

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**EFEECTO DEL ESTRÉS CALÓRICO SOBRE LAS
RESPUESTAS FISIOLÓGICAS Y PRODUCTIVAS
DE VACAS HOLANDO Y JERSEY**

Por

Ing. Agr. Celmira Saravia

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

URUGUAY

2009

TESIS DE MAESTRÍA APROBADA POR

Ing. Agr. Dra Virginia Beretta
Presidente del tribunal

Lic. Dr. Ruben Mario Caffera
Vocal

Ing. Agr. Dra. Olga Ravagnolo
Vocal

Ing. Agr. Dra. Silvia Elsa Valtorta
Vocal

FECHA: 7 de diciembre de 2009

TUTOR: _____ COTUTOR: _____

Ing. Agr. Dra. Laura Astigarraga DMV. MSc. PhD. Elize van Lier

AUTOR: _____

Ing. Agr. Celmira Saravia Tomasina

Le dedico este trabajo a mi familia...

a mi esposo Ricardo y a mis hijos Magdalena y Agustín que estuvieron siempre a mi lado recorriendo este camino (al sol y a la sombra)

AGRADECIMIENTOS

A mis tutoras Laura y Elize cuyo invaluable apoyo y dedicación permitió que creciera con la realización de este trabajo.

A Oscar Bentancur por su permanente buena disposición para analizar la información generada durante este trabajo.

A los Encargados de la Dirección de la Estación Experimental de la Facultad de Agronomía en Salto Ing. Agr. Martín Toucon e Ing. Agr. Carlos Moltini sin cuyo respaldo no hubiera sido posible llevar adelante el trabajo.

A los estudiantes del Bachillerato Técnico Agrario Romina de Souza, Anthony Burton, Hernán Rodríguez Brizuela; al estudiante avanzado de Agronomía Bach. Gonzalo Ferreira Donini, a los estudiantes de Veterinaria (tesistas de grado) Bachs. Virginia López, Juan Andrés Domenech y Gonzalo Pereyra que colaboraron incansablemente durante la actividad de campo.

Al personal del tambo de la EEFAS Rúben, Luis y Nilzo Barboza y Luis González, por su ayuda durante los muestreos en el ordeño y en el manejo de los animales.

A Nelson Villegas (*in memoria*) por su trabajo exhaustivo en el manejo animal, determinaciones e inseminación artificial de las vacas.

Al Capataz general de Ganadería Téc. Agrop. Daniel Beltramelli y demás funcionarios de Intendencia y Sección Agricultura de la EEFAS cuyo trabajo y dedicación me permitió realizar en tiempo y forma las determinaciones del trabajo experimental.

A mis compañeros de Agrometeorología Gabriela Cruz, Carolina Munka, Juan Pablo Chiara y Rodolfo Pedocchi por su permanente soporte durante los cursos de la maestría y sus contribuciones a este trabajo.

A todos los compañeros docentes radicados en Salto (EEFAS y Regional Norte) que me acompañaron en todas las instancias de este trabajo.

A la coordinación y demás compañeros de la Unidad de Sistemas Ambientales que apoyaron mi ingreso y permanencia en la maestría.

A los integrantes de la Biblioteca de la Facultad de Agronomía, Sección de Información Lic. Rossana Ciappessoni y Bach. Eugenia Ortiz por la colaboración permanente en la búsqueda bibliográfica y al Lic. Enrique Coronel por la revisión del manuscrito.

A la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República por aceptarme y permitirme integrar la primera generación de estudiantes de la Maestría (académica) en Ciencias Agrarias opción Ciencia Animal.

A la Comisión Coordinadora del Interior de la Universidad de la República por la ayuda económica (durante 2008) mediante beca de apoyo al posgrado a los docentes radicados en el interior.

Lista de abreviaturas

Abreviatura	Variable	Unidades
ITH	Índice de temperatura y humedad	
CM	Condicionante meteorológica	
OCS	Ola de calor severa	
OCL	Ola de calor leve	
NOC	No ola de calor	
DE	Desvío estándar	
EEM	Error estándar de la media	
P	Probabilidad	
FR	Frecuencia respiratoria	r.p.m.
TR	Temperatura rectal	° C
FR _{6:00}	Frecuencia respiratoria medida a las 6:00 horas	r.p.m.
FR _{15:00}	Frecuencia respiratoria medida a las 15:00 horas	r.p.m.
TR _{6:00}	Temperatura rectal medida a las 6:00 horas	° C
TR _{15:00}	Temperatura rectal medida a las 15:00 horas	° C
LCS	Leche corregida por sólidos	kg
SNG	Sólidos no grasos	g/kg
CS	Células somáticas	1000 cel/ml
H	Holando	
J	Jersey	
PV ^{0.75}	Peso metabólico	kg ^{0.75}
VP	Variación de peso vivo	%
TP	Tiempo dedicado al pastoreo	min
TMED	Temperatura media del aire	° C
TXM	Temperatura máxima media del aire	° C
TNM	Temperatura mínima media del aire	° C
TX	Temperatura máxima absoluta del aire	° C
TN	Temperatura mínima absoluta del aire	° C
HR	Humedad relativa del aire	%
V	Velocidad del viento a 2 metros	km/h
ITH med	ITH medio	
ITH max	ITH máximo medio	
ITH min	ITH mínimo medio	

Lista de cuadros

Cuadro 1	Recopilación de resultados de la literatura de cambios en producción y composición de la leche, peso vivo, consumo de alimento y respuestas fisiológicas en respuesta a modificaciones del ambiente de complejidad creciente: sombra natural, sombra artificial, aspersión y ventilación, ventilación y aire acondicionado. Información del ambiente caracterizado a través de la temperatura del aire o ITH o temperaturas de las esferas de Vernon. Se indica la fuente de información, lugar del experimento, biotipo animal utilizado y año de publicación.	30
Cuadro 2	Categorías de las olas de calor según la duración (en días), la cantidad de horas con ITH mayor a 78 en todo el evento y cantidad de horas por día con ITH menor a 72 para posibilitar la recuperación nocturna (Nienaber <i>et al.</i> , 2003).	39
Cuadro 3	Comparación de los registros meteorológicos (medias mensuales) en diciembre 2005 - febrero 2006 con las normales climatológicas 1961-1990.	48
Cuadro 4	Cuadro 4. Comparación de los ITH mensuales diciembre 2005 – febrero 2006 con los normales climatológicos 1961-1990.	49
Cuadro 5	Promedio (\pm DE) de las variables meteorológicas e ITH en OCS, OCL y NOC.	51
Cuadro 6	Temperaturas ($^{\circ}$ C) promedios (\pm DE) de las esferas de Vernon durante el período experimental y según condicionante meteorológica.	53
Cuadro 7	Frecuencia respiratoria (r.p.m., \pm EEM.) a las 6:00 horas según los efectos principales condicionante meteorológica, ambiente y biotipo.	55
Cuadro 8	Frecuencia respiratoria (r.p.m., media \pm EEM) a las 6:00 horas de acuerdo a las interacciones condicionante meteorológica \times ambiente y condicionante meteorológica \times biotipo.	55
Cuadro 9	Frecuencia respiratoria (r.p.m., media \pm EEM) a las 6:00 horas, de acuerdo a la interacción biotipo \times ambiente.	56
Cuadro 10	Frecuencia respiratoria (r.p.m., media \pm EEM) a las 6:00 horas de acuerdo a la interacción condicionante meteorológica \times ambiente \times biotipo.	56
Cuadro 11	Frecuencia respiratoria (r.p.m., media \pm EEM) a las 15:00 horas según los efectos principales condicionante meteorológica, ambiente y biotipo.	56
Cuadro 12	Frecuencia respiratoria (r.p.m., media \pm EEM) a las 15:00 horas de acuerdo a las interacciones condicionante meteorológica \times ambiente y condicionante meteorológica \times biotipo.	57
Cuadro 13	Frecuencia respiratoria (r.p.m., media \pm EEM) a las 15:00 horas de acuerdo a la interacción biotipo \times ambiente.	57
Cuadro 14	Frecuencia respiratoria (r.p.m., media \pm EEM) a las 15:00 horas de acuerdo a la interacción condicionante meteorológica \times ambiente \times biotipo.	57
Cuadro 15	Temperatura rectal ($^{\circ}$ C, media \pm EEM) a las 6:00 horas según los efectos principales condicionante meteorológica, ambiente y biotipo.	58
Cuadro 16	Temperatura rectal ($^{\circ}$ C, media \pm EEM) a las 6:00 horas de acuerdo a las interacciones condicionante meteorológica \times ambiente y condicionante meteorológica \times biotipo.	58
Cuadro 17	Temperatura rectal ($^{\circ}$ C, media \pm EEM) a las 6:00 horas de acuerdo a la interacción biotipo \times ambiente.	59
Cuadro 18	Temperatura rectal ($^{\circ}$ C, media \pm EEM) a las 6:00 horas de acuerdo a la interacción condicionante meteorológica \times ambiente \times biotipo.	59
Cuadro 19	Temperatura rectal ($^{\circ}$ C, media \pm EEM) a las 15:00 horas según los efectos principales condicionante meteorológica, ambiente y biotipo.	60
Cuadro 20	Temperatura rectal ($^{\circ}$ C, media \pm EEM) a las 15:00 horas de acuerdo a las interacciones condicionante meteorológica \times ambiente y condicionante meteorológica \times biotipo.	60

Cuadro 21	Temperatura rectal (° C, media ± EEM) de las 15:00 horas de acuerdo la interacción biotipo × ambiente.	61
Cuadro 22	Temperatura rectal (° C, media ± EEM) a las 15:00 horas de acuerdo a la interacción condicionante meteorológica × ambiente × biotipo.	61
Cuadro 23	Tiempo dedicado al pastoreo (min, media ± EEM) según los efectos principales condicionante meteorológica, ambiente, biotipo y turno de observación.	61
Cuadro 24	Tiempo dedicado al pastoreo (min, media ± EEM) de acuerdo a la interacción condicionante meteorológica × ambiente × biotipo.	62
Cuadro 25	Tiempo dedicado al pastoreo (min, media ± EEM) de acuerdo a las interacciones turno de observación × condicionante meteorológica, turno de observación × ambiente y turno de observación × biotipo.	62
Cuadro 26	Tiempo dedicado al pastoreo (min, media) de acuerdo a la interacción condicionante meteorológica × turno de observación × ambiente × biotipo.	63
Cuadro 27	Tiempo de acceso a la sombra artificial (min, media) de acuerdo a las interacciones turno de observación × condicionante meteorológica y turno de observación × biotipo.	63
Cuadro 28	Producción de leche corregida por sólidos y peso metabólico (LCS kg/kg ^{0.75} , media ± EEM) según los efectos principales condicionante meteorológica, ambiente y biotipo.	64
Cuadro 29	Producción de LCS (kg/kg ^{0.75} , media ± EEM) de acuerdo a las interacciones condicionante meteorológica × ambiente y condicionante meteorológica × biotipo.	65
Cuadro 30	Producción de LCS (kg/kg ^{0.75} , media ± EEM) de acuerdo a la interacción ambiente × biotipo.	65
Cuadro 31	Producción de LCS (kg/kg ^{0.75} , media ± EEM) de acuerdo a la interacción condicionante meteorológica × ambiente × biotipo.	65
Cuadro 32	Producción de grasa (g/kg ^{0.75} , media ± EEM) según los efectos principales condicionante meteorológica, ambiente y biotipo.	66
Cuadro 33	Producción de grasa (g/kg ^{0.75} , media ± EEM) de acuerdo a las interacciones condicionante meteorológica × ambiente y condicionante meteorológica × biotipo.	66
Cuadro 34	Producción de grasa (g/kg ^{0.75} , media ± EEM) de acuerdo a la interacción biotipo × ambiente.	67
Cuadro 35	Producción de grasa (g/kg ^{0.75} , media ± EEM) de acuerdo a la interacción condicionante meteorológica × ambiente × biotipo.	67
Cuadro 36	Producción de proteína (g/kg ^{0.75} , media ± EEM) según los efectos principales condicionante meteorológica, ambiente y biotipo.	68
Cuadro 37	Producción de proteína (g/kg ^{0.75} , media ± EEM) de acuerdo a las interacciones condicionante meteorológica × ambiente y condicionante meteorológica × biotipo.	68
Cuadro 38	Producción de proteína (g/kg ^{0.75} , media ± EEM) de acuerdo a la interacción biotipo × ambiente.	68
Cuadro 39	Producción de proteína (g/kg ^{0.75} , media ± EEM) de acuerdo a la interacción condicionante meteorológica × ambiente × biotipo.	69
Cuadro 40	Recuento de células somáticas (1000 cel/ml, media ± EEM) según los efectos principales condicionante meteorológica, ambiente y biotipo.	69
Cuadro 41	Recuento de células somáticas (1000 cel/ml, media ± EEM) de acuerdo a las interacciones condicionante meteorológica × ambiente y condicionante meteorológica × biotipo.	70
Cuadro 42	Recuento de células somáticas (1000 cel/ml, media ± EEM) de acuerdo a la interacción biotipo × ambiente.	70
Cuadro 43	Recuento de células somáticas (1000 cel/ml, media ± EEM) de acuerdo a las interacciones condicionante meteorológica × ambiente y condicionante meteorológica × biotipo.	70
Cuadro 44	Variación de peso (% , media ± EEM) según los efectos principales	71

	ambiente, biotipo y día de medición.	
Cuadro 45	Variación de peso (% , media \pm EEM) de acuerdo a la interacción ambiente \times biotipo.	71
Cuadro 46	Variación de peso (% , media \pm EEM) de acuerdo a las interacciones día \times ambiente y día \times biotipo.	72
Cuadro 47	Variación de peso (% , media \pm EEM) de acuerdo a la interacción día \times ambiente \times biotipo.	73

Lista de figuras

Figura 1	Representación esquemática de las condiciones ambientales críticas para la supervivencia del animal (adaptado de Bianca, 1972)	15
Figura 2	Temperatura del aire (en ° C) máxima (círculos cerrados) y mínima diaria (círculos abiertos), ITH promedio diario (línea) y cantidad de horas al día con ITH >72 (barras).	50
Figura 3	Cantidad de horas promedio (\pm DE) según categorías de ITH en cada condicionante meteorológica (OCS, OCL y NOC)	52
Figura 4	Temperaturas (° C) máximas (círculos cerrados) y mínimas (círculos abiertos) al sol (líneas negras) y a la sombra (líneas grises), y cantidad de horas por día (horas por día) en que éstas son diferentes, de las esferas de Vernon al sol y a la sombra artificial durante OCS, OCL y NOC.	54

Tabla de Contenidos

1. Introducción.....	12
1.1. El animal y su ambiente	13
1.1.1. Homeostasis y homeotermia	13
1.1.2. Zona termoneutral y sus límites	16
1.1.3. Termorregulación	17
1.1.4. Estrés calórico.....	19
1.2. Caracterización del ambiente calórico.....	20
1.2.1. Índice de Temperatura y Humedad	20
1.2.2. Esferas de Vernon	21
1.2.3. Olas de calor	21
1.3. Efectos del calor ambiente sobre la producción animal.....	23
1.3.1. Comportamiento en pastoreo	23
1.3.2. Producción de leche.....	26
1.4. Estrategias para contrarrestar el estrés calórico	27
1.4.1. Modificaciones del ambiente	28
1.4.2. Biotipo y modificaciones del ambiente.....	34
1.5. Hipótesis.....	37
1.6. Objetivo general	37
1.6.1. Objetivos específicos	37
2. Materiales y métodos	38
2.1. Localización del experimento	38
2.2. Animales utilizados.....	38
2.3. Diseño experimental.....	38
2.4. Alimentación de los animales	39
2.5. Determinaciones en la pastura.....	39
2.6. Determinaciones en el medio atmosférico.....	39
2.6.1. Índice de Temperatura y Humedad	39
2.6.2. Caracterización de las condicionantes meteorológicas	40
2.6.3. Esferas de Vernon	41
2.7. Determinaciones realizadas en los animales	41
2.7.1. Producción de leche.....	41
2.7.2. Componentes lácteos.....	41
2.7.3. Peso vivo	43
2.7.4. Variables fisiológicas.....	43
2.7.5. Comportamiento en pastoreo	43
2.8. Análisis estadístico	44
3. Resultados	50
3.1. Ambiente atmosférico.....	50
3.1.1. Temperatura, humedad del aire e ITH.....	50
3.1.2. Esferas de Vernon	54
3.2. Variables fisiológicas	57
3.2.1. Frecuencia respiratoria.....	57
3.2.2. Temperatura rectal.....	60
3.3. Comportamiento.....	63
3.3.1. Comportamiento en pastoreo	63

3.3.2. Acceso a sombra artificial	65
3.4. Producción y composición de la leche.....	66
3.4.1. Producción de leche.....	66
3.4.2. Producción de grasa	68
3.4.3. Producción de proteína	69
3.4.6. Recuento de células somáticas.....	71
3.5. Peso vivo.....	73
4. Discusión.....	76
4.1. Condicionantes meteorológicas.....	76
4.1.1. Respuestas fisiológicas y productivas de las vacas lecheras a la ola de calor severa.....	77
4.1.2. Respuestas fisiológicas y productivas de las vacas lecheras a las olas de calor leve.....	81
4.2. Acceso a sombra artificial.....	82
4.3. Los biotipos	87
5. Conclusiones.....	90
6. Resumen.....	91
7. Abstract	92
8. Bibliografía	93
9. Anexos.....	105

Se anexa artículo según las instrucciones de la revista Agrociencia (Uruguay):
IMPACTO DE LAS OLAS DE CALOR SOBRE VARIABLES FISIOLÓGICAS Y
PRODUCTIVAS DE VACAS LECHERAS EN SALTO (URUGUAY).....114

1. Introducción

En los sistemas de producción pastoriles existentes en nuestro país, los animales domésticos están expuestos permanentemente al ambiente, que afecta *directamente* las respuestas fisiológicas y productivas e *indirectamente* el plano de nutrición por variaciones en la cantidad y calidad de pasturas y cultivos que son los principales componentes de la alimentación. La producción de leche está muy influida por los elementos meteorológicos (Johnson, 1987). Durante los meses cálidos, la acción combinada de alta radiación solar, temperatura y humedad del aire, determina que el ambiente meteorológico se encuentre fuera de la zona de confort reduciendo la productividad de los rodeos lecheros. El efecto de estos se verifica directamente a través de la disminución de la producción de leche (Hahn, 1995; Leva *et al.*, 1996; Hahn, 1999; Silanikove, 2000), cambios en la composición de la leche (Bianca, 1965; Sargent *et al.*, 1967) y en la eficiencia reproductiva del rodeo (Gwazdauskas *et al.*, 1973; Ingraham *et al.*, 1974; Thatcher *et al.*, 1974; Ingraham *et al.*, 1976; Hahn, 1993; Thatcher y Staples, 1995; Flamenbaum, 1996; Jordan *et al.*, 2003). Reconocida la influencia de los elementos del clima en la productividad de los animales, es importante la cuantificación de las condiciones ambientales y medirlas a través de la evolución de índices biometeorológicos. La disciplina que se ocupa de estudiar estas relaciones es la Biometeorología, definida en el Primer Simposio Biometeorológico de la Sociedad Internacional de Biometeorología en París en 1956 como “El estudio de las interrelaciones directas e indirectas entre el ambiente geofísico y geoquímico de la atmósfera y los organismos vivos ya sean plantas, animales o el Hombre”. Una rama de esta disciplina es la Biometeorología Animal que estudia la influencia de los elementos meteorológicos sobre los animales y su desempeño productivo (citado por Valtorta *et al.*, 1998).

Un índice biometeorológico muy difundido para caracterizar el ambiente térmico (du Preez *et al.*, 1990a; Flamenbaum, 1994; Valtorta *et al.*, 1998) es el Índice de Temperatura y Humedad (ITH) (Thom, 1959), que se ha utilizado como base para

sistemas de advertencia (Hugh-Jones, 1994) y en la evaluación de las consecuencias económicas del estrés térmico en ambientes naturales y/o modificados (Hahn, 1995; St. Pierre *et al.*, 2003). Más recientemente también ha sido incluido en modelos de simulación para estimar el balance calórico en bovinos, como estimador del efecto del ambiente meteorológico (Berman, 2005). La caracterización climática de nuestro país a través del ITH en el período estival (Cruz y Saravia, 2008), muestra valores por encima del crítico (ITH mayor a 72) para el norte del Río Negro en el mes de enero. Al analizar datos horarios de localidades de esa región la mayor duración promedio diaria del estrés calórico se produce en enero en los departamentos de Salto y Artigas, con 10 horas en la fase diurna y 4 horas en la fase nocturna, lo cual habilita pocas horas para la recuperación de la normotermia de los animales.

Considerando el impacto negativo que esta situación ambiental de estrés por calor tendría sobre los índices productivos y reproductivos, es necesario que los sistemas de producción implementen medidas para mitigar su efecto. Existe coincidencia entre los investigadores acerca de las estrategias básicas para atenuar los efectos del estrés calórico, tanto para los sistemas de producción extensivos como intensivos; ellas son: 1) la modificación física del ambiente, 2) esquemas apropiados del manejo nutricional, 3) utilización de biotipos menos sensibles al calor (Beede y Collier, 1986).

1.1. El animal y su ambiente

1.1.1. Homeostasis y homeotermia

Los animales viven en un estado de interacción entre los procesos físicos y químicos de su propio cuerpo y el entorno que los rodea (Yousef 1985, citado por Arias *et al.*, 2008). La influencia del clima en la producción bovina ha sido reconocida desde hace mucho tiempo (desde las primeras décadas del siglo XX) (Johnson, 1987). El ambiente meteorológico óptimo varía con la especie y dentro

de cada especie se presentan diferencias raciales o de biotipo en lo que respecta a la tolerancia al frío o al calor.

Los animales homeotermos son los que tienen la capacidad de controlar dentro de un estrecho margen la temperatura del cuerpo en un medio donde la temperatura puede variar ampliamente. Toleran pérdidas o ganancias de calor del medio que los rodea para mantener condiciones constantes de todo el cuerpo, denominada homeotermia. La homeotermia forma parte de la homeostasis del animal. Cannon (1932) la definió como la capacidad del cuerpo para mantener condiciones constantes o *status* de todo el cuerpo (peso corporal, presión sanguínea, temperatura interna, etc.) que se opone a las influencias externas que alteran constantemente el ambiente.

Las funciones corporales, incluyendo aquellas que implican los procesos que llevan a productos finales que el hombre explota por razones económicas, dependen del mantenimiento de la homeostasis. El concepto de *homeostasis* (o equilibrio interno) comprende: *balance calórico* y termorregulación, *balance químico* del agua, compuestos carbonados y electrolitos; y *balance circulatorio* de las actividades cardiovasculares. Se previene la desviación de las condiciones normales o correctas mediante varios mecanismos homeostáticos. Si no se restablece el equilibrio, el animal muestra síntomas característicos de una enfermedad.

Aún en tiempo frío o cálido los animales homeotermos son capaces de mantener las funciones del organismo a una intensidad relativamente alta. La transferencia de calor desde el cuerpo del animal hacia el medio se da a través de las denominadas pérdidas de calor sensible, mediante los procesos de *radiación*, *conducción* y *convección*, sobre las cuales el animal tiene poco control y mediante *evaporación*, sobre la cual existe un marcado control fisiológico por parte del animal. La pérdida de humedad que sufre el animal es resultado de una diferencia de presión de vapor de agua entre la superficie y el aire circundante. Al aumentar

la temperatura de la piel habrá un aumento de pérdida de agua por difusión (proceso puramente físico, llamado perspiración). El enfriamiento debido a difusión es reducido si se compara al que produce la sudoración, mecanismo de control fisiológico por el cual se secretan y descargan grandes cantidades de agua. El efecto beneficioso de la sudoración se debe a la pérdida de energía desde la superficie corporal al producirse el cambio de estado cuando el sudor se evapora. Por cada gramo de agua que se evapora, se absorben de la superficie del animal y del aire circundante alrededor de 600 calorías. Con altos contenidos de humedad en el aire se disminuye el intercambio entre la superficie del animal y el aire aumentando el estrés calórico (Bianca, 1972). La pérdida de calor desde la superficie es dependiente parcialmente del gradiente de temperatura entre la superficie del animal, el aire y los objetos que lo rodean. Las pérdidas de calor no evaporativas disminuyen al aumentar la temperatura, dependiendo el animal de la vasodilatación periférica y de las pérdidas por evaporación en las vías altas del tracto respiratorio para aumentar las pérdidas de calor y así prevenir un aumento de la temperatura corporal (Berman *et al.*, 1985). En bovinos (*Bos taurus*) bajo estrés calórico, cerca del 15% del calor endógeno es perdido directamente desde el centro del cuerpo a través del tracto respiratorio (Mc Dowell *et al.*, 1976). Sin embargo la eficiencia de las pérdidas por evaporación disminuye con incrementos de la humedad relativa.

La homeotermia impone limitaciones, por ejemplo en el frío los animales necesitan ingerir mayor cantidad de alimento para producir calor y en el tiempo cálido necesitan grandes cantidades de agua para enfriar el cuerpo por evaporación. En condiciones limitadas de agua y alimentos, puede resultar imposible mantener estable la temperatura del cuerpo.

Los elementos meteorológicos (temperatura y humedad del aire, viento, precipitación y radiación solar) tienen permanente acción sobre el animal y actúan de dos modos: por la interacción directa con la piel y la cobertura (pelo o lana) y afectando los receptores nerviosos que se encuentran en la piel o en la retina del

ojo. La información recibida por los receptores se transmite al hipotálamo que pone en acción los mecanismos compensatorios (Bianca, 1972).

1.1.2. Zona termoneutral y sus límites

El rango de temperatura ambiente en que la temperatura del cuerpo se mantiene constante con un esfuerzo mínimo de los mecanismos termorreguladores se denomina *zona de confort térmico*, en ella no existe sensación de frío o calor. Cuando la temperatura del aire toma valores superiores o inferiores al rango térmico delimitado en la zona de confort, el animal activa sus mecanismos de defensa: la sudoración, la vasodilatación periférica y el incremento de la frecuencia respiratoria para mantener la temperatura interna en el rango considerada normal o característico para la especie (normotermia) (Bianca, 1972) (Fig 1). La zona óptima de producción de leche comprende la zona termoneutral: rango de temperaturas ambiente en que el animal puede mantener la temperatura corporal dentro del rango normal para su especie con el mínimo esfuerzo. La velocidad del viento, la radiación y el contenido de humedad del aire pueden alterar sus umbrales (Johnson, 1965). Recientes estudios encontraron que diferencias en la velocidad del viento, largo del pelo y nivel de producción de leche tienen un marcado efecto en los umbrales de temperaturas críticas, especialmente a altos contenidos de humedad (Berman, 2005). Este estudio indicó que altos niveles de humedad disminuyeron los umbrales y que el efecto relativo de la humedad disminuye si se incrementa la velocidad del viento desde ser prácticamente cero a velocidades de 1.5 a 2 metros por segundo.

A la temperatura ambiente en que se supera la zona termoneutral se le denomina temperatura crítica máxima. La temperatura crítica máxima puede ser definida como la temperatura a la cual a) la tasa metabólica se incrementa b) se incrementan las pérdidas evaporativas y c) el aislamiento térmico de los tejidos es mínimo (Silanikove, 2000).

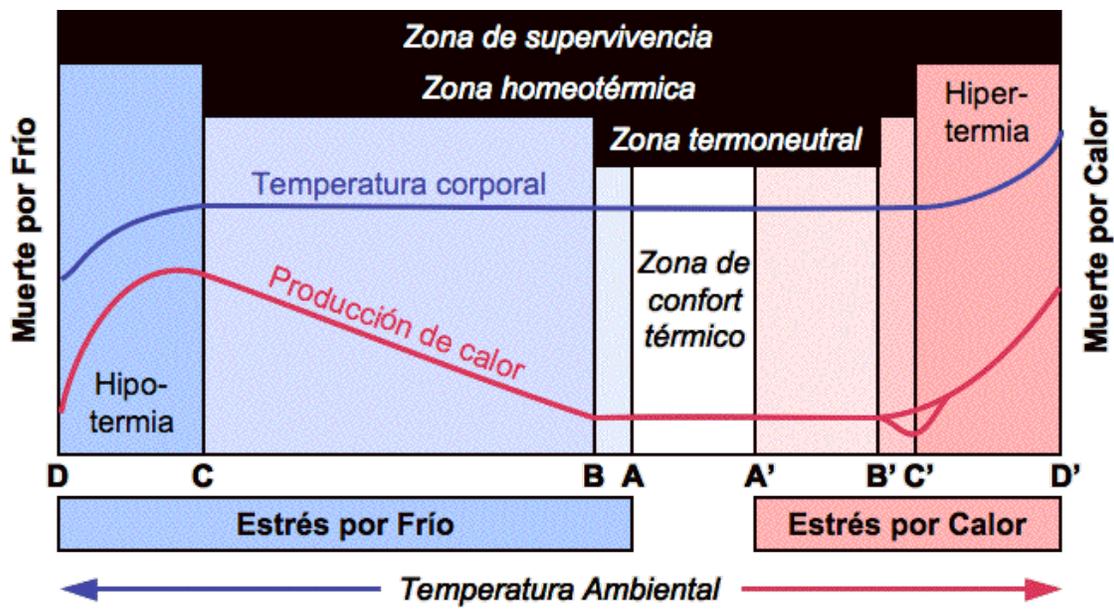


Figura 1. Representación esquemática de las condiciones ambientales críticas para la supervivencia del animal (adaptado de Bianca, 1972). Las zonas A →B para condiciones frías y A'→B' para condiciones de calor representan cambios en la temperatura ambiental que demanda esfuerzos mínimos en el animal para mantener su temperatura corporal. B y B' son las temperaturas críticas mínima y máxima respectivamente. En las zonas B→C y B'→C' los animales requieren activar mecanismos termorregulatorios (fisiológicos) para conservar la temperatura corporal. En las zonas C→D y C'→D' los animales no logran mantener las condiciones homeotérmicas; la temperatura corporal es afectada pudiendo conducir al animal a la muerte por hipotermia o hipertermia. D y D' son las temperaturas letales mínima y máxima respectivamente.

1.1.3. Termorregulación

La temperatura rectal es un indicador del balance térmico y puede ser usado para evaluar la adversidad del medio ambiente calórico sobre el crecimiento, lactación y reproducción en el ganado lechero (Johnson, 1987; Hahn, 1994). En bovinos para leche el rango de temperatura corporal considerado normal (normotermia) es de 38.4 a 39.0° C (Seath y Miller, 1946; Hansen *et al.*, 1992). Cuando la temperatura corporal es mayor el animal está en hipertermia, lo cual afecta el sistema nervioso central e incluso puede llevar a la muerte del mismo con aumentos entre 3 a 6° C por encima del rango de normotermia (Bianca, 1972).

El incremento de la actividad respiratoria suele ser el primer síntoma de la respuesta al estrés por calor ya que los bovinos incrementan la frecuencia y disminuyen la profundidad respiratoria (polipnea térmica) para aumentar las

pérdidas de calor por las vías altas del tracto respiratorio. Si el mecanismo no es suficiente se producirá un incremento de la temperatura rectal. Esto podría traducirse en efectos negativos sobre las variables productivas (ganancia de peso vivo, condición corporal, producción de leche) y reproductivas (Mc Dowell *et al.*, 1976). La frecuencia respiratoria basal para bovinos es de 20 a 40 respiraciones por minutos (r.p.m.) (Seath y Miller, 1946; Thomas y Pearson, 1986). Hasta una temperatura ambiente de 16° C la frecuencia respiratoria de los bovinos permanece estable (20 r.p.m.), a mayores temperaturas la frecuencia aumenta progresivamente (Castaño-Bello, 1995), e incrementos por encima de 40 r.p.m. son considerados como polipnea térmica para realizar el enfriamiento del cuerpo a través de pérdidas evaporativas por el tracto respiratorio.

Se puede calificar la severidad del estrés que presentan los animales de acuerdo a la frecuencia respiratoria: *bajo* (40 a 60 r.p.m.); *medio-alto* (60 a 80 r.p.m.); *alto* (80 a 120 r.p.m.) y *muy severo* (si supera las 150 r.p.m.) (Thomas y Pearson, 1986). Se considera que para vacas lecheras con una frecuencia respiratoria de 70 a 80 r.p.m. ya es necesario tomar alguna medida de mitigación del estrés calórico para evitar un incremento de la temperatura rectal (Stevens, 1981, citado por Berman, 2005). Otros autores encontraron para bovinos en engorde frecuencias respiratorias que de 20 a 60 r.p.m. indican termoneutralidad, de 80 a 120 r.p.m. indica moderado estrés calórico y mayores a 120 r.p.m. indican excesiva carga calórica (Gaughan *et al.*, 1999). Ante un marcado estrés calórico (cuando la temperatura corporal de bovinos alcanza los 40° C aproximadamente) cambia el tipo de respiración, la respiración rápida y superficial cede paso a una respiración más lenta y profunda, lo que aumenta la ventilación. Este aumento de ventilación provoca efectos secundarios desfavorables, pues la eliminación de grandes cantidades de CO₂ de los pulmones lleva a la pérdida de equilibrio ácido-base en la sangre, incremento del pH sanguíneo (por encima de 7.5), alcalosis respiratoria, aceleración de la frecuencia cardíaca y generación de más calor, lo que disminuye la eficacia de la pérdida de calor por la evaporación respiratoria y pone en peligro la vida del animal (Bianca, 1972).

1.1.4. Estrés calórico

Los animales están adaptados a las condiciones ambientales en las que viven, sin embargo hay ciertas ocasiones en las que sufren estrés térmico debido a las oscilaciones en las temperaturas o bien por una combinación de factores negativos a los que se someten durante un corto período de tiempo. Los animales hacen frente a estos períodos desfavorables primordialmente a través de modificaciones fisiológicas. Así, en la mayoría de los casos esta respuesta se manifiesta en cambios en los requerimientos de nutrientes, siendo el agua y la energía los más afectados cuando los bovinos se encuentran fuera de la denominada zona de confort. Estos cambios en los requerimientos, así como las estrategias adoptadas por los animales para enfrentar el período de estrés térmico, provocan una reducción en su desempeño productivo (Arias *et al.*, 2008).

La severidad del estrés por calor depende de la magnitud que alcancen las temperaturas a lo largo del día y de la cantidad de horas que se encuentren por encima de la temperatura crítica máxima, pero si durante la noche la temperatura desciende por debajo de los 21° C durante unas seis u ocho horas, el animal tiene la oportunidad de perder el calor almacenado durante el día y recuperar la normotermia (Rees, 1964 citado por Bianca, 1965; Silanikove, 2000). La variabilidad del ambiente térmico es el principal factor que afecta negativamente la producción de leche en los bovinos, en particular las de alto mérito genético. Poca atención se ha prestado a la habilidad termorregulatoria de las vacas modernas a medida que su capacidad de producir leche se incrementa (Kadzere *et al.*, 2002). El aumento de la producción de leche se relaciona positivamente con el consumo de alimento y con la producción de calor metabólico. El consumo de nutrientes por vacas de alta producción está relacionado directamente con la cantidad de leche producida, pero el proceso de metabolización de los nutrientes genera calor, que en condiciones de ambientes cálidos debe ser disipado para que la neutralidad térmica, necesaria para el normal funcionamiento fisiológico, pueda ser mantenida (Kadzere *et al.*, 2002).

1.2. Caracterización del ambiente calórico

1.2.1. Índice de Temperatura y Humedad

Es posible cuantificar el estrés calórico a través de un índice biometeorológico que considera la temperatura y la humedad del aire (Índice de Temperatura y Humedad, ITH) desarrollado por Thom, (1959) La zona de confort térmico para vacas lecheras en producción toma valores de ITH entre 35 y 70 y se ha determinado un valor crítico para la producción de leche en vacas Holando de 72 (Johnson *et al.*, 1961). En función de este nivel, se han caracterizado distintas categorías de estrés calórico según la magnitud del ITH (Livestock Weather Safety Index, Livestock Conservation Institute, 1970 citado por du Preez *et al.*, 1990b): 1) mayor a 72 la producción de leche comienza a ser afectada; 2) *alerta*, ITH entre 74 - 78, la productividad de los animales se ve disminuida y se recomienda tomar medidas de enfriamiento de los animales; 3) *peligro*, ITH entre 78 – 82, la productividad de los animales es altamente disminuida y es necesario tomar medidas de protección como enfriamiento o dietas adecuadas y 4) *emergencia*, ITH de valores mayores a 82, puede ocurrir la muerte de los animales, por lo que todas las medidas para el enfriamiento de los animales son recomendadas.

Relacionando las mediciones fisiológicas con el ITH, se observó que la temperatura rectal solo se incrementaba cuando el ITH era mayor a 80 y que la frecuencia respiratoria se incrementaba a partir de ITH 73 hasta valores mayores a 80 (Lemerle y Goddard 1986, citados por Silanikove, 2000). Esto sugiere que los mecanismos homeostáticos (incluido el aumento de la frecuencia respiratoria) previenen el aumento de la temperatura rectal hasta que el ITH alcance valores de 80.

En Uruguay al realizar una caracterización climática de ITH en el período estival (promedios históricos mensuales de la serie 1961-1990 de los meses de diciembre a marzo), se encontraron valores por encima del crítico (72) para el norte del Río

Negro para el mes de enero (Cruz y Saravia, 2008). Datos horarios de localidades de esa región en particular determinaron ocurrencia de valores de ITH diarios mayores a 72 con probabilidades mayores a 70%. La mayor duración promedio diaria del estrés se dio en enero en los departamentos de Salto y Artigas con 10 horas en la fase diurna y 4 horas en la fase nocturna. Cabe aclarar que al ser esta información un promedio, existen días donde la duración es mayor.

1.2.2. Esferas de Vernon

Otra forma de caracterizar el ambiente meteorológico que rodea a los animales son los globos negros o esferas de Vernon (Berbigier, 1988), ubicadas cerca del lugar que ocupan los animales y en los que se registra la temperatura luego de establecerse el equilibrio térmico, permite integrar en un registro de temperatura los aportes de calor por convección y radiación. La temperatura registrada dentro del espacio cerrado “negro” expresa las ganancias o pérdidas de calor del ambiente medido (Hertig, 1972).

1.2.3. Olas de calor

Los bovinos están adaptados a responder ante una amplia variabilidad del ambiente meteorológico, sin embargo condicionantes meteorológicas de altas temperaturas conocidas como olas de calor pueden resultar en enormes pérdidas económicas por su efecto significativo sobre los animales (Nienaber *et al.*, 2003). Se define una ola de calor como un período anormalmente cálido y generalmente húmedo de tres días consecutivos o más, con temperaturas por encima de umbrales seleccionados. El criterio de selección depende de las condiciones normales (clima) de la región (American Meteorological Society, 1989).

Las olas de calor son eventos meteorológicos extremos que provocan pérdidas económicas en la producción agropecuaria por reducir la productividad de los animales e incluso por provocarles la muerte (St-Pierre *et al.*, 2003). Se han documentado eventos localizados con grandes pérdidas económicas: 700 vacas

lecheras muertas en California (Oliver *et al.*, 1979), más de 4.000 novillos de feedlot muertos en Nebraska e Iowa (Hahn y Mader, 1997), más de 3.000 novillos de feedlot muertos en Queensland, Australia (Blackshaw y Blackshaw, 1991), más de 5.000 novillos de feedlot muertos en el este de Nebraska (Hungerford *et al.*, 2000) y más de 25.000 bovinos y 700.000 pollos en California en 2006 (USAgNet, 2006) citados por Nienaber y Hahn (2007).

Utilizando estudios retrospectivos de las características de las olas de calor (intensidad, duración y tiempo de recuperación nocturna para los bovinos) que provocaron la muerte de animales se desarrollaron prácticas de manejo del ambiente (Nienaber *et al.*, 2003). Se relacionaron los umbrales de ITH propuestos por el Livestock Weather Safety Index (LCI, 1970, citado por du Preez, *et al.*, 1990b) de *alerta*, *peligro* y *emergencia* y se integró en el estudio la posibilidad de que los bovinos recuperaran la normotermia en las horas nocturnas si el ITH toma valores menores a 72. En base a esto se confeccionaron seis categorías para las olas de calor: *leve*, *tenue*, *moderada*, *fuerte*, *severa* y *extrema*. Olas de calor de las categorías moderadas a severas al principio del verano aumenta la vulnerabilidad de los animales, al no tener estos una exposición paulatina previa al incremento de la temperatura (animales no aclimatados) (Nienaber *et al.*, 2003). Analizando olas de calor extremas (como la de 1995 en Nebraska, que provocó la muerte de miles de animales en feedlot) encontraron que se caracterizaban por ITH por encima del umbral de emergencia durante 15 horas o más al día y con una mínima oportunidad de recuperación nocturna, y señalando que también olas de las categorías fuertes a severas pueden provocar la muerte en animales vulnerables (animales de alto nivel de producción, animales nuevos en el feedlot, animales próximos a terminación, animales no aclimatados, o enfermos) (Nienaber *et al.*, 2003). Sucesivas olas de calor intercaladas con períodos relativamente más frescos pueden provocar situaciones de alta carga calórica por un incremento del consumo que expone al animal a condiciones potencialmente nocivas. Olas sucesivas más moderadas en su intensidad pueden provocar, sino la muerte, pérdidas en el desempeño productivo con la consecuente pérdida económica.

En un trabajo en que evaluaron la producción de leche durante dos olas de calor en vacas lecheras de alto nivel de producción (25 l/vaca/día), Valtorta *et al.* (2002) encontraron que hubo una reducción significativa del 17% en la producción de leche durante la primera ola (ITH medio = 74.5), pero en la segunda (ITH medio = 77.9), que ocurrió 20 días más tarde que la primera, la reducción de 4.2% no fue significativa pues las vacas aún no habían recuperado el nivel de producción previo a la primera ola de calor.

Al caracterizar olas de calor ocurridas en Salto en una serie de cinco años de diciembre a marzo, Saravia y Cruz (2006) concluyeron que las olas de calor de mayor duración ocurren durante los meses de diciembre y enero con un promedio de diez horas con ITH mayores o iguales al umbral de peligro (78) y seis horas en promedio por encima del umbral de emergencia (82), por lo que según su intensidad y duración se pueden considerar de fuertes a severas. La duración de los eventos estudiados fue de tres a diez días, con un promedio mensual de días involucrados en olas de calor de 15 y 21 para diciembre y enero respectivamente, siendo sensiblemente menor en el resto del verano.

1.3. Efectos del calor ambiente sobre la producción animal

1.3.1. Comportamiento en pastoreo

Los animales responden a cambios en su entorno adaptando su comportamiento. Los cambios ambientales resultan en cambios en el comportamiento alimenticio, principalmente en el consumo de alimento (Tamminga y Schrama, 1998).

Vacas lecheras en lactancia expuestas a condiciones de estrés calórico presentan una reducción del consumo de alimento, como consecuencia de una inhibición del centro del apetito (Albright y Alliston, 1972). Además en esa situación se reduce la secreción de las hormonas tiroxina y tri-yodotironina, modificaciones que provocan una reducción en la tasa metabólica y en el consumo de alimento (Beede y Collier, 1986). En situaciones de estrés calórico los animales disminuyen el consumo

voluntario diario de alimento (Lefcourt y Adams, 1996; Castro, 1998; García, 2008) y aumentan los requerimientos de mantenimiento (NRC, 2001) como consecuencia del incremento en la producción de calor producto del aumento en la frecuencia respiratoria y la temperatura corporal (Tamminga y Schrama, 1998). La reducción del consumo de alimento, especialmente los de tipo fibroso, tiene como objetivo disminuir el calor de fermentación a nivel ruminal (Phillips, 2001). Asimismo se reduce el apetito, como resultado de elevadas temperaturas corporales que podrían estar asociadas al llenado del tracto digestivo (Silanikove, 1992) y a reducciones del pH ruminal (Collier *et al.*, 1982). Adicionalmente, se reduce la eficiencia de utilización de la energía para la producción de leche (Wayman *et al.*, 1962).

El pastoreo nocturno es más frecuente durante el verano y en condiciones tropicales (Molénat y Micol, 1982; Castro, 1998), y en situaciones de clima cálido las vacas lecheras prefieren pastorear durante las condiciones de mañanas y tardes más frescas (Seath y Miller, 1946). Vacunos pastoreando en situaciones de clima tropical húmedo disminuyen el tiempo total de pastoreo (Castro, 1998) y restringen el pastoreo diurno sobretodo a la mañana temprano y el final de la tarde (Williamson y Payne, 1987, citados por Tamminga y Schrama, 1998). En ambientes con temperaturas cálidas (30° C) se ha observado reducción del tiempo de pastoreo en una hora en relación al observado en ambientes frescos (22° C), con pastoreos de 1.9 horas en el día y 6.5 horas en la noche en ambientes cálidos en relación a 4.5 horas y 4.7 horas, respectivamente en ambientes frescos (Seath y Miller, 1946).

Bajo situaciones de estrés calórico los animales buscan naturalmente la sombra, lo que permite reducir la carga calórica en 30% a 50% (Blackshaw y Blackshaw, 1994; Collier *et al.*, 2006). En los días cálidos los animales presentan un pastoreo extenso en la mañana temprano luego de retornar del ordeño y buscan la sombra a partir de las 9:00 horas y tratan de evitar el pastoreo hasta las horas de la noche. En ese momento presentan un período de pastoreo extenso y posteriormente uno

o dos períodos más cortos. Al mediodía los animales permanecen protegidos a la sombra, descansando, ociosos o rumiando (Albright, 1993). El ganado sin acceso a sombra y en condiciones de estrés calórico camina en exceso, se concentra en las esquinas de los potreros, acude más frecuentemente al bebedero y disminuye su actividad de pastoreo (Arnold y Dudzinski, 1978). Comparando animales con y sin acceso voluntario a la sombra se han observado tiempos de pastoreos diarios totales similares en vacas lecheras (Valtorta *et al.*, 1993; Muller *et al.*, 1994c; Damasceno *et al.*, 1999; Fisher *et al.*, 2008; Tucker *et al.*, 2008) y en ganado de carne en crecimiento (Rovira, 2003; Esquivel *et al.*, 2007).

En relación al patrón de pastoreo en animales con y sin acceso voluntario a sombra, algunos autores reportan ausencia de diferencias en el tiempo de pastoreo en la mañana y en la tarde (Valtorta *et al.*, 1993), mientras que otros autores reportan diferencias, indicándose que los animales con acceso a la sombra cesan más temprano el pastoreo matutino e inician su actividad más temprano en la tarde que aquellos sin acceso a sombra, quienes a su vez pasaron las horas más calurosas junto al bebedero, echados o parados y a corta distancia entre ellos (Rovira, 2003). De manera similar, en vacas lecheras consumiendo ración se han observado modificaciones en su rutina de alimentación por el acceso voluntario a la sombra, con mayor tiempo total de alimentación durante el día pero sin diferencias en el tiempo de alimentación nocturno; presentando además períodos de alimentación más largos y en menor número tanto en el día como en la noche y dedicando más tiempo al descanso y rumia, principalmente a la sombra (Muller *et al.*, 1994c). Por otro lado, Damasceno *et al.* (1999) no encontró diferencias en el tiempo dedicado diariamente a la alimentación, rumia, ocio y descanso entre vacas lecheras con y sin acceso a sombra artificial en los corrales donde recibían la ración. En animales estabulados con acceso a sombra se observó que durante el día las vacas permanecen a la sombra donde tienen disponible agua y alimento, al atardecer y en la noche están en descanso en un área verde, mientras que los animales sin acceso a sombra permanecen echados en áreas húmedas o en áreas verdes durante las horas cálidas y consumen el

alimento al atardecer y en la noche (Roman-Ponce *et al.*, 1977). Aguerre y Franco (1991) en un experimento realizado en Paysandú con vacas lecheras durante enero, detectaron una mayor frecuencia promedio diaria de pastoreo en los animales con acceso voluntario a sombra natural (42.5 *versus* 30.0%), aunque se observa que en las primeras horas de la tarde todos los animales dejan de consumir. La bibliografía no es concluyente al respecto de la conducta de los animales en situaciones de estrés calórico pero permite entrever que las estrategias de pastoreo adoptadas por los animales son variables y dependen del estado fisiológico, tipo de pastura, acceso a sombra y condiciones del ambiente térmico.

1.3.2. Producción de leche

Las vacas lecheras expuestas a temperaturas fuera de su zona de termoneutralidad realizan ajustes metabólicos para mantener la homeotermia. La exposición a temperaturas mayores a la temperatura crítica máxima disminuye la producción de leche (Thatcher, 1974; Collier *et al.*, 1982; Kadzere *et al.*, 2002, Ominski *et al.*, 2002; Arieli, *et al.*, 2004). Cuando la temperatura excede la zona de termoneutralidad la composición de la leche cambia (Bianca, 1965; Kadzere *et al.*, 2002). El efecto de las altas temperaturas de un día se pueden evidenciar hasta dos días después en la disminución de producción de leche (Harris *et al.*, 1960; Collier *et al.*, 1981; Buffington *et al.*, 1983, Muller *et al.*, 1994a). Estudios con vacas Holando reportan producción de más leche, grasa (Mc Dowell *et al.*, 1976) y proteína (Barash *et al.*, 2001) cuando las vacas paren en épocas frías en comparación a épocas más cálidas. Las condiciones meteorológicas tienen mayor influencia en los primeros 60 días de lactación sobre estas variables que en otros meses de la lactancia. En este período las altas temperaturas restringen el consumo de alimento causando una rápida utilización de las reservas y provocando altas pérdidas de peso corporal (Mc Dowell *et al.*, 1976; Barash *et al.*, 2001). Las principales causas de la disminución en la producción de leche serían una disminución del consumo voluntario de materia seca y un aumento significativo de los requerimientos energéticos de mantenimiento. Además las

altas temperaturas modifican el comportamiento ingestivo de agua y forraje (principalmente en pastoreo) y afectan el normal funcionamiento del aparato digestivo: digestión, absorción y metabolismo celular. Estos aspectos influyen directamente en la eficiencia de utilización de los nutrientes y en consecuencia en la síntesis de leche, tanto en cantidad como en composición (Valtorta *et al.*, 1998). También la humedad influye, se han encontrado disminuciones en la producción de leche cuando a 32° C el contenido de humedad se incrementaba de 20 a 45%. Esta diferencia en la humedad determinó disminuciones en el consumo e incrementos en la temperatura rectal que explican la disminución en la producción de leche (Johnson y Vanjonack, 1976).

Cuando la temperatura ambiente aumenta y se incrementa la frecuencia respiratoria y la temperatura rectal, no solo disminuye la producción de leche, sino que también cambia la composición de la misma disminuyendo la caseína y los sólidos no grasos y aumentando el porcentaje de grasa, la cual también cambia su composición con menos ácidos volátiles y aumentando los componentes insaturados (Regan y Richardson, 1938). Se ha encontrado que vacas lecheras con temperaturas rectales de 39.4 a 40.5° C presentan mayor proporción de ácidos palmítico y esteárico (Richardson *et al.*, 1961). Las alteraciones en la composición, los cambios en la proporción de acético/propiónico y la disminución de ácidos grasos volátiles pueden ser provocados por la disminución en el consumo (Collier *et al.*, 1982). La disminución en los niveles de consumo voluntario durante la lactación está, en general, asociada con un incremento en el contenido de grasa y una disminución en el contenido de proteína de la leche (Flux y Patchell, 1954 citados por Muller *et al.*, 1994a).

1.4. Estrategias para contrarrestar el estrés calórico

Entre las estrategias básicas sugeridas en Beede y Collier (1986), la modificación física del ambiente y los esquemas apropiados del manejo nutricional serían las

más sencillas y de respuesta rápida, especialmente en áreas donde los períodos de estrés por calor se alternan con condiciones favorables para la producción. La utilización de biotipos menos sensibles al calor, también es posible de implementar a nivel de los sistemas productivos, pero se debe tener cuidado en que ello no vaya en detrimento del potencial de producción del rodeo.

El estrés calórico puede afectar la nutrición de los animales al modificar los requerimientos de nutrientes específicos, al afectar los procesos fisiológicos y el metabolismo, o al reducir el consumo. El consumo voluntario se reduce cuando la temperatura llega cerca o pasa la temperatura crítica máxima y la reducción de consumo de materia seca es mayor con dietas en base a forraje. Por otro lado la digestibilidad de los forrajes en verano es menor y llevan a un mayor tiempo de retención. La absorción de nutrientes resultantes de la digestión se verá disminuida por la redistribución del flujo sanguíneo desde el tracto digestivo hacia la periferia para favorecer la termorregulación por conducción y evaporación. Al mismo tiempo la partición de nutrientes es alterada en ganado bajo estrés calórico; se incrementa el recambio de agua y electrolitos, y los requerimientos de mantenimiento, mientras se reducen los niveles de hormona de crecimiento y de tiroxina disminuyendo el flujo energético neto para las funciones productivas. Las diferentes estrategias alimenticias para ayudar a los animales bajo estrés calórico apuntan a mejorar la digestibilidad de las dietas y a aumentar la densidad de los nutrientes y la energía metabolizable. Ejemplos son la reducción de forraje a favor de concentrados, incluir grasa en la dieta, y asegurar la disponibilidad de agua de buena calidad (ver revisión de Beede y Collier, 1986).

1.4.1. Modificaciones del ambiente

Existen diversas modificaciones físicas del ambiente: sombra (natural o artificial), ventilación forzada, humedecimiento del animal (sistemas combinados de estos) y aire acondicionado, cuyo objetivo es minimizar los costos en que se incurre por la pérdida de productividad minimizando el riesgo y la vulnerabilidad de los animales (Bucklin *et al.*, 1992).

El principio en que se basa la utilización de sombras es la disminución de la carga radiativa por intercepción de la radiación. La sombra proporcionada por árboles es una de las más efectivas ya que no sólo disminuye la incidencia de la radiación, sino que también produce una disminución de la temperatura del aire por la evaporación desde las hojas (Saravia y Cruz, 2003). Los animales en condiciones de ambientes cálidos buscan naturalmente la sombra, lo que permite reducir la carga calórica en 30% a 50% (Blackshaw y Blackshaw, 1994; Collier *et al.*, 2006).

La ventilación forzada se basa en el principio de incrementar las pérdidas de calor por convección. Sin embargo, esta técnica puede ser negativa en áreas, o durante algunos momentos del día muy calurosos, por hacer circular sobre los animales aire excesivamente caliente, lo que provocaría ganancias en vez de pérdidas de calor.

El humedecimiento del animal se basa en el aumento de las pérdidas de calor por evaporación. Su efecto puede ser negativo en ambientes muy húmedos si no existe una adecuada remoción del aire, ya que éste puede saturarse de humedad y frena así la única vía de disipación de calor en ambientes cálidos.

En general, se combinan los métodos de ventilación forzada con el humedecimiento de la siguiente manera (Armstrong, 1994):

- combinación de aspersores y ventiladores. Las gotas producidas por los aspersores deben ser lo suficientemente grandes como para penetrar la cubierta del animal. La evaporación, asegurada por la remoción forzada, refresca al animal.
- producción de neblinas y ventilación forzada. En este caso se utilizan aspersores que generan una fina niebla que debe evaporarse antes de llegar al animal. Este sistema produce enfriamiento del aire que luego, al circular sobre los animales, aumenta las pérdidas de calor por convección.

Aunque no existen dudas de las ventajas de estos métodos, es necesario mencionar algunas desventajas por las cuales la sombra natural no es tan difundida en los sistemas de producción lechera: el desarrollo de los árboles es lento y costoso, luego de implantados se ven adversamente afectados por el exceso de heces y orina acumulados en el suelo, lo que llega incluso a producir la pérdida de árboles. Estos problemas acentúan cuando el área de sombra es escasa, los animales se hacinan y se puede generar estrés por el contacto entre ellos. Además estas áreas pueden ser una fuente de contaminación generando un ambiente propicio para el desarrollo de patógenos y vectores (Valtorta *et al.*, 1998). Como alternativa se pueden utilizar sombras artificiales de diferentes materiales: chapas de zinc, pajas, o telas de redes plásticas que interceptan una determinada proporción de la radiación (de 60 a 80% generalmente). Estos tipos de sombra requieren planificar la instalación, pero presentan ventajas pues se pueden trasladar de lugar. Se debe considerar para su instalación la orientación de la estructura, espacio disponible por animal, la altura, la ventilación, el tipo de piso, la facilidad de acceso al agua y a la comida y el sistema de manejo de las excretas (Shearer *et al.*, 1991).

Al cuantificar, a través de las esferas de Vernon, las condiciones térmicas que ocurren en situación de incidencia directa de sol, sombra natural y artificial, durante los meses de verano para Salto, Saravia *et al.* (2003) encontraron que las temperaturas máximas se diferenciaron significativamente entre sí y se ordenan en forma decreciente de la siguiente manera: exposición directa al sol (44.8° C), bajo sombra artificial (36.0° C) y bajo sombra natural (32.8° C). Los autores concluyeron que el uso de sombra (natural o artificial) resulta una técnica efectiva para disminuir el impacto de la radiación solar directa sobre los animales en los momentos del día en que ocurren condiciones para provocar estrés calórico, presentando la sombra natural mayores ventajas en la capacidad de reducción de las temperaturas máximas.

Los resultados encontrados, aplicando estas modificaciones del ambiente son diversos, y en muchos casos se asocian modificaciones del ambiente físico con modificaciones en la dieta, lo que pretende disminuir la producción de calor metabólico

El cuadro 1 resume algunos resultados experimentales de diferentes modificaciones del ambiente que ejemplifican las respuestas a las mismas.

1.4.2. Biotipo y modificaciones del ambiente

La temperatura es la variable meteorológica que presenta mayor influencia en las respuestas fisiológicas de animales de diferentes biotipos, seguida en orden de importancia por la radiación, el contenido de humedad del aire y por último el viento (Legates *et al.*, 1991). Se han señalado diferencias en la temperatura crítica máxima entre biotipos *Bos taurus*, Holando 21° C y Jersey 24° C (Johnson, 1987). Legates *et al.* (1991) estudiaron también la tolerancia a las altas temperaturas de diferentes biotipos, reportando un orden por tolerancia mayor en Jersey, seguido por Guernsey, Ayrshire y finalmente Holando, tanto en experimentos a campo (máximas de 31 a 34 ° C) como en cámaras de temperatura controlada (hasta 40° C). En este trabajo las vacas Holando presentaron un incremento mayor de la temperatura rectal aunque un incremento similar en la frecuencia respiratoria que las vacas Jersey tanto en la mañana (7:00) como en la tarde (15:00) en pastoreo (1.0 y 0.4° C y 55 y 54 r.p.m. de incremento para Holando y Jersey respectivamente). Una diferencia similar reportan Román-Ponce *et al.* (1977) en las temperaturas rectales registradas a las 15:00 entre vacas Jersey y Holando (39.1 y 39.4° C respectivamente).

Las vacas Jersey y las vacas Holando reaccionan de manera diferente ante aumentos de humedad y de temperatura ambiente: al aumentar la humedad las vacas Jersey aumentan su frecuencia respiratoria mientras que las vacas Holando la disminuyen (Seath y Miller, 1947). Algunos autores (Jonhson y Vanjonack, 1976; Kadzere *et al.*, 2002) señalan que las vacas Jersey parecen ser más eficaces para atenuar la acumulación de calor corporal mediante el incremento de la frecuencia respiratoria, mecanismo que está demostrado en su efectividad termorregulatoria: incrementos en la frecuencia respiratoria pueden retrasar incrementos de la temperatura corporal dentro de ciertos límites de temperatura ambiente (Nienaber *et al.*, 2003). La frecuencia respiratoria relativamente alta les permite a las vacas Jersey una mayor habilidad para disipar calor en relación con las vacas Holando (Kibler y Brody, 1954, citados por Kadzere *et al.*, 2002). Estos autores, al igual que Muller y Botha (1993) encontraron diferencias entre biotipos en la tasa de producción de calor y disipación, lo cual puede ser atribuido a sus diferencias en el tamaño

corporal y otras características (como la capacidad de sudoración). De hecho, Collier *et al.* (1981), observaron en la tarde incrementos en las temperaturas rectales menores en Jersey con respecto a Holando, a pesar de manifestar incrementos en la frecuencia respiratoria similares, manifestando que este mecanismo no sería el único que estaría explicando las diferencias entre biotipos. Se han discutido las diferencias entre especies y biotipos en la capacidad de enfriamiento de la superficie corporal mediante la sudoración identificando a los animales *Bos indicus* con mayor tasa de sudoración por su alta densidad de glándulas sudoríparas comparadas con animales *Bos taurus* (Kibler y Brody, 1952; Allen, 1962, citados por Kadzere *et al.*, 2002). La capacidad sudorativa depende de la densidad de folículos pilosos, dado que las glándulas sudoríparas están asociadas a los mismos. La densidad folicular de los cebuínos es un 20% superior al de animales de los biotipos Shorton y Hereford, y este parámetro en animales Jersey es intermedio entre los grupos anteriores y los cebuínos (Nay, 1959). La tolerancia al calor en ganado vacuno también está determinada en gran medida por el volumen y tamaño de las glándulas sudoríparas. La morfología de las glándulas sudoríparas de animales *Bos taurus* y *Bos indicus* es diferente, mientras que las de los *Bos indicus* (biotipos adaptados al calor) son saculares y de gran diámetro, las de los *Bos taurus* (biotipos menos adaptados al calor) son glándulas estrechas y helicoidales. También se encontraron dentro de los biotipos 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 biotipo. Al estudiar animales del biotipo Jersey encontraron que poseían glándulas del tipo sacular similares a los biotipos cebuínos estudiados pero sin embargo más pequeñas que las de los cebuínos (Nay, 1959).

A pesar de que hay varios estudios en la literatura que analizan la variación de las respuestas fisiológicas según las condiciones meteorológicas para distintos biotipos, son menos numerosos los que comparan las respuestas productivas en estas condiciones. Analizando el efecto de las variables meteorológicas (temperatura máxima y mínima, humedad y radiación solar) en la producción y composición de la leche de vacas Holando y Jersey, (Seath y Miller, 1947; Johnson y Vanjonack, 1976; Sharma *et al.*, 1983) las vacas Holando eran más

afectadas en la producción en volumen mientras que las vacas Jersey lo eran en la composición de la leche. Sin embargo, Brody *et al.*, (1955, citado por Bianca 1965) reportan una disminución mayor en la producción (20%) en vacas Holando que en vacas Jersey (8%) al aumentar la temperatura entre 21 a 38° C, aunque esta diferencia disminuyó luego de una semana, indicando cierta aclimatización de los animales. En vacas Jersey y Holando, Harris *et al.* (1960) encontraron una disminución diaria significativa de la producción de 0.197% y 0.224% respectivamente, pero no encontraron diferencias en producción por el suministro de sombra artificial.

Finalmente, a partir de la bibliografía revisada se pone de manifiesto el impacto que tienen las condicionantes meteorológicas severas en términos de ola de calor sobre la respuesta de animales de alta producción, tanto a nivel fisiológico como a nivel productivo. Las vacas de biotipos lecheros en lactación tienen una alta producción de calor metabólico que las hace más sensibles al estrés calórico, pues deben tratar de disipar esa alta producción interna de calor y mantener su homeostasis en un medio atmosférico desfavorable por alta temperatura y humedad. Antecedentes revisados parecen indicar que estas condicionantes extremas, ocurren durante el período estival en la zona litoral norte del país. Por ello, este trabajo apuntó a cuantificar en nuestras condiciones el impacto a nivel fisiológico y productivo de estos fenómenos sobre vacas lecheras en lactación. También se buscó poner en evidencia cual es el efecto de una medida de mitigación como es el acceso voluntario a sombra por parte de las vacas. Estas evaluaciones se realizaron sobre dos biotipos, Holando y Jersey los cuales como está reportado en la bibliografía, responden diferente en términos fisiológicos y productivos al estrés calórico.

1.5. Hipótesis

- En el verano, en el litoral norte del país se dan condicionantes meteorológicas severas (olas de calor) que reducen la producción de vacas lecheras en lactación.
- El acceso voluntario a sombra artificial reduce el efecto de las condicionantes meteorológicas del verano sobre la productividad.
- La magnitud del efecto depresor de las condicionantes meteorológicas del verano sobre la productividad varía con el biotipo lechero.

1.6. Objetivo general

Cuantificar el efecto del ambiente físico estival sobre las respuestas fisiológicas y productivas de vacas Holando y Jersey.

1.6.1. Objetivos específicos

- Caracterizar la ocurrencia de condicionantes meteorológicas severas durante el verano.
- Evaluar el efecto del acceso a sombra artificial durante la ocurrencia de condicionantes meteorológicas severas sobre las respuestas fisiológicas y productivas en vacas lecheras en lactación
- Cuantificar el efecto depresor de las condicionantes meteorológicas severas sobre las respuestas fisiológicas y productivas en vacas lecheras en lactación pertenecientes a biotipos diferentes.

2. Materiales y métodos

2.1. Localización del experimento

El trabajo experimental se realizó en la Estación Experimental de la Facultad de Agronomía en Salto (EEFAS), Latitud: 31° 23' S; Longitud: 57° 57' W, Altitud: 90 m, desde el 21 de diciembre de 2005 al 16 de febrero de 2006 (total del período = 58 días). Los registros de la primera semana (del 21 al 28 de diciembre) se utilizaron para calcular las covariables de las variables analizadas en el experimento.

2.2. Animales utilizados

Los animales utilizados (20 en total) fueron vacas de primera lactancia, 10 de biotipo Holando (H) y 10 de biotipo Jersey (J), de época de parición primavero-estival. Los animales de ambos biotipos se distribuyeron aleatoriamente según peso al parto en los diferentes tratamientos. Al inicio de las determinaciones (28 de diciembre de 2005) las vacas utilizadas tenían en promedio (\pm DE) 31 \pm 27 días de paridas, con un peso vivo (\pm DE) de 311.1 \pm 22.6 kg las J y 415.8 \pm 46.8 kg las H. La condición corporal en el mismo momento fue de: 2.9 \pm 0.6 en J y 3.0 \pm 0.5 en H. La edad de los animales era de 27 \pm 3 meses para las Jersey y de 31 \pm 1 meses para las Holando.

2.3. Diseño experimental

El experimento constituyó un factorial completo de dos biotipos y dos ambientes. Los biotipos fueron Holando y Jersey y los ambientes consistieron en acceso voluntario a una sombra artificial o sombrite (sombra) y otro sin suministro de sombra (exposición permanente al sol). Cada lote de animales (ambiente x biotipo) fue manejado durante todo el ensayo, en parcelas de pastoreo separadas. El sombreado artificial ofrecido adyacente al área de pastoreo constó de un techo de redes plásticas de color negro de 80% de

intercepción de la radiación solar con una disponibilidad de 4.5 m² por vaca en una construcción con orientación este-oeste, con una altura de 3 metros en la pared sur y una declinación del 15% hacia el norte.

2.4. Alimentación de los animales

Los animales fueron alimentados desde el 21 de diciembre y hasta el final del período experimental con franjas diarias de sorgo forrajero asignadas como un 6% del peso vivo determinado semanalmente (con una estimación de utilización del 50%) y se le ofrecía afrechillo de arroz durante cada ordeño a razón de un 1.5% del peso vivo durante todo el período experimental. El afrechillo de arroz presentó una composición porcentual (en base seca) de 13.15% de proteína, 17% de extracto al éter, 5.25% de fibra cruda, 7.5% de minerales totales.

2.5. Determinaciones en la pastura

Se realizaron en forma semanal mediciones de disponibilidad de forraje por el Método de Rendimientos Comparativos de Haydock y Shaw (1975). Las determinaciones se realizaron al ingreso para la asignación de las franjas diarias y de rechazo al abandonar la franja (Anexo 1: cronograma de mediciones experimentales).

2.6. Determinaciones en el medio atmosférico

2.6.1. Índice de Temperatura y Humedad

Para el cálculo del Índice de Temperatura y Humedad (ITH) (Thom, 1959) se utilizaron registros horarios de temperatura y humedad del aire de una estación meteorológica automática con los sensores ubicados al abrigo meteorológico a 1.5m de altura (Watchdog Model 900ET, Spectrum Technologies Inc., Plainfield, IL). La estación meteorológica automática ubicada en el Parque Agrometeorológico de la EEFAS el cual está emplazado y mantenido según las

recomendaciones de FAO, (1976), situado cerca de la sala de ordeño y a 2.5 km del lugar de pastoreo. El ITH fue calculado usando la conversión de Valtorta y Gallardo (1996).

$$\text{ITH} = (1.8 \text{ Ta} + 32) - (0.55 - 0.55 \text{ HR}) \times (1.8 \text{ Ta} - 26)$$

donde:

Ta = Temperatura del aire (°C)

HR = Humedad relativa del aire (%)

2.6.2. Caracterización de las condicionantes meteorológicas

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) abarcara menos de diez horas (ITH mayor a 72), o sea si en el día, el ITH horario fue mayor o igual a 72 durante catorce horas o más (Valtorta *et al.*, 2002)
- si durante tres días consecutivos o más, la temperatura mínima diaria fue mayor o igual a 23° C y la temperatura máxima diaria fue mayor a 29° C (Rodríguez *et al.*, 2003)
- si el ITH promedio de las 24 horas fue mayor a 72 durante tres días consecutivos o más (Valtorta *et al.*, 2004) considerándose que la ola no se interrumpe si solo en un día no se alcanzaba este umbral.

Para este trabajo se definió que si se cumplían simultáneamente los tres criterios era una **ola de calor severa** (OCS), si cumplía al menos uno de ellos era una **ola de calor leve** (OCL) y si no se cumplía ninguno de los criterios mencionados anteriormente era un período de **no ola de calor** (NOC). Estas categorías se corresponden con las definidas por Nienaber *et al.* (2003) en función de la intensidad y duración del evento y la relación con respecto al tiempo de recuperación nocturna para bovinos *Bos taurus* (Cuadro 2).

Cuadro 2. Categorías de las olas de calor según la duración (en días), la cantidad de horas con ITH mayor a 78 en todo el evento y cantidad de horas por día con ITH menor a 72 para posibilitar la recuperación nocturna (Nienaber *et al.*, 2003).

Categoría	Duración	Total horas ITH > 78 durante el evento	Recuperación nocturna (horas ITH < 72)
1 - leve	Limitada	10 a 25	Buena: 5 a 10 horas /noche
2 - tenue	Limitada	18 a 40	Alguna: 3 a 8 horas/noche
3 - moderada	Más persistente	25 a 50	Reducida: 1 a 6 horas/noche
4 - fuerte	Incrementa la persistencia	33 a 65	Limitada: 0 a 4 horas/noche
5 - severa	Muy persistente	40 a 80	Muy limitada: 0 a 2 horas/noche
6 - extrema	Muy persistente	50 a 100	Nula: menos de 1 hora durante 3 días o más

2.6.3. Esferas de Vernon

Se realizaron registros horarios de la temperatura de las esferas de Vernon (Berbigier, 1988) ubicadas bajo la sombra artificial y al sol (a 1.5m de altura). Las temperaturas dentro de las esferas de cobre de color negro mate de 16 centímetros de diámetro fueron registradas electrónicamente cada quince minutos con sensores Kooltrak (iButtons-TMEX modelo DS1921, Dallas Semiconductors, Dallas, TX) que funcionaron ininterrumpidamente durante todo el período experimental.

2.7. Determinaciones realizadas en los animales

2.7.1. Producción de leche

La rutina de ordeño consistió en dos ordeños diarios a la 6:30 y 15:30 horas. En cada ordeño se registraba la producción individual de leche con equipos MM6 DeLaval (Anexo 1: cronograma de mediciones experimentales).

2.7.2. Componentes lácteos

Cinco días a la semana se extrajeron muestras de leche en cada ordeño y se refrigeraban a 8° C hasta finalizado el ordeño de la tarde donde eran conservadas en recipientes de 100 ml como muestra compuesta. A las

muestras de leche extraídas se les agregó el conservador Bronopol líquido (2-bromo-2-nitro-1,3 propanediol) con pureza mínima de 98% preparado en solución al 10% de forma tal que la concentración final máxima en leche fuera de 0.05 g/100 ml y se congelaron a -20° C y se conservaron en un freezer hasta el final del experimento cuando fueron analizadas todas las muestras por el Laboratorio de Leche del INIA (INIA La Estanzuela, Departamento de Colonia).

La composición química de la leche (grasa, proteína y lactosa) fue analizada en un equipo Bentley 2000 (Bentley Instruments, USA). Los sólidos no grasos se determinaron por la suma de los valores de proteína, lactosa y un valor fijo (0.69) correspondiente al contenido de minerales previamente establecido por el Laboratorio para el mes correspondiente a la extracción de la muestra. La técnica utilizada fue la establecida en IDF Standart 141 A (FIL-IDF, 1990).

Para el recuento de células somáticas se remitían dos veces por semana (Anexo 1: cronograma de mediciones experimentales) muestras compuestas del ordeño matutino y vespertino previamente refrigeradas a 8° C y colocadas en conservadoras con refrigerante al Laboratorio de COLAVECO (Nueva Helvecia, Departamento de Colonia) El recuento de células somáticas fue realizado en un equipo Somacount 500 (Bentley Instruments, USA) y la técnica utilizada fue la establecida en IDF Standart 148 (FIL-IDF, 1991).

Considerando las diferencias en las concentraciones de los componentes (grasa, proteína, lactosa) en la leche de los diferentes biotipos, la producción diaria de leche fue corregida por sólidos (LCS) según la ecuación desarrollada por Tyrrell y Reid (1965):

$$LCS = 12.3 (G) + 6.65 (SNG) - 0.0752 (L)$$

Donde:

G es el contenido de grasa expresado en kilogramos

SNG es la suma de los componentes no grasos de la leche (sólidos no grasos: proteína y lactosa) expresados en kilogramos

L es la producción de leche expresada en kilogramos

Para efectuar la comparación de producción diaria de leche entre animales de los dos biotipos utilizados se corrigieron los datos por peso metabólico: $PV^{0.75}$ (Kleiber y Mead, 1941; Gaines, 1946).

2.7.3. Peso vivo

Una vez por semana, después del ordeño matutino (sin desbaste previo), se determinó peso vivo en una balanza electrónica (True Test de 0.5 kg de precisión). La variación del peso vivo se calculó como la relación porcentual entre la diferencia de peso de dos mediciones consecutivas respecto al registro de peso vivo anterior ($(\text{Peso final} - \text{Peso inicial}) / \text{Peso inicial} \times 100$) (Anexo 1: cronograma de mediciones experimentales).

2.7.4. Variables fisiológicas

Tres veces a la semana por rutina y todos los días ante pronóstico de olas de calor, se realizaron medidas de temperatura rectal y frecuencia respiratoria previo a cada ordeño (6:00 horas y 15:00 horas) en bretes adyacentes al potrero experimental, mediante termómetro de máxima de mercurio de 0.1° C de precisión. La frecuencia respiratoria fue determinada por apreciación visual del movimiento de los flancos durante un minuto, expresada en respiraciones por minuto (r.p.m.) (Anexo 1: cronograma de mediciones experimentales).

2.7.5. Comportamiento en pastoreo

En los días 3, 8, 12, 19 y 27 de enero y el 3 y 14 de febrero (días experimentales 14, 19, 23, 30, 38, 44 y 56) se registró comportamiento en pastoreo durante la fase diurna (Anexo 1: cronograma de mediciones experimentales). Se comenzaba cuando las vacas retornaban a la parcela luego del ordeño matutino a las 8:00 horas y hasta las 14:00 horas. Se interrumpía el registro para el ordeño vespertino retomando a las 18:00 horas y finalizando a las 21:00 horas. De cada vaca se registró cada 15 minutos la actividad predominante realizada en ese lapso de tiempo. Las actividades registradas fueron: pastoreo, rumia, descanso, ingestión de agua y acceso a la sombra artificial si correspondiere. Para el análisis se dividió el tiempo en tres turnos de observación: turno 1 (de 8:00 a 11:00), turno 2 (de 11:00 a 14:00) y

turno 3 (18:00 a 21:00 horas). La frecuencia de observación se expresa en tiempo de pastoreo (en minutos) considerando el intervalo de medición (tres turnos de 180 minutos cada uno y total 540 minutos).

2.8. Análisis estadístico

Los registros de las variables producción de leche corregida por sólidos y por peso metabólico (LCS, $\text{kg}/\text{kg}^{0.75}$), producción de grasa, producción de proteína, (en $\text{g}/\text{kg}^{0.75}$), las medidas fisiológicas ($\text{TR}_{6:00}$, $\text{TR}_{15:00}$, $\text{FR}_{6:00}$, $\text{FR}_{15:00}$) y la variación de peso vivo (%) se analizaron ajustando un modelo lineal general con medidas repetidas en el tiempo. Se utilizó para el análisis el procedimiento Mixed del paquete estadístico SAS (SAS Institute, Cary, NC, 2006). El efecto “día experimental” fue considerado como el factor de medidas repetidas. Se consideró la estructura de autocorrelación entre observaciones repetidas en un mismo animal a través del tiempo, según un modelo autorregresivo de orden 1 (AR(1)). En el modelo se incluyeron como efectos fijos los ambientes, los biotipos y las condicionantes meteorológicas y todas sus interacciones. El mismo tuvo la siguiente forma general:

$$y_{ijklm} = \mu + A_i + B_j + \varepsilon_{ijk} + C_l + D_m(C_l) + (A \times B)_{ij} + (A \times D)_{im}(C_l) + (A \times C)_{il} + (B \times D)_{jm}(C_l) + (B \times C)_{jl} + (A \times B \times C)_{ijl} + (A \times B \times D)_{ijm}(C_l) + \beta_1 X_{1ijkl} + \beta_2 X_{2ijkl} + \delta_{ijklm}$$

donde :

y_{ijklm} = producción de leche (LCS/vaca/día) corregido por peso metabólico ($\text{kg}/\text{kg}^{0.75}$) o producción de grasa o producción de proteína, todos corregidos por peso metabólico ($\text{g}/\text{kg}^{0.75}$)

μ = media

A_i = efecto del i-ésimo tratamiento de permanencia al sol o acceso voluntario a la sombra

B_j = efecto del j-ésimo biotipo (Holando o Jersey)

ε_{ijk} = error experimental (entre vacas)

C_l = efecto de la l-ésima condicionante meteorológica (OCS, OCL o NOC: ola de calor severa, ola de calor leve o no ola de calor)

D_m = efecto del m-ésimo día de experimento dentro de la condicionante meteorológica I

$(A \times B)_{ij}$ = efecto de la interacción de ambiente por biotipo

$(A \times D)_{im}(C_i)$ = efecto de la interacción ambiente por día dentro de condicionante meteorológica

$(A \times C)_{ij}$ = efecto de la interacción ambiente por condicionante meteorológica

$(B \times D)_{jm}(C_i)$ = efecto de la interacción de biotipo por día dentro de condicionante meteorológica

$(B \times C)_{ji}$ = efecto de la interacción de biotipo condicionante meteorológica

$(A \times B \times C)_{ijl}$ = efecto de la interacción de ambiente por biotipo por condicionante meteorológica

$(A \times B \times D)_{ijm}(C_i)$ = efecto de la interacción biotipo por ambiente por día dentro de condicionante meteorológica

X_{1ijkl} = covariable correspondiente al valor medio inicial de la variable estudiada, con coeficiente de regresión β_1 .

X_{2ijkl} = covariable correspondiente a la cantidad de días desde la parición al inicio del experimento, con coeficiente de regresión β_2 .

δ_{ijklm} = error de la medidas repetidas (dentro de vacas)

Para producción y composición de leche se consideraron dos covariables: valor medio de la variable “y” estudiada de los días 1 al 7 inclusive del experimento (21 al 28 de diciembre) denominada variable inicial y la cantidad de días desde la parición al inicio del experimento (28 de diciembre de 2005) que permanecían en el modelo si resultaban significativas para la variable considerada (Anexo 5 cuadro con los valores individuales considerados para las covariables).

Para el análisis de los registros de las medidas fisiológicas ($TR_{6:00}$, $TR_{15:00}$, $FR_{6:00}$, $FR_{15:00}$), se utilizó el mismo modelo explicado anteriormente sin covariables.

Para el análisis de la variación de peso vivo (%) se ajustó el siguiente modelo:

$$y_{ijkl} = \mu + A_i + B_j + \varepsilon_{ijk} + D_l + (A \times B)_{ij} + (A \times D)_{il} + (B \times D)_{jl} + (A \times B \times D)_{ijl} + \delta_{ijkl}$$

donde :

y_{ijkl} = variación de peso vivo (%)

μ = media

A_i = efecto del i-ésimo tratamiento de permanencia al sol o acceso voluntario a la sombra

B_j = efecto del j-ésimo biotipo (Holando o Jersey)

ε_{ijk} = error experimental (entre vacas)

D_l = efecto del l-ésimo día de experimento

$(A \times B)_{ij}$ = efecto de la interacción de ambiente por biotipo

$(A \times D)_{il}$ = efecto de la interacción ambiente por día

$(B \times D)_{jl}$ = efecto de la interacción de biotipo por día

$(A \times B \times D)_{ijl}$ = efecto de la interacción biotipo por ambiente por día

δ_{ijkl} = error de la medidas repetidas (dentro de vacas)

El recuento de células somáticas (1000 cel/ml) se analizó ajustando un modelo lineal generalizado de medidas repetidas en el tiempo con el procedimiento GENMOD del paquete estadístico SAS (SAS Institute, Cary, NC, 2006). Se asumió que dicha variable tuvo distribución binomial negativa. El modelo tuvo la siguiente forma general:

$$\ln(\mu_{ijklm}) = \beta_0 + A_i + B_j + D_l(C_k) + C_k + (A \times B)_{ij} + (A \times D)_{il}(C_k) + (A \times C)_{ik} + (B \times D)_{jl}(C_k) + (B \times C)_{jk} + (A \times B \times C)_{ijk} + (A \times B \times D)_{ijl}(C_k)$$

donde:

$\ln(\mu_{ijkl})$ = Logaritmo natural de la media poblacional de conteo de células somáticas (1000cel/ml)

β_0 = Intercepto del modelo

A_i (ambiente) = efecto del i-ésimo tratamiento de permanencia al sol o acceso voluntario a la sombra

B_j (biotipo) = efecto del j-ésimo biotipo (Holando o Jersey)

C_k (condicionante meteorológica) = efecto de la k-ésima condicionante meteorológica (OCS, OCL o NOC: ola de calor severa, ola de calor leve o no ola de calor)

D_l (día) = efecto del l-ésimo día de experimento (dentro de la condicionante meteorológica k)

$(A \times B)_{ij}$ = efecto de la interacción de ambiente por biotipo

$(A \times D)_{il}(C_k)$ = efecto de la interacción ambiente por día dentro de condicionante meteorológica

$(A \times C)_{ik}$ = efecto de la interacción ambiente por condicionante meteorológica

$(B \times D)_{jl}(C_k)$ = efecto de la interacción de biotipo por día dentro de condicionante meteorológica

$(B \times C)_{jk}$ = efecto de la interacción de biotipo condicionante meteorológica

$(A \times B \times C)_{ijk}$ = efecto de la interacción de ambiente por biotipo por condicionante meteorológica

$(A \times B \times D)_{ijl}(C_m)$ = efecto de la interacción biotipo por ambiente por día dentro de condicionante meteorológica

La probabilidad de tiempo dedicado al pastoreo (TP) se analizó ajustando un modelo lineal generalizado de medidas repetidas en el tiempo con el procedimiento GLIMMIX del paquete estadístico SAS (SAS Institute, Cary, NC, 2006). Se asumió que el número de mediciones de tiempo dedicado al pastoreo en relación al número medido total, tuvo distribución binomial. El modelo estadístico tuvo la siguiente forma general:

$$\ln(P_{ijklm}/(1- P_{ijklm})) = \beta_0 + A_i + B_j + D_l(C_k) + C_k + T_m + (A \times B)_{ij} + (A \times D)_{il}(C_k) + (A \times C)_{ik} + (B \times D)_{jl}(C_k) + (B \times C)_{jk} + (A \times B \times C)_{ijk} + (A \times B \times D)_{ijl}(C_k) + (A \times B \times C \times T)_{ijkm}$$

donde :

$\ln(P_{ijklm}/(1- P_{ijklm}))$ = es la función logit de la probabilidad de tiempo dedicado al pastoreo

β_0 = Intercepto del modelo

A_i (ambiente) = efecto del i -ésimo tratamiento de permanencia al sol o acceso voluntario a la sombra

B_j (biotipo) = efecto del j -ésimo biotipo (Holando o Jersey)

C_k (condicionante meteorológica) = efecto de la k -ésima condicionante meteorológica (OCS, OCL o NOC: ola de calor severa, ola de calor leve o no ola de calor respectivamente)

D_l (día) = efecto del l -ésimo día de experimento (dentro de la condicionante meteorológica k)

$(A \times B)_{ij}$ = efecto de la interacción de ambiente por biotipo

$(A \times D)_{il}(C_k)$ = efecto de la interacción ambiente por día dentro de condicionante meteorológica

$(A \times C)_{ik}$ = efecto de la interacción ambiente por condicionante meteorológica

$(B \times D)_{jl}(C_k)$ = efecto de la interacción de biotipo por día dentro de condicionante meteorológica

$(B \times C)_{jk}$ = efecto de la interacción de biotipo condicionante meteorológica

$(A \times B \times C)_{ijk}$ = efecto de la interacción de ambiente por biotipo por condicionante meteorológica

$(A \times B \times D)_{ijl}(C_k)$ = efecto de la interacción biotipo por ambiente por día dentro de condicionante meteorológica

T_m (turno de observación) = efecto del m -ésimo turno de observación: 8:00 a 11:00; 11:00 a 14:00; 18:00 a 21:00

$(A \times B \times C \times T)_{ijkm}$ = efecto de la interacción de ambiente por biotipo por condicionante meteorológica por turno de observación

Las medias de los efectos significativos fueron comparadas usando el test de Tukey. Se utilizó un nivel de significancia crítico de 5% (Anexo 6).

Para caracterizar las series de temperatura de las esferas de Vernon se ajustaron modelos ARIMA (Auto Regressive Integrated Moving Average) con componente estacional, y para todos los tratamientos, el modelo elegido fue del tipo multiplicativo $ARIMA(1,0,0)(1,1,1)_{24}$ es decir un modelo autorregresivo con un componente estacional y un retraso de 24 horas (dado que se trataba de datos horarios de todos los días del experimento).

ARIMA(1,0,0)(1,1,1)₂₄

El modelo resultante se puede escribir como:

$$y_t = \mu + \phi_{1,1} y_{t-1} + \phi_{2,1} y_{t-24} + a_t + \theta_{1,1} a_{t-24}$$

donde

μ es el intercepto

ϕ_{ij} son los coeficientes de autocorrelación de las observaciones

θ_{ij} son los coeficientes de autocorrelación de los residuales

a_t es la secuencia de errores aleatorios

3. Resultados

3.1. Ambiente atmosférico

3.1.1. Temperatura, humedad del aire e ITH

La temperatura promedio en el período experimental fue de 25.9° C (\pm 2.7 DE) y la humedad relativa 55% (\pm 14 DE). La temperatura máxima promedio fue de 32.9° C con una máxima absoluta de 41.1° C ocurrida el 10 de enero. La temperatura mínima promedio fue de 18.9° C registrándose la mínima absoluta de 12.6° C el 25 de diciembre.

En el cuadro 3 se comparan los datos mensuales diciembre 2005 – febrero 2006 con los registros climáticos, promedios 1961-1990, de la Estación Meteorológica de Salto, N° 86360 Lat: 31° 23' S Long: 57° 57' W Alt: 34 m (Dirección Nacional de Meteorología, 1996) observándose temperaturas por encima de la media climática durante el mes de enero y febrero. En especial se destacan las temperaturas medias y máximas por debajo de la normal climatológica durante diciembre 2005 y febrero 2006

Cuadro 3. Comparación de los registros meteorológicos (medias mensuales) en diciembre 2005 - febrero 2006 con las normales climatológicas 1961-1990.

	Diciembre ⁽¹⁾			Enero			Febrero		
	1961-1990	2005	Dif.	1961-1990	2006	Dif.	1961-1990	2006	Dif.
TMED	23.5	22.8	-0.7	25	26.5	1.5	23.9	24.6	0.7
TXM	30.2	30.2	0.0	31.5	33.9	2.4	30.3	31.5	1.2
TNM	17.1	15.2	-1.9	18.7	19.2	0.5	17.9	17.7	-0.2
TX	41	36.2	-4.8	42.2	41.1	-1.1	41.6	36.6	-5.0
TN	5.4	8.4	3.0	8.4	11.9	3.5	7	13.7	6.7
HR	64	63	-1	63	71	8	68	71	3

⁽¹⁾ Las comparaciones de diciembre 2005 y febrero 2006 con las normales climatológicas corresponden al mes completo y no solo a los días del experimento. Dif. = diferencia

El ITH promedio diario durante el ensayo (\pm DE) fue de 72.6 \pm 3.47. A partir de la comparación de los ITH mensuales de diciembre de 2005 a febrero de 2006

con los registros climáticos promedios 1961–1990, podemos destacar que el promedio de enero fue superior al climático, mientras que en febrero fue solo levemente superior al promedio (cuadro 4).

Cuadro 4. Comparación de los ITH mensuales diciembre 2005 – febrero 2006 con los normales climatológicos 1961-1990.

Mes ⁽¹⁾	ITH 2005-2006	ITH 1961-1990
Diciembre	70.0	71.1
Enero	76.2	73.1
Febrero	73.3	72.0

⁽¹⁾ Los ITH de diciembre 2005 y febrero 2006 corresponden a todo el mes y no solo a los días experimentales. No se adjunta el desvío estándar por no contar con los mismos para la información climática.

Las condicionantes meteorológicas denominadas para este trabajo olas de calor leves (OCL) y ola de calor severa (OCS) presentaron el 57% del tiempo experimental (en total 33 días) y los días de no ola de calor (NOC) los veinticinco días restantes. Para el período experimental se caracterizaron las OCS, OCL y NOC en función del ITH promedio diario, horas al día con ITH >72 y temperatura del aire mínima y máxima (figura 2) (Anexo 2 con los registros diarios de las variables meteorológicas e ITH).

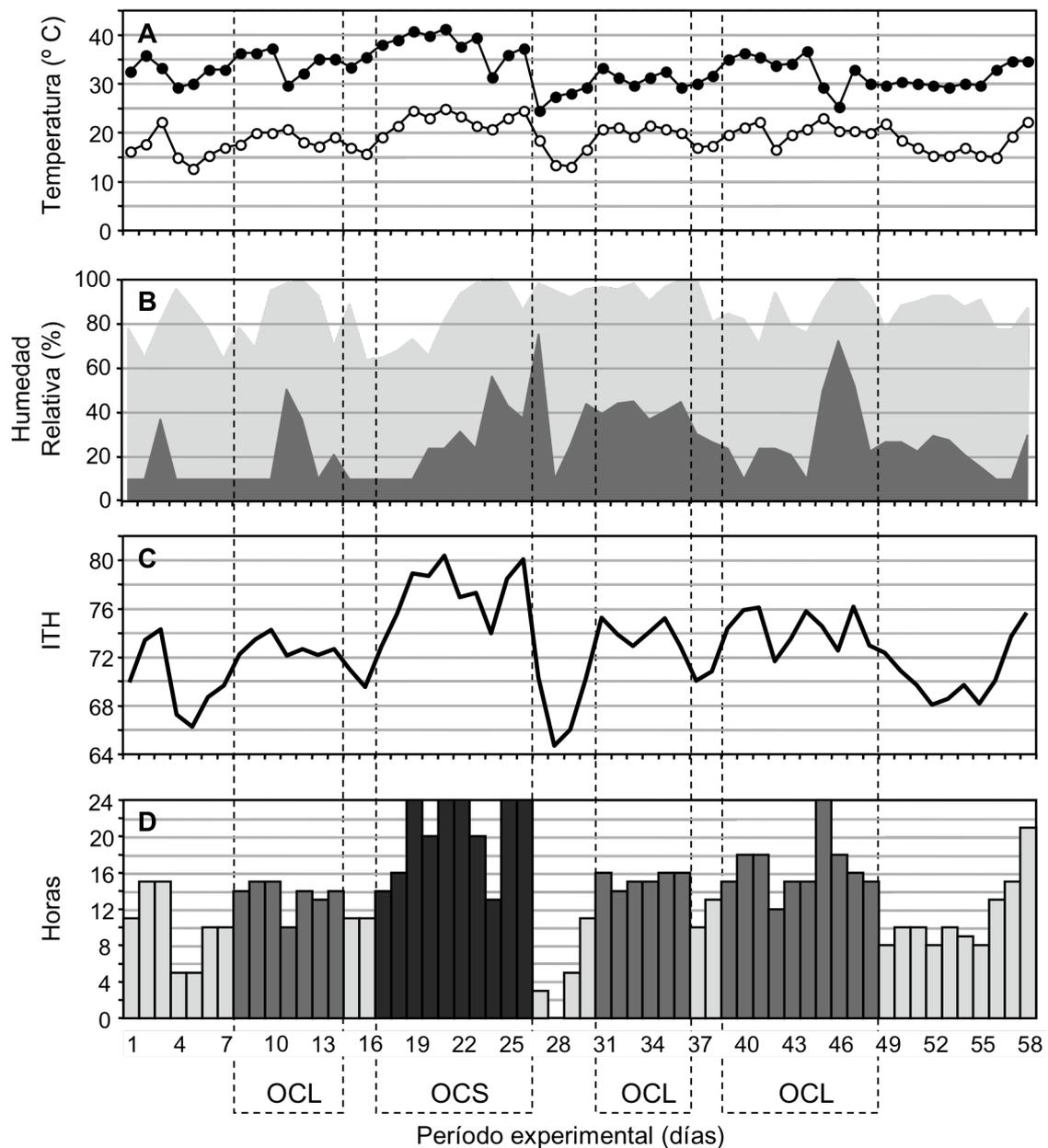


Figura 2. A) Temperatura del aire (° C) diaria máxima (círculos cerrados) y mínima (círculos abiertos); B) Humedad Relativa (%) diaria máxima (área gris claro) y mínima (área gris oscuro); C) ITH promedio diario (línea) y D) cantidad de horas al día con ITH >72 (barras).

Se identificó una OCS de una duración de diez días en total que comprendió del 6 al 15 de enero inclusive (días experimentales 17 al 26 inclusive). Esta ola de calor comenzó con dos días de 14 y 16 horas de ITH ≥ 72 respectivamente (lo que ya permitió definir el comienzo de una ola de calor) y temperaturas mínimas de 19 y 21° C, respectivamente. A partir del tercer día comenzaron a sucederse días con 24 horas con ITH ≥ 72 y temperaturas mínimas superiores a

23° C lo que determinó la severidad de la condicionante (Anexo 2: variables meteorológicas diarias para todo el período experimental).

Como OCL se identificaron tres que sucedieron entre: 28 de diciembre al 3 de enero; 20 al 25 de enero; 28 de enero al 6 de febrero, (días experimentales: 8 al 14, 31 al 36, 39 al 48, respectivamente) totalizando 23 días entre las tres. Los días OCL se caracterizaron por tener catorce horas o más al día con ITH >72; ITH promedio diario ≥ 72 casi la totalidad de los días y temperaturas máximas >29° C todos los días, pero con temperaturas mínimas inferiores a 23° C (cuadro 5).

El resto de los días del período experimental que no cumplieron con los criterios de definición de ola de calor se denominaron días NOC y correspondieron a: 21 - 27 de diciembre; 4 – 5, 16 – 19, 26 - 27 de enero y del 7 - 16 de febrero.

En el cuadro 5 se presenta las variables temperatura y humedad del aire, viento e ITH promedio de las condicionantes meteorológicas OCS, OCL y NOC.

Cuadro 5. Promedio (\pm DE) de las variables meteorológicas e ITH en OCS, OCL y NOC.

	Días Experimentales	TMED	TXM	TNM	HR	V	ITH med	ITH max	ITH min
OCS	17 – 26	29.3 ± 2.4	37.9 ± 2.9	22.5 ± 1.9	57 ± 18	21.8 ± 6.1	77.2 ± 2.5	83.3 \pm 1.9	71.3 ± 3.2
OCL	8 – 14, 31 – 36, 39 – 48	26.3 ± 1.6	32.8 ± 3.1	19.8 ± 1.5	60 ± 15	13.3 ± 3.7	73.7 \pm 1.4	78.8 \pm 2.0	67.3 ± 2.5
NOC	1 – 7, 15-16, 27 – 30, 37, 38, 49 – 58	24.2 ± 2.1	30.9 ± 2.7	16.7 ± 2.5	51 ± 12	15.9 ± 4.4	69.8 \pm 2.6	75.9 \pm 2.5	61.8 ± 4.0

La duración promedio del ITH por condicionante meteorológica categorizado según la magnitud del ITH (*alerta* entre 74 y 78, *peligro* entre 78 y 82 y *emergencia* valores mayores a 82) se presentan en la figura 3 (por día se presentan en el Anexo 3).

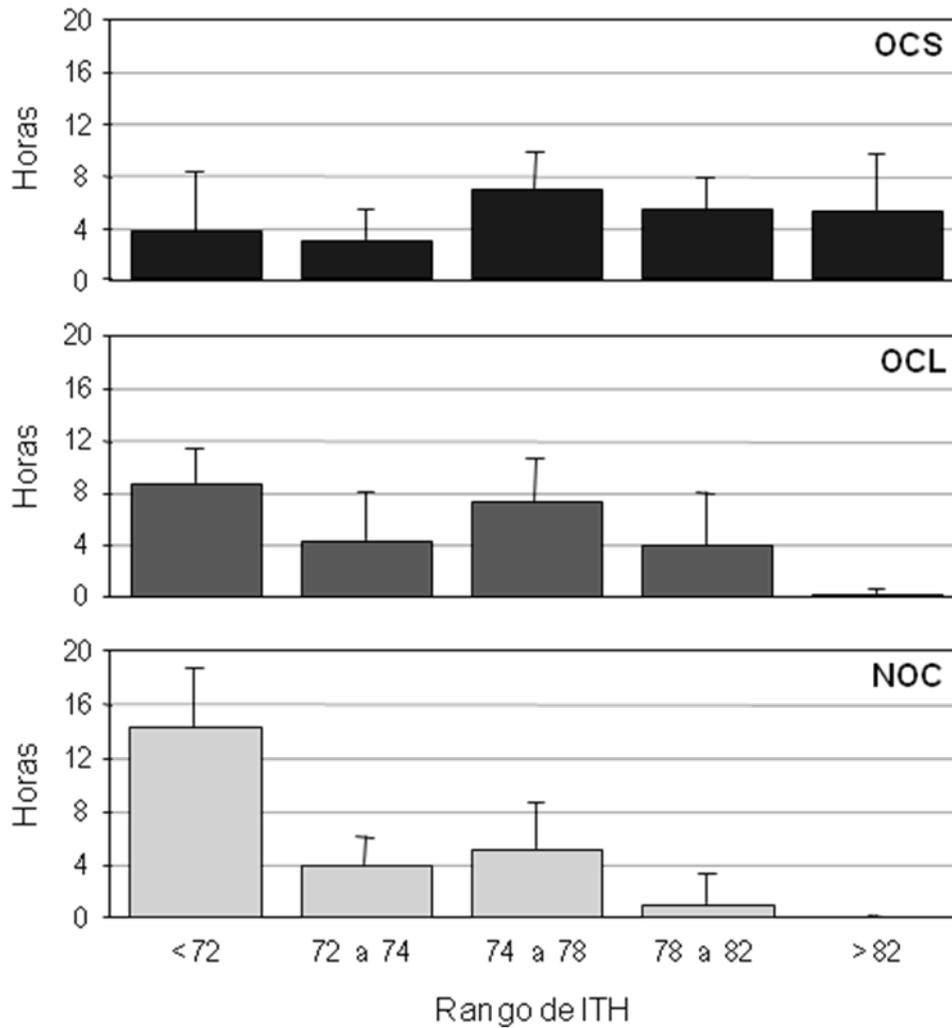


Figura 3. Cantidad de horas promedio (\pm DE) según categorías de ITH en cada condicionante meteorológica.

3.1.2. Esferas de Vernon

Las temperaturas promedio diarias registradas durante todo el período experimental en las esferas de Vernon ubicadas al sol, fueron superiores a las ubicadas bajo la sombra artificial. También lo fueron las máximas medias y las máximas absolutas, pero las temperaturas mínimas promedio y las mínimas absolutas fueron similares (cuadro 6).

Cuadro 6. Temperaturas (° C) promedios (\pm DE) de las esferas de Vernon durante el período experimental y según condicionante meteorológica.

	Media período experimental		OCS		OCL		NOC	
	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra
TMED	29.0 \pm 2.9	26.7 \pm 2.7	31.9 \pm 2.7	30.0 \pm 2.5	29.6 \pm 2.6	27.2 \pm 1.8	27.6 \pm 2.2	25.0 \pm 1.9
TXM	41.9 \pm 4.7	35.3 \pm 3.9	44.5 \pm 2.0	39.3 \pm 2.8	42.0 \pm 5.6	35.4 \pm 3.9	40.6 \pm 4.4	33.6 \pm 3.2
TX	48.6	42.5	47.0	42.5	48.6	40.1	48.5	38.9
TNM	18.4 \pm 3.3	18.7 \pm 3.1	22.7 \pm 2.0	22.7 \pm 2.1	19.3 \pm 1.8	19.6 \pm 1.7	15.9 \pm 2.4	16.3 \pm 2.2
TN	11.5	12.5	19.1	18.9	15.8	16.0	11.5	12.5

En el cuadro 6 se puede observar que las temperaturas medias y máximas medias de las esferas de Vernon registradas durante las condicionantes meteorológicas fueron de mayor a menor: OCS, OCL y NOC. Sin embargo, la máxima absoluta registrada al sol ocurrió durante OCL (el 29 de enero, día experimental 40) y no durante OCS, pero sí ocurrió la máxima absoluta bajo la sombra artificial (8 de enero, día experimental 19). Las temperaturas mínimas medias y mínimas absolutas también ocurrieron de mayor a menor durante OCS, OCL y NOC. Se puede señalar las temperaturas muy bajas para NOC registrándose las mínimas absolutas para sol y sombra en la misma madrugada (25 de diciembre, día experimental 5).

El resultado de la comparación de las series de temperatura obtenidas en las esferas de Vernon en ambos ambientes (al sol y bajo la sombra artificial) se presenta en la figura 4.

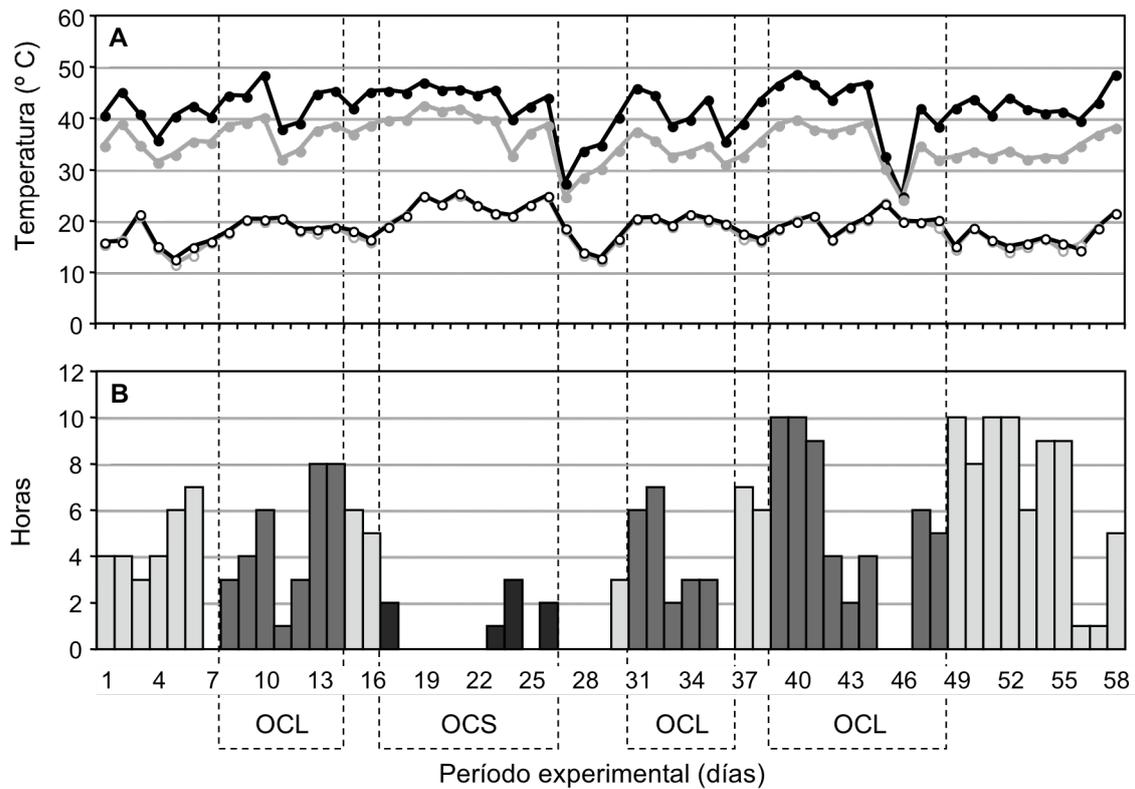


Figura 4. Temperaturas (° C) máximas (círculos cerrados) y mínimas (círculos abiertos) al sol (líneas negras) y a la sombra (líneas grises), y cantidad de horas por día (horas por día) en que éstas son diferentes, de las esferas de Vernon al sol y a la sombra artificial durante OCS, OCL y NOC.

En la figura 4 se observa la cantidad de horas al día en que las temperaturas difieren significativamente entre ambientes ($P < 0.05$). En los días de OCS, difirieron de 0 a 3 horas y en seis de los diez días la diferencia de temperatura entre ambos ambientes fue de 0 horas (promedio de 0.8 horas y ± 1.1 DE). En los días de OCL, difirieron entre 0 y 10 horas al día (promedio de 5 horas ± 3.1 DE) y en los días de NOC también difirieron entre 0 y 10 horas (promedio de 5 horas ± 3.4 DE).

Las horas del día en que hay diferencias significativas entre las temperaturas registradas al sol y aquellas registradas bajo la sombra artificial siempre correspondieron a la fase diurna entre las 8 y las 18 horas, las temperaturas nocturnas y las temperaturas mínimas registradas luego del amanecer no fueron diferentes entre ambientes (Anexo 4 con las horas en que fueron significativamente diferentes las temperaturas de las esferas de Vernon entre ambientes).

3.2. Variables fisiológicas

3.2.1. Frecuencia respiratoria

La frecuencia respiratoria registrada a las 6:00 horas ($FR_{6:00}$) fue afectada significativamente por las condicionantes meteorológicas y el ambiente ($P < 0.0001$ y $P = 0.0178$, respectivamente) pero no por el biotipo ($P = 0.8919$) (cuadro 7).

Cuadro 7. Frecuencia respiratoria (r.p.m., \pm EEM.) a las 6:00 horas según los efectos principales condicionante meteorológica, ambiente y biotipo.

Efecto principal	Nivel	$FR_{6:00}$		EEM
Condicionante meteorológica	OCS	34.8	a	0.83
	OCL	29.9	b	0.52
	NOC	25.8	c	0.51
Ambiente	Sol	31.2	a	0.53
	Sombra	29.2	b	0.53
Biotipo	Holando	30.3		0.53
	Jersey	30.1		0.53

Letras diferentes dentro de un mismo efecto principal indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

No fueron significativas las interacciones condicionante meteorológica \times ambiente ($P = 0.6385$) o condicionante meteorológica \times biotipo ($P = 0.2361$) (cuadro 8) o biotipo \times ambiente ($P = 0.8960$) (cuadro 9).

Cuadro 8. Frecuencia respiratoria (r.p.m., media \pm EEM) a las 6:00 horas de acuerdo a las interacciones condicionante meteorológica \times ambiente y condicionante meteorológica \times biotipo.

	Sol	Sombra	P	Holando	Jersey	P
OCS	36.2 \pm 1.18	33.5 \pm 1.18	0.1089	33.7 \pm 1.18	36.0 \pm 1.18	0.1726
OCL	30.5 \pm 0.74	29.4 \pm 0.74	0.3017	30.3 \pm 0.74	29.5 \pm 0.74	0.4937
NOC	26.9 \pm 0.72 a	24.8 \pm 0.72 b	0.0362	26.3 \pm 0.72	25.3 \pm 0.72	0.3511

Medias seguidas de letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

Cuadro 9. Frecuencia respiratoria (r.p.m., media \pm EEM) a las 6:00 horas, de acuerdo a la interacción biotipo \times ambiente.

	Sol	Sombra
Holando	31.2 \pm 0.76	29.1 \pm 0.76
Jersey	31.1 \pm 0.76	29.4 \pm 0.76

No se encontraron diferencias significativas en FR_{6:00} en ninguna las condicionante meteorológica (P=0.1922, P=0.6631 y P=0.1490, para OCS, OCL y NOC respectivamente) (cuadro 10).

Cuadro 10. Frecuencia respiratoria (r.p.m., media \pm EEM) a las 6:00 horas de acuerdo a la interacción condicionante meteorológica \times ambiente \times biotipo.

	Sol		Sombra	
	Holando	Jersey	Holando	Jersey
OCS	35.5 \pm 1.67 ab	36.9 \pm 1.67 a	31.9 \pm 1.67 b	35.1 \pm 0.19 ab
OCL	30.7 \pm 1.04	30.2 \pm 1.04	29.8 \pm 1.04	28.9 \pm 1.04
NOC	27.2 \pm 1.02 a	27.2 \pm 1.02 a	25.4 \pm 1.02 ab	24.1 \pm 1.02 b

Medias seguidas de letras distintas indican diferencias significativas en la fila (P<0.05).

Las condicionantes meteorológicas y el ambiente tuvieron efectos significativos en la frecuencia respiratoria medida a las 15:00 horas (FR_{15:00}) (P<0.0001), no así el biotipo (P= 0.0859) (cuadro 11).

Cuadro 11. Frecuencia respiratoria (r.p.m., media \pm EEM) a las 15:00 horas según los efectos principales condicionante meteorológica, ambiente y biotipo.

Efecto principal	Nivel	FR _{15:00}	EEM
Condicionante meteorológica	OCS	70.2	a 1.76
	OCL	65.9	b 1.17
	NOC	55.0	c 1.17
Ambiente	Sol	71.9	a 1.16
	Sombra	55.5	b 1.16
Biotipo	Holando	62.2	1.16
	Jersey	65.3	1.16

Letras diferentes dentro de un mismo efecto principal indican diferencias significativas (P<0.05).

Solo la interacción condicionante meteorológica × ambiente fue significativa (P=0.0223), no así las interacciones condicionante meteorológica × biotipo (P=0.1081) y biotipo × ambiente (P=0.0620) (cuadros 12 y 13).

Cuadro 12. Frecuencia respiratoria (r.p.m., media ± EEM) a las 15:00 horas de acuerdo a las interacciones condicionante meteorológica × ambiente y condicionante meteorológica × biotipo.

	Sol	Sombra	P	Holando	Jersey	P
OCS	80.5 ± 2.50 a	59.9 ± 2.50 b	<0.0001	65.9 ± 2.50 b	74.6 ± 2.50 a	0.0138
OCL	75.1 ± 1.65 a	56.7 ± 1.65 b	<0.0001	66.2 ± 1.65	65.6 ± 1.65	0.7814
NOC	60.1 ± 1.65 a	49.9 ± 1.65 b	<0.0001	55.0 ± 1.65	55.0 ± 1.65	0.9977

Medias seguidas de letras distintas indican diferencias significativas en la fila, dentro de cada efecto principal (P<0.05).

Cuadro 13. Frecuencia respiratoria (r.p.m., media ± EEM) a las 15:00 horas de acuerdo a la interacción biotipo × ambiente.

	Sol	Sombra
Holando	72.0 ± 1.64	52.3 ± 1.64
Jersey	71.8 ± 1.64	58.8 ± 1.64

Se encontraron diferencias significativas en las frecuencias respiratorias de las 15:00 horas en las condicionantes meteorológicas (P<0.0001, P<0.0001 y P=0.0002, OCS, OCL y NOC respectivamente) (cuadro 14).

Cuadro 14. Frecuencia respiratoria (r.p.m., media ± EEM) a las 15:00 horas de acuerdo a la interacción condicionante meteorológica × ambiente × biotipo.

	Sol		Sombra	
	Holando	Jersey	Holando	Jersey
OCS	79.2 ± 3.53 a	81.7 ± 3.53 a	52.6 ± 3.53 c	67.3 ± 3.53 b
OCL	75.8 ± 2.33 a	74.3 ± 2.34 a	55.3 ± 2.33 b	58.1 ± 2.33 b
NOC	61.0 ± 2.33 a	59.2 ± 2.33 a	49.0 ± 2.33 b	50.8 ± 2.33 b

Medias seguidas de letras distintas indican diferencias significativas en la fila (P<0.05).

3.2.2. Temperatura rectal

Las condicionantes meteorológicas ($P < 0.0001$) y el ambiente ($P = 0.0003$) afectaron la temperatura rectal registrada a las 6:00 horas ($TR_{6:00}$); pero no el biotipo ($P = 0.3937$) (cuadro 15).

Cuadro 15. Temperatura rectal ($^{\circ}C$, media \pm EEM) a las 6:00 horas según los efectos principales condicionante meteorológica, ambiente y biotipo.

Efecto principal	Nivel	$TR_{6:00}$		EEM
Condicionante meteorológica	OCS	38.8	a	0.04
	OCL	38.5	b	0.02
	NOC	38.4	b	0.02
Ambiente	Sol	38.5	b	0.03
	Sombra	38.6	a	0.03
Biotipo	Holando	38.6		0.03
	Jersey	38.5		0.03

Letras diferentes dentro de un mismo efecto principal indican diferencias significativas ($P < 0.05$)

Las interacciones condicionante meteorológica \times ambiente ($P = 0.0639$), condicionante meteorológica \times biotipo ($P = 0.9894$) y biotipo \times ambiente, no fueron significativas ($P = 0.0820$) (cuadros 16 y 17).

Cuadro 16. Temperatura rectal ($^{\circ}C$, media \pm EEM) a las 6:00 horas de acuerdo a las interacciones condicionante meteorológica \times ambiente y condicionante meteorológica \times biotipo.

	Sol	Sombra	P	Holando	Jersey	P
OCS	38.8 \pm 0.06	38.8 \pm 0.06	0.8773	38.8 \pm 0.06	38.8 \pm 0.06	0.7774
OCL	38.3 \pm 0.04 a	38.6 \pm 0.04 b	<0.0001	38.5 \pm 0.04	38.4 \pm 0.04	0.4715
NOC	38.3 \pm 0.03 a	38.5 \pm 0.03 b	0.0002	38.4 \pm 0.03	38.4 \pm 0.03	0.5063

Medias seguidas de letras distintas indican diferencias significativas en la fila dentro de cada efecto principal ($P < 0.05$)

Cuadro 17. Temperatura rectal (° C, media ± EEM) a las 6:00 horas de acuerdo a la interacción biotipo × ambiente.

	Sol	Sombra
Holando	38.4 ± 0.04	38.7 ± 0.04
Jersey	38.5 ± 0.04	38.6 ± 0.04

La interacción condicionante meteorológica × ambiente × biotipo tampoco fue significativa (P=0.9930) (Cuadro 18).

Cuadro 18. Temperatura rectal (° C, media ± EEM) a las 6:00 horas de acuerdo a la interacción condicionante meteorológica × ambiente × biotipo.

	Sol		Sombra	
	Holando	Jersey	Holando	Jersey
OCS	38.8 ± 0.08	38.8 ± 0.08	38.8 ± 0.08	38.8 ± 0.08
OCL	38.3 ± 0.05 b	38.3 ± 0.05 b	38.6 ± 0.05 a	38.5 ± 0.05 b
NOC	38.3 ± 0.05 c	38.3 ± 0.05 bc	38.5 ± 0.05 a	38.4 ± 0.05 ab

Medias seguidas de letras distintas indican diferencias significativas en la fila (P<0.05).

Durante OCL y NOC, TR_{6:00} fueron significativamente diferentes (P<0.0001 y P=0.0002, respectivamente), pero no lo fue durante la OCS (P=0.8773) (Cuadro 18).

Se encontraron diferencias significativas entre condicionantes meteorológicas (P<0.0001), entre ambientes (P<0.0001) y entre biotipos (P=0.0015) en TR_{15:00} (Cuadro 19).

Cuadro 19. Temperatura rectal (° C, media ± EEM) a las 15:00 horas según los efectos principales condicionante meteorológica, ambiente y biotipo.

Efecto principal	Nivel	TR _{15:00}		EEM
Condicionante meteorológica	OCS	39.8	a	0.08
	OCL	39.6	b	0.05
	NOC	39.3	c	0.05
Ambiente	Sol	39.8	a	0.05
	Sombra	39.3	b	0.05
Biotipo	Holando	39.7	a	0.05
	Jersey	39.4	b	0.05

Letras diferentes dentro de un mismo efecto principal indican diferencias significativas (P<0.05)

Para TR_{15:00} las interacciones condicionante meteorológica × ambiente (P=0.3635), condicionante meteorológica × biotipo (P=0.9625) y ambiente × biotipo (P=0.0915), no fueron significativas (cuadros 20 y 21).

Cuadro 20. Temperatura rectal (° C, media ± EEM) a las 15:00 horas de acuerdo a las interacciones condicionante meteorológica × ambiente y condicionante meteorológica × biotipo.

	Sol	Sombra	P	Holando	Jersey	P
OCS	40.0 ± 0.11 a	39.5 ± 0.11 b	0.0011	39.9 ± 0.11	39.6 ± 0.11	0.0815
OCL	39.8 ± 0.08 a	39.3 ± 0.08 b	<0.0001	39.7 ± 0.08 a	39.4 ± 0.08 b	0.0041
NOC	39.4 ± 0.08 a	39.1 ± 0.08 b	0.0030	39.4 ± 0.08 a	39.1 ± 0.08 b	0.0011

Medias seguidas de letras distintas indican diferencias significativas en la fila dentro de cada efecto principal (P<0.05).

Cuadro 21. Temperatura rectal (° C, media ± EEM) de las 15:00 horas de acuerdo la interacción biotipo × ambiente.

	Sol	Sombra
Holando	40.0 ± 0.08	39.4 ± 0.08
Jersey	39.5 ± 0.08	39.2 ± 0.08

La interacción condicionante meteorológica × ambiente × biotipo tampoco fue significativa (P=0.9446).

Se encontraron diferencias significativas entre las condicionantes meteorológicas en TR_{15:00} (P=0.0029, P<0.0001 y P=0.0006, OCS, OCL y NOC respectivamente) (Cuadro 22).

Cuadro 22. Temperatura rectal (° C, media ± EEM) a las 15:00 horas de acuerdo a la interacción condicionante meteorológica × ambiente × biotipo.

	Sol		Sombra	
	Holando	Jersey	Holando	Jersey
OCS	40.2 ± 0.16 a	39.8 ± 0.16 ab	39.6 ± 0.16 b	39.4 ± 0.16 b
OCL	40.1 ± 0.11 a	39.6 ± 0.11 b	39.6 ± 0.11 b	39.2 ± 0.11 c
NOC	39.6 ± 0.11 a	39.2 ± 0.11 b	39.2 ± 0.11 b	39.2 ± 0.11 b

Medias seguidas de letras distintas indican diferencias significativas en la fila (P<0.05).

3.3. Comportamiento

3.3.1. Comportamiento en pastoreo

El tiempo dedicado al pastoreo (TP) fue significativamente afectado por los efectos condicionante meteorológica y turno de observación (P<0.0001), no así por el efecto ambiente (P=0.0902), ni biotipo (P=0.2575) (cuadro 23).

Cuadro 23. Tiempo dedicado al pastoreo (min, media ± EEM) según los efectos principales condicionante meteorológica, ambiente, biotipo y turno de observación.

Efecto principal	Nivel	TP		EEM
Condicionante meteorológica	OCS	221.9	b	12.62
	OCL	292.0	a	15.72
	NOC	305.5	a	8.31
Ambiente	Sol	260.0		8.46
	Sombra	286.1		11.89
Biotipo	Holando	264.5		10.49
	Jersey	281.6		10.18
Turno	8:00 a 11:00	124.8	a	2.94
	11:00 a 14:00	29.6	b	2.56
	18:00 a 21:00	127.1	a	4.27

Letras diferentes dentro de un mismo efecto principal indican diferencias significativas (P<0.05).

Las interacciones condicionante meteorológica × ambiente (P=0.2159), ambiente × biotipo (P=0.4825), condicionante meteorológica × ambiente × biotipo (P=0.1535) (cuadro 24) y ambiente × biotipo × turno (P=0.0611), no fueron significativas. Para el tiempo de pastoreo las interacciones condicionante meteorológica × turno de observación (P<0.0001), ambiente × turno de observación (P<0.0001), biotipo × turno de observación (P=0.0004) fueron significativas (cuadro 25).

Cuadro 24. Tiempo dedicado al pastoreo (min, media ± EEM) de acuerdo a la interacción condicionante meteorológica × ambiente × biotipo.

	Sol		Sombra	
	Holando	Jersey	Holando	Jersey
OCS	204 ± 22.6 b	251 ± 23.8 b	186 ± 26.7 b	250 ± 22.8 b
OCL	269 ± 23.1 ab	266 ± 20.4 ab	273 ± 36.2 ab	357 ± 36.8 a
NOC	298 ± 14.9 ab	274 ± 14.9 ab	358 ± 17.7 a	290 ± 16.9 ab

Medias seguidas de letras distintas indican diferencias significativas (P<0.05).

Cuadro 25. Tiempo dedicado al pastoreo (min, media ± EEM) de acuerdo a las interacciones turno de observación × condicionante meteorológica, turno de observación × ambiente y turno de observación × biotipo.

	Condicionante meteorológica			Ambiente		Biotipo	
	OCS	OCL	NOC	Sol	Sombra	Holando	Jersey
8:00 a 11:00	104 b ± 6.1	137 a ± 4.7	129 a ± 4.7	125 ± 4.0	124 ± 4.1	133 a ± 3.8	114 b ± 4.1
11:00 a 14:00	25 b ± 3.7	18 b ± 4.1	55 a ± 4.3	41 a ± 3.8	20 b ± 3.2	24 ± 3.2	37 ± 3.6
18:00 a 21:00	108 b ± 8.8	148 a ± 6.3	119 b ± 4.3	94 b ± 5.2	126 a ± 4.5	120 ± 5.0	134 ± 5.9

Medias seguidas de letras distintas indican diferencias significativas en la fila (dentro del mismo efecto principal) (P<0.05).

No resultó significativa la interacción condicionante meteorológica × ambiente × biotipo × turno (P=0.0788) (cuadro 26).

Cuadro 26. Tiempo dedicado al pastoreo (min, media) de acuerdo a la interacción condicionante meteorológica × turno de observación × ambiente × biotipo.

Condicionante meteorológica	Turno	Sol				Sombra			
		Holando		Jersey		Holando		Jersey	
OCS	8:00 a 11:00	119	a	119	a	92	a	92	a
	11:00 a 14:00	30	b	28	b	11	b	40	ab
	18:00 a 21:00	66	ab	116	a	125	a	123	a
OCL	8:00 a 11:00	149	ab	133	ab	151	ab	109	ab
	11:00 a 14:00	24	cd	37	cd	6	d	18	d
	18:00 a 21:00	103	b	100	bc	156	ab	176	a
NOC	8:00 a 11:00	120	abc	108	bc	156	a	123	abc
	11:00 a 14:00	81	cd	76	cd	36	d	36	d
	18:00 a 21:00	97	bc	90	bc	148	ab	133	ab

Medias seguidas de letras distintas indican diferencias significativas dentro de la condicionante meteorológica ($P < 0.05$).

3.3.2. Acceso a sombra artificial

El tiempo durante el cual los animales accedieron a la sombra artificial en el turno de 8:00 a 11:00 resultó significativamente afectado por la condicionante meteorológica ($P=0.0097$) y por el biotipo ($P=0.0067$); en el turno de 11:00 a 14:00 resultó significativamente afectado por la condicionante meteorológica ($P=0.0015$), pero no por el biotipo ($P=0.0930$) y en el de 18:00 a 21:00 no fueron significativos ni la condicionante meteorológica ($P=0.9899$), ni el biotipo ($P=0.9425$) (cuadro 27).

Cuadro 27. Tiempo de acceso a la sombra artificial (min, media) de acuerdo a las interacciones turno de observación × condicionante meteorológica y turno de observación × biotipo.

Turno	Condicionantes meteorológicas			Biotipo	
	OCS	OCL	NOC	Holando	Jersey
8:00 a 11:00	54 a	36 a	9 b	17 a	44 b
11:00 a 14:00	153 a	167 a	117 b	159	139
18:00 a 21:00	33	0	0	0	0

Medias seguidas de letras distintas indican diferencias significativas en la fila dentro de cada efecto principal ($P < 0.05$).

3.4. Producción y composición de la leche

3.4.1. Producción de leche

Se analizó la producción de leche corregida por sólidos y peso metabólico (LCS kg/kg^{0.75}) con dos covariables, cantidad de días de paridas y producción de leche inicial, que resultaron significativas ($P < 0.0001$), por lo que permanecieron en el modelo.

La producción de leche fue significativamente afectada por la condicionante meteorológica y el biotipo (ambas $P < 0.0001$); pero no por el ambiente ($P = 0.4750$) (cuadro 28).

Cuadro 28. Producción de leche corregida por sólidos y peso metabólico (LCS kg/kg^{0.75}, media \pm EEM) según los efectos principales condicionante meteorológica, ambiente y biotipo.

Efecto principal	Nivel	LCS		EEM
Condicionante meteorológica	OCS	0.147	b	0.0028
	OCL	0.181	a	0.0020
	NOC	0.178	a	0.0021
Ambiente	Sol	0.169		0.0020
	Sombra	0.168		0.0020
Biotipo	Holando	0.160	b	0.0020
	Jersey	0.177	a	0.0020

Letras diferentes dentro de un mismo efecto principal indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

Las interacciones condicionante meteorológica \times ambiente ($P = 0.8906$) y condicionante meteorológica \times biotipo ($P = 0.4670$) no fueron significativas, pero si resultó significativa la interacción ambiente \times biotipo ($P = 0.0348$) (cuadros 29 y 30).

Cuadro 29. Producción de LCS (kg/kg^{0.75}, media ± EEM) de acuerdo a las interacciones condicionante meteorológica × ambiente y condicionante meteorológica × biotipo.

	Sol	Sombra	P	Holando	Jersey	P
OCS	0.147 ± 0.0038	0.146 ± 0.0040	0.9881	0.136 ± 0.0038 b	0.157 ± 0.0040 a	0.0001
OCL	0.183 ± 0.0027	0.180 ± 0.0028	0.5218	0.172 ± 0.0027 b	0.190 ± 0.0028 a	<0.0001
NOC	0.179 ± 0.0030	0.176 ± 0.0031	0.4278	0.171 ± 0.0030 b	0.184 ± 0.0030 a	0.0026

Medias seguidas de letras distintas indican diferencias significativas en la fila dentro de cada efecto principal (P<0.05).

Cuadro 30. Producción de LCS (kg/kg^{0.75}, media ± EEM) de acuerdo a la interacción ambiente × biotipo.

	Sol	Sombra
Holando	0.157 ± 0.0028 c	0.162 ± 0.0028 c
Jersey	0.182 ± 0.0027 a	0.173 ± 0.0030 b

Medias seguidas de letras distintas indican diferencias significativas (P<0.05)

No resultó significativa la interacción de la condicionante meteorológica × ambiente × biotipo (P=0.3485).

Se encontraron diferencias significativas en la producción de leche en todas las condicionantes meteorológicas OCS, OCL y NOC (P=0.0017; P<0.0001 y P=0.0004 respectivamente) (cuadro 31).

Cuadro 31. Producción de LCS (kg/kg^{0.75}, media ± EEM) de acuerdo a la interacción condicionante meteorológica × ambiente × biotipo.

	Sol		Sombra	
	Holando	Jersey	Holando	Jersey
OCS	0.135 ± 0.0054 b	0.158 ± 0.0054 a	0.137 ± 0.0055 b	0.156 ± 0.0060 a
OCL	0.170 ± 0.0039 b	0.195 ± 0.0040 a	0.174 ± 0.0039 b	0.186 ± 0.0042 a
NOC	0.167 ± 0.0043 b	0.192 ± 0.0042 a	0.176 ± 0.0042 b	0.176 ± 0.0042 b

Medias seguidas de letras distintas indican diferencias significativas en la fila (P<0.05)

3.4.2. Producción de grasa

Se analizó la cantidad de grasa en leche corregida por peso metabólico (g grasa/kg PV^{0.75}) con dos covariables, cantidad de días de paridas y producción inicial de grasa, que resultaron significativas (P<0.0001), por lo que permanecieron en el modelo.

La producción de grasa fue significativamente afectada por condicionante meteorológica (P<0.0001) y biotipo (P=0.0018) pero no por ambiente (P=0.1157) (cuadro 32).

Cuadro 32. Producción de grasa (g/kg^{0.75}, media ± EEM) según los efectos principales condicionante meteorológica, ambiente y biotipo.

Efecto principal	Nivel	GRASA		EEM
Condicionante meteorológica	OCS	5.8	b	0.15
	OCL	7.0	a	0.10
	NOC	7.0	a	0.10
Ambiente	Sol	6.5		0.10
	Sombra	6.7		0.10
Biotipo	Holando	6.3	b	0.10
	Jersey	6.9	a	0.10

Letras diferentes dentro de un mismo efecto principal indican diferencias significativas (P<0.05).

Las interacciones condicionante meteorológica × ambiente (P=0.8290) y condicionante meteorológica × biotipo (P=0.9943) no fueron significativas y tampoco resultó significativa la interacción ambiente × biotipo (P=0.2337) (cuadros 33 y 34).

Cuadro 33. Producción de grasa (g/kg^{0.75}, media ± EEM) de acuerdo a las interacciones condicionante meteorológica × ambiente y condicionante meteorológica × biotipo.

	Sol	Sombra	P	Holando	Jersey	P
OCS	5.58 ± 0.203	5.95 ± 0.217	0.2112	5.48 ± 0.210	6.05 ± 0.212	0.0576
OCL	6.91 ± 0.135	7.07 ± 0.143	0.4166	6.71 ± 0.139 b	7.26 ± 0.142 a	0.0063
NOC	6.93 ± 0.144	7.13 ± 0.152	0.3639	6.74 ± 0.145 b	7.32 ± 0.152 a	0.0063

Medias seguidas de letras distintas indican diferencias significativas en la fila dentro de cada efecto principal (P<0.05)

Cuadro 34. Producción de grasa ($\text{g/kg}^{0.75}$, media \pm EEM) de acuerdo a la interacción biotipo \times ambiente.

	Sol	Sombra
Holando	6.28 \pm 0.137	6.34 \pm 0.145
Jersey	6.67 \pm 0.138	7.09 \pm 0.150

No resultó significativa la interacción de condicionante meteorológica \times ambiente \times biotipo ($P=0.4348$).

Se encontraron diferencias significativas en la producción de grasa en las condicionantes meteorológicas OCL y NOC ($P=0.0263$ y $P=0.0377$ respectivamente), no así en OCS ($P=0.1107$) (cuadro 35).

Cuadro 35. Producción de grasa ($\text{g/kg}^{0.75}$, media \pm EEM) de acuerdo a la interacción condicionante meteorológica \times ambiente \times biotipo.

	Sol		Sombra	
	Holando	Jersey	Holando	Jersey
OCS	5.46 \pm 0.292 b	5.70 \pm 0.284 ab	5.50 \pm 0.300 b	6.41 \pm 0.315 a
OCL	6.76 \pm 0.193 b	7.06 \pm 0.191 ab	6.67 \pm 0.198 b	7.47 \pm 0.210 a
NOC	6.61 \pm 0.202 b	7.26 \pm 0.204 a	6.86 \pm 0.204 ab	7.39 \pm 0.225 a

Medias seguidas de letras distintas indican diferencias significativas en la fila ($P<0.05$).

3.4.3. Producción de proteína

Se analizó la cantidad de proteína en leche corregida por peso metabólico ($\text{g proteína/kg PV}^{0.75}$) con dos covariables, cantidad de días de paridas y producción inicial de proteína que resultaron significativas ($P=0.0016$ y $P=0.0047$, respectivamente), por lo que permanecieron en el modelo.

La producción de proteína fue significativamente afectada por condicionante meteorológica ($P<0.0001$), biotipo ($P=0.0245$ y ambiente ($P=0.0104$) (cuadro 36).

Cuadro 36. Producción de proteína (g/kg^{0.75}, media ± EEM) según los efectos principales condicionante meteorológica, ambiente y biotipo.

Efecto principal	Nivel	Proteína		EEM
Condicionante meteorológica	OCS	4.42	b	0.126
	OCL	5.48	a	0.088
	NOC	5.31	a	0.095
Ambiente	Sol	5.26	a	0.088
	Sombra	4.88	b	0.094
Biotipo	Holando	4.91	b	0.089
	Jersey	5.23	a	0.092

Letras diferentes dentro de un mismo efecto principal indican diferencias significativas (P<0.05).

Las interacciones condicionante meteorológica × ambiente (P=0.9029) y condicionante meteorológica × biotipo no fueron significativas (P=0.6034), y tampoco resultó significativa la interacción ambiente × biotipo (P=0.8378) (cuadro 37 y 38).

Cuadro 37. Producción de proteína (g/kg^{0.75}, media ± EEM) de acuerdo a las interacciones condicionante meteorológica × ambiente y condicionante meteorológica × biotipo.

	Sol	Sombra	P	Holando	Jersey	P
OCS	4.64 ± 0.168	4.20 ± 0.179	0.0747	4.32 ± 0.170	4.52 ± 0.177	0.4199
OCL	5.64 ± 0.121	5.32 ± 0.128	0.0681	5.25 ± 0.121 b	5.71 ± 0.127 a	0.0088
NOC	5.51 ± 0.131 a	5.11 ± 0.138 b	0.0383	5.16 ± 0.130	5.46 ± 0.138	0.1155

Medias seguidas de letras indican diferencias significativas en la fila dentro de cada efecto principal (P<0.05).

Cuadro 38. Producción de proteína (g/kg^{0.75}, media ± EEM) de acuerdo a la interacción biotipo × ambiente.

	Sol	Sombra
Holando	5.12 ± 0.126	4.70 ± 0.126
Jersey	5.41 ± 0.126	5.05 ± 0.138

No resultó significativa la interacción de condicionante meteorológica × ambiente × biotipo (P=0.1117).

Se encontraron diferencias significativas en la producción de proteína en OCL y NOC (P=0.0119 y P=0.0315 respectivamente) pero no en OCS, (P=0.0750) (cuadro 39).

Cuadro 39. Producción de proteína (g/kg^{0.75}, media ± EEM) de acuerdo a la interacción condicionante meteorológica × ambiente × biotipo.

	Sol		Sombra	
	Holando	Jersey	Holando	Jersey
OCS	4.75 ± 0.239	4.53 ± 0.236	3.90 ± 0.242	4.51 ± 0.264
OCL	5.38 ± 0.172 b	5.90 ± 0.169 a	5.12 ± 0.172 b	5.52 ± 0.189 ab
NOC	5.24 ± 0.185 b	5.78 ± 0.184 a	5.09 ± 0.184 b	5.14 ± 0.206 b

Medias seguidas de letras distintas indican diferencias significativas en la fila (P<0.05).

3.4.6. Recuento de células somáticas

En el recuento de células somáticas no fueron significativas ni condicionante meteorológica (P=0.0618), ni biotipo (P=0.7690) ni ambiente (P=0.0605) (cuadro 40), aunque condicionante meteorológica y ambiente mostraron una tendencia a ser diferente (P<0.1).

Cuadro 40. Recuento de células somáticas (1000 cel/ml, media ± EEM) según los efectos principales condicionante meteorológica, ambiente y biotipo.

Efecto principal	Nivel	CS		EEM
Condicionante meteorológica	OCS	53.38	a	6.501
	OCL	43.05	b	5.246
	NOC	51.74	a	5.754
Ambiente	Sol	76.31	a	20.700
	Sombra	31.68	b	6.184
Biotipo	Holando	51.68		10.063
	Jersey	46.78		12.706

Letras diferentes dentro de un mismo efecto principal indican diferencias significativas (P<0.05).

Las interacciones condicionante meteorológica × ambiente (P=0.3910) y condicionante meteorológica × biotipo (P=0.7437) no fueron significativas y tampoco resultó significativa la interacción ambiente × biotipo (P=0.3327) (cuadro 41 y 42).

Cuadro 41. Recuento de células somáticas (1000 cel/ml, media \pm EEM) de acuerdo a las interacciones condicionante meteorológica \times ambiente y condicionante meteorológica \times biotipo.

	Sol	Sombra	P	Holando	Jersey	P
OCS	73.9 \pm 17.46 a	38.6 \pm 6.70 b	0.0256	59.5 \pm 9.27	47.9 \pm 11.92	0.4592
OCL	65.2 \pm 17.42 a	28.4 \pm 3.64 b	0.0046	45.5 \pm 7.25	40.7 \pm 10.15	0.7041
NOC	92.2 \pm 33.80 a	29.0 \pm 9.07 b	0.0145	51.0 \pm 16.72	52.5 \pm 18.51	0.9526

Medias seguidas de letras distintas indican diferencias significativas en la fila dentro de cada efecto principal (P<0.05).

Cuadro 42. Recuento de células somáticas (1000 cel/ml, media \pm EEM) de acuerdo a la interacción biotipo \times ambiente.

	Sol	Sombra
Holando	66.77 \pm 15.465 a	40.00 \pm 12.664 ab
Jersey	87.22 \pm 43.916 a	25.10 \pm 5.853 b

Medias seguidas de letras distintas indican diferencias significativas (P<0.05).

Resultó significativa la interacción de condicionante meteorológica \times ambiente \times biotipo (P=0.0181).

No se encontraron diferencias significativas en el recuento de células somáticas en ninguna de las condicionantes meteorológicas OCS y OCL (P=0.7888, P=0.1410, respectivamente) pero si se encontraron en NOC (P=0.0287) (cuadro 43).

Cuadro 43. Recuento de células somáticas (1000 cel/ml, media \pm EEM) de acuerdo a las interacciones condicionante meteorológica \times ambiente y condicionante meteorológica \times biotipo.

	Sol		Sombra	
	Holando	Jersey	Holando	Jersey
OCS	75.63 \pm 13.310 a	72.17 \pm 32.341 abc	46.73 \pm 12.127 abc	31.83 \pm 7.444 bc
OCL	47.24 \pm 10.523 bc	90.10 \pm 44.884 ab	43.85 \pm 10.076 abc	18.40 \pm 2.142 d
NOC	83.32 \pm 35.971 a	102.03 \pm 62.863 abc	31.24 \pm 15.896 abcd	27.00 \pm 10.285 cd

Medias seguidas de letras distintas indican diferencias significativas en la fila (P<0.05).

3.5. Peso vivo

La variación porcentual del peso vivo (VP%) no fue significativamente afectada por ambiente (P=0.9341), ni por biotipo (P=0.6792), siendo significativo solo el efecto día (P<0.0001) (cuadro 44).

Cuadro 44. Variación de peso (% , media \pm EEM) según los efectos principales ambiente, biotipo y día de medición.

Efecto principal	Nivel	VP		EEM
Ambiente	Sol	-0.7		0.27
	Sombra	-0.7		0.28
Biotipo	Holando	-0.6		0.27
	Jersey	-0.8		0.27
Día	8	-1.4	d	0.71
	15	-1.8	cd	0.70
	22	-6.5	e	0.67
	29	3.1	a	0.67
	36	-2.1	d	0.67
	43	-1.4	d	0.67
	50	0.7	bc	0.67
	57	2.3	ab	0.67

Letras diferentes dentro de un mismo efecto principal indican diferencias significativas (P<0.05).

Las interacciones ambiente \times biotipo (P=0.699) (cuadro 45), ambiente \times día (P=0.4774) y biotipo \times día (P=0.3854) no fueron significativas (cuadro 46).

Cuadro 45. Variación de peso (% , media \pm EEM) de acuerdo a la interacción ambiente \times biotipo.

	Sol	Sombra
Holando	-0.7 \pm 0.38	-0.5 \pm 0.38
Jersey	-0.7 \pm 0.37	-0.9 \pm 0.40

Cuadro 46. Variación de peso (% , media \pm EEM) de acuerdo a las interacciones día \times ambiente y día \times biotipo.

	Sol	Sombra	P	Holando	Jersey	P
8	-1.2 \pm 1.02	-1.1 \pm 1.02	0.7263	-1.0 \pm 1.02	-1.7 \pm 1.00	0.6488
15	-0.04 \pm 0.96	-0.03 \pm 1.02	0.8386	-0.9 \pm 1.00	0.5 \pm 0.97	0.2833
22	-7.9 \pm 0.91 a	-5.1 \pm 0.97 b	0.0428	-6.1 \pm 0.91	-6.9 \pm 0.97	0.5457
29	4.0 \pm 0.91	2.3 \pm 0.97	0.1929	3.9 \pm 0.91	2.4 \pm 0.97	0.2679
36	-1.9 \pm 0.91	-2.3 \pm 0.97	0.7312	-2.9 \pm 0.91	-1.3 \pm 0.97	0.2406
43	-1.1 \pm 0.91	-1.7 \pm 0.97	0.6505	-2.0 \pm 0.91	-0.85 \pm 0.97	0.3867
50	1.1 \pm 0.91	0.2 \pm 0.97	0.4821	1.6 \pm 0.91	-0.2 \pm 0.97	0.1774
57	2.0 \pm 0.91	2.6 \pm 0.97	0.6866	2.7 \pm 0.91	1.9 \pm 0.97	0.5593

Medias seguidas de letras distintas indican diferencias significativas en la fila dentro de cada efecto principal (P<0.05).

La variación de peso vivo resultó significativamente diferente entre ambientes solo para el día experimental 22 (P=0.0428) (cuadro 46) que corresponde al quinto día de la condicionante meteorológica OCS. Ese día se registra la mayor pérdida de peso del período experimental, con una disminución significativamente superior en los animales expuestos al sol respecto a los que accedieron a la sombra artificial. El siguiente registro (día 29) muestra la mayor ganancia de peso del período experimental (P=0.1929) y es antecedido por días de la condicionante meteorológica NOC (cuadro 47).

La interacción ambiente \times biotipo \times día no resultó significativa (P=0.1032) (cuadro 47).

Cuadro 47. Variación de peso (% , media \pm EEM) de acuerdo a la interacción día \times ambiente \times biotipo.

Día	Sol		Sombra		P
	Holando	Jersey	Holando	Jersey	
8	-2.1 \pm 1.45	-1.2 \pm 1.45	0.9 \pm 1.45	-2.2 \pm 1.45	0.6763
15	0.9 \pm 1.43	-0.2 \pm 1.29	-2.0 \pm 1.45	1.3 \pm 1.45	0.4571
22	-9.4 \pm 1.29 a	-6.4 \pm 1.29 ab	-2.8 \pm 1.29 b	-7.4 \pm 1.45 b	0.0054
29	5.8 \pm 1.30	2.2 \pm 1.30	2.0 \pm 1.30	2.6 \pm 1.45	0.1353
36	-2.0 \pm 1.30	-1.8 \pm 1.30	-3.8 \pm 1.30	-0.9 \pm 1.45	0.4674
43	-1.9 \pm 1.30	-0.3 \pm 1.30	-2.1 \pm 1.30	-1.4 \pm 1.45	0.7626
50	1.8 \pm 1.30	0.5 \pm 1.30	1.4 \pm 1.30	-1.0 \pm 1.45	0.5126
57	2.4 \pm 1.30	1.8 \pm 1.30	3.1 \pm 1.30	2.1 \pm 1.45	0.9060

Medias seguidas de letras distintas indican diferencias significativas en la fila ($P < 0.05$).

4. Discusión

4.1. Condicionantes meteorológicas

Las condicionantes meteorológicas denominadas para este trabajo ola de calor leve (OCL) y ola de calor severa (OCS) (Valtorta *et al.*, 2002; Rodríguez *et al.*, 2003; Nienaber *et al.*, 2003; Valtorta *et al.*, 2004) representaron el 57% del tiempo experimental y confirmaron por las características de intensidad y duración, la rigurosidad del ambiente meteorológico del verano en la zona de estudio (Saravia y Cruz, 2006).

La OCS de diez días de duración cumplió con todas las características de olas de calor citadas anteriormente: ITH promedio diario mayor a 72 durante toda su duración, más de catorce horas al día con ITH superior a 72, (incluidos cinco días en los cuales el ITH fue mayor a 72 durante las 24 horas). OCS se caracterizó por elevadas temperaturas máximas (entre 31.1 y 41.1° C), además de que se presentaron temperaturas mínimas iguales o mayores a 23° C seis de los diez días, indicando las pocas posibilidades de los animales de recuperar la normotermia (Nienaber *et al.*, 2003). Lo anterior determinó la ocurrencia de niveles de ITH considerados de emergencia (ITH>82) (Livestock Weather Safety Index, LCI, 1970, citado por du Preez *et al.*, 1990b) durante cinco a nueve horas al día totalizando 53 horas con ITH por encima del umbral de peligro 78 (cuadro 5 y figura 3) con lo que esto implica desde el punto de vista del ambiente para las vacas lecheras y su influencia en el desempeño productivo (como será discutido más adelante).

Las tres OCL que totalizaron veintitrés días, presentaron catorce horas o más al día con valores de ITH mayores a 72; ITH promedio diario mayor o igual a 72 todos los días (excepto el 31 de enero, aunque no se interrumpió la ola de calor) y temperaturas máximas mayores a 29° C (excepto el día 4 de febrero). Sin embargo, el descenso de la temperatura durante la noche resultó en temperaturas mínimas menores a 23° C, e ITH menores a 72 de 6.4 a 10.4 horas, lo cual permitió condiciones de recuperación nocturna de la normotermia en las vacas (Nienaber *et al.*, 2003). No obstante, los días de OCL

se caracterizaron por presentar condiciones meteorológicas en la fase diurna muy estresantes para los animales: elevadas temperaturas y contenidos de humedad del aire que determinaron niveles de ITH considerados de peligro (ITH entre 78 y 82) durante cuatro a ocho horas al día (figura 3).

Los días NOC que totalizaron el 25 días (el 43% del período experimental) se caracterizaron por tener una temperatura máxima promedio de 30.9° C, temperatura mínima promedio de 16.7° C e ITH promedio diario de 69.8 (cuadro 3). Presentaron en promedio 10 horas al día con ITH mayores o iguales a 72, pero con una variación de 3 a 21 horas, según el día. En promedio cinco horas al día, el ITH se encontró entre 74 y 78, y solo en cuatro días se registraron valores horarios (de cuatro a ocho horas) superiores a 78, lo que estaría indicando que aunque existieron condiciones de altas temperaturas diurnas se dieron por pocas horas al día y solo en algunos de los días, contrastando con las olas de calor.

4.1.1. Respuestas fisiológicas y productivas de las vacas lecheras a la ola de calor severa

Las respuestas fisiológicas (FR, TR) de las vacas variaron en función de las condicionantes meteorológicas. En OCS la FR_{15:00} presentó valores promedio (70.2 r.p.m.) que indican que las vacas se encontraban en situación de estrés calórico medio a alto (Thomas y Pearson, 1986; Gaughan *et al.*, 1999). Esto provocó que la TR_{15:00} también alcanzara valores mayores en OCS (39.8° C), indicando las dificultades para mantener la temperatura corporal en condicionantes más extremas. Sin embargo, es de destacar que en todas las condicionantes meteorológicas (incluida NOC), tanto la FR_{15:00} como la TR_{15:00} se encontraron por encima del límite de normotermia (Thomas y Pearson, 1986; Hansen *et al.*, 1992), evidenciando el efecto de las altas temperaturas diurnas durante todo el ensayo, en la acumulación de calor de las vacas. Valores similares reportan Muller *et al.* (1994b) al analizar las medidas fisiológicas de vacas lecheras, en días con temperaturas máximas mayores a 25° C, considerada la temperatura crítica máxima para vacas Holando en lactación según Berman *et al.* (1985).

Por otro lado, los valores de $FR_{6:00}$ y $TR_{6:00}$ de las vacas registradas en OCS también son mayores a las registradas en OCL y NOC. La $FR_{6:00}$ presentó un valor promedio de 34.8 r.p.m., en el límite de los valores de FR para condiciones de termoneutralidad en bovinos (entre 26 y 35 r.p.m.) (Thomas y Pearson, 1986; Gaughan *et al.*, 1999). En el mismo sentido, el valor promedio $TR_{6:00}$ en OCS (38.8° C), cercano al límite superior de la normotermia (39.0° C) (Seath y Miller, 1946; Hansen *et al.*, 1992), estaría indicando la menor posibilidad de recuperación de las vacas durante la noche por las escasas horas (o ninguna en cinco de los diez días de duración) con ITH menores a 72.

Como mecanismo de defensa se observó también una adaptación del tiempo dedicado al pastoreo, durante OCS. Las vacas dedicaron significativamente menos tiempo al pastoreo durante el período de observación. Esta disminución se aprecia desde temprano, en el turno de 8:00 a 11:00 cuando la temperatura del aire era ya de 26° C al inicio del turno, hasta llegar a 36.6° C a las 11:00. Al retorno del ordeño de la tarde la temperatura del aire aún permanecía alta (32.2° C, en promedio), lo que podría indicar por qué el tiempo dedicado al pastoreo también fue menor en este turno (18:00 a 21:00). Si analizamos los ITH en esos horarios, el promedio para los turnos de 8:00 a 11:00, de 11:00 a 14:00 y el de 18:00 a 21:00 fueron 76, 81 y 79 respectivamente. En condiciones de altas temperaturas al mediodía los animales permanecen protegidos a la sombra, descansando, ociosos o rumiando. En nuestro trabajo, el tiempo observado de los animales debajo de la sombra fue significativamente mayor en OCS y OCL con respecto a NOC para los turnos de 8:00 a 11:00 y de 11:00 a 14:00, accediendo a la misma un 30% del tiempo de observación en el primer turno en OCS y solo un 5% en NOC, mientras que en el segundo turno accedieron un 85% del tiempo en OCS y un 65% en NOC. En condiciones de pastoreo en verano y en climas tropicales, bajo situaciones de estrés calórico la actividad de pastoreo es más frecuente durante la noche, prefiriendo los animales pastorear durante las mañanas más frescas y en el atardecer (Albright, 1993). En nuestro trabajo no se realizaron observaciones durante la noche pero por los altos ITH nocturnos en OCS (de 1 a 9 horas con ITH entre 74 y 78 y hasta 1 hora con ITH mayor a 82), es probable que la capacidad de recuperar tiempo de pastoreo en esos horarios fuera escasa.

La severidad de la condicionante meteorológica durante OCS afectó también la respuesta productiva de las vacas. La producción de leche disminuyó 18.5% en OCS, evidenciando una incapacidad de los animales para disminuir la carga calórica en esos días. Disminuciones por el efecto de olas de calor ya fueron reportados por Espe, (1959, citado por Bianca, 1965) en vacas Holando que redujeron un 31% su producción durante una ola de calor y por Valtorta *et al.* (1997a) con una reducción de un 12% en vacas Holando después de estar sometidas a una ola de calor (temperaturas máximas de hasta 37.9° C y mínimas 20.4° C).

En condiciones controladas Johnson y Vanjonack, (1976) mostraron que a 32° C, e incremento de la humedad de 20 a 45%, reducía la respiración y la evaporación desde la superficie corporal, con reducción en el consumo de alimento y en la producción de leche. En nuestro trabajo durante OCS, la temperatura del aire fue igual o superior a 32° C un tercio del tiempo total de la condicionante meteorológica, asociado a niveles de humedad promedio de 32%, lo que resultó en un ITH promedio durante esas horas de 82.2 (límite de emergencia), lo cual podría explicar la disminución del tiempo dedicado al pastoreo (y posiblemente al consumo de alimento, aunque esta variable no fue medida).

La producción de sólidos en la leche también fue afectada por la severidad de la condicionante meteorológica OCS. Se observó una disminución de la producción de sólidos en la leche, disminuyendo la producción de grasa y proteína con respecto a las observadas en OCL y NOC (-17.7% y -18.2% respectivamente), asociado a la disminución en la producción de leche. Estos efectos resultan de la alteración (reducción) durante las altas temperaturas en la síntesis, absorción y movilización de los metabolitos (glucosa, ácidos grasos volátiles, lípidos, aminoácidos) a partir del tracto digestivo, hígado y tejido adiposo y su utilización por la glándula mamaria (Arcaro Junior *et al.*, 2003). Regan y Richardson (1938), observaron una disminución del contenido de grasa y un efecto marcado sobre los sólidos no grasos con disminución del contenido de caseína, con temperaturas del aire de 35° C. Resultados similares reportan Valtorta *et al.* (1997a) para la producción de proteína (-18.7%) durante

una ola de calor severa, con altas temperaturas nocturnas (mínimas promedio de 20.4° C) durante el evento, lo cual sugiere que la falta de recuperación normotérmica tiene un marcado efecto sobre este componente de la leche aún cuando se da por períodos cortos.

El recuento de células somáticas fue mayor en OCS (aunque no significativamente respecto a NOC). Esta tendencia es similar a lo reportado por Wegner *et al.* (1974) que sugieren una relación positiva entre el estrés provocado por las altas temperaturas y un alto recuento de células somáticas y Collier *et al.* (1982) que indican que el recuento de células somáticas en ganado lechero es mayor durante los meses de verano. El mayor recuento en condiciones de alta temperatura estará explicado porque en las situaciones de estrés (en este caso calórico) disminuye la resistencia a las infecciones, inhibiendo frecuentemente la migración de leucocitos hacia el sitio de infección y el desarrollo de la respuesta inflamatoria en respuesta al patógeno (Merlot, 2004). La situación de estrés calórico puede aumentar la susceptibilidad a la infección intramamaria por disminuir la resistencia del huésped y/o incrementar la exposición del mismo a los patógenos que se ven favorecidos en su crecimiento y propagación por el ambiente (cálido y húmedo) que los rodea (Shearer y Beede, 1990).

En nuestro trabajo se observó una pérdida de peso importante (-6.5%) de las vacas durante OCS (día experimental 22), que fue atenuada en parte por la recuperación que se registró durante una condicionante NOC a continuación (día experimental 29), con una ganancia de 3.1% en el peso vivo. Esta variación de peso puede estar explicada tanto por un mecanismo (asociado a un menor tiempo dedicado al pastoreo, -180 min en OCS, cuadro 23) o una movilización de peso como resultado de una "reacción de alarma". La "reacción de alarma" es una respuesta hormonal a cualquier estrés agudo e involucra un rápido aumento en la secreción de hormonas de la corteza y médula de la glándula adrenal. En los bovinos la principal acción metabólica de las catecolaminas es la de movilizar los sustratos ricos en energía. Esto implica principalmente la lipólisis del tejido adiposo (blanco), pero las catecolaminas también estimulan la glucogenólisis e incrementa el catabolismo y la

gluconeogénesis a partir de los aminoácidos musculares (Jonhson y Vanjonack, 1976; Webster, 1982). La consecuencia global de la reacción de alarma sería la pérdida, en forma de calor de la energía almacenada (Yousef y Johnson, 1967 citados por Webster, 1982) y de la proteína en forma de urea y de creatinina (Ashmore y Morgan, 1967, citados por Webster, 1982).

4.1.2. Respuestas fisiológicas y productivas de las vacas lecheras a las olas de calor leve

Las OCL presentaron también condiciones de alto ITH durante el período diurno pero con ITH promedio de 70.4 durante la noche (con valores que oscilaron entre 62 y 80.5). Eso permitió que a pesar de que las vacas presentaron altas $TR_{15:00}$ y $FR_{15:00}$ que se corresponden con los valores de animales sometidos a una situación de estrés calórico medio a alto (Thomas y Pearson, 1986; Gaughan *et al.*, 1999), pudieran disipar la carga calórica acumulada durante el día presentando $TR_{6:00}$ similares a NOC. $FR_{6:00}$ presentó mayores frecuencias en OCL que en NOC, pero los valores promedios obtenidos (entre 25 y 30 r.p.m.) son indicadores de condiciones de normotermia para bovinos.

En OCL, también se observó una modificación del comportamiento en pastoreo como mecanismo de defensa para evitar el período de mayor calor, pero sin afectar el tiempo total del pastoreo: las vacas dedicaron más tiempo al pastoreo durante el turno de 19:00 a 21:00, cuando la temperatura del aire promedio fue de 26.3° C e ITH promedio de 73.4.

Finalmente en OCL las vacas produjeron la misma cantidad de leche que en NOC, como así también la producción de sólidos (grasa y proteína) no fue afectada. Ello concuerda con Rees (1964 citado por Bianca, 1965) que encontraron un efecto similar sobre la producción en vacas lecheras sometidas a elevadas temperaturas diurnas (32 a 38° C) pero mantenidas a temperaturas nocturnas relativamente bajas (menores a 24° C), indicando que la posibilidad de recuperación nocturna de la normotermia le permite al animal afrontar el estrés calórico durante el día, minimizando de esta forma los efectos perjudiciales sobre la productividad. En nuestro trabajo las $TR_{6:00}$ que se

observaron en OCL y NOC fueron significativamente más bajos que en OCS asociado a un mayor número de horas con condiciones para la recuperación nocturna del calor acumulado durante el día (entre una a ocho horas con ITH menores a 72 entre las 21:00 y las 6:00 horas en OCL).

4.2. Acceso a sombra artificial

Las diferencias entre las temperaturas de las esferas de Vernon bajo la sombra artificial y las registradas al sol dependieron de la condicionante meteorológica considerada. Las temperaturas al sol y a la sombra artificial resultaron significativamente diferentes sólo en un 3% de las horas totales durante el periodo diurno (8:00 a 18:00) en OCS, mientras que en OCL resultaron diferentes en un 19% y en NOC un 21% (figura 4). Las horas en que más frecuentemente se presentan diferencias en la temperatura entre la sombra y el sol son las horas de la tarde (entre las 14:00 y las 17:00, Anexo 2), cuando se registra la temperatura máxima. Durante OCS, la diferencia entre las temperaturas medias registradas al sol y a la sombra artificial fueron de solo 1.9° C, mientras durante OCL y NOC estas diferencias fueron de 2.4° C y 2.6° C respectivamente (cuadro 6). En el evento OCS, las temperaturas medias de la esferas de Vernon fueron iguales debajo de la sombra (30.0° C) y al sol (31.9° C), a pesar de que la sombra artificial intercepta el 80% de la radiación solar directa y ha resultado una medida efectiva para disminuir el estrés calórico según lo reportado por varios autores (Román-Ponce *et al.*, 1977; Collier *et al.*, 1981; Buffington *et al.*, 1983; Muller *et al.*, 1994a; Valtorta *et al.*, 1996; Valtorta *et al.*, 1997b).

La temperatura del aire de un sitio resulta de la integración de un componente radiativo (balance de radiación local) y un componente advectivo (advección de una masa de aire más cálida o más fría) (Miller, 1976; Barry y Chorley, 1984). La dirección predominante del viento durante OCS tuvo componente Norte (N-NW) y la velocidad promedio diaria del viento fue mayor que en OCL y NOC (21.8km/h, 13.3km/h y 15.7km/h respectivamente). A su vez, localidades argentinas ubicadas al N y NW de Uruguay, mostraron los mayores valores de

temperatura del mes de enero durante el mismo período registrado en Salto, al igual a lo encontrado por Saravia y Cruz (2006) al estudiar el comportamiento atmosférico que determina la ocurrencia de las olas de calor en Salto. Esto indicaría la importancia del efecto de advección de aire cálido y húmedo proveniente de otras regiones durante el evento OCS, explicando al mismo tiempo por qué el método de sombreado no resultó efectivo para disminuir la temperatura del aire debajo de la misma.

En promedio para las tres condicionantes meteorológicas, los animales con acceso a sombra presentaron menor FR que los que permanecieron al sol, tanto a primera hora de la mañana (6:00), como en la tarde (15:00), lo cual concuerda con lo reportado por varios autores (Harris *et al.*, 1960; Guthrie *et al.*, 1967; Román-Ponce *et al.*, 1977, Muller *et al.*, 1994b). Sin embargo, analizando la respuesta de la FR según la condicionante meteorológica, se observa que durante OCS y OCL, la FR_{6:00} fue similar en vacas con y sin acceso a sombra asociado a que en estas condicionantes meteorológicas la FR permaneció relativamente alta, si se compara con los valores observados en la vacas con acceso a sombra en NOC (24.8 r.p.m.). Ante elevadas temperaturas registradas en las esferas de Vernon (que no fueron significativamente diferentes entre ambientes durante OCS y OCL) las vías de pérdida de calor corporal que requieren un gradiente térmico se vieron comprometidas, por lo que los animales fueron menos eficientes en perder calor por conducción, convección y radiación y debieron incrementar la pérdida de calor por evaporación de las vías respiratorias y posiblemente también por la sudoración (Collier *et al.*, 1981). En particular la FR_{15:00} de las vacas con acceso a sombra, presentó valores considerados de estrés calórico leve (según Thomas y Pearson, 1986) mientras que la FR_{15:00} de las vacas que permanecieron al sol se encontró en la categoría de estrés calórico moderado, (inclusive en NOC) evidenciando un efecto favorable de la sombra para atenuar el estrés calórico durante las horas de más calor. Se atribuye a la radiación solar incidente sobre los animales las diferencias en la carga calórica, que se expresan en mayores frecuencias para intentar disipar ese calor ganado por radiación (Harris *et al.*, 1960). Muller *et al.* (1994b) reportan un efecto similar en la FR de las vacas con y sin acceso a sombra en días con temperatura máxima mayor a 25° C, pero

cuando la temperatura es menor a 25° C no aprecian diferencias significativas. En nuestro trabajo, no se encontró este efecto a pesar que en NOC la temperatura media fue menor a 25° C la temperatura máxima media fue 30.9° C (cuadro 5).

Con respecto a TR_{6:00}, a pesar de que se encontraron diferencias significativas en TR_{6:00} entre vacas con y sin acceso a sombra (38.6 y 38.5° C, sombra y sol respectivamente), ambos valores indican una situación de normotermia. Llama la atención el valor menor de TR_{6:00} hallado en las vacas sin acceso a sombra, pero este resultado es consistente con lo observado por otros autores (Muller *et al.* 1994b). Ello podría estar explicado por una sobrecompensación por los mecanismos reguladores (Johnson y Vanjonack, 1976) que suele darse en una primera etapa (que puede ser de hasta diez días) en animales expuestos a situaciones de estrés calórico agudo para luego aclimatarse.

En nuestro trabajo los valores medios de TR_{15:00} con (39.3° C) y sin acceso a sombra (39.8° C) difieren entre sí, pero son igualmente muy altos desde el punto de vista fisiológico, (aún a la sombra en NOC, 39.1° C) se encontraron por encima del límite de TR de vacas lecheras en normotermia: 39° C (Hansen *et al.*, 1992).

Valtorta *et al.*, (1996) y Valtorta *et al.*, (1997b) encontraron que el incremento entre la mañana y tarde en la temperatura rectal y en la frecuencia respiratoria fueron más altos para los animales sin acceso a sombra artificial con respecto a aquellos que sí tenían acceso. Las altas temperaturas rectales en la tarde indicarían gran acumulación de calor en los animales al sol y los incrementos en la frecuencia respiratoria evidenciarían la necesidad de disipar ese calor almacenado por evaporación en las vías respiratorias altas. En nuestro trabajo, el incremento calórico entre las 6:00 y las 15:00 fue de 1.5°C en vacas sin acceso a sombra, mientras que en las vacas con acceso a sombra fue de 0.7°C.

Con respecto al TP, éste no difirió entre las vacas con y sin acceso a sombra en el tiempo total observado, pero al considerar la distribución a lo largo del

período diurno, en el turno de 11:00 a 14:00, horas los animales con acceso a sombra pastorearon durante 21 minutos menos, lo que fue compensado pastoreando durante 32 minutos más en el turno de 18:00 a 21:00 horas. El análisis según condicionante meteorológica muestra que esta situación se acentúa durante las olas calor: el tiempo de acceso a sombra fue significativamente mayor en las condicionantes meteorológicas OCS y OCL con respecto a NOC en los turnos de 8:00 a 11:00 y de 11:00 a 14:00.

La producción de leche de las vacas que tuvieron acceso a sombra artificial no presentó diferencias significativas con respecto a las que permanecieron al sol en todo el período experimental, respuesta similar a la reportada por Guthrie *et al.*, (1967) y Harris *et al.* (1960) (las temperaturas promedio en este último trabajo son elevadas y no difirieron significativamente entre con y sin acceso a sombra). Román-Ponce *et al.* (1977) encontraron un 10% más de producción de leche en los animales con acceso a sombra. Muller *et al.* (1994a) encontraron que en el promedio de tres veranos de evaluación la producción de leche de las vacas que accedían a la sombra era 5.5% más de en relación a aquellas que permanecían al sol. Las respuestas reportadas por estos autores se encontraron en ambientes con temperaturas máximas de 27.8° C y temperaturas nocturnas de 14° C (ITH mayores a 72 solo durante las horas de radiación solar y temperaturas de las esferas de Vernon significativamente diferentes con máximas a la sombra 30° C y al sol 39.5° C), menos severas que las registradas en nuestro trabajo (máxima de 32.9° C y mínima de 18.9° C y temperaturas máximas de las esferas de Vernon a la sombra de 35° C y al sol 42 °C que no difirieron significativamente). Los beneficios de la sombra para aumentar la producción de leche, serían por efectos indirectos como el incremento en el consumo y la mejora en la actividad del tracto digestivo ya que las altas temperaturas disminuyen la actividad ruminal (Collier *et al.*, 1981), pero claramente en estos trabajos la sombra artificial proveía de un ambiente de menores temperaturas facilitando la disminución de la carga calórica de los animales bajo la sombra. En nuestro trabajo esta situación no se dió, especialmente en OCS, ya que el aire que circulaba debajo de la sombra era muy cálido y húmedo (cuadro 5), resultando muy difícil para los animales disipar la carga calórica adquirida anteriormente en las sesiones de pastoreo.

No hubo efecto significativo del ambiente sobre la producción de grasa corregida por peso metabólico, resultados similares a los reportados por Guthrie *et al.* (1967); Román-Ponce *et al.* (1977) y Muller *et al.* (1994a).

La producción de proteína (corregida por peso metabólico) de las vacas sin acceso a sombra fue mayor, en forma similar a lo encontrado por González, (2004) pero en oposición a lo encontrado por Román-Ponce *et al.*, (1977) (+2.8%); Muller *et al.*, (1994a) (+3.7%) y Collier *et al.*, (1981) (+20%).

Hubo un recuento significativamente menor de células somáticas en los animales con acceso a sombra y este efecto fue consistente en las tres condicionantes meteorológicas. Esto concuerda con los resultados descritos por Muller *et al.*, (1994a) que indican que las vacas sin acceso a sombra presentaron significativamente mayor recuento de células somáticas que aquellas que accedían a la sombra y también Román Ponce *et al.*, (1977) y Collier *et al.*, (1981) que reportan significativamente más animales con mastitis en aquellos sin acceso a sombra. Como ya se mencionó, Wegner *et al.* (1974) sugieren una relación positiva entre el estrés provocado por las altas temperaturas y un alto recuento de células somáticas explicado por una disminución de la resistencia a las infecciones por el estrés calórico.

La variación de peso promedio fue similar entre animales con y sin acceso a sombra. Resultados similares encontraron Román-Ponce *et al.*, (1977). Sin embargo, en el día experimental 22 correspondiente a un período OCS, la pérdida de peso de las vacas con acceso a sombra fue menor que en las vacas sin acceso a sombra (-7.9 vs -5.1% al sol y a la sombra respectivamente). Además en la medición siguiente del día 29 (correspondiente a NOC, figura 3), se observó la mayor ganancia porcentual de peso registrada en el periodo experimental (4.0 vs 2.3% a la sombra y al sol respectivamente). Jonhson y Vanjonack, (1976) y Webster (1982) mencionan un mayor catabolismo como consecuencia de la respuesta al estrés, lo cual implica principalmente la lipólisis del tejido adiposo (blanco) para todos los animales expuestos a estrés calórico.

4.3. Los biotipos

En nuestro trabajo, las vacas Holando y Jersey presentaron una $FR_{6:00}$ y una $TR_{6:00}$ promedio similar, siendo además igual en todas las condicionantes meteorológicas analizadas. La $FR_{15:00}$ promedio también fue similar entre biotipos pero la $TR_{15:00}$ fue significativamente menor en las vacas Jersey (-0.3°C). Este resultado concuerda con lo reportado por Román-Ponce *et al.* (1977) y Legates *et al.* (1991), donde las vacas Holando presentaron significativamente mayor temperatura rectal a misma frecuencia respiratoria que las vacas Jersey. Collier *et al.* (1981) atribuye a algún otro mecanismo que estaría explicando que las vacas de biotipo Jersey presentaran menor TR a similar FR que las vacas de biotipo Holando.

Sin embargo al analizar los valores promedio de $FR_{15:00}$ y $TR_{15:00}$ durante OCS según biotipo se observa una diferencia: las vacas de biotipo Jersey tuvieron mayor $FR_{15:00}$ (+15 rpm) que las vacas Holando y la $TR_{15:00}$ presentó una tendencia ($P=0.0815$) a ser menor (-0.3°C). En particular, las vacas Holando sin acceso a sombra presentaron una $TR_{15:00}$ muy alta (40.2° C en OCS). Ante condiciones severas del ambiente, las vacas Jersey y las vacas Holando parecerían reaccionar de manera diferente. Al aumentar la humedad, las vacas Jersey aumentan su frecuencia respiratoria mientras que las vacas Holando la disminuyen, con un aumento de la temperatura corporal menor (-0.4° C) en comparación a las vacas Holando (Seath y Miller, 1947). Las vacas Jersey parecen ser más eficaces para atenuar la acumulación de calor corporal (Collier *et al.*, 1981), mediante el incremento de la frecuencia respiratoria, mecanismo que está demostrado en su efectividad termorregulatoria (en bovinos), pudiendo retrasar incrementos de la temperatura corporal dentro de ciertos límites de temperatura ambiente (Nienaber *et al.*, 2003).

Con respecto al TP, fue similar entre biotipos, para todas las condicionantes meteorológicas. Sin embargo, no habría que descartar del análisis, que los tiempos de pastoreo similares entre biotipos, están encubriendo en realidad un comportamiento deprimido de las vacas Holando: si se asocia el consumo con el tiempo de pastoreo, estos animales tienen mayores requerimiento (+ 100 kg

PV) y las vacas Holando deberían haber tenido un tiempo de pastoreo mayor (Caird y Homes, 1986; Peyraud *et al.*, 1996). En este sentido, el tiempo de pastoreo según condicionante meteorológica, muestra una variación importante en el tiempo de pastoreo de las vacas Holando con acceso a sombra: 186 minutos en OCS, 273 minutos en OCL y 359 minutos en NOC. En este sentido trabajos argentinos han observado, que en situaciones de estrés calórico las vacas Holando detienen el pastoreo más temprano que las otras razas (Castro, 1998) y en nuestro trabajo es posible, que el tiempo de pastoreo de las vacas Holando con acceso a sombra registrado en NOC, esté más próximo de lo que hubiera sido esperable en animales de estas características.

La producción de leche corregida por sólidos y por peso metabólico promedio de las vacas Jersey utilizadas en este trabajo fue superior (11%) a la de los animales Holando y eso fue consistente en las tres condicionantes meteorológicas analizadas. Otros estudios del efecto de las variables meteorológicas en la producción de leche de vacas Holando y Jersey (Legates *et al.*, 1991) encontraron que las Holando eran más afectadas, con una disminución porcentual en su producción mayor al aumentar la temperatura y/o humedad (Sharma *et al.*, 1983; Brody *et al.*, 1955 citados por Bianca, 1965; Ragsdale *et al.*, 1953, citado por Johnson y Vanjonack, 1976).

Solo en el ambiente menos severo (NOC con acceso a sombra), las vacas Holando lograron una producción de leche corregida por sólidos y por peso metabólico promedio similar a la de las vacas Jersey. Este resultado estaría apoyando el supuesto de que las vacas Holando presentaron una depresión en el consumo en las condicionantes más severas del ambiente (OCS y OCL, e inclusive NOC sin acceso a sombra). Este mecanismo de defensa ha sido reportado en la bibliografía (Caird y Homes, 1986; Peyraud *et al.*, 1996), y es mayor en los animales con mayores requerimientos en razón del incremento calórico que está asociado a la cobertura de sus requerimientos (Kadzere *et al.*, 2002).

Asociado a las diferencias halladas en la producción de leche, las vacas Jersey con acceso a sombra de este trabajo experimental produjeron

significativamente más grasa (corregido por peso metabólico) que las vacas Holando, al igual que los resultados obtenidos por Comerón *et al.*, (2003). Lo mismo se observa en la producción de proteína (corregida por peso metabólico), donde las vacas Jersey de este experimento produjeron más proteína que las Holando. En el recuento de células somáticas no se encontraron diferencias entre los animales de los biotipos al igual que Collier *et al.*, (1981), mientras que Comerón *et al.*, (2003) encontraron más células somática en Jersey que en Holando.

Con respecto a la variación de peso promedio, esta es similar entre biotipos durante el período experimental. Sin embargo el análisis particular del día 22 (OCS) muestra una mayor pérdida de las vacas Holando sin acceso a sombra respecto a las vacas Jersey en la misma condición, no así para las vacas con acceso a sombra. Este resultado, va en el mismo sentido con respecto a suponer que fue en la condición NOC y con acceso a sombra, donde las vacas Holando presentaron una respuesta más próxima a su potencial de producción.

5. Conclusiones

Durante las olas de calor las vacas presentaron un estrés calórico medio a alto (según la $FR_{15:00}$ y la $TR_{15:00}$) pero la producción de leche no fue afectada cuando el período de recuperación (horas $ITH \leq 72$) fue de 8 a 10 horas (OCL), mientras que cuando la recuperación fue menor (OCS de 0 a 4 horas) la producción disminuyó un 18%.

El suministro de sombra artificial redujo el impacto de la radiación sobre la carga calórica de los animales pero esta diferencia no fue suficiente para expresarse en un mayor tiempo total dedicado al pastoreo (durante el período de observación) ni en una mayor producción de leche.

Al aumentar la severidad del ambiente ambos genotipos incrementaron la frecuencia respiratoria, presentando las vacas Jersey un aumento de la temperatura corporal menor y una producción de leche corregida por sólidos y peso metabólico superior, en cualquiera de las condicionantes meteorológicas, en comparación a las vacas Holando.

6. Resumen

El ambiente meteorológico durante el verano está fuera de la zona de confort térmico de los animales de alta producción pudiendo afectar su productividad. Se determinaron las respuestas fisiológica y productiva de vacas lecheras a distintas condicionantes meteorológicas (CM). Se evaluaron vacas de dos biotipos (10 Holando y 10 Jersey) y dos ambientes (con y sin acceso a sombra artificial) durante el verano en Salto, Uruguay. Se registró la temperatura rectal (TR) y la frecuencia respiratoria (FR) a las 6:00 y 15:00 horas, y el tiempo dedicado al pastoreo (TP) durante el día. Se caracterizaron las CM según el índice de temperatura y humedad (ITH) promedio, horas al día con $ITH \geq 72$ y las temperaturas mínima y máxima diaria. Se identificaron una ola de calor severa (OCS), tres olas de calor leve (OCL) y días de no ola de calor (NOC). Las FR y TR fueron mayores en OCS con respecto a OCL y NOC ($P < 0.0001$). El TP, la producción de leche, de grasa y de proteína fueron menores en OCS ($P < 0.0001$) con respecto a OCL y NOC. El recuento de células somáticas tendió a ser diferente entre CM ($P = 0.0618$). La sombra artificial no fue efectiva en OCS, pero redujo la FR y TR en OCL y NOC ($P < 0.001$). Sin embargo, en todas las CM el acceso a sombra no afectó la producción de leche y de sólidos. Las vacas Jersey presentaron similar FR pero menor TR ($P < 0.05$) con respecto a las vacas Holando, a las horas de mayor temperatura del aire (15:00) y la producción de leche y sólidos también fue mayor ($P < 0.01$). Las CM severas afectan la respuesta fisiológica y productiva de las vacas, siendo el suministro de sombra artificial efectivo solo en las CM menos severas. Parecería que las vacas Jersey son más eficaces en términos de producción de leche y de sólidos con respecto a las vacas Holando en condiciones de estrés calórico.

7. Abstract

The meteorological environment during summer lies outside the zone of thermal comfort of animals reducing their productivity. The physiological and productive responses of dairy cows to different meteorological determining factors (MDF) were determined. Cows of two biotypes (10 Holstein-Friesian and 10 Jersey) were evaluated in two environments (with or without access to artificial shade) during summer in Salto, Uruguay. Rectal temperature (RT) and respiratory frequency (RF) were recorded at 6:00 and 15:00 h, and grazing time (GT) during daytime. The MDF were characterised according to the mean temperature-humidity index (THI), hours per day with $\text{THI} \geq 72$ and minimum and maximum daily temperatures. One severe heat wave (SHW), three light heat waves (LHW) and days of no heat wave (NHW) were identified. The RF and RT were higher in SHW compared to LHW and NHW ($P < 0.0001$). Grazing time was less, and the production of milk, fat and protein was lower in SHW ($P < 0.0001$) than in LHW and NHW. Somatic cell count tended to differ according to MDF ($P = 0.0618$). Shade was not effective in SHW, but reduced RT and RF in LHW and NHW ($P < 0.001$). However, in all MDF access to shade did not affect the production of milk and solids. Jersey cows had similar RF but lower RT ($P < 0.05$) compared to Holstein-Friesian cows, at the time of maximum air temperature (15:00) and the production of milk and solids was also higher ($P < 0.01$). Severe MDF affect the physiological and productive responses of cows, with access to shade being effective only under less severe conditions. It seems that Jersey cows are more effective in terms of production of milk and solids compared to Holstein-Friesian cows under heat stress.

8. Bibliografía

AGUERRE, P. y FRANCO, F. 1991. Efecto del acceso a sombra sobre el comportamiento y performance de vacas en lactación pastoreando maíz. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 86 p.

ARCARO JUNIOR, I.; ARCARO, J.; POZZI, C.; FAGUNDES H.; MATARAZZO, S. e DE OLIVEIRA, C. A. 2003. Teores plasmáticos de hormônios, produção e composição do leite em sala de espera climatizada. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 7(2): 350-354.

ARCARO JUNIOR, I.; ARCARO, J.; POZZI, C.; DEL FAVA, C.; FAGUNDES H.; MATARAZZO, S. e DE OLIVEIRA, J. E. 2005. Respostas fisiológicas de vacas em lactação à ventilação e aspersão na sala de espera. Ciência Rural 35 (3): 639-643.

ARIAS, R. A.; MADER, T. L. y ESCOBAR, P. C. 2008. Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. Arch. Med. Vet. 40: 7-22.

ALBRIGHT, J. L. and ALLISTON, C. W. 1972. Effects of varying the environment upon performance of dairy cattle. J. Anim. Sci. 32: 566-577.

ALBRIGHT, J. L. 1993. Feeding behavior of dairy cattle. J. Dairy Sci. 76: 485-498.

AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY. 1989. Glossary of Meteorology. Disponible en: <http://ams.allenpress.com/perlserv>. Consultado en noviembre de 2008.

ARIELI, A.; ADIN, G. and BRUCKENTAL, I. 2004. The effect of protein intake on performance of cows in hot environmental temperatures. J. Dairy Sci. 87: 620-629.

ARMSTRONG, D.V. 1994. Heat stress interaction with shade and cooling. J. Dairy Sci. 77: 2044-2050.

ARNOLD, G. W. and DUDZINSKI, M. L. 1978. Ethiology of free-ranging domestics animals. Elsevier Scientific Publishing Company. 198 p.

AZANZA, J. y MACHADO, E. 1997. Efecto de la disponibilidad de sombra en verano en vacas lecheras con distintos niveles de producción. Tesis. Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 120p.

BARASH, H.; SILANIKOVE, N.; SHAMAY, A. and EZRA, E. 2001. Interrelations among ambient temperature, day length, and milk yield in dairy cows under mediterranean climate. *J. Dairy Sci.* 84: 2314-2320.

BARRY, R. G. y CHORLEY, R. J. 1984. *Atmósfera, tiempo y clima*. Barcelona, Omega. 500 p.

BEEDE, D. K. and COLLIER, R. J. 1986. Potential nutritional strategies for intensively managed cattle during thermal stress. *J. Anim. Sci.* 62: 543-554.

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

BERMAN, A.; FOLMAN, Y.; KAIM, M.; MAMEN, M.; HERZ, Z.; WOLFENSON, D.; ARIELI, A. and GRABER, Y. 1985. Upper critical temperatures and forced ventilation effects for high yielding dairy cows in a subtropical climate. *J. Dairy Sci.* 68: 1488-1495.

BERMAN, A. 2005. Estimates of heat stress relief needs for Holstein dairy cows. *J. Anim. Sci.* 83: 1377-1384.

BIANCA, W. 1965. Reviews of the progress of dairy science. Section A Physiology. Cattle in a hot environment. *J. Dairy Res.* 32: 291-345.

BIANCA, W. 1972. Termorregulación. In *Adaptación de los animales de granja*. Hafez, E. S. E., ed., México, Herrero. pp 135-162.

BLACKSHAW, J. K. and BLACKSHAW, A. W. 1994. Heat stress in cattle and the effect of shade on production and behavior: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 34(2): 285-295.

BUCKLIN, R.A.; HAHN, G.L.; BEEDE, D. K. and BRAY, D. R. 1992. Physical facilities for warm climates. In *Large Dairy Herd Management*. Van Horn H.H and Wilcox C.J. (eds). Champaign, IL, American Dairy Science Association. pp 609-618.

BUFFINGTON, D. E.; COLLIER, R. J. and CANTON, G. H. 1983. Shade management systems to reduce heat stress for dairy cows in hot, humid climates. *Transactions of the ASAE* 26 (6): 1798-1801.

CAIRD, L. and HOLMES, W. 1986. The prediction of voluntary intake of grazing dairy cows. *J. Agric. Sci.* 107: 43-54.

CANNON, W. 1932. Organization for physiological homeostasis. *Physiological Reviews* 9 (3): 399-431.

CASTAÑO-BELLO, H. 1995. Control y regulación de la temperatura corporal **In** *Fisiología Veterinaria*. GARCIA SACRISTÁN, A. (ed.) McGraw-Hill Interamericana de España. pp. 1015-1024.

CASTRO, H.C. 1998. Comportamiento en pastoreo. **In** *Producción de leche en verano*. Valtorta, S.; Leva, P.E.; Castro, H.; Gallardo, M.; Maciel, M.; Guglielmone, A.; Ansiani, O. pp. 38-46.

COLLIER, R. J.; ELEY, R. M.; PEREIRA, R. M. and BUFFINGTON, D. E. 1981. Shade management in subtropical environment for milk yield and composition in Holstein and Jersey cows. *J. Dairy Sci.* 64: 844-849.

COLLIER, R. J.; BEEDE, D. K.; THATCHER, W. W.; ISRAEL, L. A. and WILCOX, C. J. 1982. Influences of environment and its modification on dairy animal health and production. *J. Dairy Sci.* 65: 2213-2227.

COLLIER, R. J.; DAHL, G. E. and VAN BAALE, M. J. 2006. Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 89: 1244-1253.

COMERÓN, E. A.; ARONNA, M. S.; ROMERO, L. A. and GAGGIOTTI, M. DEL C. 2003. Milk production and composition in Jersey and Holstein cows under two different feeding systems. **In** *IX World Conference Animal Production y XVIII Reunião da Associação Latinoamericana de Produção Animal*. World Association of Animal Production. ALPA/SBZ/UFRGS. Porto Alegre. En CD.

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

DAMASCENO, J. C.; BACCARI JUNIOR, F. e TARGA, L. A. 1999. Respostas comportamentais de vacas holandesas, com acesso à sombra constante ou limitada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 34 (4): 709-715.

DU PREEZ, J. H.; GIESECKE, W. H. and HATTINGH, P. J. 1990a. Heat stress in dairy cattle and other livestock under Southern African conditions. I. Temperature-humidity Index mean values during the four main seasons. *Onderstepoort J. Vet. Res.* 57: 77-86.

DU PREEZ, J. H.; HATTINGH, P. J.; GIESECKE, W. H. and EINSENBURG, B. E. 1990b. Heat stress in dairy cattle and other livestock under Southern African conditions. III. Monthly Temperature-humidity Index mean values and their significance in the performance of dairy cattle. Onderstepoort J. Vet. Res. 57: 243-248.

ESQUIVEL, J. E.; VELAZCO, J. I. y ROVIRA, P. 2007. Efecto del acceso a sombra artificial en la ganancia de peso, estrés y conducta de novillos pastoreando sudangrás durante el verano. In Jornada anual de la Unidad Experimental Palo a Pique, INIA Treinta y Tres. pp. 22-36.

FLAMENBAUM, I. 1994. Factores que afectan la producción lechera en la zona Norte. Informe de consultoría en el "Segundo Proyecto de desarrollo agropecuario", Comisión Honoraria del Plan Agropecuario. Montevideo. 18 p.

FLAMENBAUM, I. 1996. Heat stress relief from high producing israeli cows in summer. In International Symposium intensive milk production in Israel under hot climate conditions, Tel- Aviv, Israel. pp 3-9.

FISHER, A. D.; ROBERTS, N.; BLUETT, S. J.; VERKERK, G. A. and MATTHEWS, L. R. 2008. Effects of shade provision on the behaviour, body temperature and milk production of grazing dairy cows during a New Zealand summer. New Zealand Journal of Agricultural Research 51: 99-105.

FOOD and AGRICULTURE ORGANIZATION. 1976. Estaciones agrometeorológicas. Serie Riego y Drenaje Nº 27. Roma. 112 p.

GAINES, E. L. 1946. Live weight versus metabolic body size in dairy cows and goats. J. Dairy Sci. 29 (5): 259-272.

GALLARDO, M. R.; VALTORTA, S. E.; CASTRO, H. C.; GAGLIOTTI, M. C. y QUAINO, O. R. 1993. Sombra artificial y suplementación para vacas lecheras en verano. II Producción y composición química de la leche. Revista Argentina de Producción Animal 12 (Supl 1) NA 32.

GALLARDO, M. R.; VALTORTA, S. E.; LEVA, P. E.; GAGLIOTTI, M. C.; CONTI, G. A. y GREGORET, R. F. 2005. Diet and cooling interactions on physiological responses of grazing dairy cows, milk production and composition. Int. J. Biometeorol. 50: 90-95.

GARCIA, A. 2008. Mediciones del confort animal e impacto del mismo sobre la producción. Jornadas Uruguayas de Buiatría (35ª). Paysandú, Centro de Medicina Veterinaria. pp. 171-176.

GAUGHAN, J. B.; MADER, T. L.; HOLT, S. M.; JOSEY, M. J. and ROWAN, K. J. 1999. [Heat tolerance of Boran and Tuli crossbred steers](#). J. Anim. Sci. 77 (9): 2398-2405.

GONZÁLEZ, V. F. 2004. Estrategias de manejo para mejorar la producción de sólidos totales en leche de vacas Holando en verano. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 86 p.

GUTHRIE, L. D.; JOHNSTON, J. E.; RAINEY, J. and LEE, J. A. 1967. Effects of solar radiation and levels of fiber on production and composition of Holstein cow's milk. J. Dairy Sci. 50 (4): 608.

GWAZDAUSKAS, F. C.; THATCHER, W. W. and WILCOX, C. J. 1973. Physiological, Environmental, and Hormonal Factors at Insemination Which May Affect Conception. J. Dairy Sci. 56: 873-877.

HAHN, G. L. 1993. Bioclimatología e instalações zootécnicas: aspectos teóricos e aplicados. Jaboticabal, FUNEP. 28p.

HAHN, G. L. 1994. Environmental requirements of farm animals. **In** Handbook of Agricultural Meteorology. Ed. Griffiths, New York. pp 220-235.

HAHN, G. L. 1995. Environmental management for improved livestock performance, health and well-being. Japanese Journal Livestock Management 30 (3): 113-127.

HAHN, L. G. 1999. Dynamic responses to cattle to thermal heat loads. J. Anim. Sci. 77 (Suppl. 2): 10-20.

HANSEN, P. J, THATCHER W. W. and EALY A.D. 1992. Methods for reducing effects of heat stress on pregnancy. **In** Large Dairy Herd Management. Van Horn H. H. and Wilcox C. J. (eds). Champaign, IL, American Dairy Science Association. pp 116-125.

HARRIS, D. L.; SHRODE, R. R., RUPEL, I. W. and LEIGHTON, R. E. 1960. A study of solar radiation as related to physiological and production responses of lactating Holstein and Jersey cows. J. Dairy Sci. 43: 1255-1262.

HAYDOCK, K. P. and SHAW, N. H. 1975. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husband. 15 (76): 663-700.

HER, E.; WOLFENSON, D.; FLAMENBAUM, I.; FOLMAN, Y.; KAIM, M. and BERMAN, A. 1988. Thermal, productive and reproductive responses of high yielding cows exposed to short-term cooling in summer. *J Dairy Sci.* 71: 1085-1092.

HERTIG, B. 1972. Medición del medio ambiente físico. **In** Principios de la Adaptación Animal. Hafez, E. ed. México. pp 438-456.

HUGH-JONES, M. E. 1994. Livestock: Management and decision making. **In** Handbook of Agricultural Meteorology. Griffiths, J., ed., New York, Oxford University Press. pp 291-298.

INGRAHAM, R. H.; GILLETTE, D. D. and WAGNER, W. D. 1974. Relationship of temperature and humidity to conception rate of Holstein cows in subtropical climate. *J. Dairy Sci.* 57: 476-481.

INGRAHAM, R. H.; STANLEY, R. W. and WAGNER, W. C. 1976. Relationship of Temperature and Humidity to Conception Rate of Holstein Cows in Hawaii. *J. Dairy Sci.* 59: 2086-2090.

INVERNIZZI, G. y MARZIOTTE, G. 1998. Efecto de diferentes confort térmico sobre la producción de leche en verano. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 109 p.

JOHNSON, H.D.; KIBLER, H.H.; RAGSDALE A.C.; BERRY, I.L. and SHANKLIN, M.D. 1961. Role of heat tolerance and production level in responses of lactating Holsteins to various temperature-humidity conditions. *J. Dairy Sci.* 44: 1191.

JOHNSON, H.D. 1965. Environmental temperature and lactation (with special reference to cattle). *Int. J. Biometeorol.* 9 (2): 103-116.

JOHNSON, H. D. and VANJONACK, W. J. 1976. Effects of environmental and the other stressors on blood hormone patterns in lactating animals. *J. Dairy Sci.* 59 (9): 1063-1617.

JOHNSON, H. D. 1987. Bioclimate effects on growth, reproduction and milk production. **In** Bioclimatology and the adaptation of livestock. Nieman-Sorensen-Tribe eds. Amsterdam, Elsevier Science Publishers. pp 35-52.

JORDAN, E. R. 2003. Effects of heat stress in reproduction. *J. Dairy Sci.* 86 (E suppl.): E104-E114.

KADZERE, C. T.; MURPHY, M. R.; SILANIKOVE, N. and MALTZ, E. 2002. Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Livestock Prod. Sci.* 77: 59-91.

KEISTER, Z. O.; MOSS, K. D.; ZHANG, H. M.; TEEGERSTROM, T.; EDLING, R. A.; COLLIER, R. J. and AX, R. L. 2002. Physiological responses in thermal stressed Jerseys Cows subjected to different management strategies. *J. Dairy Sci.* 85 (12): 3217-3224.

KLIEBER, M. and MEAD, S. W. 1941. Body size and milk production. *J. Dairy Sci.* 24: 127-134.

LEFCOURT, A. M. and ADAMS, W. R. 1996. Radiotelemetry measurements of body temperatures of feedlot steers during summer. *J. Anim. Sci.* 74: 2633-2640.

LEGATES, J. E.; FARTHING, B. R.; CASADY, R. B. and BARRADA, M.S. 1991. Body temperature and respiratory rate of lactating dairy cattle under field and chamber conditions. *J. Dairy Sci.* 74: 2491-2500.

LEVA, P. E.; VALTORTA, S. y FORNASERO, L. V. 1996. Disminución de la producción lechera estival: situación actual y efecto del cambio global. Resúmenes del 20° Congreso de Producción Animal, AAPA. Argentina. *Revista Argentina de Producción Animal* Vol. 16 Sup. 1 p. 26.

NAY, T. 1959. Sweat glands in cattle: histology, morphology, evolutionary trends. *Aust. J. Agric. Res.* 10 (1): 121-131.

MC DOWELL, R. E.; HOOVEN, N. W. and CAMOENS, J. K. 1976. Effect of climate on performance of Holstein in first lactation. *J. Dairy Sci.* 59 (5): 965-973.

MERLOT, E. 2004. Conséquences du stress sur la fonction immunitaire chez les animaux d'élevage. *INRA Prod. Anim.* 17 (4): 255-264.

MILLER, A. 1976. *Meteorología*. Barcelona, Labor. 169 p.

MOLÉNAT, G. et MICOL, D. 1982. Influence directe et indirecte des facteurs climatiques sur le comportement de l'animal et l'ingestion d'herbe. Action du climat sur l'animal au pasturage. *Theix, INRA*. pp. 149-157.

MULLER, C. J. C.; BOTHA, J. A. and SMITH, W. A. 1994a. Effect of shade on various parameters of Friesian cows in a Mediterranean climate in South Africa. 1. Feed intake, milk production and milk composition. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 24 (2): 49-55.

MULLER, C. J. C.; BOTHA, J. A.; COETZER, W. A. and SMITH, W. A. 1994b. Effect of shade on various parameters of Friesian cows in a Mediterranean climate in South Africa. 2. Physiological responses. S. Afr. J. Anim. Sci. 24 (2): 56-60.

MULLER, C. J. C.; BOTHA, J. A. and SMITH, W. A. 1994c. Effect of shade on various parameters of Friesian cows in a Mediterranean climate in South Africa. 3. Behaviour. S. Afr. J. Anim. Sci. 24 (2): 61-66.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th.ed. Washington D.C., USA , National Academy Press, 381 p.

NIENABER, J. A.; HAHN, G. L.; BROWN-BRANDL, T. M. and EINGENBERG, R. A. 2003. Heat stress climatic conditions and the physiological responses of cattle. In International Dairy Housing Proceeding of the Conference (5th., Fort Worth, Tx), Janni, K. (ed). ASAE Publication Number 701P0203 pp 255-262.

NIENABER, J. A. and HAHN, G. L. 2007. Livestock production systems management responses to thermal challenges. Int. J. Biometeorol. 52: 149-157.

OMINSKI, K. H.; KENNEDY, A. D.; WITTENBERG, K. M. and MOSHTAGHI, S. A. 2002. Physiological and productin responses to feeding schedule in lactating dairy cows exposed to short-term, moderate heat stress. J. Dairy Sci. 85: 730-737.

PADULA, G. D. y ROVIRA, R. 1999. Efecto de la suplementación con un estimulante comercial de la fisiología digestiva ruminal (BOSPRO®) y de la sombra, sobre el rendimiento de leche y sólidos con valor comercial, el recuento de células somáticas y la variación del peso vivo, condición corporal en vacas lecheras en el último tercio de la lactancia. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 81p.

PEYRAUD, J. L.; COMERÓN, E. A.; WADE, M. H. and LEMAIRE, G. 1996. The effect of daily herbage allowance, herbage mass and animal factors upon herbage intake by grazing dairy cows. Ann. Zootech. 45: 201-217.

PHILLIPS, C. J. C. 2001. Housing, handling and the environment for cattle. In Principles of cattle production. Phillips, C. J. C. ed. CABI Publishing. pp. 170-216.

REGAN, W. M. and RICHARDSON, G. A. 1938. Reactions of the dairy cows to changes in environmental temperature. J. Dairy Sci. 21: 73-79.

RICHARDSON, C. W.; JOHNSON, H. D.; GEHRKE, C. W. and GOERLITZ, D. F. 1961. Effect of environmental temperature and humidity on the fatty acid composition of milk fat. *J. Dairy Sci.* 44: 1937-1940.

RODRÍGUEZ, R. O; HERRERA, M. G. y BLASÓN, A. D. 2003. Frecuencia, duración e intensidad de las olas de calor en la Argentina. Congreso Brasileiro de Agrometeorología (13º, Santa Maria, Brasil, 3-7 agosto). Anais. Santa Maria, SBA/UFSM/UNIFRA. pp 1087-1088.

ROMÁN-PONCE, H.; THATCHER, W. W.; BUFFINGTON, D. E.; WILCOX, C. J. and VAN HORN, H. H. 1977. Physiological and production responses of dairy cattle to a shade structure in a subtropical environment. *J. Dairy Sci.* 60 (3): 424-430.

ROVIRA, P. 2003. Efecto de la sombra artificial en el engorde de novillos durante el verano en clima templado. **In** World Conference Animal Production (9th.); Reunião da Associação Latinoamericana de Produção Animal (18a.). Porto Alegre, World Association of Animal Production. ALPA/SBZ/UFRGS. En CD.

SARAVIA, C. y CRUZ, G. 2003. Influencia del ambiente atmosférico en la adaptación y producción animal. Universidad de la República (Uruguay) Facultad de Agronomía, Montevideo. Nota Técnica 50. 36 p.

SARAVIA, C.; BENTANCUR, O. y CRUZ, G. 2003. Caracterización de diferentes situaciones del ambiente utilizando esferas de Vernon. Congreso Brasileiro de Agrometeorologia, (13º, Santa Maria, Brasil, 3-7 agosto). Anais. Santa Maria, SBA/UFSM/UNIFRA. pp 651-652.

SARAVIA, C. y CRUZ, G. 2006. Olas de calor en la cuenca lechera de Salto: evolución del ITH y comportamiento atmosférico que determinan su ocurrencia. **In** Iran José Oliveira da Silva - Coord. Mudanças climáticas: impacto sobre o homem, a planta e o animal. 4º Congresso Brasileiro de Biometeorologia (4º). Ribeirão Preto, SP. Brasil. En CD.

SARGENT, F. D.; BUTCHER, K. R. and LEGATES, J. E. 1967. Environmental influences on milk constituents. *J. Dairy Sci.* 50(2): 177-184.

SEATH, D. M. and MILLER, G. D. 1946. Effect of warm weather on grazing performance of milking cows. *J. Dairy Sci.* 29: 199-206.

SEATH, D. M. and MILLER, G. D. 1947. Heat tolerance comparisons between Jersey and Holsteins cows. *J. Anim. Sci.* 6: 24-34.

SHARMA, A. K.; RODRÍGUEZ, L. A.; MEKONNEN, G.; WILCOX, C. J.; BACHEAN, K. C. and COLLIER, R. J. 1983. Climatological and genetic effects on milk composition and yield. *J. Dairy Sci.* 66: 119-126.

SHEARER, J. K. and BEEDE, D. K. 1990. Effects of high environmental temperature on production, reproduction, and health of dairy cattle. *Agri-Practice* 11(5): 6-17.

SHEARER, J. K.; BEEDE, D. K.; BUCKLIG, R.A. and BRAY, D. R. 1991. Environmental modifications to reduce heat stress in dairy cattle. *Agri-Practice* 12(4): 7-18.

SILANIKOVE, N. 1992. Effects of water scarcity and hot environment on appetite and digestion in ruminants: a review. *Liv. Prod. Sci.* 30: 175-194.

SILANIKOVE, N. 2000. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic. *Liv. Prod. Sci.* 67: 1-18.

ST-PIERRE, N. R.; COBANOV, B. and SCHNITKEY, G. 2003. Economic losses from heat stress by US Livestock Industries. *J. Dairy Sci.* 86 (E. suppl.): E52-E77.

TAMMINGA, S. and SCHRAMA, J. W. 1998. Environmental effects on nutrient and energy metabolism in ruminants. *Archives of Animal Nutrition* 51: 225-235.

TARAZÓN-HERRERA, M.; HUBER, J.T.; SANTOS, J.; MENA, H.; NUSSO, L. and NUSSIO, C. 1999. Effects of Bovine somatotropine and evaporative cooling plus shade on lactation performance of cows during summer heat stress. *J. Dairy Sci.* 82: 2352-2357.

THATCHER, W. W. 1974. Effects of season, climate and temperature on reproduction and lactation. *J. Dairy Sci.* 57 (3): 360-368.

THATCHER, W. W.; GWAZDAUSKAS, C. J.; WILCOX, J.; TOMS, J.; HEAD, H. H.; BUFFINGTON, D. E. and FREDRIKSSON, W. B. 1974. Milking performance and reproductive efficiency of dairy cows in an environmentally controlled structure. *J. Dairy Sci.* 57 (3): 304-307.

THATCHER, W. W. and STAPLES, C. R. 1995. Efecto del estrés calórico y la alimentación sobre la performance reproductiva: nuevas estrategias para mejorar la eficiencia reproductiva. In Jornadas Uruguayas de Buiatría (13a.), Paysandú. E1-E25.

THOM, E. C. 1959. The discomfort index. *Weatherwise* 12: 57-59.

THOMAS, C. K. and PEARSON, R. A. 1986. Effects of ambient temperature and head cooling on energy expenditure, food intake and heat tolerance of Brahman and Brahman x Friesian cattle working on treadmills. *Anim. Prod.* 43: 83-90.

TYRRELL, H. F. and REID, J. T. 1965. Prediction of the Energy Value of Cow's Milk. *J. Dairy Sci.* 48 (9): 1215-1223.

TUCKER, C. B.; ROGERS, A. R. and SCHÜTZ, K. E. 2008. Effect of solar radiation on dairy cattle behaviour, use of shade and body temperature in a pasture-based system. *Applied Animal Behaviour Science* 109 (2-4): 141-154.

URUGUAY. DIRECCIÓN NACIONAL DE METEOROLOGÍA. 1996. Normales climatológicas 1961-1990. Montevideo. 20 p.

VALTORTA, S. E.; CASTRO, H. C.; GALLARDO, M. R. y QUAINO, O. R. 1993. Sombra artificial y suplementación para vacas lecheras en verano. I. Confort animal y tiempo de pastoreo. *Revista Argentina de Producción Animal* 12 (Supl 1) NA 31.

VALTORTA, S. E; GALLARDO. M R.; CASTRO, H. C. and CASTELLI, M. E. 1996. Artificial shade and supplementation effects on grazing dairy cows in Argentina. *Transactions of the ASAE* 39 (1): 233-236.

VALTORTA, S. E. y GALLARDO. M R. 1996. El estrés por calor en producción lechera. In Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Rafaela, Argentina. Miscelánea N° 81 pp. 173-185.

VALTORTA, S. E.; LEVA, P. E.; GALLARDO, M.; FORNASERO, L. V.; VELES, M. A. y GARCÍA, M. S. 1997a. Producción de leche: respuestas a la alta temperatura. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 5 (Supl.1): 399-401.

VALTORTA, S. E.; LEVA, P. E. and GALLARDO, M. R. 1997b. Evaluation of different shades to improve dairy cattle well-being in Argentina. *Int. J. Biometeorol.* 41: 65-67.

VALTORTA, S.; LEVA, P.; CASTRO, H.; GALLARDO, M.; MACIEL, M.; GUGLIELMONE A. y ANZANI, O. 1998. Producción de leche en verano. Santa Fe, Argentina, Universidad Nacional del Litoral. 109 p.

VALTORTA, S. E; LEVA P. E., GALLARDO. M. R. and SCARPATTI, O. E. 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) pp.98-101.

VALTORTA, S. C. and GALLARDO, M. R. 2004. Evaporating cooling for Hostien dairy cows under grazing conditions. *Int. J. Biometeorol.* 48: 213-217.

VALTORTA, S. C.; GALLARDO, M. R. y LEVA P. E. 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.

WAYMAN, O.; JOHNSON, H. D.; MERILAN, C. P. and BERRY, I. L. 1962. Effect of ad libitum or force-feeding of two rations on lactating dairy cows subject to temperature stress. *J. Dairy Sci.* 45: 1472-1478.

WEBSTER, A. J. F. 1982. Influencia del clima sobre el metabolismo del ganado. En: Principios para la producción ganadera. Swan y Broster ed., Buenos Aires, Argentina, Hemisferio Sur. pp. 101-119.

WEGNER, T. N.; SCHUH, J. D.; NELSON, F. E. and STOTT, G. H. 1974. Effect of stress on blood leucocyte and milk somatic cell counts in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 59 (5): 949-956.

9. Anexos

Anexo 1. Distribución temporal del ensayo y cronograma de mediciones experimentales

Fecha	Día experimental	Condicionante meteorológica	Leche		Medidas fisiológicas		Dispon. Rechazo
21/12/2005	1	NOC	CL	CS; COMP		PV	
22/12/2005	2	NOC	CL	COMP			
23/12/2005	3	NOC	CL	COMP			Dispon.
24/12/2005	4	NOC	CL	.			
25/12/2005	5	NOC	CL	.			
26/12/2005	6	NOC	CL	COMP	TR _{6:00} FR _{6:00} TR _{15:00} FR _{15:00}		Rechazo
27/12/2005	7	NOC	CL	COMP	TR _{6:00} FR _{6:00} TR _{15:00} FR _{15:00}		
28/12/2005	8	OCL	CL	COMP	TR _{6:00} FR _{6:00} TR _{15:00} FR _{15:00}	PV	
29/12/2005	9	OCL	CL	COMP	TR _{15:00} FR _{15:00}		
30/12/2005	10	OCL	CL	CS; COMP			Dispon.
31/12/2005	11	OCL	CL	CS; COMP			
01/01/2006	12	OCL	CL	CS; COMP			
02/01/2006	13	OCL	CL	CS; COMP	TR _{6:00} FR _{6:00} TR _{15:00} FR _{15:00}		Rechazo
03/01/2006	14	OCL	CL	COMP	TR _{6:00} FR _{6:00} TR _{15:00} FR _{15:00}	CP	
04/01/2006	15	NOC	CL	.	TR _{6:00} FR _{6:00} TR _{15:00} FR _{15:00}	PV	
05/01/2006	16	NOC	CL	COMP	TR _{15:00} FR _{15:00}		
06/01/2006	17	OCS	CL	COMP	TR _{15:00} FR _{15:00}		Dispon.
07/01/2006	18	OCS	CL	.	TR _{6:00} FR _{6:00} TR _{15:00} FR _{15:00}		
08/01/2006	19	OCS	CL	.	TR _{6:00} FR _{6:00} TR _{15:00} FR _{15:00}	CP	
09/01/2006	20	OCS	CL	COMP	TR _{15:00} FR _{15:00}		Rechazo
10/01/2006	21	OCS	CL	CS; COMP	TR _{6:00} FR _{6:00} TR _{15:00} FR _{15:00}		
11/01/2006	22	OCS	CL	CS; COMP	TR _{6:00} FR _{6:00} TR _{15:00} FR _{15:00}	PV	
12/01/2006	23	OCS	CL	COMP		CP	
13/01/2006	24	OCS	CL	COMP			Dispon.
14/01/2006	25	OCS	CL	.			
15/01/2006	26	OCS	CL	.			
16/01/2006	27	NOC	CL	COMP			Rechazo
17/01/2006	28	NOC	CL	CS; COMP			
18/01/2006	29	NOC	CL	CS; COMP	TR _{6:00} FR _{6:00} TR _{15:00} FR _{15:00}	PV	
19/01/2006	30	NOC	CL	COMP	TR _{6:00} FR _{6:00} TR _{15:00} FR _{15:00}	CP	
20/01/2006	31	OCL	CL	COMP	TR _{6:00} FR _{6:00} TR _{15:00} FR _{15:00}		Dispon.
21/01/2006	32	OCL	CL	.	.		
22/01/2006	33	OCL	CL	.	.		
23/01/2006	34	OCL	CL	CS; COMP	TR _{15:00} FR _{15:00}		Rechazo
24/01/2006	35	OCL	CL	CS; COMP	TR _{6:00} FR _{6:00} TR _{15:00} FR _{15:00}		
25/01/2006	36	OCL	CL	CS; COMP	TR _{6:00} FR _{6:00}	PV	

					TR _{15:00} FR _{15:00}		
26/01/2006	37	NOC	CL	COMP	TR _{6:00} FR _{6:00} TR _{15:00} FR _{15:00}		
27/01/2006	38	NOC	CL	COMP	TR _{6:00} FR _{6:00} TR _{15:00} FR _{15:00}	CP	Dispon.
28/01/2006	39	OCL	CL	.	TR _{15:00} FR _{15:00}		
29/01/2006	40	OCL	CL	.	TR _{6:00} FR _{6:00} TR _{15:00} FR _{15:00}		
30/01/2006	41	OCL	CL	COMP	TR _{6:00} FR _{6:00} TR _{15:00} FR _{15:00}		Rechazo
31/01/2006	42	OCL	CL	CS; COMP	TR _{6:00} FR _{6:00} TR _{15:00} FR _{15:00}		
01/02/2006	43	OCL	CL	CS; COMP	TR _{6:00} FR _{6:00} TR _{15:00} FR _{15:00}	PV	
02/02/2006	44	OCL	CL	COMP	TR _{6:00} FR _{6:00} TR _{15:00} FR _{15:00}	CP	
03/02/2006	45	OCL	CL	COMP	TR _{6:00} FR _{6:00} TR _{15:00} FR _{15:00}		Dispon.
04/02/2006	46	OCL	CL	COMP			
05/02/2006	47	OCL	CL	.			
06/02/2006	48	OCL	CL	COMP			Rechazo
07/02/2006	49	NOC	CL	COMP			
08/02/2006	50	NOC	CL	CS; COMP	TR _{6:00} FR _{6:00} TR _{15:00} FR _{15:00}	PV	
09/02/2006	51	NOC	CL	CS; COMP	TR _{6:00} FR _{6:00} TR _{15:00} FR _{15:00}		
10/02/2006	52	NOC	CL	CS; COMP	TR _{6:00} FR _{6:00} TR _{15:00} FR _{15:00}		Dispon.
11/02/2006	53	NOC	CL
12/02/2006	54	NOC	CL
13/02/2006	55	NOC	CL	COMP	TR _{6:00} FR _{6:00} TR _{15:00} FR _{15:00}		Rechazo
14/02/2006	56	NOC	CL	COMP	TR _{6:00} FR _{6:00} TR _{15:00} FR _{15:00}	CP	
15/02/2006	57	NOC	CL	CS; COMP	TR _{6:00} FR _{6:00} TR _{15:00} FR _{15:00}	PV	
16/02/2006	58	NOC	CL	CS; COMP.	TR _{6:00} FR _{6:00} TR _{15:00} FR _{15:00}		

Referencias: 21 al 27 de diciembre datos que se tomaron como covariables en leche. CL: Control lechero; PV: Peso vivo; CP: Comportamiento a pastoreo; COMP: Composición de la leche; Dispon.: disponible del sorgo antes de entrar a la parcela; Rechazo: rechazo del sorgo al salir de la parcela

Anexo 2. Variables meteorológicas e ITH en los días experimentales

Fecha	Día exp	CM	T med	T Max	T mín	HR med	ITH med	ITH max	ITH min	V med
21-dic	1	NOC	25.0	32.3	16.0	40	69.8	76.3	60.7	16.7
22-dic	2	NOC	27.8	35.7	17.5	39	73.3	80.5	62.6	7.9
23-dic	3	NOC	26.5	33.2	22.1	57	74.1	80.1	69.1	12.4
24-dic	4	NOC	22.2	29.1	14.9	51	67.1	72.6	59.0	22.1
25-dic	5	NOC	22.1	29.9	12.6	41	66.1	73.0	55.2	13.3
26-dic	6	NOC	24.7	32.8	15.2	33	68.6	74.8	59.5	12.8
27-dic	7	NOC	25.0	32.8	16.8	37	69.5	76.0	61.6	19.8
28-dic	8	OCL	26.8	36.2	17.5	42	72.1	78.8	63.1	10.3
29-dic	9	OCL	28.8	36.2	19.8	34	73.4	78.2	66.7	9.6
30-dic	10	OCL	27.4	37.1	19.8	55	74.1	80.4	67.9	10.0
31-dic	11	OCL	23.4	29.5	20.6	79	72.0	77.2	68.9	12.4
01-ene	12	OCL	25.1	32.0	17.9	66	72.5	78.0	64.7	14.2
02-ene	13	OCL	27.1	34.9	17.1	44	72.0	76.5	63.7	10.2
03-ene	14	OCL	27.1	34.9	19.0	40	72.5	78.4	65.2	9.5
04-ene	15	NOC	25.6	33.2	16.8	44	70.8	76.7	62.2	16.3
05-ene	16	NOC	25.7	35.3	15.6	32	69.5	76.4	60.4	10.0
06-ene	17	OCS	28.3	37.9	19.0	35	72.7	79.4	64.8	13.2
07-ene	18	OCS	30.7	38.8	21.3	34	75.5	81.4	68.7	22.1
08-ene	19	OCS	31.8	40.6	24.4	44	78.8	84.1	73.8	21.8
09-ene	20	OCS	31.9	39.7	22.9	43	78.6	84.5	70.7	34.0
10-ene	21	OCS	31.3	41.1	24.8	56	80.2	85.2	74.7	20.0
11-ene	22	OCS	27.6	37.5	23.3	68	76.8	83.4	73.1	27.1
12-ene	23	OCS	27.5	39.3	21.3	75	77.2	84.9	70.3	24.6
13-ene	24	OCS	24.4	31.2	20.6	85	73.8	81.1	69.1	19.7
14-ene	25	OCS	28.4	35.8	22.9	73	78.3	84.0	73.4	20.2
15-ene	26	OCS	30.8	37.1	24.4	58	79.9	84.5	74.5	15.4
16-ene	27	NOC	21.6	24.4	18.3	84	70.2	77.5	65.5	29.0
17-ene	28	NOC	20.4	27.2	13.3	52	64.6	70.1	56.5	28.0
18-ene	29	NOC	20.9	27.9	12.9	57	65.9	73.2	55.4	20.6
19-ene	30	NOC	22.9	29.1	16.4	70	70.1	76.4	62.0	9.9
20-ene	31	OCL	26.2	33.2	20.6	72	75.1	80.9	69.1	7.7
21-ene	32	OCL	25.2	31.1	21.0	72	73.7	78.6	69.4	11.4
22-ene	33	OCL	24.9	29.5	19.0	67	72.8	77.5	66.4	13.1
23-ene	34	OCL	25.6	31.1	21.3	67	73.9	77.5	70.1	17.3
24-ene	35	OCL	26.2	32.3	20.6	71	75.1	79.7	69.1	12.3
25-ene	36	OCL	24.4	29.1	19.8	75	72.8	76.8	67.8	21.4
26-ene	37	NOC	23.3	29.9	16.8	65	70.0	75.6	62.5	14.3
27-ene	38	NOC	24.5	31.5	17.1	53	70.7	77.5	62.1	13.6
28-ene	39	OCL	27.6	34.9	19.4	50	74.2	80.3	66.0	7.4
29-ene	40	OCL	28.9	36.1	21.0	49	75.8	81.0	68.8	9.1
30-ene	41	OCL	28.5	35.3	22.1	51	75.9	81.7	69.4	16.4
31-ene	42	OCL	25.2	33.6	16.4	56	71.5	78.4	61.6	23.2
01-feb	43	OCL	26.9	34.0	19.4	50	73.4	79.7	66.1	19.9
02-feb	44	OCL	28.9	36.6	20.6	47	75.6	82.1	67.9	18.0
03-feb	45	OCL	25.6	29.1	22.9	68	74.4	77.6	72.4	17.1
04-feb	46	OCL	23.2	25.2	20.2	87	72.4	74.1	68.3	14.9
05-feb	47	OCL	26.1	32.8	20.2	81	76.0	82.3	69.1	4.9
06-feb	48	OCL	25.4	29.9	19.8	59	72.8	77.9	67.0	16.2
07-feb	49	NOC	26.4	29.5	21.7	39	72.2	74.3	68.8	10.2
08-feb	50	NOC	24.4	30.3	18.3	54	70.7	75.7	64.7	11.0

09-feb	51	NOC	23.5	29.9	16.8	57	69.6	75.5	61.9	16.1
10-feb	52	NOC	22.2	29.5	15.2	59	67.9	74.5	59.3	15.6
11-feb	53	NOC	22.8	29.1	15.2	56	68.4	74.6	59.7	16.4
12-feb	54	NOC	23.8	29.9	16.8	52	69.6	74.6	61.8	20.1
13-feb	55	NOC	23.1	29.5	15.2	48	68.1	73.8	59.6	19.3
14-feb	56	NOC	24.9	32.8	14.9	44	70.0	76.7	58.9	14.5
15-feb	57	NOC	27.8	34.4	19.0	44	73.6	79.0	65.2	12.0
16-feb	58	NOC	27.2	34.4	22.1	62	75.5	80.9	71.3	14.7

T Max: temperatura máxima diaria; T min: temperatura mínima diaria; por otras referencias ver lista de abreviaturas

Anexo 3. Horas por día experimental en los diferentes niveles de ITH: horas con ITH menor a 72, horas con ITH mayor a 72 y horas en las categorías alerta, peligro y emergencia.

Día exp	Cond. meteo	Horas con ITH < 72	Horas con ITH >72	Horas ITH entre 72 y 74	Horas ITH entre 74 y 78	Horas ITH entre 78 y 82	Horas con ITH > 82
1	NOC	13	11	2	9	0	0
2	NOC	9	15	1	6	8	0
3	NOC	9	15	5	5	5	0
4	NOC	19	5	5	0	0	0
5	NOC	19	5	5	0	0	0
6	NOC	14	10	6	4	0	0
7	NOC	14	10	3	7	0	0
8	OCL	10	14	2	8	4	0
9	OCL	9	15	5	9	1	0
10	OCL	9	15	4	6	5	0
11	OCL	14	10	6	4	0	0
12	OCL	10	14	3	11	0	0
13	OCL	11	13	2	11	0	0
14	OCL	10	14	4	9	1	0
15	NOC	13	11	3	8	0	0
16	NOC	13	11	2	9	0	0
17	OCS	10	14	4	5	5	0
18	OCS	8	16	1	5	10	0
19	OCS	0	24	2	10	3	9
20	OCS	4	20	4	2	4	10
21	OCS	0	24	0	8	8	8
22	OCS	0	24	7	8	7	2
23	OCS	4	20	2	10	3	5
24	OCS	11	13	3	5	5	0
25	OCS	0	24	6	6	4	8
26	OCS	0	24	0	10	4	10
27	NOC	21	3	2	1	0	0
28	NOC	24	0	0	0	0	0
29	NOC	19	5	5	0	0	0
30	NOC	13	11	4	7	0	0
31	OCL	8	16	1	8	7	0
32	OCL	10	14	4	6	4	0
33	OCL	9	15	5	10	0	0
34	OCL	9	15	3	12	0	0
35	OCL	8	16	1	8	7	0
36	OCL	8	16	7	9	0	0
37	NOC	14	10	3	7	0	0
38	NOC	11	13	3	10	0	0
39	OCL	8	16	2	5	9	0
40	OCL	6	18	4	4	10	0
41	OCL	6	18	4	4	10	0
42	OCL	12	12	3	5	4	0

43	OCL	9	15	2	7	6	0
44	OCL	9	15	0	5	10	0
45	OCL	0	24	12	12	0	0
46	OCL	6	18	17	1	0	0
47	OCL	8	16	2	2	10	2
48	OCL	9	15	4	11	0	0
49	NOC	16	8	6	2	0	0
50	NOC	14	10	3	7	0	0
51	NOC	14	10	4	6	0	0
52	NOC	16	8	5	3	0	0
53	NOC	14	10	6	4	0	0
54	NOC	15	9	5	4	0	0
55	NOC	16	8	8	0	0	0
56	NOC	11	13	4	9	0	0
57	NOC	9	15	1	10	4	0
58	NOC	3	21	7	8	6	0

referencias ver lista de abreviaturas

Anexo 4. Cantidad de horas por día en que las temperaturas de las esferas al sol y bajo la sombra artificial son significativamente diferentes ($P < 0.05$)

Fecha	Día exp	CM	Cantidad	Horario
21/12/2005	1	NOC	4	11 a 13
22/12/2005	2	NOC	4	11 13 16 18
23/12/2005	3	NOC	3	13 15 18
24/12/2005	4	NOC	4	9 a 12
25/12/2005	5	NOC	6	12 13 15 18
26/12/2005	6	NOC	7	11 a 16
27/12/2005	7	NOC	0	
28/12/2005	8	OCL	3	11 12 14
29/12/2005	9	OCL	4	9 11 15
30/12/2005	10	OCL	6	10 a 15
31/12/2005	11	OCL	1	17
01/01/2006	12	OCL	3	9 a 11
02/01/2006	13	OCL	8	9 a 13 15 a 17
03/01/2006	14	OCL	8	9 11 a 14 16 a 18
04/01/2006	15	NOC	6	9 a 13 15
05/01/2006	16	NOC	5	12 a 15 17
06/01/2006	17	OCS	2	13 15
07/01/2006	18	OCS	0	
08/01/2006	19	OCS	0	
09/01/2006	20	OCS	0	
10/01/2006	21	OCS	0	
11/01/2006	22	OCS	0	
12/01/2006	23	OCS	1	15
13/01/2006	24	OCS	3	15 a 17
14/01/2006	25	OCS	0	
15/01/2006	26	OCS	2	10 15
16/01/2006	27	NOC	0	
17/01/2006	28	NOC	0	
18/01/2006	29	NOC	0	
19/01/2006	30	NOC	3	13 a 15
20/01/2006	31	OCL	6	10 a 14 16
21/01/2006	32	OCL	7	11 13 a 18
22/01/2006	33	OCL	2	12 13
23/01/2006	34	OCL	3	11 13 14
24/01/2006	35	OCL	3	11 15 17
25/01/2006	36	OCL	0	
26/01/2006	37	NOC	7	9 a 13 15 16

27/01/2006	38	NOC	6	11 a 16
28/01/2006	39	OCL	10	8 10 a 18
29/01/2006	40	OCL	10	9 a 18
30/01/2006	41	OCL	9	8 a 15 17
31/01/2006	42	OCL	4	13 a 16
01/02/2006	43	OCL	2	14 15
02/02/2006	44	OCL	4	13 a 16
03/02/2006	45	OCL	0	
04/02/2006	46	OCL	0	
05/02/2006	47	OCL	6	11 a 16
06/02/2006	48	OCL	5	10 12 a 15
07/02/2006	49	NOC	10	9 a 18
08/02/2006	50	NOC	8	12 a 19
09/02/2006	51	NOC	10	8 a 17
10/02/2006	52	NOC	10	8 a 17
11/02/2006	53	NOC	6	11 12 14 16 a 18
12/02/2006	54	NOC	9	10 a 18
13/02/2006	55	NOC	9	10 a 18
14/02/2006	56	NOC	1	13
15/02/2006	57	NOC	1	14
16/02/2006	58	NOC	5	11 13 14 16 17

Anexo 5. Registros promedios correspondientes a la semana del 21 al 27 de diciembre de 2005 utilizados como covariables en el análisis: leche inicial (l/vaca/día), Peso metabólico ($\text{kg}^{0.75}$), días desde la parición hasta el 27 de diciembre, producción de grasa (g/vaca/día), producción de proteína (g/vaca/día), producción de lactosa (g/vaca/día), y producción de sólidos no grasos (g/vaca/día)

Raza	Ambiente	Vaca	Leche ini	PV ^{0.75} ini	Días pari	g grasa	g prot	g lact	g SNG
J	Sol	1	12,1	66,6	58	514,5	355,8	642,8	1083,5
J	Sol	2	11,0	72,1	9	430,0	427,1	502,8	1047,5
J	Sol	5	9,3	68,8	51	475,9	328,9	506,4	900,3
J	Sol	6	11,5	76,8	0	547,2	465,4	536,8	1107,8
J	Sol	10	9,7	75,5	21	429,5	355,1	510,0	933,4
J	Somb	3	13,7	77,8	10	616,4	553,2	670,0	1318,8
J	Somb	7	11,6	73,5	22	526,8	373,8	600,9	1056,0
J	Somb	8	10,9	74,8	13	484,0	410,1	529,7	1016,2
J	Somb	187	14,1	79,7	94	565,0	456,0	721,6	1275,0
H	Sol	194	17,6	97,1	44	680,1	461,6	884,1	1468,5
H	Sol	304	15,2	92,4	-9	593,9	537,1	715,1	1358,2
H	Sol	311	16,1	83,2	47	599,1	421,0	820,7	1354,6
H	Sol	312	14,3	99,0	3	521,0	562,8	682,5	1396,8
H	Sol	382	14,3	94,6	52	488,0	424,4	755,4	1279,9
H	Somb	302	13,7	103,3	4	510,5	375,8	708,0	1179,4
H	Somb	313	12,8	86,2	86	507,8	361,9	660,5	1113,8
H	Somb	314	14,9	96,1	4	613,3	571,1	673,4	1398,9
H	Somb	361	13,7	104,9	8	561,2	527,7	647,8	1307,2
H	Somb	380	15,0	79,0	48	523,0	397,5	757,5	1258,5

leche ini: leche inicial; g grasa: gramos de grasa; g prot: gramos de proteína; g lact: gramos de lactosa; por otras ver lista de abreviaturas

Anexo 6. Tablas de significancia de los efectos probados en los modelos estadísticos

Variable: FR_{6:00}

Efecto	GL num	GL den	Valor F	P > F
BIOT	1	16	0.02	0.8919
AMB	1	16	6.98	0.0178
BIOT × AMB	1	16	0.02	0.8960
COND. METEO	2	32	44.69	<0.0001
BIOT × COND. METEO	2	32	1.51	0.2361
AMB × COND. METEO	2	32	0.45	0.6385
BIOT × AMB × COND. METEO	2	32	0.22	0.8046
DÍA (COND. METEO)	27	428	10.42	<0.0001
BIOT × DÍA (COND. METEO)	27	428	1.46	0.0653
AMB × DÍA (COND. METEO)	27	428	1.18	0.2418
BIOT × AMB × DÍA (COND. METEO)	27	428	0.98	0.4977

Variable: FR_{15:00}

Efecto	GL num	GL den	Valor F	P > F
BIOT	1	16	3.35	0.0859
AMB	1	16	101.21	<0.0001
BIOT × AMB	1	16	4.03	0.0620
COND. METEO	2	32	33.83	<0.0001
BIOT × COND. METEO	2	32	2.39	0.1081
AMB × COND. METEO	2	32	4.29	0.0223
BIOT × AMB × COND. METEO	2	32	0.57	0.5724
DÍA (COND. METEO)	33	527	10.25	<0.0001
BIOT × DÍA (COND. METEO)	33	527	2.49	<0.0001
AMB × DÍA (COND. METEO)	33	527	2.47	<0.0001
BIOT × AMB × DÍA (COND. METEO)	33	527	1.29	0.1291

Variable: TR_{6:00}

Efecto	GL num	GL den	Valor F	P > F
BIOT	1	16	0.77	0.3937
AMB	1	16	21.84	0.0003
BIOT × AMB	1	16	3.44	0.0820
COND. METEO	2	32	35.33	<0.0001
BIOT × COND. METEO	2	32	0.01	0.9894
AMB × COND. METEO	2	32	3.00	0.0639
BIOT × AMB × COND. METEO	2	32	0.01	0.9930
DÍA (COND. METEO)	27	432	4.89	<0.0001
BIOT × DÍA (COND. METEO)	27	432	1.45	0.0705
AMB × DÍA (COND. METEO)	27	432	1.21	0.2189
BIOT × AMB × DÍA (COND. METEO)	27	432	1.75	0.0123

Variable: TR_{15:00}

Efecto	GL num	GL den	Valor F	P > F
BIOT	1	16	14.71	0.0015
AMB	1	16	36.79	<0.0001
BIOT × AMB	1	16	3.22	0.0915
COND. METEO	2	32	13.82	<0.0001
BIOT × COND. METEO	2	32	0.04	0.9625
AMB × COND. METEO	2	32	1.04	0.3635
BIOT × AMB × COND. METEO	2	32	0.06	0.9446
DÍA (COND. METEO)	33	528	8.12	<0.0001
BIOT × DÍA (COND. METEO)	33	582	1.59	0.0214
AMB × DÍA (COND. METEO)	33	528	1.27	0.1460
BIOT × AMB × DÍA (COND. METEO)	33	528	1.39	0.0741

Variable: probabilidad de tiempo dedicad al pastoreo (TP)

Efecto	GL num	GL den	Valor F	P > F
BIOT	1	16	1.38	0.2575
AMB	1	16	3.25	0.0902
BIOT × AMB	1	16	0.52	0.4825
COND. METEO	2	32	14.77	<0.0001
DÍA (COND. METEO)	4	76	3.92	0.0060
AMB × COND. METEO	2	32	1.61	0.2159
BIOT × COND. METEO	2	32	7.50	0.0021
BIOT × AMB × COND. METEO	2	32	1.99	0.1535
TURNO	2	32	184.37	<0.0001
COND. METEO × TURNO	4	64	9.66	<0.0001
BIOT × TURNO	2	32	10.14	0.0004
AMB × TURNO	2	32	31.91	<0.0001
BIOT × AMB × TURNO	2	32	3.06	0.0611
BIOT × COND. METEO × TURNO	4	64	1.50	0.2131
AMB × COND. METEO × TURNO	4	64	6.27	0.0003
BIOT × AMB × COND. METEO × TURNO	4	64	2.20	0.0788

Variable: Producción de leche

Efecto	GL num	GL den	Valor F	P > F
BIOT	1	13	40.15	<0.0001
AMB	1	13	0.54	0.4750
BIOT × AMB	1	13	5.55	0.0348
COND. METEO	2	30	59.58	<0.0001
BIOT × COND. METEO	2	30	0.78	0.4670
AMB × COND. METEO	2	30	0.12	0.8906
BIOT × AMB × COND. METEO	2	30	1.09	0.3485
DÍA (COND. METEO)	48	699	7.59	<0.0001
BIOT × DÍA (COND. METEO)	48	699	0.98	0.5074
AMB × DÍA (COND. METEO)	48	699	0.94	0.5886
BIOT × AMB × DÍA (COND. METEO)	48	699	0.84	0.7660
LECHEINI	1	13	53.2	<0.0001
DIASPARI	1	13	75.32	<0.0001

Variable: Producción de grasa

Efecto	GL num	GL den	Valor F	P > F
BIOT	1	13	15.31	0.0018
AMB	1	13	2.84	0.1157
BIOT × AMB	1	13	1.56	0.2337
COND. METEO	2	30	28.58	<0.0001
BIOT × COND. METEO	2	30	0.01	0.9943
AMB × COND. METEO	2	30	0.19	0.8290
BIOT × AMB × COND. METEO	2	30	0.86	0.4348
DÍA (COND. METEO)	35	503	4.84	<0.0001
BIOT × DÍA (COND. METEO)	35	503	1.28	0.1358
AMB × DÍA (COND. METEO)	35	503	1.00	0.4653
BIOT × AMB × DÍA (COND. METEO)	35	503	0.87	0.6780
GRASINI	1	13	44.04	<0.0001
DIASPARI	1	13	34.68	<0.0001

Variable: Producción de proteína

Efecto	GL num	GL den	Valor F	P > F
BIOT	1	13	6.47	0.0245
AMB	1	13	8.97	0.0104
BIOT × AMB	1	13	0.04	0.8378
COND. METEO	2	30	28.37	<0.0001
BIOT × COND. METEO	2	30	0.51	0.6034
AMB × COND. METEO	2	30	0.10	0.9029
BIOT × AMB × COND. METEO	2	30	2.36	0.1117
DÍA (COND. METEO)	35	503	6.51	<0.0001
BIOT × DÍA (COND. METEO)	35	503	0.90	0.6357
AMB × DÍA (COND. METEO)	35	503	1.46	0.0467
BIOT × AMB × DÍA (COND. METEO)	35	503	0.64	0.9444
GRASINI	1	13	11.58	0.0047
DIASPARI	1	13	15.72	0.0016

Variable: RCS

Efecto	GL	Chi ²	P > Chi ²
BIOT	1	0.09	0.7690
AMB	1	3.52	0.0605
BIOT × AMB	1	0.94	0.3327
COND. METEO	2	5.57	0.0618
BIOT × COND. METEO	2	0.59	0.7437
AMB × COND. METEO	2	1.88	0.3910
BIOT × AMB × COND. METEO	2	8.02	0.0181
DÍA (COND. METEO)	13	17.03	0.1980
BIOT × DÍA (COND. METEO)	13	11.68	0.5539
AMB × DÍA (COND. METEO)	13	16.74	0.2115
BIOT × AMB × DÍA (COND. METEO)	13	14.94	0.3111

Variable: VP

Efecto	GL num	GL den	Valor F	P > F
BIOT	1	15	0.01	0.9191
AMB	1	15	0.02	0.8774
BIOT × AMB	1	15	0.53	0.4796
DÍA	8	110	14.98	<0.0001
BIOT × DÍA	8	110	0.94	0.4905
AMB × DÍA	8	110	0.78	0.6221
BIOT × AMB × DÍA	8	110	1.53	0.1536

GLnum= grados de libertad del numerador, GL den= grados de libertad del denominador

BIOT= biotipos (Jersey y Holando); AMB= ambientes (sol y sombra artificial); COND. METEO= condicionantes meteorológicas (OCS, OCL, NOC)

**IMPACTO DE LAS OLAS DE CALOR SOBRE VARIABLES FISIOLÓGICAS Y
PRODUCTIVAS DE VACAS LECHERAS EN SALTO (URUGUAY)**

Saravia, C *; Astigarraga, L¹; Van Lier, E¹; y Bentancur, O².

*Unidad de Sistemas Ambientales, Estación Experimental de Facultad de Agronomía en Salto, ruta 31 km 21,5; Salto, Uruguay. ¹Dpto. de Producción Animal y Pasturas, Facultad de Agronomía, U de la República; Montevideo; ²Dpto. de Biometría, Estadística y Cómputo, Estación Experimental Mario A. Cassinoni, U de la República; Paysandú.

PALABRAS CLAVE: estrés calórico, temperatura rectal, frecuencia respiratoria, tiempo de pastoreo, producción y composición de leche

RESUMEN

El ambiente meteorológico en verano (alta radiación solar, temperatura y humedad) se encuentra fuera de la zona de confort térmico de los animales, reduciendo su productividad. Se determinó la respuesta fisiológica y productiva de vacas lecheras a distintas condicionantes meteorológicas (CM). El experimento se realizó en Salto, Uruguay, durante el verano. Se evaluaron vacas de dos biotipos (10 Holando y 10 Jersey) y dos ambientes (con y sin acceso a sombra artificial). Se registró la temperatura rectal (TR) y la frecuencia respiratoria (FR) a las 6:00 y 15:00 horas, también el tiempo dedicado al pastoreo (TP) durante el día. Se caracterizaron las CM según el índice de temperatura y humedad (ITH) promedio, horas al día con $ITH \geq 72$ y las temperaturas mínima y máxima diaria. Se identificaron una **ola de calor severa** (OCS), tres **olas de calor leve** (OCL) y días de no ola de calor (NOC). La FR y la TR de las vacas variaron en función de CM ($P < 0.0001$). Las FR y TR (6:00 y 15:00) fueron mayores en OCS con respecto a OCL y a NOC ($P < 0.0001$). El TP fue menor durante OCS con respecto a OCL y NOC ($P < 0.0001$). La producción y composición de la leche, fueron menores en OCS ($P < 0.0001$) con respecto a OCL y NOC. El recuento de células somáticas fue mayor en OCS que en OCL, pero no que en NOC ($P = 0.0618$). Durante OCS las vacas no lograron mantener la normotermia, tuvieron menor TP, reduciendo la productividad. En OCL las vacas recuperaron la normotermia durante la noche, no reduciendo la productividad en comparación a los días NOC.

**IMPACT OF HEAT WAVES ON PHYSIOLOGICAL VARIABLES AND
PRODUCTION OF DAIRY COWS IN SALTO (URUGUAY)**

Saravia, C *; Astigarraga, L¹; Van Lier, E¹; y Bentancur, O².

KEY WORDS: heat stress, rectal temperature, respiratory frequency, grazing time, milk production and composition

SUMMARY

The meteorological environment during summer (high solar radiation, temperature and air humidity) lies outside the zone of thermal comfort of the animals reducing their productivity. The physiological and productive responses of dairy cows to different meteorological determining factors (MDF) were determined. The experiment was conducted in Salto Uruguay, during summer. Cows of two biotypes (10 Holstein-Friesian and 10 Jersey) were evaluated in two environments (with or without access to artificial shade). Rectal temperature (RT) and respiratory frequency (RF) were taken at 6:00 and 15:00 h. Grazing time (GT) was registered during daytime. The MDF were characterised according to the mean temperature-humidity index (THI), hours per day with $THI \geq 72$ and minimum and maximum daily temperatures. One severe heat wave (SHW), three light heat waves (LHW) and days of no heat wave (NHW) were identified. The MDF affected RT and RF of the cows ($P < 0.0001$). The RF and RT (6:00 and 15:00) were higher in SHW compared to LHW and NHW ($P < 0.0001$). Grazing time was less during SHW compared to LHW and NHW ($P < 0.0001$). The production of milk, fat and protein was lower during SHW ($P < 0.0001$) than during LHW and NHW. Somatic cell count was lower during SHW than LHW but not NHW ($P = 0.0618$). During SHW cows did not maintain normothermia, spend less time grazing, reducing productivity. During LHW cows recovered normothermia during the night, with no reduction in productivity compared to NHW.

INTRODUCCIÓN

Durante los meses cálidos la acción combinada de alta radiación solar, temperatura y humedad del aire determina que el ambiente meteorológico se encuentre fuera de la zona de confort térmico de la vaca, reduciendo su productividad. El efecto de este ambiente se verifica directamente a través de la disminución de la producción de leche (Hahn, 1995; Leva *et al.*, 1996; Hahn, 1999; Silanikove, 2000), cambios en su composición (Bianca, 1965; Sargent *et al.*, 1967) y reducción en la eficiencia reproductiva del rodeo (Ingraham *et al.*, 1974; Ingraham *et al.*, 1976; Thatcher y Staples, 1995; Flamenbaum, 1996; Jordan *et al.*, 2003). Se ha intentado cuantificar las condiciones ambientales y su relación con la productividad animal a través de la evolución de índices biometeorológicos. Un índice biometeorológico muy difundido para caracterizar el ambiente térmico (du Preez *et al.*, 1990a; Flamenbaum, 1994; Valtorta *et al.*, 1998) es el Índice de Temperatura y Humedad (ITH) (Thom, 1959), que se ha utilizado como base para sistemas de advertencia (Hugh-Jones, 1994) y para la evaluación de las consecuencias económicas del estrés térmico en ambientes naturales y/o modificados (Hahn, 1995; St. Pierre *et al.*, 2003). La zona de confort térmico para vacas lecheras en producción toma valores de ITH entre 35 y 70 y se ha determinado un valor crítico para la producción de leche por estrés por calor en vacas Holando de 72 (Johnson *et al.*, 1961).

Los animales están adaptados a las condiciones ambientales en las que viven, sin embargo hay ciertas ocasiones en las que sufren estrés térmico debido a las variaciones térmicas o bien por una combinación de factores negativos a los que se someten durante un corto período de tiempo. Estos períodos anormalmente cálidos y generalmente húmedos de tres días consecutivos o más se denominan olas de calor (American Meteorological Society, 1989). Estas son eventos meteorológicos extremos que provocan pérdidas económicas en la producción agropecuaria por reducir la productividad de los animales e incluso provocarles la muerte (St-Pierre *et al.*, 2003). Se han documentado eventos de olas de calor con grandes pérdidas económicas en distintas localidades en todo el mundo (Nienaber y Hahn, 2007).

Olas de calor extremas se caracterizan por presentar valores de ITH por encima del umbral de emergencia durante 15 horas o más al día y con una mínima oportunidad de recuperación nocturna, pudiendo provocar la muerte en animales vulnerables como animales de alto nivel de producción, animales nuevos en feedlot, animales próximos a terminación, animales no aclimatados, enfermos (Nienaber *et al.*, 2003). En Uruguay Cruz y Saravia (2008), han realizado una caracterización climática de ITH en el período estival (promedios históricos mensuales de la serie 1961-1990 de los meses de diciembre a marzo), encontrando probabilidades mayores al 55% de ocurrencia valores por encima del crítico en el norte del Río Negro para el mes de enero. Estas mismas autoras, al caracterizar olas de calor ocurridas en el Departamento de Salto (Uruguay), en una serie de cinco años concluyeron que las olas de calor de mayor duración ocurren durante los meses de diciembre y enero con un promedio de diez horas con ITH mayores o iguales al umbral de peligro (78) y seis horas en promedio por encima del umbral de emergencia (82), por lo que según su intensidad y duración se pueden considerar de fuertes a severas (Saravia y Cruz, 2006). Sin embargo, en Uruguay, la información disponible del impacto del estrés calórico sobre animales en producción es escasa. Por ello, el objetivo de este trabajo fue caracterizar la ocurrencia de condicionantes meteorológicas estivales de diferente severidad en Salto y su impacto sobre las respuestas fisiológicas y productivas de vacas lecheras. Este experimento incluyó también la evaluación del impacto de las diferentes condicionantes meteorológicas en dos biotipos lecheros, y sin y con acceso voluntario a sombra artificial, pero estos resultados son reportados en otro trabajo (Saravia, 2009).

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en la Estación Experimental de la Facultad de Agronomía en Salto (EEFAS), Latitud: 31° 23' S; Longitud: 57° 57' W, desde el 21 de diciembre de 2005 al 16 de febrero de 2006 (período experimental 58 días).

Diseño experimental y determinaciones en los animales

El diseño experimental consistió en un arreglo factorial completo donde se evaluaron dos biotipos (Holando y Jersey) y dos ambientes (con y sin acceso voluntario a sombra artificial). Se utilizaron 20 vacas lecheras primíparas, 10 Holando y 10 Jersey, de época de parición primavera-estival. Los animales de ambos biotipos se distribuyeron aleatoriamente según peso al parto en los diferentes tratamientos. Al inicio del período experimental las vacas tenían en promedio (\pm DE) 21 ± 31 días de paridas, con un peso vivo (\pm DE) de 311 ± 22.6 kg y 416 ± 46.8 kg, una condición corporal (\pm DE) de 3.5 ± 0.4 y de 3.5 ± 0.5 y una edad promedio (\pm DE) de 27 ± 3 meses y de 31 ± 1 meses para las vacas Jersey y para las vacas Holando respectivamente.

Durante el período experimental los animales pastorearon sorgo forrajero (*Sorghum bicolor* L.) en franjas diarias con una asignación del 6% del peso vivo determinada semanalmente y estimando una utilización del 50% de la biomasa ofrecida (biomasa a 10 cm del suelo). Los animales fueron suplementados con afrechillo de arroz a razón de un 1.5 % del peso vivo ofrecido en dos veces, durante cada ordeño (6:30 y 15:30 horas). En cada ordeño se registró la producción individual de leche con medidores MM6 DeLaval. Cinco días a la semana se extrajeron muestras de leche en cada ordeño a las cuales se les agregó el conservador (2-bromo-2-nitro-1,3 propanediol) y fueron almacenados a -20° C hasta procesamiento por el Laboratorio de Leche (INIA La Estanzuela, Departamento de Colonia). Las determinaciones de los contenidos de lactosa, grasa, proteína y sólidos no grasos se realizaron según la técnica establecida en IDF Standart 141 A (FIL-IDF, 1990). Para la determinación del recuento de células somáticas se tomaron dos veces por semana muestras del ordeño matutino y vespertino, las cuales fueron conservadas a 5° C y enviadas al Laboratorio de Análisis de leche

(COLAVECO, Nueva Helvecia, Departamento de Colonia), donde fueron analizadas según la técnica establecida en IDF Standart 148 (FIL-IDF, 1991).

Considerando las diferencias en las concentraciones de los componentes (grasa, proteína, lactosa) en la leche de los diferentes biotipos, la producción diaria de leche fue corregida por sólidos (LCS) en función de la cantidad de grasa y de sólidos no grasos según la ecuación propuesta por Tyrrell y Reid (1965). La producción de leche corregida por sólidos y la producción de grasa y proteína fueron expresadas por peso metabólico ($PV^{0.75}$) (Kleiber y Mead, 1941; Gaines, 1946).

Tres veces a la semana o todos los días ante pronóstico de temperaturas elevadas, se realizaron las medidas de temperatura rectal (TR) y frecuencia respiratoria (FR) previo a cada ordeño a las 6:00 y 15:00 horas (TR_{6:00}, FR_{6:00} y TR_{15:00}, FR_{15:00} respectivamente). La temperatura rectal fue determinada mediante termómetro de máxima de mercurio de 0.1° C de precisión. La frecuencia respiratoria fue determinada por apreciación visual del movimiento de los flancos durante un minuto, expresada en respiraciones por minuto (r.p.m.).

En los días 14, 19, 23, 30, 38, 44 y 56 del período experimental se registró el tiempo dedicado al pastoreo durante la fase diurna por observación de los animales cada 15 minutos. La observación comenzó al retorno de las vacas a la parcela luego del ordeño matutino, entre las 8:00 y las 11:00 (turno 1), luego de 11:00 hasta las 14:00 horas (turno 2), retomando luego del ordeño vespertino a las 18:00 hasta las 21:00 (turno 3).

Para el cálculo del Índice de Temperatura y Humedad (ITH) (Thom, 1959) se utilizaron registros horarios de temperatura y humedad del aire de una estación meteorológica automática (Watchdog Model 900ET, Spectrum Technologies Inc., Plainfield, IL) ubicada en el Parque Agrometeorológico de la EEFAS cercano a la sala de ordeño y a 2.5 km del lugar de pastoreo. El ITH fue calculado usando la conversión de Valtorta y Gallardo (1996).

Caracterización de las condicionantes meteorológicas

Se definieron las olas de calor según los siguientes criterios:

- ❖ si al menos durante tres días consecutivos o más el ITH promedio diario fue mayor a 72 (Valtorta, *et al.*, 2004) considerándose que la ola no se interrumpió a pesar de que en un día de la serie no se alcanzara este umbral
- ❖ si al menos durante tres días consecutivos o más el ITH horario fue mayor o igual a 72 durante catorce horas o más (Valtorta, *et al.*, 2002)
- ❖ si al menos durante tres días consecutivos o más la temperatura mínima diaria fue mayor o igual a 23° C y la temperatura máxima diaria fue mayor a 29° C (Rodríguez, *et al.*, 2003)

Se definió como ola de calor severa (OCS) si se cumplía simultáneamente los tres criterios, como ola de calor leve (OCL) si cumplía con al menos uno de ellos y como no ola de calor (NOC) si no se cumplía con ninguno de los criterios enumerados. Esta caracterización está de acuerdo con las categorías definidas en Nienaber *et al.* (2003) en función de la intensidad y duración del evento y la relación con respecto al tiempo de recuperación nocturna considerado para bovinos *Bos taurus*.

Análisis estadístico

Los registros de la variable producción de leche (corregida por sólidos y peso metabólico, expresada en $\text{kg}/\text{kg}^{0.75}$), producción de grasa, producción de proteína, (en $\text{g}/\text{kg}^{0.75}$) y las medidas fisiológicas temperatura rectal y frecuencia respiratoria de las 6:00 y las 15:00 horas se analizaron ajustando un modelo lineal general con medidas repetidas en el tiempo. Se utilizó para el análisis el procedimiento Mixed del paquete estadístico SAS (SAS Institute, Cary, NC, 2006). El efecto “día experimental” fue considerado como el factor de medidas repetidas. Se consideró la estructura de autocorrelación entre observaciones repetidas en un mismo animal a través del tiempo, según un modelo autorregresivo de orden 1. En el modelo se incluyeron como efectos fijos los ambientes, los biotipos y las condicionantes meteorológicas y todas sus interacciones y como efectos aleatorios el error de las medidas repetidas (dentro de vacas) y el error experimental (entre vacas). Para el análisis de la producción y de la composición de leche se consideraron dos covariables 1) el valor medio de las observaciones de la misma obtenidas durante los días 1 al 7 inclusive del experimento (21 al 28 diciembre de 2005) y 2) el número de días desde la parición de cada vaca al 28 de diciembre de 2005. Las covariables no permanecieron en el modelo cuando no fueron significativas. Las medias de los efectos significativos fueron comparadas usando el test de Tukey. Se utilizó un nivel de significancia crítico de 10%.

Para el análisis de los registros de las medidas fisiológicas, temperatura rectal de las 6:00 y las 15:00 horas y frecuencia respiratoria de las 6:00 y de las 15:00 horas, se utilizó el mismo modelo explicado anteriormente sin covariables.

El recuento de células somáticas (1000 cel/ml) se analizó ajustando un modelo lineal generalizado de medidas repetidas en el tiempo con el procedimiento GENMOD del paquete estadístico SAS (SAS Institute, Cary, NC, 2006). Se asumió que dicha variable tiene una distribución binomial negativa.

La probabilidad de tiempo dedicado al pastoreo (TP) se analizó ajustando un modelo lineal generalizado de medidas repetidas en el tiempo con el procedimiento GLIMMIX del paquete estadístico SAS (SAS Institute, Cary, NC, 2006). Se asumió que el número de observaciones de tiempo dedicado al pastoreo en relación al número total de observaciones tiene una distribución binomial.

RESULTADOS

Ambiente atmosférico

La temperatura promedio en el período experimental fue de 25.9° C (\pm 2.7 DE) y la humedad relativa 55% (\pm 14 DE). La temperatura máxima promedio fue de 32.9° C con una máxima absoluta de 41.1° C ocurrida el 10 de enero. La temperatura mínima promedio fue de 18.9° C registrándose la mínima absoluta de 12.6° C el 25 de diciembre. El ITH promedio diario durante el experimento fue de 72.6 (\pm 3.47 DE).

En la figura 1 se presenta la ocurrencia de las tres condicionantes meteorológicas a lo largo del período experimental. Se identificó una **ola de calor severa** (OCS) de una duración de diez días en total que comprendió del 6 al 15 de enero inclusive (días experimentales 17 al 26). La OCS comenzó con dos días de 14 y 16 horas de ITH \geq 72 (lo que ya permitió definir el comienzo de una ola de calor) y temperaturas mínimas de 19 y 21° C, respectivamente. A partir del tercer día comenzaron a sucederse días con 24

horas con $ITH \geq 72$ y temperaturas mínimas superiores a $23^{\circ} C$. Como condicionante meteorológica **ola de calor leve** (OCL) se identificaron tres que duraron siete, seis y diez días (Cuadro 1), totalizando 23 días. Los días de OCL se caracterizaron por tener catorce horas o más al día con $ITH > 72$; ITH promedio diario ≥ 72 durante casi la totalidad de los días y temperaturas máximas $> 29^{\circ} C$ en veintidós de los días. Sin embargo, el descenso de la temperatura durante la noche resultó en temperaturas mínimas menores a $23^{\circ} C$, e ITH menores a 72 de 6.4 a 10.4 horas (figura 2). El resto de los días que no cumplieron con los criterios de definición de ola de calor, días de **no ola de calor** (NOC), fueron el 43% restante de los días del período experimental (veinticinco días). Los NOC se caracterizaron por tener una temperatura máxima promedio de $30.9^{\circ} C$, temperatura mínima promedio de $16.7^{\circ} C$ e ITH promedio diario de 69.8. Presentaron en promedio 10 horas al día con ITH mayores o iguales a 72, pero con una variación de 0 a 21 horas según el día. Los resultados de las variables meteorológicas temperatura, humedad del aire e ITH durante las condicionantes meteorológicas OCS, OCL y NOC se presentan en el Cuadro 1.

Respuesta animal

Las respuestas fisiológicas (FR, TR) de las vacas variaron en función de las condicionantes meteorológicas ($P < 0.0001$) (Cuadro 2). Los valores observados de FR y TR tanto a las 6:00 como a las 15:00 fueron mayores en OCS con respecto a OCL y a NOC.

El tiempo total dedicado al pastoreo durante el período de observación difirió significativamente ($P < 0.0001$) según la condicionante meteorológica siendo menor el tiempo de pastoreo total durante OCS con respecto a OCL, y NOC, mientras que éste fue similar entre OCL y NOC. Dentro de cada turno de observación (turno 1, turno 2 y

turno 3) también se encontraron diferencias significativas ($P < 0.0001$) según la condicionante meteorológica. En el turno 1 (de 8:00 a 11:00) se observó el menor tiempo dedicado al pastoreo durante OCS en comparación a OCL y NOC; en el turno 2 (de 11:00 a 14:00) tanto en OCS como OCL se observó un menor tiempo dedicado al pastoreo, menor que en NOC y en el turno 3 (de 18:00 a 21:00) el tiempo dedicado al pastoreo fue mayor en OCL con respecto a OCS y NOC (Cuadro 3).

Las condicionantes meteorológicas afectaron significativamente la respuesta productiva de las vacas, tanto en producción de leche que resultó significativamente ($P < 0.0001$) menor en OCS con respecto a las otras dos condicionantes meteorológicas, como así también en producción de grasa y proteína ($P < 0.0001$). El recuento de células somáticas fue diferente entre condicionantes meteorológicas ($P = 0.0618$) registrándose los mayores valores durante OCS (aunque no difirió de NOC) (Cuadro 4).

DISCUSIÓN

Las condicionantes meteorológicas denominadas para este trabajo olas de calor leves (OCL) y ola de calor severa (OCS) (Valtorta, *et al.*, 2002; Rodríguez, *et al.*, 2003; Nienaber, *et al.*, 2003; Valtorta, *et al.*, 2004) representaron el 57% del tiempo experimental (en total 33 días). OCS se caracterizó por elevadas temperaturas máximas (entre 31.1 y 41.1° C), lo que determinó la ocurrencia de niveles de ITH considerados de emergencia ($ITH > 82$) (Livestock Weather Safety Index, du Preez *et al.*, 1990b) durante cinco a nueve horas al día totalizando 22 % de horas con ITH por encima del umbral de peligro 78 (cuadro 1). El conjunto de estas características permitieron definir a esta condicionante meteorológica como una ola de calor severa (Nienaber, *et al.*, 2003). Los días de ola de calor leve se caracterizaron por presentar condiciones meteorológicas en

la fase diurna de elevadas temperaturas y contenidos de humedad del aire que determinaron niveles de ITH considerados de peligro (ITH entre 78 y 82) durante cuatro a ocho horas al día (figura 2) pero el descenso de temperatura durante la noche posibilitó condiciones de recuperación nocturna de la normotermia en las vacas (Nienaber *et al.*, 2003). Durante NOC, en promedio cinco horas al día el ITH se encontró entre 74 y 78, y solo en cuatro de los veinticinco días NOC (un 16% de los días) se registraron valores horarios (de cuatro a ocho horas) superiores a 78, lo que estaría indicando que aunque existieron condiciones de altas temperaturas diurnas se dieron por pocas horas al día y solo en algunos de los días, contrastando con las condicionantes meteorológicas olas de calor.

Las condicionantes meteorológicas tuvieron diferente impacto sobre las respuestas fisiológicas de las vacas. A las horas de alta temperatura del aire (temperatura máxima media de todo el período experimental: 32.9° C) la $FR_{15:00}$ medida en las vacas presentó valores superiores a las 65 r.p.m. tanto en OCS como en OCL, indicando situaciones de estrés calórico para vacas en lactación de medio a alto (Thomas y Pearson, 1986; Gaughan *et al.*, 1999). Estos resultados observados en las tres condicionantes meteorológicas están en acuerdo con los resultados encontrados por Muller *et al.* (1994) en vacas lecheras en días con temperaturas máximas mayores a 25° C (temperatura crítica máxima para vacas Holando en lactación según Berman *et al.*, 1985). Mientras que en NOC la $FR_{15:00}$ promedió 55 r.p.m., valor considerado de estrés calórico leve según Thomas y Pearson, (1986). A pesar de estas altas frecuencias respiratorias, las $TR_{15:00}$ estuvieron siempre por encima de 39.0° C considerado el límite superior de la normotermia (Seath y Miller, 1946; Hansen *et al.*, 1992) registrándose los mayores valores en OCS (39.8° C) y en OCL (39.6° C) con respecto a NOC (39.3° C), lo cual

estaría indicando las dificultades para mantener la temperatura corporal en las condicionantes más extremas. Según Muller y Botha (1993) y en acuerdo con McDowell *et al.* (1953) y Legates *et al.* (1991), los bovinos incrementan su frecuencia respiratoria en condiciones cálidas, debido a la alta radiación solar, para reducir su temperatura rectal. Sin embargo, a diferencia de lo ocurrido en OCS, en OCL las temperaturas e ITH diurnos altos son alternados con períodos nocturnos (entre las 21:00 y las 6:00 horas) con ITH menores a 72 (ITH promedio de 70.4) y con temperaturas promedio de 23.1° C. Estas condiciones les permiten a las vacas lecheras disipar la carga calórica acumulada durante el período diurno (Thomas y Pearson, 1986; Gaughan *et al.*, 1999) presentando TR_{6:00} similares a NOC (Cuadro 2).

El tiempo total dedicado al pastoreo durante el período de observación fue menor en OCS (41.1% menor) con respecto a NOC. Esta disminución se apreció desde temprano, en el turno 1, cuando la temperatura del aire era ya de 26° C a las 8:00, hasta llegar a 36.6° C a las 11:00. Por otro lado, al retorno del ordeño de la tarde en OCS, la temperatura del aire también permanece elevada, 32.2° C en promedio, lo que podría indicar por qué el tiempo dedicado al pastoreo es bajo aún en el turno 3 con respecto a NOC (Cuadro 4). Durante la ola de calor severa el análisis del ITH horario, indicó valores promedio de 76, 81 y 79 para los turnos 1, 2 y 3 respectivamente. En condiciones de pastoreo en verano y en climas cálidos, bajo situaciones de estrés calórico la actividad de pastoreo durante la noche puede ser un importante aporte al tiempo total dedicado al pastoreo (alrededor del 50% según Valtorta *et al.* 2003), y prefiriendo los animales pastorear durante las mañanas más frescas y en el atardecer (Seath y Miller, 1946; Albright, 1993). En nuestro trabajo no se realizaron observaciones durante la noche, pero por los altos ITH registrados aún en la noche en

OCS (de 1 a 9 horas con ITH entre 74 y 78 y hasta 1 hora con ITH mayor a 82), es probable que la capacidad de recuperar tiempo de pastoreo fuera escasa. En OCL, también se observó una modificación del comportamiento en pastoreo como mecanismo de defensa para evitar el período de mayor calor, pero sin afectar el tiempo total del pastoreo, ya que las vacas dedicaron más tiempo al pastoreo durante el turno 3, cuando la temperatura de aire promedio fue de 26.3° C y el ITH promedio de 73.4.

La severidad de la condicionante meteorológica durante OCS también afectó significativamente la respuesta productiva de las vacas (Cuadro 4). La producción de leche disminuyó 18.5% en OCS, evidenciando una incapacidad de los animales para disminuir la carga calórica en este período. Efectos similares encontraron Valtorta *et al.* (1997) en vacas después de estar sometidas a una ola de calor (temperaturas máximas de hasta 37.9° C y mínimas 20.4° C), con una reducción de un 12% de la producción hasta 20 días después de culminada dicha condicionante meteorológica. Johnson y Vanjonack, (1976) también reportan una reducción en la producción de leche asociada a una disminución del consumo de alimento en vacas lecheras sometidas una temperatura constante de 32° C y una humedad relativa de 45% reduciéndose la respiración y la evaporación desde la superficie corporal, con respecto a una situación de humedad relativa de 20%. En nuestro trabajo durante OCS, la temperatura del aire fue igual o superior a 32° C más de un tercio del tiempo total de duración de la condicionante meteorológica, asociado a niveles de humedad promedio de 32%, lo que resultó en un ITH promedio durante esas horas de 82.2 (límite de emergencia). Estas condiciones podrían explicar la disminución del tiempo dedicado al pastoreo y posiblemente al consumo de alimento, aunque esta última variable no fue medida.

La producción de sólidos en la leche siguió la misma variación que la producción de leche. Se observó una disminución de la producción de sólidos en la leche en OCS, disminuyendo la producción de grasa y proteína con respecto a las producciones observadas en OCL y NOC (-17.7% y -18.2% respectivamente). Resultados similares reportan Valtorta *et al.* (1997) para la producción de proteína (-18.7%) durante una ola de calor severa. Estos resultados podrían deberse a la alteración (reducción) durante las altas temperaturas de la síntesis, absorción y movilización de los metabolitos (glucosa, ácidos grasos volátiles, lípidos, aminoácidos) a partir del tracto digestivo, hígado y tejido adiposo y su utilización por la glándula mamaria (Arcaro Junior *et al.*, 2003). Sin embargo, la producción de leche y de sólidos fue similar entre OCL y NOC. En nuestro trabajo la $TR_{6:00}$ promedio observada en OCL no difiere de la observada en NOC, explicado seguramente por un mayor número de horas con condiciones para la recuperación nocturna de las vacas lecheras del calor acumulado durante el día (entre una a ocho horas con ITH menores a 72 entre las 21:00 y las 6:00 horas en OCL). Estos resultados concuerdan con lo reportado por Bianca (1965) que señala que no observaron diferencias en la producción de vacas lecheras sometidas a elevadas temperaturas diurnas (32 a 38° C) pero mantenidas a temperaturas nocturnas relativamente bajas (menores a 24° C), indicando que la posibilidad de recuperación nocturna de la normotermia le permitió a los animales afrontar el estrés calórico durante el día, minimizando de esta forma los efectos perjudiciales sobre la productividad.

El recuento de células somáticas fue mayor en OCS con respecto a OCL (aunque OCS no difirió estadísticamente de NOC). Wegner *et al.* (1974) y Collier *et al.* (1982) sugieren una relación positiva entre el estrés provocado por las altas temperaturas y un alto recuento de células somáticas. La explicación del mayor recuento en condiciones de

alta temperatura sería que en situaciones de estrés (en este caso calórico) disminuye la resistencia a las infecciones, inhibiendo frecuentemente la migración de leucocitos hacia el sitio de infección y el desarrollo de la respuesta inflamatoria en respuesta al patógeno (Merlot, 2004). La situación de estrés calórico puede aumentar la susceptibilidad a la infección intramamaria por disminuir la resistencia del huésped y/o incrementar la exposición del mismo a los patógenos que se ven favorecidos en su crecimiento y propagación por el ambiente (cálido y húmedo) que los rodea (Shearer y Beede, 1990).

CONCLUSIONES

El efecto depresor de condicionantes meteorológicas severas como ola de calor se comprobó en la productividad, tanto en términos de producción de leche como de grasa y proteína debido a que las vacas no lograron mantener una temperatura corporal interna en un rango de termoneutralidad, ni aún incrementando la frecuencia respiratoria, dedicaron menos tiempo al pastoreo, lo cual afectó negativamente la productividad. Sin embargo, cuando las altas temperaturas y humedad diurnas se alternaron con noches de menores ITH como se observó durante las olas de calor leve, permitiendo a las vacas recuperar la normotermia, el efecto detrimental del calor no se evidenció sobre la producción de leche ni de sólidos en comparación a los días de no ola de calor.

BIBLIOGRAFÍA

- ALBRIGHT, J.L. 1993. Feeding behavior of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 76: 485-498.
- AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY. 1989. Glossary of Meteorology. Disponible en: <http://ams.allenpress.com/perlserv>. Consultado en noviembre de 2008.
- ARCARO JUNIOR, I.; ARCARO, J.; POZZI, C.; FAGUNDES, H.; MATARAZZO, S e de OLIVEIRA, C. 2003. Teores plasmáticos de hormônios, produção e composição do

- leite em sala de espera climatizada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 7(2): 350-354.
- BERMAN, A. FOLMAN, Y.; KAIM, M.; MAMEN, M.; HERZ, Z.; WOLFENSON, D.; ARIELI, A. and GRABER, Y. 1985. Upper critical temperatures and forced ventilation effects for high yielding dairy cows in a subtropical climate. *J Dairy Sci* 68: 1488-1495.
- BIANCA, W. 1965. Reviews of the progress of dairy science. Section A Physiology. Cattle in a hot environment. *J. Dairy Res.* 32: 291-345.
- COLLIER, R.J.; BEEDE, D.K.; THATCHER, W.W.; ISRAEL, L.A. and WILCOX, C.J. 1982. Influences of environment and its modification on dairy animal health and production. *J. Dairy Sci.* 65: 2213-2227.
- CRUZ, G. y SARAVIA, C. 2008. Un índice de temperatura y humedad del aire para regionalizar la producción lechera en Uruguay. *Agrociencia* XII (1): 56-60.
- du PREEZ, J.H.; GIESECKE, W.H. and HATTINGH, P.J. 1990a. Heat stress in dairy cattle and other livestock under Southern African conditions. I. Temperature-humidity Index mean values during the four main seasons. *Onderstepoort J. Vet. Res.* 57: 77-86.
- du PREEZ, J.H.; HATTINGH, P.J.; GIESECKE, W.H. and EINSEBERG, B.E. 1990b. Heat stress in dairy cattle and other livestock under Southern African conditions. III. Monthly Temperature-humidity Index mean values and their significance in the performance of dairy cattle. *Onderstepoort J. Vet. Res.* 57: 243-248.
- FLAMENBAUM, I. 1994. Factores que afectan la producción lechera en la zona Norte. Informe de consultoría en el “Segundo Proyecto de desarrollo agropecuario”, Comisión Honoraria del Plan Agropecuario. Montevideo. 18 p.
- FLAMENBAUM, I. 1996. Heat stress relief from high producing israeli cows in summer. En *International Symposium intensive milk production in Israel under hot climate conditions*, pp 3-9. Tel-Aviv.
- GAINES, E.L. 1946. Live weight versus metabolic body size in dairy cows and goats. *J. Dairy Sci.* 29 (5): 259-272.

- GAUGHAN, J.B.; MADER, T.L.; HOLT, S.M.; JOSEY, M.J. and ROWAN, K.J. 1999. Heat tolerance of Boran and Tuli crossbred steers. *J. Anim. Sci.* 77 (9): 2398-2405.
- HAHN, G.L. 1995. Environmental management for improved livestock performance, health and well-being. *Japanese Journal Livestock Management* 30 (3): 113-127.
- HAHN, L.G. 1999. Dynamic responses to cattle to thermal heat loads. *J. Anim. Sci.* 77 (Suppl. 2): 10-20.
- HANSEN, P.J.; THATCHER, W.W. and EALY, A.D. 1992. Methods for reducing effects of heat stress on pregnancy. En Van Horn H.H and Wilcox C.J. (eds). *Large Dairy Herd Management*, American Dairy Science Association. pp 116-125. Champaign.
- HUGH-JONES, M.E. 1994. Livestock: management and decision making. En *Handbook of Agricultural Meteorology*. Griffiths, J., ed., Oxford University Press, New York. pp 291-298.
- INGRAHAM, R.H.; GILLETTE, D.D. and WAGNER, W.D. 1974. Relationship of temperature and humidity to conception rate of Holstein cows in subtropical climate. *J. Dairy Sci.* 57: 476-481.
- INGRAHAM, R.H.; STANLEY, R.W. and WAGNER, W.C. 1976. Relationship of Temperature and Humidity to Conception Rate of Holstein Cows in Hawaii. *J. Dairy Sci.* 59: 2086-2090.
- JOHNSON, H.D.; KIBLER, H.H.; RAGSDALE A.C.; BERRY, I.L. and M.D. SHANKLIN. 1961. Role of heat tolerance and production level in responses of lactating Holsteins to various temperature-humidity conditions. *J. Dairy Sci.* 44: 1191.
- JOHNSON, H.D. and VANJONACK, W.J. 1976. Effects of environmental and the other stressors on blood hormone patterns in lactating animals. *J. Dairy Sci.* 59 (9): 1063-1617.
- JORDAN, E.R. 2003. Effects of heat stress in reproduction. *J. Dairy Sci.* 86 (E suppl.):E104-E114.
- KLEIBER, M. and MEAD, S.W. 1941. Body size and milk production. *J. Dairy Sci.* 24: 127-134.

- LEGATES J.E.; FARTHING, B.R.; CASADY, R.B. and BARRADA, D.M.S. 1991. Body temperature and respiratory rate of lactating dairy cattle under field and chamber conditions. *J. Dairy Sci.* 74: 2491-2500.
- LEVA, P.E.; VALTORTA, S. y FORNASERO, L.V. 1996. Disminución de la producción lechera estival: situación actual y efecto del cambio global. Resúmenes del 20° Congreso de Producción Animal, AAPA. Argentina. *Revista Argentina de Producción Animal* Vol. 16 Sup. 1 p. 26.
- MCDOWELL, R.E.; DOUGLAS H.K. LEE, and FOHRMAN, M.H. 1953. The Relationship of Surface Area to Heat Tolerance in Jerseys and Sindhi-Jersey (F₁) Crossbred Cows. *J. Anim Sci.* 12: 747-756.
- MERLOT, E. 2004. Conséquences du stress sur la fonction immunitaire chez les animaux d'élevage. *INRA Prod. Anim.* 17 (4): 255-264.
- MULLER, C.J.C. and Botha, J.A. 1993. Effect of summer climatic conditions on different heat tolerance indicators in primiparous Friesian and Jersey cows. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 23 (3/4): 98-103.
- MULLER, C.J.C.; BOTHA, J.A.; COETZER, W.A. and SMITH, W.A. 1994. Effect of shade on various parameters of Friesian cows in a Mediterranean climate in South Africa. 2. Physiological responses. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 24 (2): 56-60.
- NIENABER, J.A.; HAHN, G.L.; BROWN-BRANDL, T.M. and EINGENBERG, R.A. 2003. Heat stress climatic conditions and the physiological responses of cattle. En: Janni, K. (ed), *Fifth International Dairy Housing Proceeding of the Conference*, ASAE Publication Number 701P0203 Fort Worth. pp 255-262.
- NIENABER, J.A. and HAHN, G.L. 2007. Livestock production systems management responses to thermal challenges. *Int. J. Biometeorology* 52: 149-157.
- RODRÍGUEZ, R.O; HERRERA, M.G. y BLASÓN, A.D. 2003. Frecuencia, duración e intensidad de las olas de calor en la Argentina. En: SBA/UFSM/UNIFRA (ed) *Anais do Congresso Brasileiro de Agrometeorologia*, 13°, pp 1087-1088. Santa Maria.

- SARAVIA, C. y CRUZ, G. 2006. Olas de calor en la cuenca lechera de Salto: evolución del ITH y comportamiento atmosférico que determinan su ocurrencia. En: Iran José Oliveira da Silva - Coordinador - Mudanças climáticas: impacto sobre o homem, a planta e o animal. 4º Congresso Brasileiro de Biometeorologia Ribeirão Preto, SP. Brasil. En CD.
- 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. (en prensa).
- SARGENT, F.D.; BUTCHER, K.R. and LEGATES, J.E. 1967. Environmental influences on milk constituents. *J. Dairy Sci.* 50(2): 177-184.
- SEATH, D.M. and MILLER, G.D. 1946. Effect of warm weather on grazing performance of milking cows. *J. Dairy Sci.* 29: 199-206.
- SHEARER, J.K. and BEEDE, D.K. 1990. Effects of high environmental temperature on production, reproduction, and health of dairy cattle. *Agri-Practice* 11 (5): 6-17.
- SILANIKOVE, N. 2000. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic. *Livestock Production Science* 67: 1-18.
- St-PIERRE, N.R.; COBANOV, B. and SCHNITKEY, G. 2003. Economic losses from heat stress by US Livestock Industries. *J. Dairy Sci.* 86 (E. suppl.): E52-E77.
- THATCHER, W.W. and STAPLES, C.R. 1995. Efecto del estrés calórico y la alimentación sobre la performance reproductiva: nuevas estrategias para mejorar la eficiencia reproductiva. En XIII Jornadas Uruguayas de Buiatría, Paysandú. E1-E25.
- THOM, E.C. 1959. The discomfort index. *Weatherwise* 12: 57-59.
- THOMAS, C. K. and PEARSON, R.A. 1986. Effects of ambient temperature and head cooling on energy expenditure, food intake and heat tolerance of Brahman and Brahman x Friesian cattle working on treadmills. *Anim. Prod.* 43: 83-90.
- TYRRELL, H.F. and REID, J.T. 1965: Prediction of the Energy Value of Cow's Milk. *J. Dairy Sci.* 48 (9): 1215-1223.

- VALTORTA, S.E. y GALLARDO, M.R. 1996. El estrés por calor en producción lechera. En: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (ed.) Miscelánea N° 81 pp. 173-185, Rafaela.
- VALTORTA, S.E.; LEVA, P.E.; GALLARDO, M.; FORNASERO, L.V.; VELES, M.A. y GARCÍA, M.S. 1997. Producción de leche: respuestas a la alta temperatura. Arch. Latinoam. Prod. Anim. 5 (Supl.1): 399-401.
- VALTORTA, S.; LEVA, P.; CASTRO, H.; GALLARDO, M.; MACIEL, M.; GUGLIELMONE A. y ANZANI, O. 1998. Producción de leche en verano. Centro de Publicaciones, Secretaría de Extensión, Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe. 109 p
- VALTORTA, S.E.; COMERÓN, E.A.; ROMERO, L.A.; MIGLIORE, C. ESTRADA, M. de; ARONNA, M.S. y QUAINO, O.A. 2003. Comportamiento de vacas Holando, Jersey sus cruza durante la época estival. 2. Efecto de las variables meteorológicas y el tiempo de pastoreo. Rev. Arg. Prod. Anim. 23 (supl.1): 293-294.
- VALTORTA, S.E.; LEVA, P.E.; GALLARDO, M.; FORNASERO, L.V.; VELES, M.A. y GARCÍA, M.S. 1997. Producción de leche: respuestas a la alta temperatura. Arch. Latinoam. Prod. Anim. 5 (Supl.1): 399-401.
- VALTORTA, S.C.; GALLARDO, M.R. y LEVA, P.E. 2004. Olas de calor: impacto sobre la producción lechera en la cuenca central argentina. En: Asociación Argentina de Agrometeorología (ed), Reunión Argentina, 10ma. y Latinoamericana 4ta. de Agrometeorología, Memorias en disco compacto. Mar del Plata.
- WEGNER, T. N.; SCHUCH, J.D.; NELSON, F.E. and STOTT, G.H. 1974. Effect of stress on blood leucocyte and milk somatic cell counts in dairy cows. J. Dairy Sci. 59(5): 949-956.

Títulos de cuadros y figuras

Cuadro 1. Temperatura ($^{\circ}$ C), humedad del aire (%) e índice de temperatura y humedad (medias \pm DE), en cada condicionante meteorológica

Cuadro 2. Temperatura rectal ($^{\circ}$ C) y frecuencia respiratoria (r.p.m.) de las vacas lecheras en la mañana (6:00 horas) y en la tarde (15:00 horas) en cada condicionante meteorológica (media \pm EEM)

Cuadro 3. Tiempo total dedicado al pastoreo (minutos) y por turno de observación en cada condicionante meteorológica (media \pm EEM)

Cuadro 4. Producción de leche corregida por sólidos ($\text{kg}/\text{kg}^{0.75}$), producción de grasa ($\text{g}/\text{kg}^{0.75}$) y producción de proteína ($\text{g}/\text{kg}^{0.75}$), y recuento de células somáticas (1000 cel/ml) en cada condicionante meteorológica (media \pm EEM)

Figura 1. Temperatura del aire máxima y mínima diaria ($^{\circ}$ C), ITH promedio diario y cantidad de horas al día con ITH superior a 72

Figura 2. Cantidad promedio de horas al día según los diferentes rangos de ITH en cada condicionante meteorológica (media \pm DE)