uruguay in 2005 and used in crossbred grazing systems.

The aim of this study was to evaluate the expression of adaptive, behavioral and growth traits in the summer and winter in yearling Bonsmara-Hereford F1

crosses and contemporary purebred Hereford heifers, grazing natural pastures (Pallares et al., 2005) in northwest Uruguay.

MATERIALS AND METHODS

The study was conducted in the Experimental Station “Dr. M. A. Cassinoni”-EEMAC, School of Agronomy, Udelar, Paysandú, Uruguay (32°22`S latitude, 58°03`W longitude, 42 m above sea level). In this region, the mean temperatures in summer (January and February) average 24°C (maximum 41°C) and relativity humidity average 67%, while the average in winter (June and July) is 11°C (minimum -4°C) and the relativity humidity 80%. Historical registers if total rainfall in January and February are 120 mm and in June and July is 70 mm (INUMET, 2015).

Variables of physiological responses and growth were measured in summer (january to march) and winter (june to august).

Weather characterization

Daily data were registered on air temperature (Ta, °C) and humidity (RH, %), global solar radiation (RAD, W/m²) and wind speed at 2 meters (WS, m/s) with Automatic Weather Station (EMA) located in EEMAC Experimental Station (Model Vantage Pro 2, Davis Instruments, CA, 2007).

Two Black Globe (BG) Vernon (Berbigier, 1988) were also installed at 1.5 m height, at sun and at shade in the same paddock where heifers were grazing. The BG is a black sphere of 16 cm of diameter including a Kooltrak sensor device (iButtons DS1921-TMEX model, Dallas Semiconductor, Dallas, TX). The Kooltrak register electronically each 15 minutes, the temperature black globe (TBG, °C) integrating heat by convection and radiation. This parameter expresses the profit and loss of environmental heat on animals.

Records of EMA and TBG were used to perform the Temperature and Humidity Index (THI, Thom, 1959), the adjusted THI (THI_{adjust}) and the Comprehensive Climatic Index (CCI).

Temperature and Humidity Index (THI):

Daily and hourly EMA and TBG records of air temperature and humidity were used to perform 2 THI equations: THI (from EMA records) and BGTHI (from TBG records).

Equation 1 (Thom, 1959; modified by Valtorta and Gallardo, 1996):

$$\text{THI} = (0.8 \times \text{Ta} + ((\text{RH}/100) \times (\text{Ta} - 14.4)) + 46.4$$

Equation 2 (Mader et al, (2006):

$$\text{BGTHI} = (0.8 \times \text{TBG} + ((\text{RH}/100) \times (\text{TBG} - 14.4)) + 46.4$$

Temperature and Humidity Index adjusted by Wind speed and Radiation (THI_{adjust}):

Using schedules and daily data on temperature, humidity, wind speed and radiation obtained from the EMA was estimated THI_{adjust}, Mader et al. (2006).

Equation 3 (Mader et al, (2006):

$$\text{THI}_{\text{adjust}} \text{ hourly} = 4.51 + \text{THI} - (1.992 \times \text{WS}) + (0.0068 \times \text{RAD})$$

Equation 4 (Mader et al, (2006):

$$\text{THI}_{\text{adjust}} \text{ daily} = 6.8 + \text{THI} - (3.075 \times \text{WS}) + (0.0114 \times \text{RAD})$$

Comprehensive Climate Index (CCI, Mader et al. 2010).

The CCI is an index adjusted by air temperature, relative humidity, wind speed and solar radiation, to define environmental conditions (heat or cold). This

index is more accurate to predict the susceptibility of animals to environmental conditions. Other indices, such as THI do not integrate variables to define cold stress.

Equation 5 (Mader et al., 2010): $CCI = ta + \text{Equations A} + \text{B} + \text{C}$

Equation A = $\exp(0.00182 \times RH) + (1.8E-05 \times Ta \times RH) \times ((Ta^2) \times 0.000054) + (0.00192 \times Ta) - (0.0246) \times (RH-30)$

Equation B = $(-6.56/\exp((1/2.26 \times WS + 0.23)^{0.45}) \times (2.9 + 1.14 \times 10^{-6} \times WS^{2.5} - \log_{0.3}(2.26 \times WS + 0.33) - 2)) - 0.00566 \times WS^2 + 3.33$

Equation C = $0.0076 \times RAD - 0.00002 \times RAD \times Ta + 0.00005 \times Ta^2 \times \sqrt{RAD} + 0.1 \times Ta^2$

Heat waves:

To define the heat waves (abnormally warm and usually wet periods) were used the following criterias:

→ If for at least three consecutive days or more, the $THI > 74$ for more than 14 consecutive hours, (using Equation 3) (Valtorta et al., 2002).

→ If the daily average THI (using Equation 4) was > 74 for three consecutive days or more, considering that the wave is not interrupted any day (of this 3) this threshold is not reached (Valtorta et al., 2004).

They were classified into Severe Heat Wave (SHW) if both criteria were met, Mild Heat Wave (MHW) are defined if at least one of both criteria are met. Days of No Heat Wave (NHW) are in the case of any criteria met (Saravia et al., 2011).

As well as defined the HW for THI, the levels were defined for CCI. CCI ranges determine stress levels or animal susceptibility to heat and cold conditions as reported by Mader et al. (2010). In hot conditions, No stress level is when $CCI < 25$, Mild when $25 < CCI < 30$, Moderate when $30 < CCI < 35$, Severe $35 < CCI < 40$, Extreme $40 < CCI < 45$, and Danger when $CCI > 45$. In cold conditions, values for no stress, mild,

moderate, severe, extreme and danger are for CCI>5, 0>CCI>5, 0>CCI>-5, -5>CII>-10, -10>CCI>-15 and CCI>-15, respectively.

Animals

The measurements were made in 33 crossbred and purebred yearling heifers (15 Bonsmara-Hereford (BH) and 18 purebred Hereford (HH)). The heifers were contemporaries and managed in same conditions, grazing natural grasses of Uruguay (Pallares et al., 2005).

Physiological Responses of Cattle to Heat Stress

The Rectal Temperature (RT) and Respiration Rate (RR) were recorded as physiological responses of heifers to weather conditions.

Weekly, in two consecutive days, at morning and in the afternoon in the moments of lower and higher air temperatures (07:00 hs and 08:00 hs in summer and winter, respectively and 15:00 hs and 16:00 hs, respectively) the physiological responses were measured. RT was recorded with mercury thermometer (0.1°C accuracy) at the same time, the RR was recorded by 1 minute observing the flank movements (number of breaths per minute) (Gaughan et al, 1999).

Grazing Behaviour

In summer, the grazing behaviour was measured by observing 10 animals (5 HH and 5 BH) in three different moment of the experimental period. Each 10 minutes, the location of each animal (in the Shade-Sh or Sun-Su) and their activity (Grazing-Gr, Ruminating-Ru or Resting-Re) were recorded, from sunrise to sunset. In winter this measurement was not performed because the animals rotated several paddocks due to low forage allowances).

Forage allowance (Table 1) was determined in summer by double sampling method (Haydock and Shaw, 1975).

Table 1. Availability and chemical composition of the forage.

Date	kg DM/ha	DM %	A %	CP %	NDF %	ADF %	EE %
begining	373.6	93.5	13.1	8.3	67.1	31.8	2.5
middle	500.2	93.1	12-1	6.9	68.8	33.0	3.5
end	388.3	93.5	13.3	7.7	68.5	31.9	2.6

DM: dry matter, A: ash, CP: crude protein, NDF: Neutral detergent fiber, ADF: Acid detergent fiber, EE: ether extract.

Body Weight an Body Condition Scores

Every 2 weeks the animals were weighted in an electronical scale (accuracy=0.5 kg), and Body Score Condition (BCS) were recorded by visual appreciation using the validated scale by Vizcarra et al. (1986) for Uruguay herds.

Statistic analysis

Physiological responses in summer and winter (RR and RT) AM and PM were analyzed using a repeated measures model under a completely randomized design. The model contained the fixed effects of Genotype, Day of measurement (includes heat waves in summer or CCI levels in summer and winter) and the Genotype × Day interaction, and the cow ID as a random effect.

$$y_{ijk} = \mu + G_i + \delta_{ij} + D_k + (G \times D)_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

Where: y = physiological variables (RR and RT) G_i= Genotype (Bonsmara-Hereford and Hereford purebred) D_k= Day of measurement (SHW: Severe Heat Waves, MHW: Mild Heat Waves, NHW: No Heat Waves) or (CCI levels: no stress, mild, moderate, severe stress), (G*D)_{ik} = Genotype× Day of measurement, δ_{ij} = Random error=0 and variance σ²δ means, variance between animals (subject) within each

genotype, equal to the covariance between repeated measurements on each animal, and ε_{ijk} = Model error.

The comparison of means was performed by orthogonal contrasts between genotypes and within each genotype each day of measurement. (SAS Institute, Cary, NC, 2009).

To analyze body weight and BCS, the model contained the fixed effects: genotype of the cow, moment measurement (15 days of measurement), genotype×moments interaction and the identification of the cow as a random effect. The following statistical model was used:

$$y_{ijk} = \mu + G_i + \delta_{ij} + M_k + (G \times M)_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

Where y =BW and BCS, G_i = Genotype (Bonsmara-Hereford and Hereford purebreed), M_k = Moments measurement (every 15 days), $(G \times M)_{ik}$ = Genotype×moments interaction, δ_{ij} = Random error=0 and variance $\sigma^2\delta$ means, variance between animals (subject) within each genotype, equal to the covariance between repeated measurements on each animal, and ε_{ijk} = Model error.

ANOVAs and half of least squares were analyzed by MIXED procedure of SAS program compared with Tukey's test set for each level of each significant ($p < 0.05$) (SAS Institute, Cary, NC, 2009).

For variable grazing behavior model contained the fixed effects genotype of the cow, moment measurement (2 days of measurement), genotype×moments interaction and the identification of the cow as a random effect. The following statistical model was used:

$$y_{ijk} = \mu + G_i + M_j + (G \times M)_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Where y = Gr-Grazing, Ru-Ruminating, Re-Resting, Su-Sun, Sh-Shade, G_i = Genotype (Bonsmara-Hereford and Hereford purebreed) $(G \times M)_{ik}$ = Genotype×moments interaction, and ε_{ijk} = Model error.

ANOVAS and half of least squares were analyzed by MIXED procedure of SAS program compared with Tukey's test set for each level of each significant ($p < 0.05$) (SAS Institute, Cary, NC, 2009).

RESULTS

Meteorological conditions. The experimental period was not as a typical year, where the maximum and minimum temperatures were filed within the historical range (1961-1991). In summer (January to March) were detected 68 days (78%) with MHW) and emergency status for animal welfare (THI_{adjust} : 81 ± 4 average) and 19 days (22%) without the presence of heat waves (THI_{adjust} : 69 ± 3 average). No SHW were detected during the summer period evaluated. In the 15 days where measurements physiological responses, 9 days corresponded to MHW and 6 to NHW.

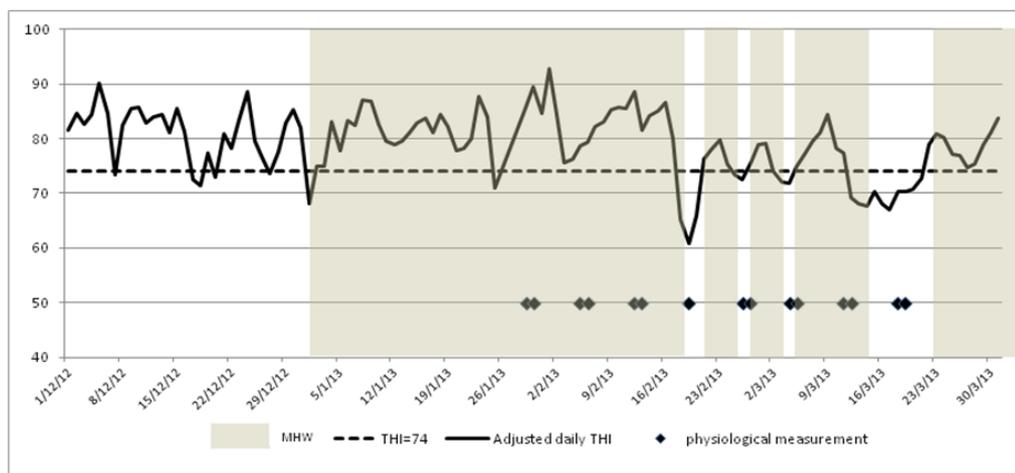


Figure 1. Temperature and Humidity Index (THI) daily adjusted by radiation and wind speed (—) for the experimental period in summer (December to March), critical $THI < 74$ (- - -), period of mild heat waves MHW (gray bars) and location of the days physiological measures (respiratory rate (RR), rectal temperature (RT) and body temperature surface in black diamonds).

Also if we characterize the meteorological conditions of summer and winter together it is done through CCI resulting figure 2.

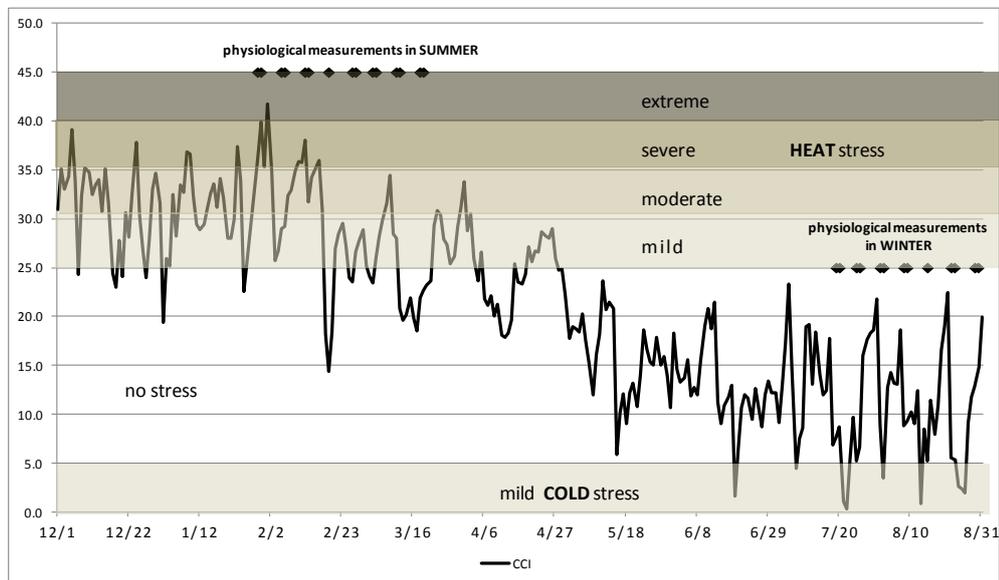


Figure 2. Evolution of comprehensive climate index (CCI) during the experimental periods of summer and winter (—) indication of heat stress levels (extreme, severe, moderate, mild) and cold stress (mild), white space without stress in summer or winter, location of sampling dates physiological measures in summer and winter.

In figure 2 the entire experimental period is illustrated by the CCI per station, in summer (December to February) as many days showed moderate (38%), mild (24%) and severe stress (19%) the physiological measurements carried out 3 days of severe stress, 1 with moderate stress, 3 with mild stress measurements and 2 measurements were performed on days without stress to the animals.

In autumn (March to May), as was expected, there were more days without stress for the animals (65%), although 27% of mild stress days where 2 measurements were recorded.

In winter (June to August) there were 10% of days with mild cold stress but most physiological measurements were made on days where not cold stress occurred.

Body weight and body condition score. No significant difference in body weight (BW) between genotypes (figure 3) was found ($p>0.05$) but a trend ($p=0.10$) was observed in body weight, being BH crossed heifers heavier than HH heifers in winter months (June and July).

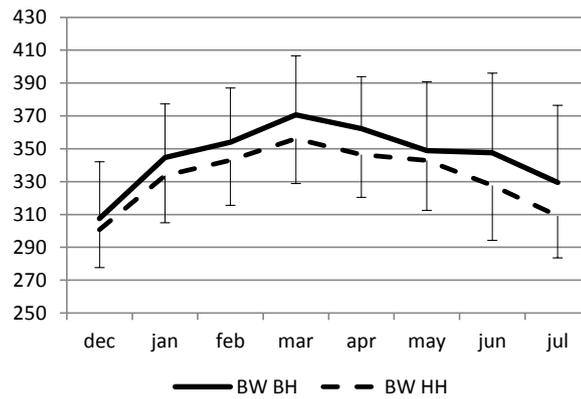


Figure 3. Body weight (BW) of genotypes cross Bonsmara-Hereford (BH) and purebred Hereford (HH) in the experimental period.

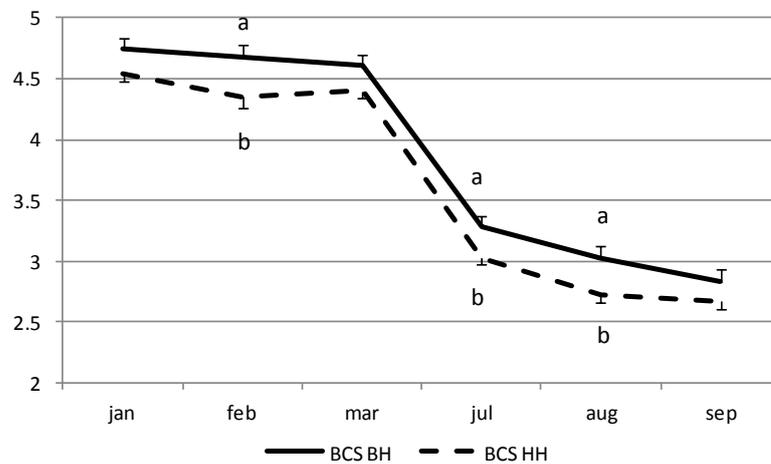


Figure 4. Body condition score (BCS) of genotypes cross Bonsmara-Hereford (BH) and purebred Hereford (HH) in the experimental period.

Regarding body condition score (BCS) (figure 4) significant differences between genotypes in summer (February) and winter (July and August) were founded, with higher values of crosses BH compared to HH.

Physiological response. The results of the physiological measurements (RR and RT) in BH and HH analyzed according to weather conditions (MHW, NHW) in summer and time of measurement (AM or PM) are shown in table 2.

Table 2. Physiological response in summer by time measurement (AM and PM), weather conditions (days of no heat wave (NHW) and mild heat wave (MHW)) and genotype Bonsmara-Hereford (BH) and Hereford pure (HH).

Weather condition and Variable	Time of measurement at day					
	AM			PM		
	Genotypes			Genotypes		
	Bonsmara-Hereford (BH)	Hereford (HH)	Contrast genotype	Bonsmara-Hereford (BH)	Hereford (HH)	Contrast genotype
NHW						
Respiration rate, RR (bpm)	28.0 ± 1.6	29.4 ± 1.0	NS	31.4 ± 2.9	38.6 ± 1.8	NS
Rectal temperature, RT (°C)	38.60 ± 0.06	38.60 ± 0.04	NS	38.90 ± 0.07	39.00 ± 0.04	NS
MHW						
Respiration rate, RR (bpm)	30.3 ± 1.3	33.8 ± 0.8	NS	45.8 ± 2.8	58.4 ± 1.7	**
Rectal temperatura, RT (°C)	38.60 ± 0.05	38.80 ± 0.03	NS	39.20 ± 0.06	39.50 ± 0.04	**

Contrast genotypes by each variable

** = $p < 0.05$

NS = not statistically significant.

In summer, in the afternoon PM, in records in MHW, HH was significantly higher respect to BH in RR (58.4 ± 1.7 vs. 45.8 ± 2.8 bpm, $p=0.0007$). And also HH was higher in RT in the same records ($39.5 \pm 0.04^\circ\text{C}$) than BH ($39.2 \pm 0.06^\circ\text{C}$) ($p=0.0003$) (Table 2).

Table 3. Last squares means of physiological response in summer by levels of Comprehensive Climatic Index (CCI) time measurement (AM and PM) and genotype Bonsmara-Hereford (BH) and Hereford pure (HH).

SUMMER		CCI levels							
Time measurement	Variable	No Stress		Mild Stress		Moderate Stress		Severe Stress	
		Genotypes		Genotypes		Genotypes		Genotypes	
		BH	HH	BH	HH	BH	HH	BH	HH
AM	Respiration rate (bpm)	28.0 ± 1.2	29.4 ± 0.7	28.2 ± 1.1	29.9 ± 0.7	33.5 ± 1.8 **	37.6 ± 1.0 **	33.8 ± 1.6 **	39.5 ± 1.0 **
	Rectal temperature (°C)	38.56 ± 0.04	38.56 ± 0.03	38.49 ± 0.04 **	38.59 ± 0.02 **	38.79 ± 0.07	38.90 ± 0.04	38.95 ± 0.06 **	39.11 ± 0.04 **
PM	Respiration rate (bpm)	31.4 ± 2.1 **	38.6 ± 1.3 **	39.9 ± 2.0 **	49.5 ± 1.2 **	49.0 ± 2.9 **	68.1 ± 1.8 **	57.3 ± 2.9 **	70.7 ± 1.8 **
	Rectal temperature (°C)	38.87 ± 0.08	39.01 ± 0.05	39.10 ± 0.07	39.21 ± 0.04	39.26 ± 0.11 **	39.67 ± 0.07 **	39.37 ± 0.11 **	39.95 ± 0.07 **

Contrast genotypes by each CCI level

** = $p < 0.05$

= not statistically significant.

In table 3, in summer, for CCI in AM, the RR was significantly lower in BH (33.7±1.6 bpm) than HH (39.5±1.0 bpm) ($p=0.029$) in severe stress, and also in moderate stress BH (33.5±1.8 bpm) was lower than HH (37.6±1.0 bpm) ($p=0.05$).

While in PM, the RR in BH heifers was lower respect HH in all CCI levels ($p < 0.0001$). RT in AM, was significantly lower in BH (38.5±0.04 °C) than HH (38.6±0.02 °C) ($p=0.02$) in mild stress.

At PM, BH was lower in moderate (39.3±0.11 °C) vs. HH (39.7±0.07) ($p=0.0014$), and in severe BH (39.4±0.11) and HH (39.9±0.07) ($p < 0.0001$).

Table 4. Last squares means of physiological response in winter by levels of Comprehensive Climatic Index (CCI) time measurement (AM and PM) and genotype Bonsmara-Hereford (BH) and Hereford pure (HH).

WINTER		CCI levels			
		No Stress		Mild Stress	
Time measurement	Variable	Genotypes		Genotypes	
		BH	HH	BH	HH
AM	Respiration rate (bpm)	21.5 ± 1.4	24.1 ± 0.8	16.7.2 ± 2.8	17.7 ± 1.7
	Rectal temperature (°C)	38.30 ± 0.17	38.80 ± 0.04	38.30 ± 0.17	38.36 ± 0.10
PM	Respiration rate (bpm)	23.7 ± 1.4	26.4 ± 0.8		
	Rectal temperature (°C)	38.97 ± 0.05	39.02 ± 0.03		

Contrast genotypes by each CCI level

** = $P < 0.05$

= not statistically significant.

In table 4, in winter, there were no significant differences in CCI levels between genotypes found in physiological responses. But a trend ($p=0.083$) was observed in RR in the afternoon were BH (23.7 ± 1.35 bpm) and HH (26.4 ± 0.8 bpm).

Animal behaviour. The figure 5 presents the variation in THI and CCI 6 days before each behaviour observations.

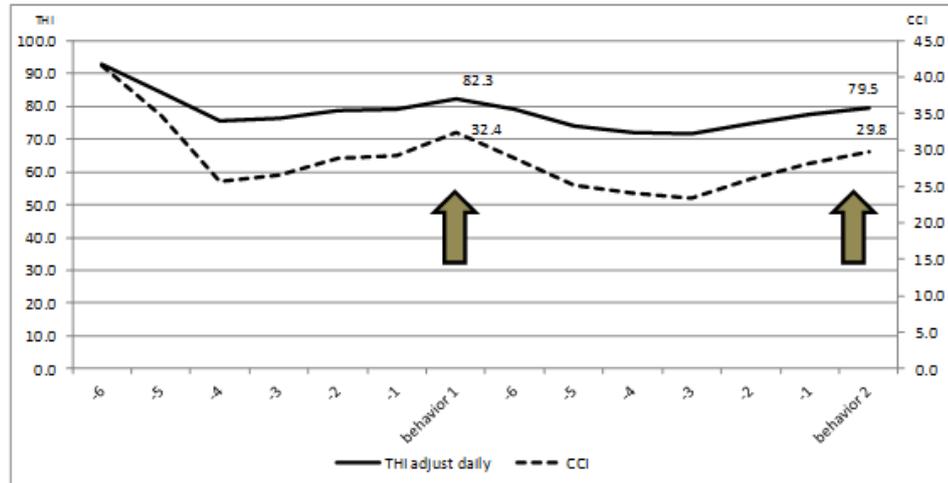


Figure 5. THI adjusted daily (—) and CCI (- - -) evolution 6 days prior to dates grazing behavior of animals (behavior 1 = 7 February, behavior 2 = March 7, (gray arrows)).

As shown in figure 5, during the observation of behaviour in grazing heifers, the THI adjusted reached values of 82.3 and the CCI was 32.4. In the second observation of behaviour THI and CCI were lower (79.5 and 29.8 THI and CCI, respectively), but both observations indexes were above critical levels as mentioned in the bibliography THI=74 (Mader et al., 2006), and CCI=25 (Mader et al., 2010).

Figures 6 and 7 show the percentage of the time spent in grazing behaviour (grazing, ruminating or resting, and in the sun or in the shade) of HH and BH heifers in two moments of the summer experimental period.

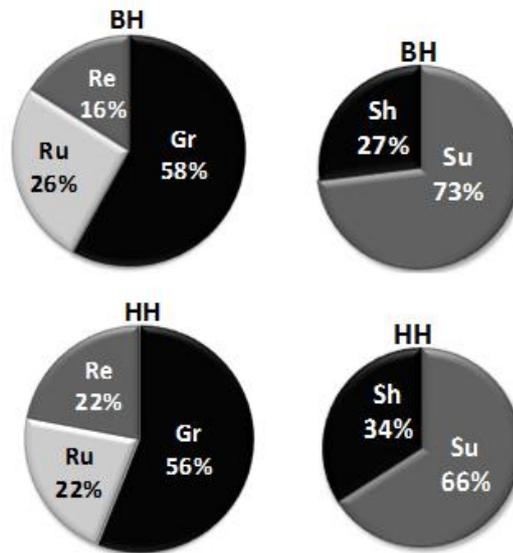


Figure 6. Behavior 1: Proportion of time in percent (%) used by both genotypes Hereford pure (HH) and Bonsmara-Hereford (BH) adapted to each activity (Gr: minutes/day grazing, Ru: time ruminating, Re: time resting) and location (in the shade (Sh) or sun (Su)).

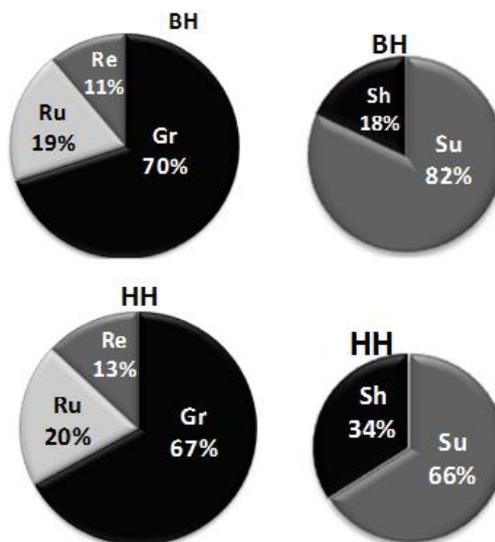


Figure 7. Behavior 2: Proportion of time in percent (%) used by both genotypes Hereford pure (HH) and Bonsmara-Hereford (BH) adapted to each activity (Gr: minutes/day grazing, Ru: time ruminating, Re: time resting) and location (in the shade (Sh) or sun (Su)).

The figure 8 presents the average in percent of total grazing between genotypes.

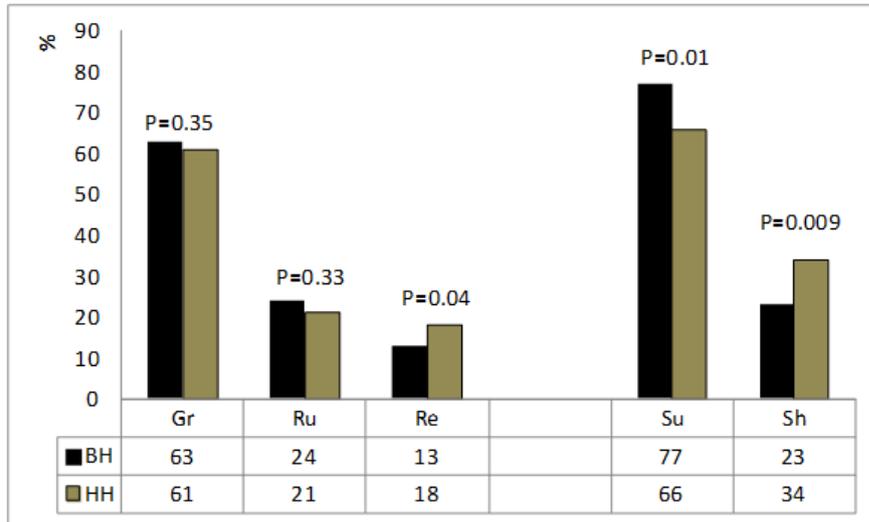


Figure 8. Average grazing behavior between behavior 1 and 2. Proportion of time in percent (%) used by both genotypes Hereford pure (HH) and Bonsmara-Hereford (BH) adapted to each activity (Gr: minutes/day grazing, Ru: time ruminating, Re: time resting) and location (in the shade (Sh) or sun (Su)).

HH and BH heifers had no significant differences neither in the grazing time ($p=0.35$), nor in the rumination time ($p=0.33$). By contrast, differences were observed in other rest time, where the crosses BH rested less time (108 ± 10.6 minutes, 13%) compared to pure HH (141 ± 10.6 minutes, 18%) ($p=0.04$).

Significant differences in the time spent in the sun and in the shade were observed, where the BH remain more time in the sun (610 ± 20.34 minutes, 77%) than the HH (527 ± 20.34 minutes, 66%) ($p=0.01$). In the same way, the HH spent more time in the shade (268 ± 20.6 minutes, 34%) than BH (182 ± 20.6 minutes, 23%) ($p=0.009$).

Significant differences in resting time were observed with 141 ± 10.6 minutes in HH and 108 ± 10.6 minutes in BH heifers, $p=0.04$.

There were no significant differences between BH and HH in total Gr and Ru, but in Re, HH rest more time than BH. Also, HH spent more time in the shade (34%) than BH (22%). BH genotype showed better performance in body weight and body condition score, thermoregulation and grazing behaviour at higher temperatures compared to HH animals.

DISCUSSION

In this paper we found a marked effect on how the environment affects animal welfare. Exposure of different genotypes (BH and HH) at high temperatures resulted in different physiological and behavioral responses.

The effect of climatic variations on the animals begin to have importance in this decade; it has reported the impact of climate change by fluctuations in air temperature, expansion of drought periods in some months and increased intensity of rainfall in others (Martino, 2008). These atypical factors produce changes in the annual distribution of natural pastures and affect the persistence of the same, triggering in trouble for livestock feed and water availability for consumption.

In each year an increase in the temperature of Earth's atmosphere, being reported increases of about 0.8 ° C since 1980 (Martino, 2008) it occurs.

To quantify the effect produced by climate on animals is essential for the times ahead. The CCI index (comprehensive climatic index, Mader et al. 2010) provides a value-adjusted air temperature relative humidity, wind speed and radiation under conditions of heat or cold. This index incorporates the climatic effects affecting the body surface of the animal, indicating the level at which it is possible or not to generate a heat exchange between the animal and the environment.

In analyzing the physiological responses of cattle against weather conditions given in the northern region of Uruguay, it emphasizes that BH crosses better tolerate

high temperatures in the presence of waves of mild heat and at all levels of CCI in summer about HH.

Similar results were reported by and Bonsma (1980) in a comparative study among British cattle origin, Afrikaner and their crosses in the South African savannah. These genotypes were exposed to air temperatures between 32 to 37 ° C and physiological responses were measured. As a result, the Afrikaner-British cross had lower respiratory rate per minute (ranges from 30 to 50 rpm) and stable body temperatures between 38 and 39 ° C.

Pure British had high respiratory rates (50-100 rpm), clearly emphasizing that the British genotypes at high environment temperatures, heat stress symptoms by increasing respiratory rate, unable to mitigate this effect.

In this paper, there's clearly a greater capacity of crossbreeding in trying to mitigate the effect of heat stress. To moderate and severe stress, and in the presence of waves of mild heat, genotype HH fails to mitigate climate effects or makes a lesser degree than heifers crosses, because it has high respiratory rates and rectal temperature compared to BH .

Moreover, Brosh et al. (1998) report that against a heat stress in the animal, the body heat is not lost, it tends to accumulate and thus an increase in body temperature occurs.

Frisch and Vercoe (1992) indicate that the effect of an increase in rectal temperature is similar for all breeds, but is strongly influenced by the temperature of the environment. These authors point out that for the same environment temperature of 25 ° C, the genotypes pure Brahman and crossed Hereford-Shorthorn show the same rectal temperature (38 ° C). However, when the air temperature raises to 35 ° C the crossed animals raises their rectal temperature, while the pure Brahman continues with this constant.

In this work, hybrid genotypes showed fewer signs of recovery than pure breed animals. However, the difference is focused between genotypes adapted vs. not adapted (usually European breeds) and not between crossed and pure breed.

In the same way, Gaughan et al. (1999) report that around 25 ° C air temperature respiratory rate increases between values from 60 to 200 rpm, but is subject to variation of breeds. When the air temperatures is around 40 ° C increase both, respiratory rate (120-150 rpm) and body temperature. According with Gaughan et al. (1999) in this work in high air temperatures (ie in mild heat waves and all levels of CCI), pure HH breed had more than 13 franqueal movement counts (corresponding to the breaths per minute average) with respect to the BH crosses. HH also had significant higher rectal temperature in relation to BH.

In the grazing behaviour, some differences were observed. The BH crosses grazed more minutes in the sun than in the shade respect to HH. These results are similar to those reported by Bennett et al. (1985) which determined the grazing time and behaviour of Brahman steers, Shorthorn and Brahman x Hereford crossed-Shorthorn. In these observations, the genotype Brahman grazed more time in the sun, being directly related to the mean radiant temperature and solar radiation in grazing and in the shade.

Some breeds belonging to *Bos taurus* are alternative sources of germplasm to present characteristics of adaptation to warm environments, which in current and future times should be considered by the recurring impact of climate change.

The Bonsmara breed is one of them, being created to perform adaptation to high temperature climates, without losses in reproduction and production indexes.

The results obtained in this experiment show that the Bonsmara-Hereford crosses thermoregulations have higher capacity compared to pure Hereford cattle.

Although the experiment was conducted for a year, being a normal year in climatological terms, the BH crosses reflecting improved both productive results and

adaptation to the environment, showing high live weights and body condition, and lower respiratory frequency and rectal temperature during the summer than HH.

In cold environment the changes in animals are an increased the metabolic rate, hence increased the maintenance energy requirement, increasing rate of passage of digestion, resulting in a reduced digestive efficiency.

In winter, both genotypes respond favorably to environmental conditions while keeping the respiratory rate and rectal temperature. However it is important to remark the tendency of BH in maintaining lower respiratory rates to keep higher internal temperatures. In addition, BH also achieved better conditions and body weights in this season, compared to Hereford.

CONCLUSIONS

The expression of adaptation to heat conditions, especially in the presence of heat waves, is represented by the animal ability to maintain constant (or within normal ranges) respiratory rate and body temperature.

Under these observations, crossed Bonsmara-Hereford heifers seem to show more tolerance to environmental stress conditions, compared to purebred Hereford.

Meanwhile, in winter, there were no significant differences in physiological variables, but if demonstrating a better performance in BH.

BH heifers grazed more time in the sun and rested less time compared to HH pure breed.

LITERATURE CITED

Beede, D., Collier, R. 1986. Potential nutritional strategies for intensively managed cattle during thermal stress. *J. Anim. Sci.* 62, 543-554.

Bennett, I.; Finch, V.; Holmes, C. 1985. Time spent in shade and its relationship with physiological factors of thermoregulation in three breeds of cattle. *App. Anim. Behaviour Sci.* 13, 227-236.

Berbigier, P. 1988. *Bioclimatologie des ruminants domestiques en zone tropicale.* INRA. Paris. 237 p.

Bonsma, J. 1985. Jan Bonsma and the Bonsmara beef cattle breed. In: *Bonsmara Cattle Breeders Society's 21st Anniversary Publication. Proceedings.* South Africa. 1-42.

Bonsma, J. 1980. *Livestock production: a global approach.* s.l. Tafelberg Publishers. Cape Town, South Africa. 201p.

Brosh, A., Aharoni, Y., Degen, A., Wright, D., Young, B. 1998. Effects of Solar Radiation, Dietary Energy, and time of feeding on thermoregulatory Responses and Energy balance in cattle in a hot environment. *J. Anim. Sci.* 76, 2671-2677.

Cruz, G.; Saravia, C. 2008. Air temperature and humidity index for regionalization of dairy farming in Uruguay. *Agrociencia Uruguay.* 12: 56-60.

Frisch, J., Vercoe, J. 1992. Genotype (breed) and environment interaction with particular reference to cattle in the tropics. *Asian-Australasian Assoc. Anim. Soc. AJAS.* 5, 3, 401-409.

Frisch, J., Vercoe, J. 1979. Adaptive and productive features of cattle growth in the tropics: their relevance to buffalo production. *Trop. Anim. Prod.* 4: (3): 214-222.

- Gaughan, J.; Mader, T.; Holt, S.; Lisle, A. 2008. A new heat load index for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 86, 226-234.
- Gaughan, J. Mader, T., Holt, S., Josey, M., Rowan, K. 1999. Heat tolerance of Boran and Tuli crossbred steers. *J. Anim. Sci.* 77, 2398-2405.
- Hahn, G. 1997. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *J. Anim. Sci.* 77, 10-20.
- Haydock, K., Shaw, N. 1975. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Aust. J. Exp. Agric. and Anim. Husb.* 15, 663-670.
- INUMET. 2015. Uruguayan Institute of Meteorology: INUMET. <http://www.meteorologia.com.uy/ServCli/estadisticasClimatologicas>
- Mader, T.; Davis, M.; Brown-Brandl, T. 2006. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 84, 712-719.
- Mader, T. Johnson, L., Gaughan, J. 2010. A comprehensive index for assessing environmental stress in animals. *J. Anim. Sci.* 88, 2153-2165.
- Martino, D. 2008. El Mercado del servicio de mitigación del cambio climático: oportunidades para Uruguay. www.carbosur.com.uy
- Morrison, S. 1983. Ruminant Heat Stress: Effect on Production and Means of Alleviation. *J. Anim. Sci.* 57, 1594-1600.
- Pallares, O., Berretta, E., Maraschin, G. 2005. The South American Campos ecosystem. In: Suttie, J, Reynolds, S.G., Batello, C. *Grasslands of the world.* FAO. 171-219.
- Saravia C, Astigarraga L, Van Lier E, Bentancur O. 2011. Impacto de las olas de calor en vacas lecheras en Salto (Uruguay). *Agrociencia Uruguay.* 15 (1): 93-102.
- Saravia C. 2009. Efecto del estrés calórico sobre las respuestas fisiológicas y productivas de vacas Holando y Jersey. Tesis de Maestría en Ciencias Agrarias. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía 140 p.

Thom, E. 1959. The discomfort index. *Weatherwise* 12, 57-59.

Valtorta S, Gallardo M, Leva P. 2004. Olas de calor: impacto sobre la producción lechera en la cuenca central argentina. Reunión Argentina, (10a.) y Latinoamericana de Agrometeorología (4a.), Mar del Plata, Argentina, 13-15 octubre. Memorias en disco compacto. Mar del Plata, Asociación Argentina de Agrometeorología. En CD.

Valtorta S, Leva P, Gallardo M, Scarpatti O. 2002. Milk production responses during heat waves events in Argentina. In Conference on Biometeorology and Aerobiology (15th); International Congress on Biometeorology (16th.), Kansas City, Mo, Boston. American Meteorological Society (ed). 98-101 p.

Valtorta, S.; Gallardo, M. 1996. El estrés por calor en producción lechera. In Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina. Miscelánea. 81, 173-185

Vizcarra J, Ibañez W, Orcasberro R. 1986. Repetibilidad y reproductibilidad de dos escalas para estimar la condición corporal de vacas Hereford. *Investigaciones Agronómicas*. 7: 45-47.