

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE VETERINARIA**

**EFFECTO DE DIFERENTES MEDIDAS DE MITIGACIÓN DEL ESTRES CALÓRICO
SOBRE EL COMPORTAMIENTO Y DESEMPEÑO PRODUCTIVOS DE VACAS
LECHERAS EN COLONIA, URUGUAY**

“por”

**María José CAPÓ SANTOS
Valentina SENOSIAÍN MORALES**

**TESIS DE GRADO presentada como
uno de los requisitos para obtener el
título de Doctor en Ciencias
Veterinarias
Orientación: Producción Animal**

MODALIDAD: Ensayo experimental

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2015**

PÁGINA DE APROBACIÓN

Tesis de grado aprobada por:

Presidente de mesa

Dra. Stella Huertas

Segundo miembro:

Ing. Agr. Alejandro La Manna

Tercer miembro:

Dra. Carolina Fiol

Co – Tutores:

Dra. Elena De Torres

Fecha:

25 de Mayo de 2015

Autores:

María José Capo

Valentina Senosiáin

AGRADECIMIENTOS

Ing. Agr. Lorena Román por su invaluable dedicación, motivación y apoyo siendo muy importante durante la realización de este trabajo con los menores errores posibles.

A tutor Ing. Agr. Alejandro La Manna y co-tutor Dra. Elena De Torres por el tiempo dedicado a este trabajo y experiencia.

Ing. Agr. Celmira Saravia en su ayuda de trabajo de campo y nuestros compañeros tesisistas del trabajo experimental: Magdalena, Carolina, Mariana, Simón, Juan y Lucas.

A Inia La Estanzuela por abrirnos la puertas, por ayudarnos en el ensayo experimental de la tesis y al personal del tambo por su ayuda diaria en el manejo de los animales.

A la Facultad de Veterinaria de la Universidad de la República y a todos los profesores por nuestra formación como profesionales, a los integrantes de Biblioteca de la Facultad de Veterinaria por la colaboración permanente en la búsqueda bibliográfica y a Leticia de Bedelía por brindarnos su tiempo.

A nuestros amigos de siempre que nos acompañaron en el trayecto como estudiantes. Amigos y compañeros que conocimos durante la carrera.

Por último y sobre todo dedicarle a nuestra familia, por darnos la oportunidad de estudiar y hacernos crecer como personas brindando su apoyo incondicional en el transcurso de la carrera.

TABLA DE CONTENIDO

Página

PAGINA DE APROBACIÓN	2
AGRADECIMIENTOS	3
LISTA DE TABLAS	6
LISTA DE FIGURAS.....	6
LISTA DE ABREVIATURAS.....	8
RESUMEN.....	9
SUMMARY	10
1-INTRODUCCIÓN	11
2-REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1. Medio ambiente y entorno animal	13
2.1.1. Homeotermia.....	13
2.1.2. Zona termoneutral y sus límites	14
2.2. Determinación del ambiente térmico	16
2.2.1. Índice de Temperatura y Humedad.....	16
2.2.2. Esferas de Vernon	17
2.3. Efectos del ambiente térmico sobre el animal	17
2.4. Alternativas para mitigar el estrés calórico	21
2.4.1. El desarrollo genético de razas más tolerantes al calor	22
2.4.2. Manejo nutricional	22
2.4.3. Modificaciones ambientales	23
2.4.3.1. Sombras	23
2.4.3.2. Sistemas de enfriamiento	24
2.5. Producción de leche y comportamiento animal bajo diferentes medidas de mitigación	25
3. HIPÓTESIS	29
4. OBJETIVOS GENERAL Y ESPECÍFICOS	30
5. MATERIALES Y MÉTODOS	31
5.1. Localización y período experimental	31
5.2. Animales y tratamientos	31
5.3. Manejo de los animales.....	32
5.4. Caracterización del ambiente térmico	32

5.5 Determinaciones en los animales.....	33
5.5.1 Productivas	33
5.5.2 De comportamiento.....	33
5.5.3 Fisiológicas	33
5.6 Diseño experimental y análisis estadístico	34
6. RESULTADOS	36
6.1 Caracterización del ambiente térmico	36
6.2. Variables fisiológicas.....	37
6.3. Variables de comportamiento.....	38
6.3.1. En el pastoreo.....	38
6.3.2. En el encierro	39
6.4. Variables productivas	43
6.4.1. Producción de leche corregida por sólidos	43
6.4.2. Grasa	43
6.4.3. Proteína	44
7. DISCUSIÓN.....	45
8. CONCLUSIONES.....	50
9. BIBLIOGRAFIA.....	51

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición RTM.....	32
Tabla 2. Comparación de los registros meteorológicos del periodo experimental (diciembre 2012-febrero 2013) con las normales climatológicas (1980-2009).....	36
Tabla 3. Temperatura del aire media (T_{med} , °C), humedad relativa (HR, %) e ITH promedios diarios según día experimental de observación de comportamiento.....	36
Tabla 4. Número de horas y horarios (horas) en las que las temperaturas de las Esferas de Vernon fueron estadísticamente diferentes entre tratamientos ($P < 0,05$).....	37
Tabla 5. Frecuencia Respiratoria (FR; media \pm EEM) y temperatura rectal (TR; media \pm EEM) en la mañana (am) y tarde (pm) según tratamiento.....	38
Tabla 6. Probabilidad de ocurrencia (% \pm EEM) en la que los animales se encontraban en cada actividad (rumia y pastoreo) según tratamientos.....	38
Tabla 7. Probabilidad de ocurrencia (% \pm EEM) en la que los animales se encontraban en cada actividad (rumia y pastoreo) según día experimental.....	38
Tabla 8. Probabilidad de ocurrencia (% \pm EEM) en la que los animales se encontraban en cada actividad (rumia, parado, echados, cercano al comedero y utilizando la sombra artificial) según tratamiento.....	39
Tabla 9. Probabilidad de ocurrencia (% \pm EEM) en la que los animales se encontraban en cada actividad (rumia, parado, echados, probabilidad de ocurrencia de cercanía al comedero y utilizando la sombra artificial) según turno de observación (turno 1: 09:00-12:00; turno 2: 12:00-16:00, turno 3 (16:00-20:00) durante el encierro.....	43
Tabla 10. Producción de leche corregida por sólidos (promedio + EEM) según los diferentes tratamientos.....	43
Tabla 11. Producción de grasa (kg, promedio + EEM) según los diferentes tratamientos.....	44
Tabla 12. Producción de proteína (kg, promedio + EEM) según los diferentes tratamientos.....	44

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Representación esquemática de las condiciones ambientales críticas para la supervivencia del animal (adaptado de Bianca, 1972).....15
- Figura 2. Proporción de tiempo dedicado a las diferentes actividades (rumia, parado, echado, tiempo cercano al comedero, sombra; %; media \pm EEM) según día experimental.....40
- Figura 3. Probabilidad de ocurrencia (% \pm EEM) en la que los animales se encontraban en actividad rumiando según tratamiento y día experimental. Medias seguidas de letras distintas muestran diferencias estadísticamente significativas ($P<0.05$)..41
- Figura 4. Probabilidad de ocurrencia (% \pm EEM) en la que los animales se encontraban en actividad tiempo cercano al comedero según tratamiento y día experimental. Medias seguidas de letras distintas muestran diferencias estadísticamente significativas ($P<0.05$).....42
- Figura 5. Probabilidad de ocurrencia (% \pm EEM) en la que los animales se encontraban en actividad utilización de sombra según tratamiento y día experimental. Medias seguidas de letras distintas muestran diferencias estadísticamente significativas ($P<0.05$).....42

LISTA DE ABREVIATURAS

ENL	Energía Neta de Lactación
EE	Extracto Etéreo
FDA	Fibra Detergente Acido
FDN	Fibra Detergente Neutro
FR	Frecuencia respiratoria
HR	Humedad relativa
INIA	Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria
ITH	Índice de temperatura y humedad
LCS	Leche corregida por sólidos
LCT	Temperatura critica inferior
MS	Materia seca
PC	Proteína cruda
RTM	Dieta totalmente mezclada
SAV	Sombra aspersion ventilación
SOL	Sol
SOM	Sombra
SW	Suroeste
T máx.	Temperatura del aire máxima
T min.	Temperatura del aire mínima
TR	Temperatura rectal
UCT	Temperatura critica superior

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de diferentes medidas de mitigación del estrés calórico sobre el comportamiento y la productividad de vacas lecheras en lactación durante el período estival. El trabajo fue realizado en la Estación Experimental de INIA La Estanzuela, desde el 10 de diciembre de 2012 al 1 de marzo de 2013. Fueron utilizadas 39 vacas Holando, multíparas, no gestantes de parición primaveral e invernal. Se evaluaron tres tratamientos (09:00 a 05:00 h): sin medida de mitigación (SOL, n=13), con acceso a sombra artificial (SOM, n=13) y con acceso a sombra artificial asociado a dos sesiones de ventilación y aspersión en el corral de espera con dos turnos (09:00 y 16:00 hrs) (SAV, n=13). El sombreado consistió en redes plásticas de color negro de 80% intercepción de la radiación solar. La alimentación consistió en ración total mezclada (ensilaje + concentrado comerciales; 18.2 % PC, 1.55 Mcal ENL/kgMS) y una sesión de pastoreo en pasturas mezcla de alfalfa (*Medicago sativa*), trébol blanco (*Trifolium repens*) y festuca (*Festuca arundinacea*); 14 % PC, 1.34 Mcal ENI/kg MS. La temperatura del aire máxima (Tmax) y mínima (Tmin) y el Índice de Temperatura y Humedad (ITH) (media \pm DE) se utilizaron para caracterizar el ambiente térmico. Se determinó dos veces por semana a las 04:00 y 15:00 hrs la temperatura rectal (TR) y frecuencia respiratoria (FR). El comportamiento en pastoreo (pastoreo, rumia) y durante el encierro (rumia, tiempo cercano al comedero, echado, parado y utilización de sombra) fue evaluado en intervalos de 15 minutos. Fue determinada diariamente la producción de leche y al menos dos veces por semana el contenido de grasa (G) y proteína (P). La Tmax, Tmin y el ITH promedio del periodo experimental fueron $28.4 \pm 3.84^{\circ}\text{C}$, 17.1 ± 3.06 , 70 ± 4.5 , respectivamente. No se observaron diferencias en la TR y FR en la mañana, mientras que durante la tarde los animales al SOL presentaron valores superiores a los restantes tratamientos, y el tratamiento SOM presentó valores intermedios. Con respecto a las variables de comportamiento durante el pastoreo de las actividades rumia y pastoreo según tratamientos no se observó diferencias. El comportamiento en el encierro, en las distintas actividades según tratamientos se encontraron diferencias significativas en rumia, echado y tiempo cercano al comedero, donde rumia y echado se encontraron mayormente en SAV y SOM y tiempo cercano al comedero en SOL. Según días experimentales de medición de comportamiento se observa que en días de ITH superior, las actividades rumia, echado, y tiempo cercano al comedero disminuyeron, mientras que la utilización de sombra y parado aumentaron. Por último según turnos de observación se encontró diferencias significativas en todas las actividades siendo mayores la utilización de sombra, y parado en el turno 2 (12:00-16:00), la postura echado y tiempo cercano al comedero mayormente en el turno 3 (16:00-20:00). El acceso a sombra permitió lograr mayores niveles de LCS. Los resultados demuestran que en la producción de LCS no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos SAV y SOM, si al compararlos con tratamiento SOL, lo mismo sucedió para la grasa y proteína.

SUMMARY

The aim of this study was to evaluate the effect of different strategies to mitigate heat stress on lactating dairy cows behavior and productivity during the summer period. The work was conducted at INIA La Estanzuela Experimental Station, from December 10th, 2012 to March 1st, 2013. We used 39 Holstein cows, multiparous, non-pregnant of spring and winter calving. Three treatments were evaluated (9:00 am to 05:00 pm) no mitigation measure (SOL, n = 13), with access to artificial shade (SOM, n = 13) and access to artificial shade and ventilation and spray in the holding pen with two shifts (09:00 am to 4:00 pm) (SAV, n = 13). The shade consisted of a black plastic network. 80% interception of solar radiation. The feed consisted of total mixed ration (silage + commercial concentrate; 18.2% CP, 1.55 Mcal NEL / kg DM) and a grazing session in pasture mixture of alfalfa (*Medicago sativa*), white clover (*Trifolium repens*) and fescue (*Festuca arundinacea*), 14 % PC, 1.34 Mcal ENI/ kg DM. Maximum and minimum air temperature (Tmax) and (Tmin respectively) and the Temperature and Humidity Index (THI) (mean \pm SD) were used to characterize the thermal environment. Rectal temperature (RT) and respiratory rate (RR) were determined twice weekly at 04:00 and 03:00 pm. The grazing behavior (grazing, ruminating) and during enclosure (rumination, near the feeders, lying, standing and use of shadow time) was evaluated at intervals of 15 minutes. Milk production was determined and fat content (G) and protein (P) daily least twice a week. Tmax, Tmin and ITH average experimental period were 28.4 ± 3.84 ° C, 17.1 ± 3.06 , 70 ± 4.5 , respectively. No differences in TR and FR in the were observed in the morning, while animals exposed to the sun, in the afternoon showed higher values in comparison with the remaining treatments and the SOM treatment presented intermediate values. Regarding behavioral variables during grazing activities as rumination and grazing treatments no differences were observed. Significant behavior differences in confinement animals, in various activities such as in rumination, lying and near the feeders were found between the treatments with mitigation strategies and SUN treatment. During grazing no differences during rumination and grazing were found among treatments. In the experimental days with higher ITH, activities such as rumination, resting, and close to the feeders time decreased, while increased utilization of shade and standing. Finally according observation turns significant differences were found in all activities, the use of shade, and standing in turn 2 (12:00-16:00), lying and close the feeder time mostly on Turn 3 (16:00-20:00) were greater. Access to shade makes it possible to achieve higher levels of LCE. Results shows in LCS production no significant differences between the treatments and SOM SAV were found, but they were different when compared with SOL treatment the same happened for fat and protein.

1- INTRODUCCIÓN

Diversos autores señalan que el estrés de calor al que están expuestos los animales durante los meses de verano produce una disminución en su eficiencia productiva y reproductiva (Fuquay, 1981; Wilson y col., 1998; Bernabucci y col., 1999; Hahn, 1999), lo que se traduce en pérdidas económicas significativas (Wilson y col., 1998) que se originan de una menor producción de leche, deterioro de los porcentajes de grasa y proteína en la leche, pérdida de peso y condición corporal, deterioro de los índices reproductivos, así como también mayor riesgo de enfermedades (Ghiano, 2012).

En nuestros sistemas pastoriles es esperable un efecto depresor de ambiente térmico ya que los animales se encuentran permanentemente expuestos al ambiente exterior, el que afecta, no solo las respuestas productivas y fisiológicas de los animales, sino que también produce cambios en el comportamiento alimenticio en cuanto a la cantidad y calidad de los forrajes consumidos. En este sentido, Saravia (2009) a nivel nacional observó disminuciones en la producción de leche y cambios en la composición de la misma cuando las vacas se enfrentaron a eventos extremos (olas de calor). A pesar del incremento en frecuencia respiratoria observado bajo estas condiciones, los animales no lograron mantener la temperatura corporal normal. Se observó además una disminución en el tiempo dedicado a pastorear lo que afectó negativamente la productividad (Saravia 2009).

Para reducir los efectos del exceso de calor los animales modifican su comportamiento habitual. Brown-Brandl y col. (2006), reportaron que bajo condiciones de estrés por calor los animales disminuyen el tiempo dedicado a consumir alimento, aumentando el tiempo dedicado a descansar y ruminar cerca de bebederos o bajo sombra

Tres estrategias han sido sugeridas por Beede y Collier (1986) para minimizar los efectos del estrés por calor: modificación física del medio ambiente (sombreado, aspersión y ventilación), el desarrollo genético de las razas tolerantes al calor y manejos nutricionales. El acceso a sombra ha demostrado disminuir el estrés por calor, mejorando la performance del ganado manejado tanto a corral (Mader y col., 1999; Beretta y col., 2010; Gaughan y col., 2010; Sullivan y col., 2011) como en pastoreo (Simeone y col., 2010). Por otra parte, sistemas de enfriamiento con aspersores y ventiladores, son una alternativa efectiva para incrementar la eficiencia productiva y reproductiva de vacas Holando en producción en condiciones de altas temperatura (Correa-Calderón y col., 2002).

En el suroeste del país se desconoce si existe un efecto negativo del estrés por calor sobre el comportamiento y las respuestas productivas de animales de alta producción de leche. Se prefiere no utilizar resultados obtenidos en otras regiones debido a las diferencias en las condiciones climáticas y en los niveles de producción entre los ensayos. En este sentido, las condiciones climáticas estivales del suroeste del país sugieren que el estrés producido sería menos severo que el observado en la región de Rafaela (Argentina) (Román y col., 2014) y Salto (Castaño y col., 2011) en donde se han observado mermas en la producción de leche (Gallardo y col., 2005;

Saravia, 2009) y cambios en el comportamiento en pastoreo (Saravia, 2009). Por otro lado, los trabajos realizados en Salto (Azanza y Machado, 1997; Invernizzi y Marzziote, 1998; Saravia, 2009) y Colonia (Padula y Rovira, 1999) evalúan el efecto de diferentes medidas de mitigación del estrés por calor sobre las variables productivas de animales de media a baja producción de leche. Por lo tanto, tampoco es conocido el efecto de medidas de mitigación del estrés por calor (sombra vs sombra + ventilación y aspersion) sobre estas variables.

2- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Medio ambiente y entorno animal

2.1.1. Homeotermia

La relación entre los animales y el medio ambiente que los rodea es un pilar básico para el logro de una producción sustentable. Los animales viven en un estado de cercana interacción entre la complejidad de los procesos físicos y químicos de su propio cuerpo y el entorno que los rodea (Richards, 1973; Yousef, 1985). La influencia del clima en la producción bovina ha sido reconocida desde hace mucho tiempo (Johnson, 1987).

La homeotermia forma parte de la homeostasis del animal. La homeotermia se define como la capacidad de mantener la temperatura corporal constante, al margen de la temperatura ambiente en el que se encuentra. Para esto el animal ha desarrollado mecanismos que le permiten regular su temperatura frente a los cambios que se producen en el exterior. La temperatura interna del animal es el resultado del balance entre el calor producido o ganado, el calor que recibe del medio y el perdido al ambiente, involucrando cada interacción que tiene el animal con el medio (transpiración, radiación, convección, conducción, ingestión de alimentos, y tipo de los mismos, movimiento, etc.) un intercambio de calor. Para que se cumpla la homeotermia se requiere que todo el calor producido y ganado del ambiente logre ser perdido por el animal (Kadzere y col., 2002). Este proceso se denomina balance térmico, resultando ser muy dinámico y complejo (Bianca, 1968; Silanikove, 2000).

El balance calórico se define por las ganancias y pérdidas de calor propias de su organismo (carga calórica interna), y el intercambio calórico con el medio (carga calórica externa). 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 radiación es el principal elemento en determinar los intercambios de calor con el ambiente de un animal expuesto a la intemperie (Gallardo y Valtorta, 2011). La cantidad de calor radiante absorbida por un objeto no sólo depende de la temperatura del objeto, sino también en su color y textura, con superficies oscuras radiante y de absorber más calor que las superficies de color claro a la misma temperatura. Un animal con un pelaje negro tendrá una absorción de 1; mientras que una de pelaje blanco tendrá una absorción de 0.37 y otro con pelaje de color rojo tiene una absorción de 0.65 (Cena y Monteith, 1975). La transferencia de calor radiante entre los órganos tiene lugar en ambas direcciones, y si los cuerpos son a diferentes temperaturas hay una transferencia neta de calor desde el calentador al cuerpo enfriador (Esmay, 1969). Esta transferencia neta de calor implica la pérdida o ganancia de calor por el animal a través de la absorción o emisión de radiación.

La conducción tiene lugar cuando dos cuerpos están en contacto. El flujo de calor por conducción depende de la diferencia de temperatura, la conductividad del medio, y el área de contacto (Schmidt-Nielsen, 1964). Esmay (1969) ha reportado una relación proporcional entre la mayor densidad de los materiales y su conductividad, por lo tanto el material más denso tiene mayor conductividad o cuanto menos denso mayor resistencia al flujo de calor. En el pie de los animales, la pérdida de calor por conducción es mínima debido a la presencia de una capa de aire contra la piel, lo que significa que la mayor parte de la transferencia de calor desde el animal se lleva a cabo a través del aire, y el aire tiene una pobre conductividad térmica (Yousef, 1985). A través de la conducción es posible el paso del calor desde el núcleo central del organismo hacia la superficie interna (tracto respiratorio, y digestivo) y externa del animal en donde la temperatura es perdida hacia el medio (Gallardo y Valtorta, 2011).

En la convección cuando el aire frío entra en contacto con un cuerpo cálido, una capa de aire que rodea la superficie del cuerpo se calienta y se eleva alejándose del cuerpo llevando consigo el calor y enfriando así el cuerpo a través del proceso de convección. Por el contrario, si la temperatura del aire es mayor que la piel, el movimiento del aire promoverá el movimiento del calor en el animal hasta que la temperatura del aire iguale a la temperatura de la piel cuando la transferencia de calor cesa. La transferencia de calor durante la respiración es una conexión de transferencia de calor. El aire inspirado es ajustado a la temperatura del cuerpo por el tiempo que se llega a la tráquea (Yousef, 1985). La velocidad del movimiento del aire afecta a la velocidad de convección y todo lo que resiste el movimiento del aire, tales como piel en el ganado reducirá la tasa de transferencia de calor por convección.

El enfriamiento por evaporación desde la superficie exterior del ganado es significativo. Este método de disipación de calor es más eficiente en entornos en los que hay baja humedad y temperaturas altas, es decir, las condiciones calurosas y secas. Esto puede ser debido a la velocidad del aire, ya que es uno de los factores importantes que influyen en la transferencia de calor por evaporación; al existir alta humedad es baja la velocidad del aire por lo que la evaporación se hace nula. La proporción de calor que disipa un animal por evaporación aumenta con el aumento de las temperaturas ambientales. Johnson (1976) mostró que las diferencias en la relación de refrigeración por evaporación a la pérdida total de calor es variable entre las especies y que la proporción de evaporación del ganado empieza a aumentar considerablemente. Bajo estrés térmico, el ganado aumenta la pérdida de calor por evaporación por tanto jadeando y sudando, siendo la sudoración superior a jadeo (McLean, 1963).

2.1.2. Zona termoneutral y sus límites

La zona termo neutral se puede entender como la zona de mínima producción de calor a temperatura rectal normal. También se define como el rango de temperatura

ambiente en que el animal mantiene constante su temperatura corporal, sin sentir sensación de frío y calor. Dentro de la zona termo neutral, la máxima productividad es normalmente alcanzada (Johnson, 1987). Generalmente, el rango de zona termo neutral (desde la temperatura crítica inferior (LCT) a temperatura crítica superior (UCT)) depende de la edad, la especie, la raza, el consumo de alimento, la composición de la dieta, el estado de aclimatación, la producción, tejidos de aislamiento (grasa, piel), aislamiento externo (capa), y comportamiento de un animal (Yousef, 1985). La velocidad del viento, la radiación y el contenido de humedad del aire pueden alterar sus umbrales (Johnson, 1965). Igono y col. (1992) midieron la más alta producción de leche en vacas Holando bajo un ambiente desértico durante periodos térmicos neutros que se caracterizaron por una temperatura ambiente inferior a 21°C durante todo el día. Una temperatura corporal estable en la zona termoneutral es un requisito previo para la productividad máxima en el ganado lechero.

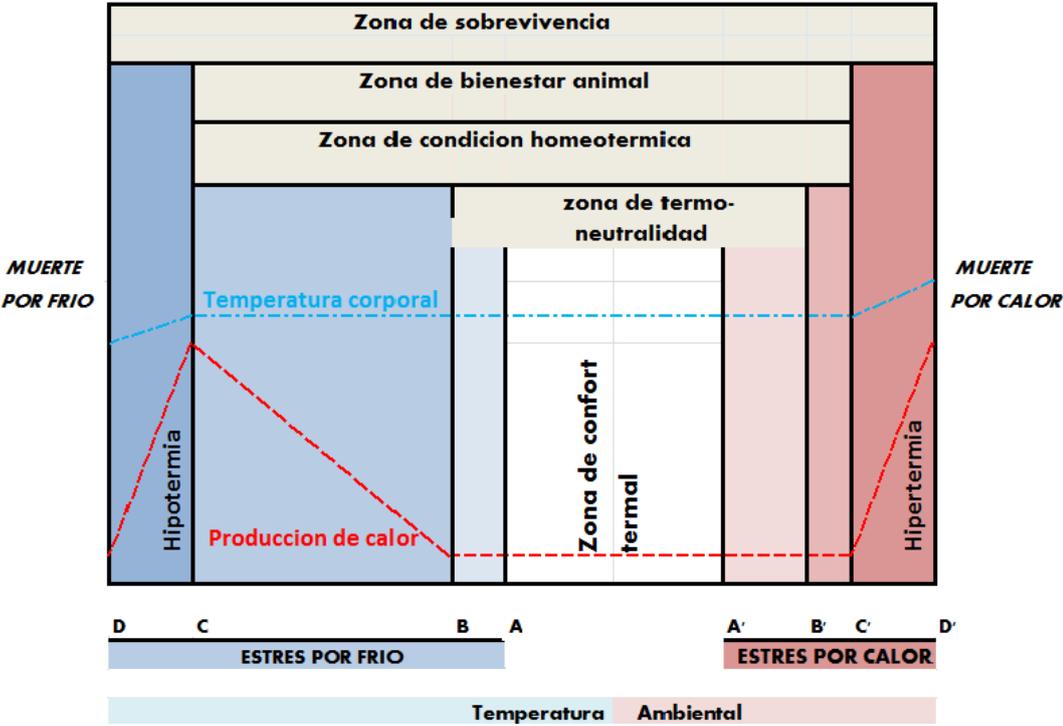


Figura 1. Representación esquemática de las condiciones ambientales críticas para la supervivencia del animal (adaptado de Bianca, 1972). Las zonas A →B para condiciones frías y A'→B' para condiciones de calor representan cambios en la temperatura ambiente que demanda esfuerzos mínimos en el animal para 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.

2.2. Determinación del ambiente térmico

2.2.1. Índice de Temperatura y Humedad

La gravedad del estrés por calor no depende solamente de la temperatura sino también de la humedad. Los ambientes saturados en humedad dificultan la eliminación de calor, por eso se ha desarrollado el Índice de Temperatura y Humedad (ITH) para evaluar el impacto del ambiente sobre las vacas lecheras, el cual fue desarrollado por Thom (1959). El ITH, usado comúnmente, indica el grado de estrés en el ganado. Este índice utiliza la temperatura ambiente y humedad relativa, que son fácilmente disponibles para el productor de leche a diario, e indica de leve a severo el estrés por calor de las vacas lecheras (Armstrong, 1994).

La zona de confort térmico para vacas lecheras en producción toma valores de ITH entre 35 y 70 y el valor considerado como límite para la producción de leche en vacas Holando es de 72 (Johnson y col., 1961). En función de este valor crítico, se han clasificado distintas categorías de estrés calórico según la magnitud del ITH (Livestock Weather Safety Index, Livestock Conservation Institute, 1970 citado por du Preez y col., 1990): 1) mayor a 72 la producción de leche comienza a ser afectada; 2) alerta, ITH entre 74 y 78, la productividad de los animales se ve disminuida y se recomienda tomar medidas de enfriamiento de los animales; 3) peligro, ITH entre 78 y 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. Sin embargo, estudios recientes como de Zimbelman y col., (2009) demostraron que se vio afectada la producción con ITH 68, por lo cual se podrían esperar efectos del estrés en los animales capas de afectar el desempeño productivo.

Relacionando las mediciones fisiológicas, como la frecuencia respiratoria, con las categorías de ITH, se determinaron equivalencias, siendo la frecuencia respiratoria <90, 90-110, 110-130 y >130 para categoría normal, alerta, peligro, y emergencia, respectivamente (Nienaber y Hahn, 2007). Estos umbrales se toman en cuenta como guías para el manejo de los animales; otro dato muy importante es el número de horas diarias de estrés, las horas de recuperación nocturna (Nienaber y col., 2004), la velocidad del viento y la radiación incidente (Berman, 2005; Hahn y col., 2009).

En nuestro país, Cruz y Saravia (2008) realizaron una caracterización climática de ITH para el norte del Rio Negro encontrando valores (como promedio mensual) por encima de 72 que es el valor crítico solamente en el mes de enero. Para vacas lecheras de primera lactancia (producción promedio: 14,5 litros/vaca/día), fue determinado el umbral de ITH por Cruz (2010), el que se ubicó

en 72 para dos días previos a la medición de leche y 75 para el día previo y el día de la medición de leche.

2.2.2. Esferas de Vernon

Las esferas de Vernon o globos negros (Berbigier, 1988) ubicada en el lugar donde se encuentren los animales y son capaces de caracterizar el ambiente meteorológico que rodea a los mismos. Registra la temperatura expresando las ganancias o pérdidas de calor del ambiente medido (Hertig, 1972). La cantidad de calor radiante absorbida por las esferas depende de la temperatura del objeto, color y textura, siendo las superficies oscuras con mayor absorción de calor que las superficies de color claro a la misma temperatura.

2.3. Efectos del ambiente térmico sobre el animal

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 y col., 2008).

Las respuestas de los animales varían de acuerdo con el tipo de estrés térmico. Están los cambios de adaptación a corto plazo, que son la conducta, fisiológicos, y funciones inmunológicas (orientada a la supervivencia), son las respuestas iniciales a los eventos agudos, mientras que a largo plazo las respuestas de estrés térmico impactan sobre el rendimiento productivo, alterando el consumo de alimento y la pérdida de calor que afectan el crecimiento, reproducción, y la eficiencia. Los animales pueden hacer frente a muchos desafíos térmicos agudos a través de aclimatación para minimizar los efectos adversos y la compensación por un menor rendimiento durante los desafíos ambientales moderados. En lo que respecta a estas respuestas cambiantes, los animales son efectivos en su capacidad de adaptación para movilizar los mecanismos cuando son afectados por los factores de estrés ambientales. Sin embargo, no todas las capacidades de afrontamiento se movilizan al mismo tiempo. El ganado requiere aproximadamente 3-4 días después de la aparición de un desafío de calor para contrarrestar totalmente los efectos de la carga de calor extrema (Nienaber y Hahn, 2007).

Según Combs (1966), las vacas estresadas por calor harán lo siguiente: buscan la sombra, aumentan la ingesta de agua, reducen el consumo de alimento,

se ponen de pie en vez de acostadas, aumentan la tasa respiratoria y temperatura corporal, y aumenta la producción de saliva.

Entre los principales cambios fisiológicos observados es posibles mencionar el aumento en la tasa de respiración. Esta es uno de los mecanismos más importantes a considerar al momento de evaluar el nivel de estrés por calor del ganado, ya que es una de las principales respuestas observables en el animal cuando está expuesto a temperaturas por sobre su umbral de confort (Gaughan y col., 2000). Para los mamíferos de todas las especies, la tasa respiratoria sirve como una alerta temprana de estrés térmico y aumenta notablemente por encima del rango normal. Como los animales necesitan homeotermia, la tasa respiratoria actúa disipando el exceso de calor. Por encima del umbral de una condición ambiental, la temperatura corporal comienza a aumentar como resultado de la incapacidad del animal para disipar adecuadamente la carga de calor en exceso por el aumento de la vaporización respiratoria. Hay una concurrente disminución del consumo de alimento a medida que aumenta la temperatura corporal, que finalmente resulta en disminución del rendimiento (producción, reproducción), la salud y bienestar si las condiciones adversas persisten (Hahn y Mader, 1997; Berman, 2005).

Al aumentar la frecuencia respiratoria aumenta la ventilación de las vías por las que pasa el aire, y por tanto, favorece la evaporación de esas superficies húmedas entre las que figuran, lengua, boca y vías nasales (Salvador, 2007).

De acuerdo a (Mader y col., 2002), la capacidad de sudoración del ganado eleva la tasa de respiración, entre 30 y 60 respiraciones por minutos no hay presencia de estrés térmico, más allá de las tasas de 60 respiraciones por minutos indican que está empezando a sentir calor. Seath y Miller (1946) y Thomas y Pearson (1986) establecen que superadas los 39°C y las 35 r.p.m., respectivamente, se observa presencia de estrés térmico en los animales.

En bovinos expuestos a una temperatura del aire fluctuante, el aumento de la respuesta respiratoria precede al de la temperatura rectal (Berman y Morag, 1971; Brown-Brandl y col., 2003). En la vaca adulta, la mitad de la máxima respuesta respiratoria representa aproximadamente 70 a 80 respiraciones / min (Stevens, 1981). Se adoptó este valor, ya que es una inmediata respuesta al calor, probablemente asociado con la situación de posición. El porcentaje de vacas en la posición de pie aumenta linealmente a medida que aumentan las temperaturas (Shultz, 1984). Los cambios en el flujo sanguíneo y la iniciación de la sudoración ocurren con anterioridad a la frecuencia respiratoria, primer síntoma visible de estrés calórico (Gallardo y Valtorta, 2011).

Los cambios ambientales resultan en cambios en el comportamiento alimenticio, principalmente en el consumo de alimento (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 y col., 1982).

La temperatura rectal es un indicador de equilibrio térmico y puede ser utilizado para evaluar la adversidad del ambiente térmico que puede afectar el crecimiento, lactancia, y la reproducción de las vacas lecheras (Johnson, 1980). Un aumento de 1 °C o menos de la temperatura rectal es suficiente para reducir el rendimiento en la mayoría de las especies de ganado (McDowell y col., 1976), lo que hace que la temperatura del cuerpo sea un indicador sensible de la respuesta fisiológica al estrés por calor en la vaca, porque es casi constante en condiciones normales. Shalit y col. (1991) registró la temperatura rectal de las vacas lactantes en 0,9 °C mayor que en vacas pre-parto, aunque las condiciones ambientales fueron similares. Su explicación fue que las vacas lecheras lactantes parecieron ser más termo-lábiles que los no lactantes a causa de una capacidad reducida de las vacas lactantes para estabilizar su volumen plasmático y la concentración dentro de un rango estrecho.

Además, Berman y col. (1985) confirman las conclusiones de Gonzalez y col. (1978) para los seres humanos, Young y col. (1959) para perros y Wilson y col. (1978) para ratas, que durante el equilibrio térmico la temperatura rectal de vacas lecheras de alta producción es independiente a la temperatura del aire, pero relacionado con el metabolismo energético.

En los estudios sobre los ciclos de temperaturas diurnas y el consumo de alimento de vacas lecheras Holando, Scott y col. (1983) concluyeron que la iniciación de enfriamiento nocturno de los animales en un momento en que su temperatura rectal fue más alta es más beneficiosa para el mantenimiento de un nivel neutral de T4 plasmático térmico.

Parece que hay diferencias notables entre las razas en sus capacidades para regular la temperatura rectal, la temperatura rectal media es mayor en *Bos taurus* que en ganado *Bos indicus* (Finch, 1986) y, como resultado, el ganado *Bos taurus* son más sensibles al estrés térmico que sus homólogos de *Bos indicus*.

Los cambios ambientales resultan en cambios en el comportamiento alimenticio, principalmente en el consumo de alimento (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). Además Kadzere y col. (2002) menciona que el incremento calórico debido a la alimentación, es una parte importante de la producción de calor total. Así mismo 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 y col., 1982).

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 y col., 2006), lo que no quiere decir que la sombra no tiene efecto sobre la temperatura del aire o la humedad relativa, por lo que no elimina completamente el problema de balance térmico (West, 2003; Collier y col., 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). Estos cambios en la conducta tienen el fin de compensar el estrés por calor, o bien disipar el mismo por convección al buscar sectores del potrero más factibles como se mencionó anteriormente.

Brown-Brandl y col. (2006b) reportaron que bajo condiciones de estrés por calor los animales disminuyeron el tiempo dedicado a consumir alimento y el que permanecen echados, así como también reportaron una reducción en la agresividad del ganado. Por otra parte, aumenta el tiempo dedicado a beber agua y permanecen de pie cerca de los bebederos. También es posible observar cambios en la distribución del ganado dentro de los corrales, permaneciendo más tiempo en aquellos lugares con mejor ventilación. Durante el invierno es posible observar la agrupación de los animales, así como también cambios posturales para tratar de reducir la exposición de la superficie corporal y con ello la pérdida de calor (Young, 1985).

Cuando la temperatura aumenta, se produce una disminución de la producción de leche en el ganado, dado que es común que las condiciones ambientales se encuentren fuera del rango de confort para este tipo de animales. Sin embargo, no es sólo la producción la que se ve afectada. La composición de la leche también sufre los efectos de las altas temperaturas. Bajo estas condiciones se produce una reducción en la síntesis, absorción y movilización de metabolitos (AGV, lípidos, aminoácidos) a partir del tracto digestivo, hígado y tejido adiposo y su utilización por la glándula mamaria (Arcaro Junior y col., 2003). El estrés térmico afecta el contenido de la grasa, proteína, lactosa, calcio y potasio (Valtorta y col., 2003).

El proceso de adaptación que desarrolla la vaca lechera para responder al estrés calórico tiene un costo energético que va en detrimento de la producción de leche. En otras palabras, a la vaca en ordeño no le es posible mantener el rendimiento, tanto en cantidad como en calidad, si debe desviar parte de su energía al mantenimiento de la temperatura corporal. Un estudio realizado en un tambo en la región de Argentina, se relacionó la cantidad de leche producida con el ITH; se demostró que durante los meses estivales desde el 2000 al 2009 siempre hubo una relación negativa entre el ITH y la cantidad de leche producida. Estos resultados indicaron claramente que cuando el índice se incrementa, disminuye la producción de leche (Muñoz y col., 2013).

Las vacas lecheras expuestas a temperaturas fuera de su zona de termoneutralidad realizan ajustes metabólicos para mantener la homeotermia. La exposición a temperaturas mayores de la crítica máxima disminuye la producción de leche (Thatcher, 1974; Collier y col., 1982; Kadzere y col., 2002, Ominski y col., 2002; Arieli, y col., 2004).

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 y col., 1998).

2.4. Alternativas para mitigar el estrés calórico

Existe un conjunto de prácticas de manejo e instalaciones tendientes a limitar el impacto del estrés térmico como son:

- Adaptar los horarios de ordeño. Especialmente si las instalaciones son deficientes y los tiempos de ordeño prolongados.

- Evitar caminatas largas durante los momentos del día con mayor ITH (mayor estrés)

- Manejar el pastoreo en los momentos con menor ITH diario, tardecita/noche

- Proporcionar agua de calidad en cantidades suficientes y en lugares estratégicos, que permitan un fácil, rápido y cómodo acceso a los animales (Taverna y col., 2012).

- Utilización de dietas de bajas calorías que por su composición minimizan la generación de calor metabólico manteniendo la oferta de nutrientes, sin afectar la salud y el normal funcionamiento ruminal.

- Sombra natural y/o artificial en corral de espera, potreros y lugares de encierro de animales. La finalidad de las mismas es disminuir la incidencia de la radiación solar directa sobre el ganado, para generarle un ambiente más confortable al animal. Estas estructuras, cuando están bien diseñadas, reducen entre un 40 y un 50% la incidencia de calor radiante sobre los animales. Existen diferentes alternativas, desde móviles a fijas y de diferentes materiales. En ensayos desarrollados en INTA Rafaela permitieron un incremento de la producción de leche del 9% en comparación con vacas que no disponían durante las olas de calor (Ghiano y col., 2011).

- Implementar sistemas de ventilación y aspersion conjuntamente con sombra. Esta última propuesta consiste en aplicar ciclos consecutivos de aspersion de agua y de ventilación forzada sobre las vacas, práctica utilizada a nivel de corral de espera y en el sector de suministro de alimentos en sistemas PMR o RTM (corrales estabilizados para alimentación, galpones). La utilización de los mismos previo a los ordeños permitió incrementar la producción de leche en un 5% (Valtorta y col., 2003) y en un 15% si se usaban durante las horas del día donde el ITH era mayor al umbral de confort 72 (Ghiano y col., 2012). Un estudio económico desarrollado por Flamenbaun (2013) muestra para la zona definida en este trabajo ingresos adicionales de 80 a 200 U\$S/vaca/año, utilizando sistemas de ventilación y mojado.

Tres estrategias han sido sugeridas por Beede y Collier (1986) para tratar de reducir los efectos del estrés calórico en ganado lechero: 1) El desarrollo genético de razas más tolerantes al calor, 2) manejo nutricional, y 3) modificaciones ambientales. De estas últimas, la más frecuentemente recomendada para reducir el estrés calórico es el uso de sombras y sistemas de enfriamiento (Buffington y col., 1983).

2.4.1. El desarrollo genético de razas más tolerantes al calor

Hay muchos aspectos de la genética que influyen en la respuesta al estrés por calor, y la variación entre razas es grande. La selección para un mayor rendimiento es a menudo un conflicto para mantener la homeotermia (West, 2003).

El mantenimiento de la temperatura corporal es hereditario, mediante características incluidas como la sudoración, la baja resistencia del tejido, la estructura de la capa y color, pero no hay evidencia de que dentro del ganado *Bos Taurus*, que un aumento de la capacidad para la termorregulación se acompaña de una reducción en el metabolismo energético (Finch, 1986). Hay pruebas de que el color del pelo influye en la susceptibilidad de la vaca al estrés por calor porque el color del pelaje está relacionado con la cantidad de calor absorbido de la radiación solar. En el ganado *Bos Indicus* el flujo de calor hacia el interior de los novillos de pelaje negro fue 16% mayor que para novillos marrones, y el 58% mayor que para los novillos blancos (Finch, 1986). En el ganado *Bos Taurus* con pelaje oscuro exhiben mayor transferencia de calor a la piel, mayor temperatura corporal y una drástica reducción en los aumentos de peso que aquellos con capas blancas (Finch, 1986).

2.4.2. Manejo nutricional

Hay varias áreas claves de manejo nutricional que debe ser considerado cuando el ambiente térmico se torna estresante; el NRC (2001) sugiere que hay que incrementar hasta un 25 % los requerimientos de mantenimiento bajo condiciones de estrés calórico.

El agua es probablemente el nutriente más importante para la vaca lechera. El consumo de agua está estrechamente relacionado con consumo de materia seca y la producción de leche. Existe una influencia de la temperatura ambiente sobre el consumo de agua (Murphy y col., 1983). El consumo de agua se incrementa por cada grado (°C) de aumento en temperatura ambiente mínima, pero independientemente de la tasa de incremento, es claro que abundante agua debe estar disponible en todo momento en condiciones de estrés calórico.

La ingesta de materia seca generalmente disminuye en los periodos de calor y la densidad de nutrientes de la dieta debe aumentar. La tendencia es aumentar la concentración de proteínas en la dieta por encima de los requerimientos, pero hay un costo energético asociado al exceso de proteína. El exceso de nitrógeno por

encima de los requerimientos de energía metabólica reduce un 7.2 kcal/g de nitrógeno (Tyrrell y col., 1970). Cuando se alimentó a 19 y 23% de proteína cruda en las dietas, la producción de leche se redujo en más de 1.4 kg (Danfaer y col., 1980) y el costo de la energía asociada con la síntesis y la excreción de urea, representaron la producción de leche reducida (Oldham, 1984).

El nutriente más limitante para vacas lecheras durante el verano suele ser la ingesta de energía y un enfoque común para aumentar la densidad de energía es reducir forraje y aumentar el contenido de concentrado. La lógica es que menos fibra (menos volumen) fomentará el consumo, mientras que más concentrados aumentan la densidad de energía de la dieta. Las dietas altas en fibra pueden de hecho aumentar la producción de calor, demostrada por trabajos que muestran que las dietas que contienen 100, 75, o 50% de la alfalfa, con el resto siendo el maíz y harina de soja, la eficiencia de la conversión de energía metabólica la leche fue de 54, 61 y 65%, respectivamente (Coppock y col., 1964).

Durante condiciones de estrés calórico, la disminución de consumo de materia seca y alta demanda de lactación requiere una mayor concentración de minerales en la dieta. Sin embargo, las alteraciones en el metabolismo mineral también afectan el balance electrolítico de la vaca durante condiciones de estrés calórico. El catión principal en el sudor bovino es potasio (Jenkinson y Mabon, 1973), y aumentos en la secreción de potasio a través del sudor se producen durante condiciones de climas calientes (Jenkinson y Mabon, 1973; Johnson, 1967; Mallonee y col., 1985).

2.4.3. Modificaciones ambientales

2.4.3.1. Sombras

Aumento de la carga de calórica, causado por una combinación de la temperatura del aire, humedad relativa, el movimiento del aire y la radiación solar, genera que se aumente la temperatura corporal y el ritmo respiratorio y puedan reducir el consumo de alimento, la producción de leche y carne (Hahn, 1999; Ominski y col, 2002; West, 2003). La carga de calor excesiva puede afectar negativamente el rendimiento de cría en el ganado lechero mediante la reducción de fertilidad (Roman-Ponce y col., 1977; De Rensis y Scaramuzzi, 2003) y puede, en casos extremos, causar la muerte (Armstrong, 1994). Vacas utilizan fácilmente la sombra cuando se administra el acceso a ella, y la provisión de sombra pueden aliviar los efectos negativos del aumento de la carga de calor (Roman-Ponce y col., 1977; Valtorta y col., 1997). La sombra se hace más importante cuando aumenta la carga de calor, debido a que el ganado es más propenso a competir por este recurso. Las vacas lecheras están muy motivadas para usar sombra cuando hace calor (Schütz y col., 2008), y los resultados de este estudio proporcionan evidencia adicional de que la sombra es un recurso valioso para el ganado lechero en verano.

La reducción de la radiación solar por medio de sombras en climas cálidos disminuye la tasa respiratoria e incrementa la producción y composición de la leche en vacas Holando (Roman-Ponce y col., 1977).

El diseño y la gestión de la sombra para el ganado lechero varían en las diferentes áreas y climas. Las sombras deben ser 3.5 a 4.5 m de alto para minimizar la radiación desde el techo de la sombra hasta la vaca. La orientación de la estructura de sombra representa un compromiso entre la mayor parte de sombreado eficaz para la vaca y el mantenimiento de las condiciones de la superficie del suelo seco bajo la sombra.

Las asignaciones de espacio de mayor tamaño proporcionan un área más abierta para la ventilación, lo cual es un factor crítico en los climas cálidos y húmedos. Si se utilizan los pisos de tierra, deben estar en un lugar bien drenado, preferiblemente en un alto. Aunque las vacas prefieren pararse y acostarse sobre una superficie de tierra, pisos de cemento pueden ser necesarios para evitar agujeros de barro.

Estudios realizados en Argentina por Valtorta y col. (1996) y Valtorta y Gallardo (2004) indican diferencias en la producción de leche de un 12% y 5% respectivamente cuando los animales dispusieron de sombra y mecanismos de frescos, tales como aspersores y ventiladores. En este mismo sentido, Collier y col. (2006) señalan que la disponibilidad de sombra resulta esencial para reducir las pérdidas en producción de leche y eficiencia reproductiva.

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).

2.4.3.2. Sistemas de enfriamiento

Dentro de los sistemas de enfriamiento podemos encontrar la ventilación forzada, aspersión y la combinación de ambos. 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.

Otra alternativa es el sistema de aspersión. Este método aumenta 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.

Para mejorar estos inconvenientes se han realizado muchos estudios en base a la combinación de ambos métodos. La misma puede ser de la siguiente manera:

a) Ventilación y aspersión: 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. Este método no intenta enfriar el aire, sino que utiliza el gran tamaño de las gotas para humedecer la capa de pelo o la piel de la vaca y así el agua se evapora y enfría el pelo y la piel. La aspersión es más eficaz cuando se combina con el movimiento del aire.

Arcaro y col. (2005) determinó en un trabajo realizado, que el tratamiento de ventilación más aspersión disminuyen significativamente la frecuencia respiratoria de los animales; y en la variable temperatura de piel una reducción de 4.2°C para la región de la cabeza y 2.8°C para la región del dorso. Este tratamiento proporcionó mayores reducciones en las variables ambientales y fisiológicas resultando en mejores condiciones de confort para los animales y mayor eficacia en la disipación de calor por la piel de los animales. Concluyó que el tratamiento ventilación asociado a aspersión es eficiente para el condicionamiento térmico de la sala de espera, una vez que mantienen las variables ambientales y fisiológicas dentro del margen de confort térmico para vacas en lactación.

Según Morrison y col. (1975) la aspersión de ganado bajo sombra durante 1 min cada 30 minutos, cuando la temperatura está por encima de 80 °F (27 °C) resulta significativamente en un mayor consumo de alimento, en comparación con el ganado que no tuvo la virtud de la aspersión.

Un sistema de rociadores de baja presión, con grandes gotas que mojen completamente la vaca, empapando a través de la capa de pelo a la piel, fueron más efectivos que un sistema de nebulización (Armstrong, 1994).

b) Producción de nieblas y ventilación: Un sistema en spray o niebla de pequeñas gotas de agua en el aire, enfría el aire producido por la ventilación a medida que las gotitas se evaporan. Cuando el animal inhala el aire enfriado puede intercambiar calor con el aire y eliminar el calor de su cuerpo.

Se usan anillos de boquillas de niebla que son adjuntos al lado del escape de cada ventilador. El aire enfriado es distribuido uniformemente sobre el cuerpo del animal. Los nebulizadores deberían operar durante las horas de luz, ya que la humedad es demasiado alta en la noche. Dicho sistema requieren mantenimiento, ya que los filtros de agua deben ser revisados diariamente y limpiados. Los sistemas de niebla son métodos muy eficientes de enfriamiento del aire, pero también son caros y requieren mayor mantenimiento (Jones y Stallings, 1999).

2.5. Producción de leche y comportamiento animal bajo diferentes medidas de mitigación

En un estudio Valtorta, (2003) señaló que las diferentes alternativas de manejo del estrés por calor, específicamente la sombra produjo un efecto positivo no solo en el confort de los animales sino también en una mayor producción de leche con mayor cantidad de proteína que las que se encontraban en el sol. Valtorta (2003), indicó que en un ensayo de refrigeración por medio de ventiladores y aspersores previo a los ordeños, se obtuvieron aumentos en la producción de leche

y de las concentraciones de grasa y proteína en respuesta a la refrigeración, fueron incrementos de 115 g/v/d y 71 g/v/d respectivamente. Wiersma y Armstrong (1983) demostraron que el uso de aspersores y ventiladores en el área de espera han mejorado la producción de leche en 0.8kg/d en vacas Holando ordeñadas tres veces al día en comparación con vacas sin enfriamiento en esta área. Wolfenson y col. (1984), sugieren que vacas Holando enfriadas 5 veces al día en la sala de espera, incrementaron su producción en 2.5 kg/d sobre vacas que no recibieron este beneficio.

Estudios realizados en Argentina por Valtorta y col. (1996) y Valtorta y Gallardo (2004) indican diferencias en la producción de leche de un 12% y 5% respectivamente cuando los animales dispusieron de sombra y mecanismos de frescos, tales como aspersores y ventiladores. En este mismo sentido, Collier y col. (2006) señalan que la disponibilidad de sombra resulta esencial para reducir las pérdidas en producción de leche y eficiencia reproductiva.

La producción promedio de leche durante 17 semanas de un experimento en California fue mayor ($p < 0.01$) en vacas del grupo enfriamiento y sombra comparadas con el grupo sombra (30.5 ± 0.94 vs 26.6 ± 0.98 kg/d). La diferencia en el promedio de producción de leche fue mayor para las vacas del grupo enfriamiento y sombra ($p < 0.01$), en las semanas 7 a 17 del experimento, en las que se registraron las temperaturas más altas (38 a 42 °C) e ITH (84 a 89) (Correa-Calderón y col., 2002) Purwanto y col. (1990) establece que la producción de leche, es 10% menor en animales de baja producción (18.5 kg/d) comparado con aquellos de alta producción de leche (31.6 kg/d) lo que provocaría la mayor sensibilidad de estos últimos al estrés por calor.

Debido a que la sombra de los árboles proporcionan un microclima favorable (Blackshaw y Blackshaw, 1994), estos tiene efectos positivos en la producción animal, explicados por cambios en el comportamiento y productividad de los animales, entre estos cambios se encuentran un incremento del tiempo dedicado al pastoreo de rumia cuando se presentan bajas temperaturas (Johnson y col., 1962; Djimde y col., 1989; Pezo e Ibrahim, 1998). Collier y col. (1981) sugieren que al aumentar la temperatura, se reduce la rumia y se observan cambios en la fermentación ruminal hacia menores niveles de ácidos grasos volátiles (Kelley y col., 1966; Moody y col., 1967). Los animales bajo estrés calórico serían más susceptibles a acidosis subclínica (Kadzere y col., 2002; Beede y Collier, 1986) debido a la menor rumia, menor número de comidas (más largas) que incrementarían la cantidad de ácido poscomida e incremento del jadeo, lo que produciría una pérdida de dióxido de carbono (CO_2) importante que llevaría a mayor excreción de ion bicarbonato (HCO_3^-) por parte del riñón para mantener la proporción $\text{CO}_2:\text{HCO}_3^-$ en sangre y por tanto menor cantidad de HCO_3^- quedaría disponible para ser secretado por la saliva (Bernabucci, 2012).

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).

Shutz y col., demostraron en el 2010 que el ganado usa sombra para evitar el aumento de la temperatura corporal, pero esta estrategia de mitigación de comportamiento sólo es eficaz si se proporciona suficiente sombra. Destaca la importancia de determinar el diseño y la cantidad de sombra apropiada según la cantidad de ganado. Al proporcionar una mayor área de sombra para el ganado lechero aumentó el tiempo dedicado bajo la sombra y mostraron reducidas respuestas fisiológicas y de comportamiento al calor, es decir, bajas tasas de respiración, temperaturas más bajas del cuerpo, menos tiempo en el bebedero de agua, y menos tiempo de reposo que las vacas con menos o ninguna sombra. Del mismo modo, se prevé un menor número de interacciones agresivas y un uso más simultáneo de sombra entre las vacas con más sombra en comparación con aquellos con menos sombra. Hay evidencia anecdótica de que el ganado se involucrará en conductas agresivas para ganar acceso a la sombra. Las vacas pasan más tiempo en la sombra con el aumento de la radiación solar y la temperatura del aire ambiente (Kendall y col., 2006), lo que indica que la sombra se vuelve más importante en las condiciones ambientales más cálidas. El uso de sombra indica que, si se le da más espacio, las vacas son capaces de compartir el recurso en lugar de competir por ello. Al igual que Schütz y col. (2008), las vacas lecheras están muy motivadas para usar sombra cuando hay altas temperaturas y humedad. Al mediodía los animales permanecen protegidos a la sombra, descansando, ociosos o rumiando (Albright, 1993)

El ganado sin sombra adopta otras estrategias de comportamiento, como el aumento del tiempo cercano al bebedero de agua y más tiempo de pie en respuesta al calor de carga (Ansell, 1981; Mader y col., 1997; Widowski, 2001).

Tucker y col., en 2008 observó que las vacas eran más propensas a utilizar la sombra que proporcionan una mayor protección contra la radiación solar en condiciones de verano. El ganado utilizó la sombra que proporciona el 99% con respecto a la de 25% contra la radiación solar. El uso de sombra alcanzó su punto máximo durante las horas del día cuando la radiación solar es más alta, destacando la importancia de proporcionar suficiente sombra a todas las vacas para acceder de forma simultánea a esta herramienta. Las vacas tuvieron una menor temperatura corporal mínima. Estos resultados demuestran que la protección contra radiación solar es una característica importante del diseño de la sombra.

En un estudio experimental Breinholt y col. 1981 demostró que entre el 53% y 66% del pastoreo se lleva a cabo en la noche. El hecho de que las vacas pastorean menos en verano, en comparación con el invierno se debe principalmente a las altas temperaturas durante el día. Esto explica al asociar el verano con la actividad de pastoreo nocturno. Otro estudio (Breinholt 1977, sin publicar) mostró que la temperatura rectal media de vacas lactantes del mismo rodeo fue una máxima de 39,4 °C entre 13:00 y 16:00 horas y un mínimo de 38.6 C a las 04:00 hs. La temperatura rectal normal para el ganado es de 38,5 ±0,5 °C (Seigmund, 1979).

La actividad de pastoreo nocturno fue significativamente mayor que el pastoreo diurno, estudios realizados en zonas templadas han demostrado que en horas de oscuridad pastorean y representan entre el 16 y 40 % del tiempo total del pastoreo

(Atkeson y col., 1942; Gary y col., 1970; Johnstone-Wallace y Kennedy 1944; Stricklin y col., 1976). Teniendo en cuenta esto se prevé que las temperaturas mínimas afectan adversamente en la noche el comportamiento de la vaca, es decir que están dispuestas a aumentar su actividad de pastoreo nocturno, más allá de los niveles normales y de modo que la carga de calor acumulada en el día, hará que disminuya el pastoreo diurno. Allen y col. (2015) concluyeron que la temperatura corporal y el ITH están correlacionados con el comportamiento echado y parado. Estudios realizados recientemente han demostrado que el comportamiento de la vaca de parado se vio afectada una vez que el ITH alcanza 68. Al aumentar la temperatura corporal, la actividad parado se ve aumentada su duración. Esta es la primera evidencia fisiológica de que parado puede ayudar a las vacas a refrescarse y da una idea de una respuesta de comportamiento observado bajo condiciones de calor (Allen y col., 2015). Las vacas eligen estar de pie lo que significa que la mayor parte de la transferencia de calor desde el animal se lleva a cabo a través del aire, y el aire tiene una pobre conductividad térmica (Yousef, 1985). Largos episodios de parado, aumentan el riesgo de cojera (Cook y col., 2004). West (2003) informaron que el aumento de la actividad física (es decir, parado) aumenta el gasto de energía, alterando el uso de nutrientes y el aumento de los requisitos de mantenimiento; este aumento en los costos de mantenimiento compuesto con alto gasto de energía (y el aumento de la producción de calor) para vacas de alta producción afecta negativamente la producción de leche (Purwanto y col., 1990; y col., 2001). Lee y Hillman (2007) informaron de vacas Holando fueron más propensos a estar de pie que echado con una temperatura corporal de 38.89 °C. Los animales bajo altas temperaturas buscan lugares con microclimas menos estresantes, y pasan mayor tiempo parados que echados (Frazzi y col., 2002), así como también se observa menor tiempo dedicado a la locomoción en los animales (Tapki y Sahim, 2006).

3. HIPÓTESIS

Las condiciones meteorológicas adversas del SW de Uruguay afectan el comportamiento y la productividad de vacas lecheras Holando de alta producción.

La utilización de sombras asociado o no a ventilación y aspersión reducen el efecto de las condiciones meteorológicas adversas del verano sobre el comportamiento y la productividad de vacas lecheras Holando de alta producción en el SW de Uruguay.

4. OBJETIVOS GENERAL Y ESPECÍFICOS

Objetivo general:

Evaluar el efecto de las condiciones de estrés calórico sobre el desempeño productivo de vacas lecheras Holando de alta producción en el SW de Uruguay.

Objetivos específicos:

Cuantificar el efecto del ambiente físico estival sobre el comportamiento animal y las respuestas productivas de vacas lecheras Holando de alta producción en el SW de Uruguay.

Evaluar el efecto de las diferentes medidas de mitigación de calor (encierro bajo sombra artificial o sombra con ventilación y aspersión) sobre el comportamiento y las respuestas productivas de vacas lecheras Holando de alta producción en el SW de Uruguay.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Localización y período experimental

El trabajo se realizó en la Estación Experimental del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), La Estanzuela, Ruta 50 km 1 (Departamento de Colonia) en el periodo comprendido entre el 10 de diciembre de 2012 (día experimental=0) y el 1 de marzo de 2013.

5.2 Animales y tratamientos

Se utilizaron 39 vacas Holando del rodeo experimental de INIA La Estanzuela, multíparas de parición primaveral (fecha promedio de parto: 30/11/2012) e invernal (fecha promedio de parto: 22/05/2012).

Tomando en cuenta: número de lactancias (2.5 ± 1.34), días en lactancia al inicio del experimento (110 ± 98 días), producción de leche de la lactancia anterior y de la fase de monitoreo, condición corporal (3.1 ± 0.51 unidades), y peso vivo (557 ± 73 kg) al inicio del experimento los animales fueron estratificados y asignados al azar en los siguientes tratamientos:

- Control (SOL) (n=13): encierro estratégico de 09:00 a 05:00 horas sin acceso a medida de mitigación del estrés (sol).
- Sombra (SOM) (n=13): encierro estratégico de 09:00 a 05:00 horas bajo sombra artificial.
- Sombra + Aspersores + Ventiladores (SAV) (n=13): encierro estratégico de 09:00 a 05:00 horas bajo sombra artificial, con dos sesiones de ventilación y aspersion en el corral de espera, al inicio del encierro estratégico y antes del ordeño en la tarde.

El sombreado consistió en redes plásticas de color negro de 80% intercepción de la radiación solar, con una disponibilidad de 4.5 m^2 por vaca en una construcción de orientación este-oeste. El mismo se encontraba cercano a las instalaciones del tambo, para minimizar la distancia recorrida por los animales del tratamiento SAV desde la sombra al corral de espera, donde fue montado un sistema de aspersion y ventilación y sombra. Durante cada sesión de aspersion y ventilación (30 min) los animales eran ventilados continuamente (Magnum 52``, GEA, 32980 CFM, altura: 3 m, diámetro: 1.3m) y asperjados (300 L/h) por dos minutos en dos momentos: al inicio de cada sesión y al minuto 15.

Durante el encierro estratégico en todos los tratamientos se suministró ración total mezclada (RTM, ensilaje + concentrado comerciales) cuya composición se observa en la tabla 1, con 18.2 % de proteína cruda (PC), 1.55 Mcal ENL/kgMS, 66.2 % de materia seca (MS), 35.5 % fibra detergente neutro (FDN), 21.5 % fibra detergente ácido (FDA), 1.9 % extracto etéreo EE, y se contó con agua ad libitum.

Tabla 1. Composición de RTM

Ingrediente (% de MS)	
Ensilaje de Raigrás	21.6
Ensilaje de Pradera	16.5
Expeler de Soja	12.3
Grano de Maíz	24.1
Grano de Sorgo	19.2
Expeler Algodón	4.7
Bicarbonato de Sodio	1.3
Mezcla de minerales ¹	0.3

Se complementó al RTM con una sesión de pastoreo en pasturas mezcla de alfalfa (*Medicago Sativa*), trébol blanco (*Trifolium Repens*) y festuca (*Festuca Arundinacea*), en franjas diarias, con una oferta de forraje de 10 kgMS/vaca/d (disponibilidad de forraje promedio de 2914 ±585 kgMS/ha) con 14 % de proteína cruda (PC), 1.34 Mcal ENI/kg MS.

5.3 Manejo de los animales

Los animales fueron ordeñados dos veces al día (05:00 y 16:00 horas). Luego del ordeño matutino eran llevados a una sesión de pastoreo hasta las 09:00 hr, momento en el cual eran encerrados en tres corrales según tratamientos (SOL o SOM), donde recibían agua ad libitum y la RTM. Los animales del grupo SAV fueron provistos de dos sesiones de aspersión y ventilación de 30 minutos en el corral de espera, uno a las 09:00 hrs y otro a las 15:30 hrs (previo del ordeño). Luego del ordeño vespertino los animales eran llevados al encierro donde permanecían hasta las 05:00 momento en el cual eran llevados para el ordeño matutino.

5.4 Caracterización del ambiente térmico

La temperatura del aire media (Tmedia), máxima (Tmax) y mínima (Tmin), la humedad relativa (HR) y el Índice de Temperatura y Humedad (ITH) (Thom, 1959) promedio diario fueron utilizados para caracterizar el ambiente térmico, recogiendo los datos de la Estación Meteorológica (Campbell Scientific) ubicada en el Parque Agrometeorológico de La Estanzuela cercana al lugar experimental. Para el cálculo del ITH se utilizaron registros diarios de temperatura y humedad del aire de la estación meteorológica (Campbell Scientific) ubicada en el Parque Agrometeorológico de La Estanzuela cercana al lugar experimental. El ITH fue calculado usando la conversión de Valtorta y Gallardo (1996), que se muestra a continuación.

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

Dónde: Ta = Temperatura del aire (°C); HR = Humedad relativa del aire (%).

Se realizaron registros horarios de la temperatura de las esferas de Vernon (Berbigier, 1988) ubicadas bajo la sombra artificial (una por cada tratamiento con acceso a sombra), al sol y en el corral de espera (aspersión y ventilación). 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). Para formar los registros de temperatura de las esferas del ambiente SOM y SAV se utilizaron las temperaturas de las esferas al SOL de 05:00 a 09:00 h, momento en el cual los animales estaban pastoreando, combinados con las temperaturas de las esferas ubicadas en las respectivas sombras (09:15 a 04:45 h). Para formar los registros del ambiente SAV, además se combinaron con las ubicadas en la sala de espera en los momentos en que los animales estaban en la misma.

5.5 Determinaciones en los animales

5.5.1 Productivas

Se registró la producción de leche diariamente en cada ordeño 05:00 y 16:00 horas. Se extrajo en promedio 5 días a la semana muestras de leche compuestas (2 ordeños) para el estudio de su composición en términos de: grasa, proteína lo que fue utilizado para el cálculo de leche corregida por sólidos (LCS) de acuerdo a la siguiente función $LCS (kg) = (0.327 \times kg \text{ leche}) + (12.95 \times kg G) + (7.20 \times kg P)$. La grasa, proteína fue determinada a través de análisis infrarrojo medio (BentleyModel 2000, Bentley Instruments Inc., Chaska, MN, USA) de acuerdo a la metodología propuesta por IDF (2000).

5.5.2 De comportamiento

Los días experimentales 7, 24, 39, 52, 66 y 79 fue evaluado el comportamiento tanto en pastoreo cómo en el encierro. Se observó el comportamiento individual de los animales de cada tratamiento (cada intervalo de 15 minutos) registrando el número de animales que se encuentran en las diferentes actividades durante el pastoreo (rumia, pastoreo) y durante el encierro: probabilidad de ocurrencia de cercanía al comedero, rumia, echados, parados, utilización de sombra. Fueron descriptos por turnos de observación durante el encierro: turno 1 (09:00-12:00), turno 2 (12:00-16:00) y turno 3 (16:00-20:00).

5.5.3 Fisiológicas

Dos veces a la semana, se realizaron en cada animal medidas de temperatura rectal (TR) y frecuencia respiratoria (FR) previo al ordeño matutino (am; 04:00) en bretes adyacentes al potrero experimental y a las 15:00 horas (pm). La TR fue determinada mediante termómetro digital (MC-245- OMRON HEALTHCARE, INC. Illinois, USA; 0.1°C de precisión) y la FR por apreciación visual del movimiento

de los flancos durante un minuto, fue expresada como respiraciones por minuto (r.p.m.).

5.6 Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, donde las vacas fueron unidades experimentales que se estratificaron según etapa de la lactancia (temprana y media), número de lactancia, producción de leche de la lactancia anterior, y estado corporal. Se realizaron bloques homogéneos de vacas y luego a cada vaca se asignó al azar a uno de los tratamientos presentados.

Los registros de las variables producción de leche corregida por sólidos, producción de grasa en kg (G), producción de proteína en kg (P), se analizaron ajustando un modelo lineal general con medidas repetidas en el tiempo. Se utilizaron 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. En el modelo se incluyeron como efectos fijos los tratamientos, día experimental, bloque, interacción día experimental x tratamientos, y como efecto aleatorio la vaca.

El modelo tendrá la siguiente forma general:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + \epsilon_{ij} + D_k + (A \times D)_{ik} + \delta_{ijk}$$

donde:

y_{ijklm} = producción de leche (LCS/vaca/día); producción de grasa; producción de proteína;

μ = media

A_i = efecto del i-ésimo ambiente (sol, sombra o sombra + aspersión + ventiladores)

B_j = efecto del j-ésimo bloque

ϵ_{ij} = error experimental (entre vacas)

D_k = efecto del k-ésimo día de experimento

$(A \times D)_{ik}$ = efecto de la interacción i-ésimo ambiente por k-ésimo día.

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

Las variables de comportamiento fueron analizadas ajustando un modelo lineal generalizado de medidas repetidas en el tiempo a través del procedimiento GLIMMIX del paquete estadístico SAS (versión 9.2; SAS Institute, Cary, NC, 2009). Se asumió que la variable tuvo distribución binomial. Las probabilidades estimadas, se presentarán como porcentaje.

Las medias de los efectos significativos fueron comparadas usando el test de Tukey. Se utilizó un nivel de significancia crítico de 5%. Los resultados fueron expresados como media \pm error estándar (EEM). Las variables meteorológicas son expresadas como media \pm desvío estándar (DE).

6. RESULTADOS

6.1 Caracterización del ambiente térmico

La temperatura media promedio del periodo experimental fue de $22.6 \pm 3^\circ\text{C}$, la temperatura máxima promedio de $28.4 \pm 3.84^\circ\text{C}$, y la temperatura mínima promedio de $17.1 \pm 3.06^\circ\text{C}$. La humedad relativa promedio fue de $68.2 \pm 0.1\%$. El ITH promedio para todo el periodo experimental fue de 70 ± 4.5 , con un máximo de 82 el día 24 de diciembre de 2012 y un mínimo de 61 el día 19 de febrero de 2013.

Tabla 2. Comparación de los registros meteorológicos del periodo experimental (diciembre 2012-febrero 2013) con las normales climatológicas (1980-2009).

	Diciembre		Enero		Febrero	
	1980-2009	2012	1980-2009	2013	1980-2009	2013
T máx.	27.4	28.5	28.9	29	27.6	28
T media	21.7	22.4	23.3	23.1	22.4	22.1
T min.	16.1	17.0	17.7	17.3	17.3	17.0
HR	66.0	67.7	66.0	66.6	70	70.5

En la tabla 2 se comparan los registros meteorológicos de los promedios de diciembre 2012, enero 2013 y febrero 2013 con las normales climatológicas (Castaño y col., 2011) observándose en el periodo experimental que la temperatura media y máxima fueron superiores a las normales climatológicas en los meses de diciembre y enero, e inferiores en el mes de febrero. La temperatura mínima en cambio, fue inferior en el mes de enero y febrero 2013 en relación a las normales climatológicas. La humedad relativa fue levemente superior en todo el periodo con respecto a las normales climatológicas.

En la tabla 3 se observan la caracterización térmica de los días experimentales en los cuales se observó el comportamiento animal.

Tabla 3. Temperatura del aire media (T_{med} , $^\circ\text{C}$), humedad relativa (HR, %) e ITH promedios diarios según día experimental de observación de comportamiento.

Día experimental	T_{med}	HR	ITH
7	19.9	60	66
24	19.3	65	65
39	23.8	76	73
52	26.1	75	76
66	24	79	73
79	18.6	71	64

Se observa que los días experimentales 39, 52 y 66 presentaron valores de ITH mayores a 72. El día 39 y 66 por altos porcentajes de humedad y el día 52 por altas temperaturas. Los demás días el ITH fueron menores a 72.

La tabla 4 corresponde a los registros de las esferas de Vernon en los diferentes tratamientos en los días experimentales de medición del comportamiento. Se observa la cantidad de horas al día en que las temperaturas difieren entre los tratamientos.

Tabla 4. Número de horas y horarios (horas) en las que las temperaturas de las Esferas de Vernon fueron estadísticamente diferentes entre tratamientos ($P < 0.05$).

Día Experimental	Número de horas				Horario	
	SAV vs SOM	SOM vs SOL	SAV vs SOL	SAV vs SOM	SOM vs SOL	SAV vs SOL
7		2	2		15:00,16:00	15:00,16:00
24			1			17:00
39		1	2		12:00	12:00,13:00
52		2	3		13:00,15:00	11:00,13:00, 15:00
66		3	3		12:00,14:00, 15:00	12:00,15:00 17:00
79			1			17:00

Todos los días de observación del comportamiento se observaron entre 1 y 3 horas diarias diferencias entre las temperaturas de las esferas de Vernon de los ambientes bajo la sombra artificial (SAV y SOM) respecto al SOL. Las horas del día en el que hay diferencias significativas entre temperaturas fueron en el horario vespertino entre las 11:00 y 17:00.

6.2. Variables fisiológicas

La tabla 5 describe las TR y FR am y pm del periodo experimental según los diferentes tratamientos. Las diferencias se encontraron en las variables fisiológicas en la tarde. Tanto la TR como la FR pm presentaron diferencias entre los tres tratamientos ($P < 0.0001$), siendo mayor en el grupo SOL que el tratamiento SOM, y estas mayores a las del tratamientos SAV. Las variables fisiológicas en la mañana no presentaron diferencias significativas entre los distintos tratamientos ($P = 0.7226$ y 0.0646 para TR y TR, respectivamente).

Tabla 5. Frecuencia Respiratoria (FR; media \pm EEM) y temperatura rectal (TR; media \pm EEM) en la mañana (am) y tarde (pm) según tratamientos.

Tratamiento	SAV	SOM	SOL
TR _{am}	37.9 \pm 0.04	38.0 \pm 0.04	38.0 \pm 0.04
TR _{pm}	39.0 \pm 0.04 C	39.3 \pm 0.04 B	39.7 \pm 0.04 A
FR _{am}	33.1 \pm 0.53	33.6 \pm 0.58	34.8 \pm 0.55
FR _{pm}	56.2 \pm 1.11 C	65.7 \pm 1.19 B	75.4 \pm 1.14 A

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

6.3. Variables de comportamiento

6.3.1. En el pastoreo

La tabla 6 describe las diferentes actividades de comportamiento en pastoreo según los tratamientos. En las actividades rumia ($P < 0.433$) y pastoreo ($P < 0.0832$) no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos.

Tabla 6. Probabilidad de ocurrencia (% \pm EEM) en la que los animales se encontraban en cada actividad (rumia y pastoreo) según tratamientos

Actividades	SAV	SOM	SOL
Rumia	14 \pm 2,1	11 \pm 2,2	15 \pm 2,3
Pastoreo	74 \pm 11,6	82 \pm 22,5	71 \pm 16,3

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

La tabla 7 describe las diferentes actividades de comportamiento en pastoreo según día experimental. En las actividades rumia ($P < 0.0001$) y pastoreo ($P < 0.0001$) se encontraron diferencias significativas según día experimental.

Tabla 7. Probabilidad de ocurrencia (% \pm EEM) en la que los animales se encontraban en cada actividad (rumia y pastoreo) según día experimental.

Día	Pastoreando	Rumiando
7	62 \pm 17,4 c	24 \pm 2,9 a
24	98 \pm 43,0 a	15 \pm 0,8 c
39	88 \pm 24,5 b	19 \pm 1,9 b
52	57 \pm 10,0 c	21 \pm 2,5 a
66	48 \pm 10,1 c	20 \pm 2,2 a
79	59 \pm 13,2 c	25 \pm 2,6 a

Medias seguidas de letras distintas muestran diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) en la columna.

6.3.2. En el encierro

La tabla 8 describe las diferentes actividades de comportamiento en el encierro según los tratamientos. En las actividades rumia ($P < 0.0001$), echados ($P < 0.0001$) y tiempo cercano al comedero ($P = 0.0002$) se encontraron diferencias significativas entre tratamientos. Respecto a rumia y echados los mayores porcentajes se encuentran en el tratamiento SAV y SOM sin diferencias entre ellos. En cuanto a tiempo cercano al comedero es mayor en el tratamiento SOL respecto a los restantes tratamientos. Tanto la utilización de sombra ($P = 0.5628$) como la actividad parado ($P = 0.3546$) no presentaron diferencias significativas entre tratamientos.

Tabla 8. Probabilidad de ocurrencia (% \pm EEM) en la que los animales se encontraban en cada actividad (rumia, parado, echados, cercano al comedero y utilizando la sombra artificial) según tratamiento.

Actividades	SAV	SOM	SOL
Utilización de Sombra (%)	21.5 \pm 1.89	22.8 \pm 1.96	
Rumia (%)	20.7 \pm 0.44 a	19.6 \pm 1.41 a	13.8 \pm 0.38 b
Parado (%)	46.8 \pm 0.58	45.7 \pm 0.70	48.8 \pm 0.60
Echado (%)	10.7 \pm 0.92 a	9.5 \pm 0.84 a	4.9 \pm 0.65 b
Comedero (%)	33.7 \pm 1.19 b	34.7 \pm 1.19 b	40.2 \pm 1.23 a

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

En la figura 2 se describe la proporción de observaciones en las diferentes actividades con respecto a los días experimentales de medición de comportamiento. En la actividad rumia ($P < 0.001$), parado ($P < 0.001$), echado ($P < 0.001$), tiempo cercano al comedero ($P < 0.001$), y sombra ($P < 0.001$) se observan diferencias significativas entre días experimentales.

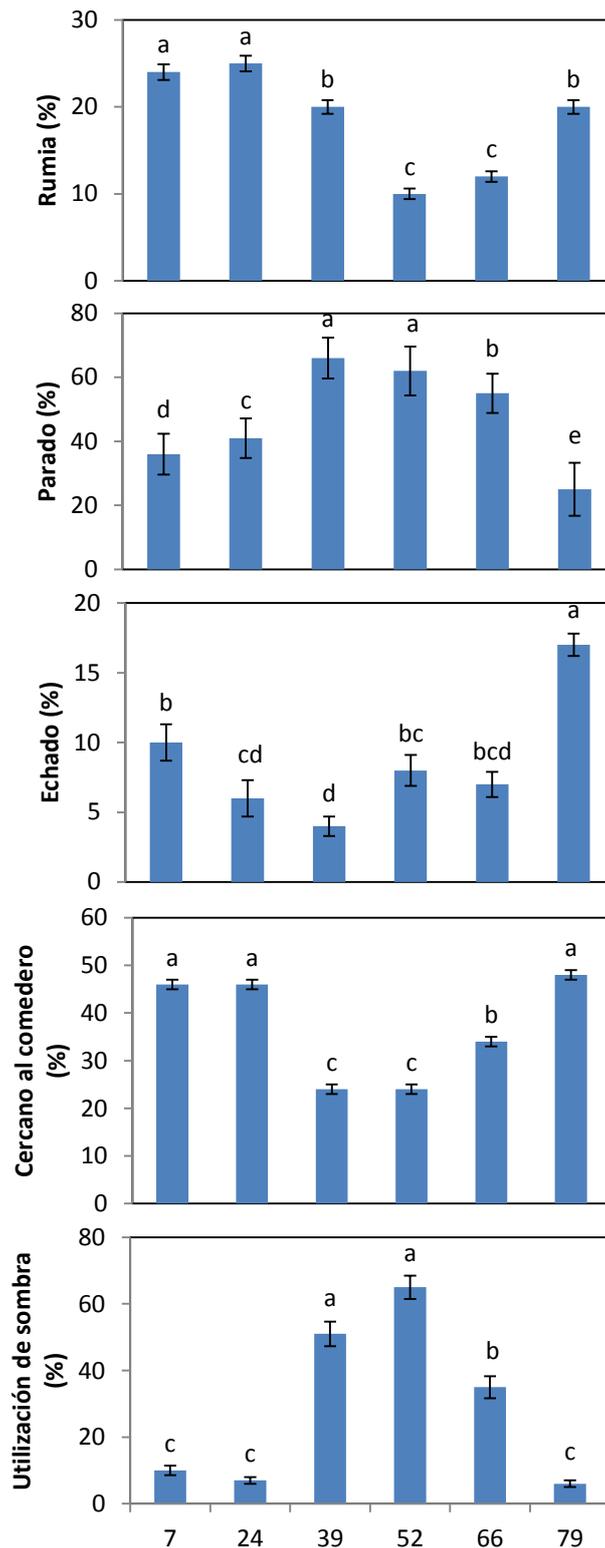


Figura 2. Probabilidad de ocurrencia (% \pm EEM) en la que los animales se encontraban en cada actividad (rumia, parado, echados, cercano al comedero y utilizando la sombra artificial) según día experimental. Medias seguidas de letras distintas muestran diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$).

La interacción día experimental \times tratamiento fue significativa para la rumia ($P < 0.0001$). Los días 24, 39, 52 y 66 se observaron diferencias entre tratamientos. La figura 3 muestra la actividad rumiando en la interacción día experimental según los tres tratamientos. Se observa en el día 39 y 52 que en el tratamiento SOL el porcentaje de rumia fue significativamente menor que el grupo SAV y SOM.

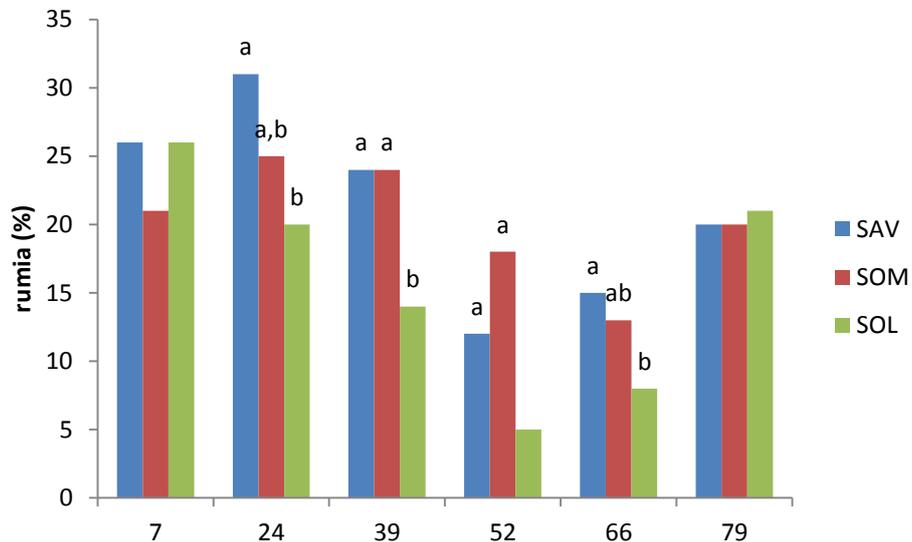


Figura 3. Probabilidad de ocurrencia (% \pm EEM) en la que los animales se encontraban en actividad rumiando según tratamiento y día experimental. Medias seguidas de letras distintas muestran diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$).

La interacción día experimental \times tratamiento fue significativa para probabilidad de ocurrencia de cercanía al comedero ($P < 0.0001$). Solamente, el día 24 se observa diferencias significativas entre los tres tratamientos, siendo el tratamiento SOL el mayor valor. El resto de los días no se observaron diferencias significativas. La figura 4 muestra la actividad probabilidad de ocurrencia de cercanía al comedero en la interacción día experimental según los tres tratamientos.

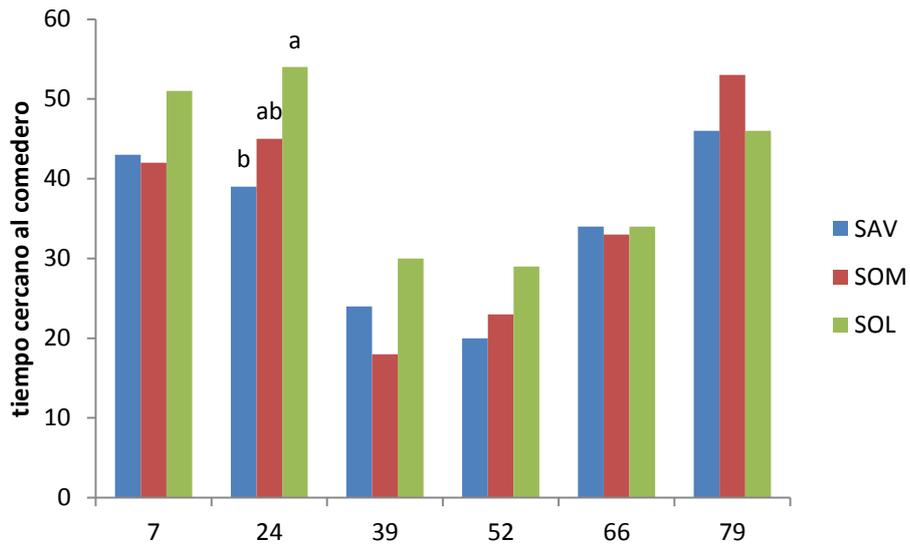


Figura 4. Probabilidad de ocurrencia (% \pm EEM) en la que los animales se encontraban en actividad tiempo cercano al comedero según tratamiento y día experimental. Medias seguidas de letras distintas muestran diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$).

La interacción día experimental \times tratamiento fue significativa para utilización de la sombra ($P < 0.0001$). La figura 5 muestra la actividad utilización de la sombra en la interacción día experimental según los dos tratamientos. Existen diferencias significativas en el día 7, no observándose para los demás días.

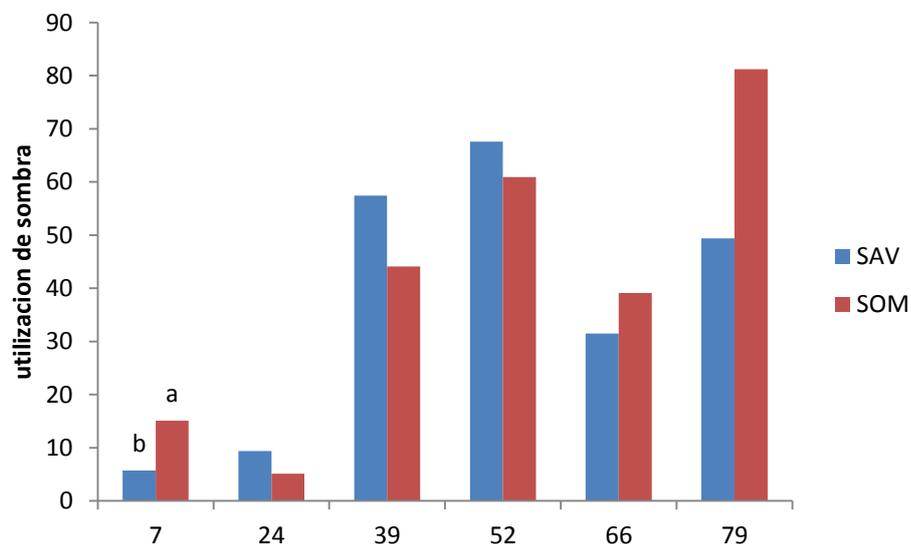


Figura 5. Probabilidad de ocurrencia (% \pm EEM) en la que los animales se encontraban en actividad utilización de sombra según tratamiento y día experimental. Medias seguidas de letras distintas muestran diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$).

En la tabla 9 se describe las actividades de comportamiento en el encierro en base a los diferentes turnos de observación. En todas las actividades de comportamiento se observan diferencias significativas entre turnos de observación. La utilización de sombra ($P < 0.001$) y al rumia ($P < 0.001$) fueron mayores en el turno 2. La actividad parado ($P < 0.001$), presenta diferencias significativas en los tres turnos, siendo mayor en el turno 2, menor en el 3 e intermedio en el turno 1. La actividad echado ($P < 0.001$) es significativamente mayor en el turno 2 y 3 con respecto al turno 1. La probabilidad de ocurrencia al comedero ($P < 0.001$) hubieron diferencias entre los turnos siendo mayor en el turno de las 3 y menor en el turno 2 respecto al turno 1.

Tabla 9. Probabilidad de ocurrencia (% \pm EEM) en la que los animales se encontraban en cada actividad (rumia, parado, echados, probabilidad de ocurrencia de cercanía al comedero y utilizando la sombra artificial) según turno de observación (turno 1: 09:00-12:00; turno 2: 12:00-16:00, turno 3 (16:00-20:00) durante el encierro.

Actividades	Turno 1	Turno 2	Turno 3
Utilización de Sombra (%)	36.3 \pm 1.96 b	76.5 \pm 1.64 a	1.3 \pm 0.27 c
Rumia (%)	12.6 \pm 0.80 b	27.8 \pm 1.12 a	15.6 \pm 0.88 b
Parado (%)	42.7 \pm 3.91 b	71.0 \pm 6.52 a	27.9 \pm 5.17 c
Echado (%)	3.6 \pm 0.52 b	11.3 \pm 0.93 a	12.1 \pm 0.94 a
Comedero (%)	48.4 \pm 1.28 b	14.4 \pm 0.87 c	54.4 \pm 1.28 a

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

6.4. Variables productivas

6.4.1. Producción de leche corregida por sólidos

La tabla 10 describe el efecto de los tratamientos ($P = 0.0146$) sobre la LCS. Comparando los tratamientos, en SAV Y SOM sobre la variable LCS, no hubo diferencias significativas, con respecto al tratamiento SOL que si se observan.

Tabla 10. Producción de leche corregida por sólidos (kg, promedio + EEM) según los diferentes tratamientos

Tratamientos	Promedio	EEM
SAV	31,77 a	0.68
SOM	31,64 a	0.67
SOL	29,28 b	0.67

Medias seguidas de letras distintas muestran diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) en la columna.

6.4.2. Grasa

La tabla 11 describe el efecto de los tratamientos ($P < 0.0001$) sobre la producción de grasa. De acuerdo a la variable Grasa se observa diferencias significativas entre tratamiento SOL con tratamiento SAV Y SOM.

Tabla 11. Producción de grasa (kg, media + EEM) según los diferentes tratamientos

Tratamientos	media	EEM
SAV	1.25 a	0.014
SOM	1.21 a	0.013
SOL	1.09 b	0.014

Medias seguidas de letras distintas muestran diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) en la columna.

6.4.3. Proteína

La tabla 12 describe el efecto de los tratamientos ($P < 0.0001$) sobre la producción de proteína, existiendo diferencias significativas en tratamiento SOL con respecto al SAV y SOM.

Tabla 12. Producción de proteína (kg, promedio + EEM) según los diferentes tratamientos.

Tratamientos	Promedio	EEM
SAV	0.94 a	0.013
SOM	0.91 a	0.013
SOL	0.83 b	0.012

Medias seguidas de letras distintas muestran diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) en la columna.

7. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el presente trabajo confirman las hipótesis planteadas, que las condiciones meteorológicas adversas afectan el comportamiento y la productividad de vacas lecheras, y que la utilización de sombras asociado o no a aspersión y ventilación reduce el efecto de estas condiciones meteorológicas adversas del verano en vacas lecheras en lactación en el SW de Uruguay

En lo que refiere a la caracterización del ambiente térmico, el ITH promedio del periodo experimental (70 ± 4.5) fue inferior a 72, valor crítico de estrés calórico según Johnson y col., (1961). Sin embargo, estudios recientes como de Zimbelman y col., (2009) demostraron que se vio afectada la producción con ITH superiores a 68, por lo cual se podrían esperar efectos del estrés en los animales capaces de afectar el desempeño productivo.

De la comparación con las normales climatológicas se desprende que el mes de diciembre 2012 se encontraron temperaturas del aire (T máx., T media, y T mín.) más altas que el promedio histórico, proporcionando un ambiente calórico intenso. Mientras que en los meses de enero y febrero 2013, las temperaturas medias y mínimas fueron menores a la normal climatológica, generando un ambiente levemente más fresco.

Las diferencias observadas en las temperaturas de las esferas de Vernon entre los tratamientos SAV y SOM respecto al SOL, muestran que durante la tarde la utilización de sombras fue efectiva en mitigar el estrés calórico, cambiando el ambiente térmico en el que se encontraban los animales. Similar a lo ocurrido en el trabajo de Saravia (2009), donde las horas del día en que hubieron diferencias significativas entre las temperaturas registradas al sol y bajo la sombra artificial siempre correspondieron a la fase diurna entre las 08:00 y 18:00 horas, las temperaturas nocturnas y las temperaturas mínimas registradas luego del amanecer no fueron diferentes entre ambientes.

En lo que refiere a las variables fisiológicas, las mismas mostraron aumentos significativos en la tarde. El SAV demostró un efecto positivo con respecto a SOM en la mejoría del balance calórico, al mostrar menores temperaturas rectales y frecuencias respiratorias. Además los animales del tratamiento SOM demostraron mejorías respecto al SOL. Las diferencias entre el SOL y los demás tratamientos están en relación con las diferencias encontradas en la caracterización del ambiente a través de las temperaturas de las esferas de Vernon ya que se observaron entre 1 y 3 horas diarias diferencias entre las temperaturas de los ambientes bajo la sombra artificial (SAV y SOM) respecto al SOL evidenciando el efecto de las altas temperaturas diurnas durante el ensayo, en la acumulación de calor de las vacas. Seath y Miller (1946) y Thomas y Pearson (1986) establecen que superadas los 39°C y las 35 r.p.m., respectivamente, se observa presencia de estrés térmico en los animales. En la tarde tanto la FR como la TR de los tratamientos SOM (65.7 ± 1.19 rpm, $39.3 \pm 0.04^{\circ}\text{C}$) y SOL (75.4 ± 1.14 rpm, $39.7 \pm 0.04^{\circ}\text{C}$) supera estos valores, sugiriendo que están en hipertermia. Esto coincide con Brown-Brandl y col., (2006) quienes corroboraron que el aumento en la tasa de respiración es menor cuando el

ganado se encuentra bajo la sombra que bajo el sol. Saravia (2009), destacó que en sus condicionantes meteorológicas, ola de calor severa (OCS), leve (OCL) y no ola de calor (NOC), tanto la FR pm como la TR pm se encontraron por encima del límite de normotermia evidenciando el efecto de las altas temperaturas diurnas en la acumulación de calor de la vacas.

En la mañana no se observaron diferencias significativas entre tratamientos, y los valores no superaron los parámetros normales de TR y FR, lo que sugeriría que durante la noche los animales fueron capaces de liberar el calor ganado durante el día, y recuperar la temperatura normal. Lo contrario demostró Saravia (2009) que en OCS al obtener menor posibilidad de recuperación nocturna de las vacas, ya que sus FR am y TR am presentaron valores en el límite de termoneutralidad en bovinos. En cambio en OCL a pesar de que las vacas presentaron altas TR pm y FR pm, pudieron disipar la carga calórica acumulada durante el día presentando TR am similares a NOC, y FR am levemente mayor que NOC, siendo estos valores dentro de la normotermia en bovinos.

En lo que refiere a las variables de comportamiento en pastoreo estudiadas, en las actividades rumia y pastoreo no se observaron diferencias en los animales de cada tratamiento. Esto puede ser debido a que las vacas pastoreaban en la mañana, concordando con lo mencionado por Albright (1993) donde 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 la actividad rumia y pastoreo se demostró según día experimental medido (tabla 7), que en determinados días hubo mayor actividad de pastoreo y rumia, esto posiblemente se haya debido a cambios en la calidad y estructura de la pastura, modificando los estímulos de los animales a pastorear, y no a cambios en el ambiente. También podría estar ligado a que en la noche todas las vacas lograron recuperar su temperatura normal, ya que eran todas iguales las TR en la mañana. Así como lo vio Nienaber y col., (2003) en cuanto a la recuperación nocturna de la normotermia en las vacas.

Según las variables de comportamiento en encierro, los animales al SOL, presentaron menor rumia, como así lo demostró Johnson y col., (1962); Djimde y col., (1989); Pezo e Ibrahim, (1998); donde el incremento del tiempo dedicado a rumiar se presenta cuando existen bajas temperaturas y los animales no presentan estrés calórico. Además se observa una menor proporción de observaciones echadas, ya que como sugirió Yousef (1985) los animales en hipertermia reúsan echarse en corrales de tierra como los utilizados en nuestro ensayo debido al contacto con la superficie que les trasmite calor, es por esto que las vacas eligen estar de pie lo que significa que la mayor parte de la transferencia de calor desde el animal se lleva a cabo a través del aire, y el aire tiene una pobre conductividad térmica.

La probabilidad de ocurrencia de cercanía al comedero observado en los animales al SOL podría deberse a que los animales bajo estrés calórico acuden frecuentemente

al comedero, caminan en exceso se concentran en las esquinas de los potreros y disminuyen su actividad de pastoreo (Arnold y Dudzinsski, 1978).

No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos SAV y SOM en ninguna de las variables de comportamiento estudiadas, una de las posibles razones podría asociarse a que el ambiente en el que se encontraban los animales no presentó diferencias, como se concluye del análisis de las temperaturas de las esferas de Vernon de estos tratamientos. Esto sugiere que la aspersión y ventilación no influyó en el comportamiento animal, a pesar de que se observaron diferencias a nivel fisiológico (TR y FR pm).

Si se agrupan los días experimentales según los valores de ITH superiores e inferiores, los días de ITH superiores fueron 39, 52 y 66 y presentaron un promedio de ITH de 74, y los de ITH inferiores los días 7, 24 y 79 con ITH promedio de 65. Si se compara estos grupos de días con el comportamiento animal según día experimental, la probabilidad de ocurrencia de cercanía al comedero resultó menor en los días de ITH promedio de 74, debido posiblemente a que las altas temperaturas hacen disminuir el consumo del alimento, especialmente los de tipo fibroso que disminuyen el calor de la fermentación ruminal, logrando así la disminución del calor interno y mejorando el balance calórico (Phillips, 2001). Además Kadzere y col. (2002) menciona que el incremento calórico debido a la alimentación, es una parte importante de la producción de calor total, es esta la razón por la cual los animales disminuirían el consumo voluntario en un esfuerzo por producir menor calor metabólico. 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). Brown-Brandl y col. (2006) reportaron que bajo condiciones de estrés por calor los animales disminuyen el tiempo dedicado a consumir alimento. El posible descenso en el consumo de alimento puede ser uno de los factores que incida en el descenso de la rumia, lo que fue observado en el presente ensayo. Como lo sugirió Collier y col. (1981) que al aumentar la temperatura, se reduce la rumia y se observan cambios en la fermentación ruminal hacia menores niveles de ácidos grasos volátiles (Kelley y col., 1966; Moody y col., 1967). La situación de estrés por calor conduce a un descenso dramático del consumo voluntario de materia seca, lo cual se traduce en la reducción en la producción de ácidos grasos volátiles en el rumen. La disminución de la actividad ruminal por su parte, conduce a la disminución de amortiguadores salivares y el pH ruminal (González J., 2008).

La utilización de sombra por las vacas aumentó en los días de ITH superiores. Ha sido observado que las vacas utilizan fácilmente la sombra cuando se administra el acceso a ella, y la provisión de sombra pueden aliviar los efectos negativos del aumento de la carga calórica interna (Valtorta y col., 1997) al disminuir la ganancia de calor del ambiente. Schütz y col. (2008) observaron que las vacas lecheras estaban muy motivadas para usar sombra cuando hay altas temperaturas y humedad.

Respecto a la postura, la postura parado aumento los días de ITH superior, los animales en estas condiciones buscan lugares con microclimas menos estresantes, y pasan mayor tiempo parados que echados (Frazzi y col., 2002). Lo contrario para la actividad echado, que con ITH superior se observa menor tiempo dedicado a la locomoción en los animales (Tapki y Sahim, 2006)

Del análisis del cambio en el comportamiento según turno de observación, se desprende que el tiempo cercano al comedero es alto en el turno 1, debido posiblemente a que la RTM se suministraba previo al ingreso de las vacas al encierro lo que genera un estímulo al consumo en este turno. También se observo un aumento en el turno 3, relacionado posiblemente a las condiciones ambientales más frescas comparando con el turno 2 que permitirían un aumento al consumo. Esto se ha observado en situaciones de clima cálido, donde las vacas lecheras prefieren pastorear durante las condiciones de la mañana y tardes más frescas (Seath y Miller, 1946). Debido a la distribución del consumo de alimento durante el día (mayor en el turno 1), la rumia se maximiza en el turno 2. Podemos decir que este aumento no se debe a condiciones ambientales, puesto que este momento del día se registran mayores temperaturas, sino a factores de consumo.

Al mediodía los animales permanecen protegidos a la sombra, descansando, ociosos o rumiando (Albright, 1993) esto coincide con el turno de mayores temperaturas (turno 2) donde se ven mayores porcentajes de animales rumiando y utilizando la sombra. Respecto a la postura, los animales que se encuentran parados lo hacen mayormente en las horas con más altas temperaturas (turno 2). Los animales que se encontraban echados en los turnos de la tarde (mayormente en el 3 que en el 2), donde las temperaturas son inferiores. Similares resultados fueron presentados por Allen y col. (2015) quienes concluyeron que la temperatura corporal y el ITH están correlacionados con el comportamiento echado y parado. Las vacas con estrés por calor respondieron a cambios en la temperatura corporal y a su postura. Las vacas con mayor temperatura corporal permanecieron en actividad echado por corta duración y en actividad parado por períodos más largos.

En los resultados productivos se observa que la producción de leche corregida por sólidos no fue diferente entre los tratamientos SAV y SOM. Sin embargo, si se observan diferencias entre estos y el tratamiento SOL, lo que indica un efecto negativo de las altas temperaturas sobre la producción de leche. Esto no concuerda con lo reportado por Saravia (2009), quien menciona que la producción de leche no presento diferencias significativas de las vacas que estuvieron con y sin acceso a sombra artificial. Esto podría deberse a la menor producción de leche registrada por los animales, en comparación con las vacas de nuestro ensayo que son de alta producción. Purwanto y col. (1990) establecen que la producción de leche, es 10% menor en animales de baja producción (18.5 kg/d) comparado con aquellos de alta producción de leche (31.6 kg/d) lo que provocaría la mayor sensibilidad de estos últimos al estrés por calor. Al igual que lo reportado por Valtora y col. (2003) la sombra presentó mayor producción de leche con mayor cantidad de

proteína que las que se encontraban al sol. A su vez Valtorta (2003), indico que en un ensayo de refrigeración por medio de ventiladores y aspersores previo a los ordeños, se obtuvieron aumentos en la producción de leche y de las concentraciones de grasa y proteína en respuesta a la refrigeración. Lo mismo sucedió en un experimento en California (Correa-Calderón y col., 2002) la producción promedio de leche fue mayor ($p < 0.01$) en vacas del tratamiento enfriamiento y sombra comparadas con el tratamiento sombra. Wiersma y Armstrong (1983) demostraron que el uso de aspersores y ventiladores en el área de espera han mejorado la producción de leche en 0.8 kg/d en vacas Holando ordeñadas tres veces al día en comparación con vacas sin enfriamiento en esta área. Wolfenson y col. (1984), sugieren que vacas Holando enfriadas 5 veces al día en la sala de espera, incrementaron su producción en 2.5 kg/d sobre vacas que no recibieron este beneficio. Lo contrario ocurrió en nuestro ensayo donde no se observaron diferencias significativas entre tratamientos SAV y SOM, posiblemente el ambiente no fue lo suficientemente adverso como para que los animales del tratamiento SAV expresaran una diferencia en leche.

La producción de sólidos (grasa y proteínas) fue afectada en el tratamiento SOL con respecto a SAV y SOM, lo mismo presentó en el ensayo de Saravia (2009), bajo la condicionante de OCS, expresando que durante las altas temperaturas se produce una reducción en la síntesis, absorción y movilización de metabolitos (AGV, lípidos, aminoácidos) a partir del tracto digestivo, hígado y tejido adiposo y su utilización por la glándula mamaria (Arcaro Junior y col., 2003). Otra posible razón de la disminución de grasa, podría ser la mayor susceptibilidad a acidosis subclínica de los animales bajo estrés calórico (Kadzere y col., 2002; Beede y Collier, 1986) debido a la menor rumia, como fue observada en el tratamiento SOL, menor número de comidas (más largas) que incrementarían la cantidad de ácido poscomida e incremento del jadeo, lo que produciría una pérdida de dióxido de carbono (CO_2) importante que llevaría a mayor excreción de ion bicarbonato (HCO_3^-) por parte del riñón para mantener la proporción $\text{CO}_2:\text{HCO}_3^-$ en sangre y por tanto menor cantidad de HCO_3^- quedaría disponible para ser secretado por la saliva (Bernabucci, 2012).

En relación a lo escrito anteriormente, entre los tratamientos SAV y SOM no se observaron diferencias en cuanto al comportamiento, ya que se genero el mismo ambiente para las vacas. En cambio para las variables fisiológicas se observaron diferencias entre ambos tratamiento, lo cual indica que la ventilación y aspersion es efectiva para las mismas. En las variables productivas no fue efectivo la ventilación y aspersion con respecto a al tratamiento SOM, esto probablemente a causa de factores propios del animal como el biotipo, la productividad, alimentación y a factores externos como el clima en diferentes zonas del país.

8. CONCLUSIONES

En conclusión, las vacas lecheras de alta producción se vieron afectadas por las condicionantes meteorológicas adversas del SW de Uruguay con un ITH promedio 70 ± 4.5 . Bajo estas condiciones se vio modificado el comportamiento y el rendimiento productivo.

La utilización de sombras asociado o no a ventilación y aspersion mitigaron las condiciones meteorológicas adversas del verano sobre el comportamiento. Se observaron mayores niveles de rumia en los tratamientos SAV y SOM (20.15%) con respecto al tratamiento SOL (13.8%). Además aumentó la actividad echado en los tratamientos SAV y SOM (10.1%) en comparación con los resultados obtenidos en el tratamiento SOL (4.9%), indicando un efecto positivo de las medidas de mitigación sobre vacas lecheras de alta producción.

La productividad de las mismas con dichas medidas de mitigación aumentó 8.1% y 8.5% en tratamiento SOM y SAV, respecto al tratamiento SOL. Se demostró por el alto valor de LCE promediando 31.70 kg, de igual manera para la grasa y proteína.

9. BIBLIOGRAFIA

1. Albright, J.L. (1993) Feeding behavior of dairy cattle. *J Dairy Sci*, 76:485-498.
2. Albright, J.L.; Alliston, C.W. (1972) Effects of varying the environment upon performance of dairy cattle. *J Anim Sci*, 32:566-577.
3. Allen, J.D.; Hall, L.W.; Collier, R.J.; Smith, J.F. (2015) Effect of core body temperature, time of day, and climate conditions on behavioral patterns of lactating dairy cows experiencing mild to moderate heat stress. *J Dairy Sci*, 98:1–10.
4. Ansell, R.H. (1981) Extreme heat stress in dairy cattle and its alleviation: A case report. En: Clark, J.A. *Environmental Aspects of Housing for Animal Protection*. London, Butterworths, p. 285–306
5. Arcaro Junior, I.; Arcaro, J.; Pozzi, C.; Del Fava, C.; Fagundes H.; Matarazzo, S.; De Oliveira, J. E. (2005) Respostas fisiológicas de vacas em lactação à ventilação e aspersão na sala de espera. *Ciência Rural*. Santa Maria. 35 (3): 639-643.
6. Arcaro Junior, I.; Arcaro, J.; Pozzi, C.; Fagundes, H.; Matarazzo, S.; 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.
7. Argeñal, P. (2011) Contribución de las cercas vivas para controlar el estrés calórico en vacas lecheras en el trópico húmedo de costa rica. Tesis de Maestría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. 104 p.
8. Arias, R.A.; Mader, T.L.; Escobar, P.C. (2008) Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Arch. Med. Vet.* 40: 7-22.
9. Arieli, A.; Adin, G.; Bruckental, I. (2004) The effect of protein intake on performance of cows in hot environmental temperatures. *J. Dairy Sci.* 87: 620-629.
10. Armstrong, D.V. (1994) Heat stress interaction with shade and cooling. *J Dairy Sci*, 77: 2044-2050.
11. Arnold, G.W.; Dudzinski, M. L. (1978) *Ethiology of free-ranging domestic animals*. New York. Elsevier, 198 p.
12. Atkeson, P.W.; Shaw, A.O.; Cave, H.W (1942) Grazing habits of dairy cattle *J Dairy Sci.* 25:779-784.
13. Azanza, J.; 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.
14. Beede, D.K.; Collier, R.J. (1986) Potential nutritional strategies for intensively managed cattle during thermal stress. *J Anim Sci*, 62:543-554.
15. Berbigier, P. (1988) *Bioclimatologie des ruminants domestiques en zone tropicale*. Paris, Inra, 237 p.

16. Beretta, V.; Simeone, Á.; Bentancur, O. (2013) Manejo de la sombra asociado a la restricción del pastoreo: efecto sobre el comportamiento y performance estival de vacunos. *Agrociencia* 17 (1):131-140.
17. Beretta, V.; Simeone, A.; Cortazzo, D.; Viera, G. (2010) Efecto de la sombra en corrales de engorde durante el verano sobre la performance de vacunos. *Revista Argentina de Producción Animal*, 30(1):550-551.
18. Berman, A. (2005) Estimates of heat stress relief needs for Holstein dairy cows. *J Anim Sci*, 83:1377-1384.
19. Berman, A. (2005) Estimates of heat stress relief needs for Holstein dairy cows. *J Anim Sci* 83:1377–1384.
20. Berman, A.; Folman, Y.; Kaim, M.; Mamen, M.; Herz, Z.; Wolfenson, D.; Arieli, A.; 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.
21. Berman, A.; Morag, M. (1971) Nychthemeral patterns of thermoregulation in high-yielding dairy cows in a hot dry near-natural climate. *Aust. J. Agric. Res.* 22:671–680.
22. Bernabucci, U. (2012) Impact of the hot environment on nutrient requirements. En: J. Collier y J.L. Collier. *Environment physiology of livestock*. England. John Wiley and Sons, p.101-128.
23. Bernabucci, U.; Bani, P.; Ronchi, B.; Lacetera, N.; Nardone, A. (1999) Influence of short and long term exposure to a hot environment on rumen passage rate and diet digestibility by Friesian heifers. *J Dairy Sci* 82:967-973.
24. Bianca, W. (1968) Thermoregulation. En: *Adaptation of Domestic Animals*. Philadelphia. Lea and Febiger, pp. 97-118.
25. Bianca, W. (1972) Termorregulación. En: Hafez, E.S.E. *Adaptación de los animales de granja, México*, ed. Herrero. p 135-162.
26. Blackshaw, J.K.; Blackshaw, A.W. (1994) Heat stress in cattle and the effect of shade on production and behavior: a review. *Australian J. Experim. Agric.* 34(2): 285-295.
27. Breinhol, K.A.; Gowen, F.A.; Nwosu, C.C. (1981) Influence of environment and animal factor on day and night grazing activity of imported Holstein-Friesian cows in the humid lowland tropics of Nigeria. *Trop. Anim. Prod.* 6:300-307
28. Brown-Brandl, T.M.; Nienaber, J.A.; Eigenberg, R.A.; Hahn, G.L.; Freetly, H. (2003) Thermoregulatory responses of feeder cattle. *J. Therm Biol* 28:149-157.
29. Brown-Brandl, T.M.; Eigenberg, R.A.; Nienaber, J.A. (2006) Heat stress risk factors of feedlot heifers. *Livest Sci* 105:57-68.
30. Buffington, D.E.; Collier, R.J.; Canton, G.H. (1983) Shade management system to reduce heat stress for dairy cows in hot, humid climates. *Trans Am Soc Agric Eng* 26(6):1798-1802.

31. Cannon, W. (1932) Organization for physiological homeostasis. *Physiol. Rev.* 9(3):399-431.
32. Castaño, J.P.; Gimenez, A.; Ceroni, M.; Furest, J.; Auchayna, R. (2011) Caracterización agroclimática del Uruguay 1980-2009. Serie Técnica nº 193, Inia 2011.
33. Cena, K.; Monteith, K. (1975) Transfer processes in animal coats. 1. Radiative transfer. *Proc. R. Soc. Lond. B* 188:377.
34. Collier, R.J.; Beede, D.K.; Thatcher, W.W.; Israel, L.A.; Wilcox, C.J. (1982) Influences of environment and its modification on dairy animal health and production. *J. Dairy Sci.* 65:2213– 2227.
35. Collier, R.J.; Dahl, G.E.; Van Baale, M.J. (2006) Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 89: 1244-1253.
36. Collier, R.J.; Eley, R.M.; Sharma, A.K.; Pereira, R.M.; 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.
37. Combs, D. (1996) Drinking water requirements for heat stressed dairy cattle, Univ. of Wisconsin Dairy Profit Report Vol. 8, No. 3. Disponible en: <http://www.wisc.edu/dairy-profit/dpr/dpr83.pdf.html>. Fecha de consulta el 20 octubre 2013.
38. Cook, N.B.; Nordlund, K.V.; Oetzel, G.R. (2004) Environmental influences on claw horn lesions associated with laminitis and subacute ruminal acidosis (SARA) in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 87(E Suppl.):E36–E46.
39. Coppock, C.E.; Flatt, W.P.; Moore, L.A.; Stewart, W.E. (1964) Effect of hay to grain ratio on utilization of metabolizable energy for milk production by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 47:1330–1338.
40. Correa-Calderon, A.; Avendaño-Reyes, L.; Rubio-Villanueva, A.; Armostrong, D.V.; Smith, J.F.; De Nise, S.K (2002) Efecto de un sistema de enfriamiento en la productividad de vacas lecheras bajo estrés calórico. *Agrociencia* 36:531-539.
41. Cruz, G.; Saravia, C. (2008) Un índice de temperatura y humedad del aire para regionalizar la producción lechera en Uruguay. *Agrociencia* 12(1):56 – 60.
42. Cruz, G.; Urioste, J.I. (2010) Variabilidad temporal y espacial del Índice de Temperatura y Humedad (ITH) en zonas de producción lechera de Uruguay. *Agrociencia.* 13(2):37-46.
43. Danfaer, A.; Thysen, I.; Ostergaard, V. (1980) The effect of the level of dietary protein on milk production. 1. Milk yield, liveweight gain and health. *Beret.* p. 492 (abstract)
44. De Rensis, F.; Scaramuzzi, R. J. (2003) Heat stress and seasonal effects on reproduction in the dairy cow—A review. *Theriogenology* 60:1139–1151.
45. Djimde, M.; Torres, F.; Migongo-Bake, W. (1989) Climate, animal and agroforestry. Proceedings of an international workshop on the application of

meteorology to agroforestry systems planning and management, Nairobi. Kenya. 463-470 p.

46. Du preez, J.H.; Giesecke, W.H.; Hattingh, P.J. (1990)a 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.
47. Du preez, J.H.; Hattingh, P.J.; Giesecke, W.H.; Einsenberg, B.E. (1990)b. 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.
48. Esmay, M.L. (1969) Principles of Animal Environment. Westport, AVI, 325 p.
49. Finch, V.A. (1986) Body temperature in beef cattle: its control and relevance to production in the tropics. J. Anim. Sci. 62:531–542.
50. Flamenbaum, I. (2013) Ventajas de la gestión del estrés calórico en el rodeo lechero. FEPALE Federación Panamericana de Lechería. Año 1 N ° 7. Julio 2013. Disponible en: http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_bovina_de_leche/instalaciones_tambo/18-ColumnistaFepale_7.pdf.html. Fecha de consulta 15 de enero 2014
51. Frazzi, E.; Calamari, L.; Calegari, F. (2002) Productive response of dairy cows to different barn cooling systems. Trans Am Soc Agr Eng 45(2):395-405.
52. Fuquay, J.W. (1981) Heat stress as it affects animal production. J Anim Sci 52:164-174.
53. Gallardo, M. R.; Valtorta, S. E.; Leva, P. E.; Gaggiotti, M. C.; Conti, G. A. (2005) Diet and cooling interactions on physiological responses of grazing dairy cows, milk production and composition. Int. Biometeorol, 50:90-95
54. Gallardo, M.; Valtorta, S. (2011) Producción y bienestar animal. Estrés por calor en ganado lechero: impactos y mitigación. Argentina, Hemisferio Sur, 128 p.
55. Gary, L.A.; Sherritt, G.U.; Hale, E.B. (1970) Behavior of Charolais cattle on pasture J Anim. Sci. 30:203-206.
56. Gaughan, J.B.; Bonner. S.; Loxton, I.; Mader, T.L.; Lisle, I.; Lawrence, L. (2010) Effect of shade on body temperature and performance of feedlot steers. J Anim Sci, 88:4056-4067.
57. Gaughan, J.B.; Holt, S.M.; Hahn, G.L.; Mader, T.L.; Eigenberg, R. (2000) Respiration rate—is it a good measure of heat stress in cattle? Asian-Australas J Anim Sci, 77 [Suppl C]:329–332.
58. Gebremedhin, K.G. (2012) Impact of the hot environment on nutrient requirements. In: Environment physiology of livestock. Edited by J. Collier y J.L. Collier. Jhon Wiley and Sons, p. 35-48.

59. Gerald, M.J.; Charles, C.S. (1999) Reducing heat stress for dairy cattle. Virginia Cooperative Extension, dairy publication 404-200 p. Disponible en: http://hydrofun.net/pdf/dairy_misting.pdf.html. Fecha de consulta el 5 enero 2014.
60. Ghiano, J.; Gastaldi, L.; Walter, E.; Taverna, M. (2011) Manejo del estrés calórico en el tambo, Alternativas de sombras. Ficha técnica N° 17, INTA Lechero. Disponible en: <http://inta.gob.ar/documentos/ficha-tecnica-17-manejo-del-estres-calorico-en-el-tambo.-alternativas-de-sombras/.html>. Fecha de consulta 10 de febrero 2014
61. Ghiano, J.; Gastaldi, L.; Walter, E.; Taverna, M. (2012) Evaluación técnica económica de inversiones destinadas a limitar el estrés calórico de las vacas. INTA Lechero. Ficha técnica N° 18, p 4.
62. Gonzalez, R.R.; Berglund, L.G.; Gagge, A.P. (1978) Indices of thermoregulatory strain for moderate exercise in the heat. J. Appl. Physiol. 44:889–899.
63. Gonzalez, J (2008) El Estrés Calórico en los Bovinos. Prof. Sistemas de Producción Animal. UDCA Disponible en: http://www.udca.edu.co/zociencia/est_calorico.html. Consultado el 15 setiembre 2013
64. Hahn, G.L.; Gaughan, T.L.; Mader, T.L.; Eigenberg, R.A. (2009) Thermal índices and their applications of livestock environments. En: J.A. DeShazeder. ed. Livestock Energetics and thermal environment management, 113-130 p. St. Joseph, Mich.: ASABE.
65. Hahn, G.L.; Mader, T.L.; (1997) Heat waves in relation to thermoregulation, feeding behavior and mortality of feedlot cattle. Proceedings, Fifth International Livestock Environment Symposium. Bloomington, USA, pp 563-571.
66. Hahn, L.G. (1999) Dynamic responses to cattle to thermal heat loads. J. Anim. Sci. 77 (Suppl. 2): 10-20.
67. Hertig, B. (1972) Medición del medio ambiente físico. En: Hafez. E. Principios de la Adaptación Animal. ed. México, pp 438-456.
68. Igono, M.O.; Bjotvedt, G.; Sanford-Crane, H.T. (1992) Environmental profile and critical temperature effects on milk production of Holstein cows in desert climate. Int. J. Biometeorol. 36:77–87.
69. Invernizzi, G.; 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.
70. Jahn, E.; Arredondo, S.; Bonilla, W.; Del Pozo, A. (2002) Efecto de la temperatura y la suplementación energética sobre la producción de leche en vacas lecheras a pastoreo. Agric Téc 62(2):245 -254.
71. Jenkinson, D.M.; Mabon, R.M. (1973) The effects of temperature and humidity on skin surface pH and the ionic composition of skin secretions in Ayrshire cattle. Br. Vet. J. 129:282–295.

72. Johnson y col., (1962); Djimde y col., (1989); Pezo e Ibrahim, (1998). Efecto de la sombra de cercas vivas en el comportamiento animal, la producción de leche y la disponibilidad de pasto en sistemas ganaderos." Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza: 45 p. Roberto Argeñal(2011)
73. Johnson, H.D. (1967) Climate effects on physiology and productivity of cattle. *Ground Level Climatology*. R. H. Shaw (ed.), Amer. Assoc. Adv. Sci. Pub. 86. Washington, DC. 86 p.
74. Johnson, H.D. (1976) World climate and milk production. *Int. J. Biometeorol.* 6:171–175.
75. Johnson, H.D. (1980) Depressed chemical thermogenesis and hormonal functions in heat. En: *Environmental Physiology: Aging, Heat, and Altitude*. Elsevier /North Holland, New York, pp. 3–9.
76. Johnson, H.D. (1987) Bioclimate effects on growth, reproduction and milk production. En: Johnson, H.D. *Bioclimatology and the Adaptation of Livestock*. Amsterdam, Elsevier, 35 p.
77. 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.
78. Johnstone-Wallace, D.B.; Kennedy, K. (1944) Grazing management practices and their relationship to the behaviour and grazing habits of cattle *J Agric Sci.* 34:190-197.
79. Kadzere, C.T.; Murphy, M.R.; Silanikove, N.; Maltz, E. (2002) Heat stress in lactating dairy cows: A review. *Livest Prod Sci*, 77:59-91.
80. Kelley, R.O.; Martz, F.A.; Johnson, H.D. (1966) Effects of environmental temperature on ruminal volatile fatty acid levels with controlled feed intake. *J Dairy Sci*, 50:531–533.
81. Kendall, P.E.; Nielsen, P.P.; Webster, J.R.; Verkerk, G.A.; Littlejohn, R.P.; Matthews, L.R. (2006) The effects of providing shade to lactating dairy cows in a temperate climate. *Livest. Sci.* 103:148–157.
82. Lee, C.N.; Hillman, P.E. (2007) Thermal responses of Holstein dairy cows on pastures with high solar loads and high winds. En: *Proceedings International Dairy Housing Conference*. Minneapolis. USA p. 16-18.
83. Mader, T.L.; Dahlquist, J.M.; Hahn, G.L.; Gauhgan, J.B. (1999) Shade and wind barrier: Effects on summertime feedlot cattle performance. *J Anim Sci*, 77:2065-2072.
84. Mader, T.L.; Fell, L.R.; McPhee, M.J. (1997) Behavior response of non-Brahman cattle to shade in commercial feedlots. *Livest. Environ.* 5:795–802.
85. Mader, T.L.; Holt, S.M.; Hahn, G.L.; Davis, M.S.; Spiers, D.E. (2002) Feeding strategies for managing heat load in feedlot cattle. *J Anim Sci* 80:2373–2382.
86. Mallonee, P.G.; Beede, D.K.; Collier, R.J.; Wilcox, C.J. (1985) Production and physiological responses of dairy cows to varying dietary potassium during heat stress. *J. Dairy Sci.* 68:1479–1487.

87. McDowell, R.E.; Hooven, N.W.; Camoens, J.K. (1976) Effects of climate on performance of Holsteins in first lactation. *J. Dairy Sci.* 59:965–973.
88. McLean, J.A. (1963) The partition of insensible losses of bodyweight and heat from cattle under various climatic conditions. *J. Physiol. (Lond.)* 167:427–434.
89. Moody, E.G.; Van soest, P.J.; Mcdowell, R. E.; Ford, G.L. (1967) Effect of High Temperature and Dietary Fat on Performance of Lactating Cows. *J Dairy Sci* 50(12):1909-1916.
90. Morrison, S. R.; Givens, R.L.; Logreen, G. P. (1975) Sprinkling cattle for relief from heat stress. *J. Anim. Sci.* 36 (3):428-431.
91. Muñoz, G.; Rondelli, F.; Maiztegui, L.; Gherardi, S.; Tolini, F.; Fernandez, G.; Coronel, A.; Amelong, J.; Celoria, F. (2013) Efectos de la ola de calor sobre la vaca Holando Argentino en el Módulo Tambo de Facultad de Ciencias Agrarias-UNR. *Agromensajes*, 36:8-12.
92. Murphy, M.R.; Davis, C.L.; McCoy, G.C. (1983) Factors affecting water consumption by Holstein cows in early lactation. *J Dairy Sci.* 66:35–38.
93. National Research Council. (2001) Nutrient requirements of dairy cattle. 7ed. Washington D.C. National Academy Press, 381 p.
94. Nienaber, J.A.; Hahn, G.L. (2007) Livestock production systems management responses to thermal challenges. *Int. J. Biometeorol.* 52: 149-157.
95. Nienaber, J.A.; Hahn, G.L.; Brown-Brandl, T.M.; Eeingenberg, R.A. (2003) Heat stress climatic conditions and the physiological responses of cattle. Fifth International Dairy Housing Proceeding of the Conference, Am Soc Agr Eng Publication Number 701P0203 Fort Worth. pp 255-262.
96. Nienaber, J.A.; Hahn, G.L.; Eingenberg, R.A. (2004) Engineering and management practices to ameliorate livestock heat stress. En: Proceedings of International Symposium of the CIGR. Section II: New Trends in Farm Buildings. Disponible en:<http://afsrweb.usda.gov/sp2UserFiles/Place/54380560/Publications/Evora2004.pdf>. Consultado mayo 2013.
97. Oldham, J.D. (1984) Protein-energy interrelationships in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 67:1090–1114.
98. Ominski, K.H.; Kennedy, A.D.; Wittenberg, K.M.; Moshtaghi, S.A. (2002) Physiological and productin reponses to feeding schedule in lactating dairy cows exposed to short-term, moderate heat stress. *J. Dairy Sci.* 85: 730-737.
99. Padula, G.D.; 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, 81 p.

100. Pezo, D.; Ibrahim, M. (1998) Sistemas silvopastoriles. Módulo de Enseñanza Agroforestal N°2. Materiales de Enseñanza N° 40. CATIE, Turrialba, Costa Rica 258p.
101. Phillips, C.J.C. (2001) Housing, handling and the environment for cattle. En: Phillips, C.J.C. Principles of cattle production. ed. CABI. USA. p. 170-216.
102. Pocay, P.L.B.; Pocay, V.G.; Starling, J.M.C.; Silva, R.G. (2001). Respostas fisiológicas de vacas Holandesas predominantemente negras sob radiação solar directa. *Ars. Veterinaria*, 17(2):155-161.
103. Purwanto, B.P.; Abo, Y.; Sakamoto, R.; Furumoto, F.; Yamamoto, S. (1990) Diurnal patterns of heat production and heart rate under thermoneutral conditions in Holstein Friesian cows differing in milk production. *J.Agric. Sci*, 114:139-142. Abstract.
104. Richards, S.A. (1973) Temperature regulation. London, Wykeham, 212 p.
105. Román, L.; Saravia, C.; Astigarraga, L.; La Manna, A. (2014) Régimen Agroclimático de Olas de Calor para La Estanzuela, Colonia, Uruguay. Montevideo. Uruguay. 36 p. Disponible en: http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_bovina_de_leche/produccion_bovina_leche/233-estres_termico.pdf.html. Fecha de consulta 20 de marzo 2014.
106. Roman-Ponce, H.; Thatcher, W.W.; Buffington, D.E.; Wilcox, C.J.; Van Horn, H.H. (1977) Physiological and production responses of dairy cattle to a shade structure in a subtropical environment. *J. Dairy Sci*. 60:424–430.
107. Salvador, A. (2007) Efectos del estrés calórico en vacas lecheras. I jornada nacionales de actualización en producción de leche. Disponible en: <http://www.dpa.com.ve/documentos/CD1/page12.html>. Fecha de consulta el 15 Octubre 2013.
108. Saravia, C. (2009) Efecto del estrés calórico sobre las respuestas fisiológicas y productivas de vacas Holando y Jersey. Tesis de maestría. Facultad de Agronomía. Montevideo, Uruguay. Pág. 134.
109. Saravia, C.; Cruz, G. (2003) Influencia del ambiente atmosférico en la adaptación producción animal. Universidad de la República (Uruguay) Facultad de Agronomía, Montevideo. Nota Técnica 50. 36 p.
110. Schmidt-Nielsen, K. (1964) Desert Animals: Physiological Problems of Heat and Water. Oxford, Clarendon. 277 p.
111. Schütz, K. E.; Cox, N. R.; Matthews, L. R. (2008) How important is shade to dairy cattle? Choice between shade or lying following different levels of lying deprivation. *Appl Anim Behav Sci*, 114:307–318
112. Schütz, K.E.; Rogers, A.R.; Poulouin, Y.A.; Cox, N.R.; Tucker, C.B. (2010) The amount of shade influences the behavior and physiology of dairy cattle *J. Dairy Sci*. 93 :125–133.
113. Scott, I.M.; Johnson, H.D.; Hahn, G.L. (1983) Effect of programmed diurnal temperature cycles on plasma thyroxine level, body temperature, and feed intake of Holstein dairy cows. *Int. J. Biometeorol*. 27:47–62

114. Seath, D.M.; Miller, G.D. (1946) Effect of warm weather on grazing performance of milking cows. *J Dairy Sci*, 29:199-206.
115. Shalit, O.; Maltz, E.; Silanikove, N.; Berman, A. (1991) Water, Na, K, and Cl metabolism of dairy cows at onset of lactation in hot weather. *J. Dairy Sci*. 74:1874–1883.
116. Shultz, T.A. (1984) Weather and shade effects on corral cow activities. *J Dairy Sci*. 67:868–873.
117. Siegmund, O.H. y col. (1979) *The Merck Veterinary Manual* 5a Ed. Rahway, Merck. 1672 p.
118. Silanikove, N. (1992) Effects of water scarcity and hot environment on appetite and digestion in ruminants: a review. *Livest Prod. Sci*. 30:175–194.
119. Silanikove, N. (2000) Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic. *Liv. Prod Sci*, 67:1-18.
120. Simeone, A.; Beretta, V.; Caorsi, C.J. (2010) Efecto de la sombra natural sobre la performance estival de vaquillonas pastoreando campo natural de áreas forestadas. *Agrociencia*, 14:137.
121. Spiers, D.E. (2012) Physiological basics of temperatura regulation in domestic animals. En: *Collier y collier. Enviromental physiology of livestock*. Wiley-Blackwell. 17 p.
122. Stevens, D.C. (1981) A model of respiratory vapor loss in Holstein dairy cattle. *Transaction s American Society of Agricultural Engineers*. 24:151–153.
123. Stricklin, W.R.; Wilson, L.L.; Graves, H.B. (1976) Feeding behaviour of Angus and Charolais-Angus cows during summer and winter. *J Anim S*. 43:721-732.
124. Sullivan, M.L.; Cawdell-smith, A.J.; Mader, T.L.; Gaughan, J.B. (2011) Effect of shade area on performance and welfare of short-fed feedlot cattle. *J Anim Sci*, 89:2911-2925.
125. Tamminga, S.; Schrama, J.W. (1998) Environmental effects on nutrient and energy metabolism in ruminants. *Arch Anim Nutr* 51: 225-235.
126. Tapkı, I.; Şahin, A. (2006) Comparison of the thermoregulatory behaviours of low and high producing dairy cows in a hot environment. *Appl. Anim. Behav Sci*, 99(1):1-11.
127. Taverna, M.; Ghiano, J.; Gastaldi, L.; Walter. E. (2012) El agua de bebida. Punto clave para limitar el estrés calórico. INTA Lechero. Disponible en: http://inta.gob.ar/documentos/el-agua-de-bebida.-punto-clave-para-limitar-el-estres-calorico/at_multi_download/file/Suministro_de_agua.pdf.html. Fecha de consulta 10 de febrero 2014
128. Thatcher, W.W. (1974) Effects of season, climate and temperatura on reproduction and lactation. *J. Dairy Sci*. 57:360–368.
129. Thom, E.C. (1959) The discomfort index. *Weatherwise*, 12:57-59.

130. Thomas, C.K.; 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.
131. Tucker, C.B.; Rogers, A.R.; Schütz, K.E. (2008) Effect of solar radiation on dairy cattle behaviour, use of shade and body temperature in a pasture-based system. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 109:141–154
132. Tyrrell, H.F., Moe, P.W.; Flatt, W.P. (1970) Influence of excess protein intake on energy metabolism of the dairy cow. En: *Fifth Symp. Energy Metab. Farm Anim.* p 69–71.
133. Valtorta, S.C.; Gallardo, M.R. (2004) Evaporating cooling for Hostien dairy cows under grazing conditions. *Int. J. Biometeorol.* 48: 213-217.
134. Valtorta, S.E.; Comerón, E.A.; Romero, L.A.; Migliore, C. Estrada, M. de; Aronna, M.S.; Quaino, O.A. (2003) Comportamiento de vacas Holando, Jersey sus cruizas durante la época estival. 2. Efecto de las variables meteorológicas y el tiempo de pastoreo. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 23 (supl.1): 293-294.
135. Valtorta, S.E.; Gallardo, M.R. (1996) El estrés por calor en producción lechera. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Rafaela. ed. *Miscelánea N° 81* pp. 173-185.
136. Valtorta, S.E.; Leva, P.E.; Gallardo, M.; Fornasero, L.V.; Veles, M.A.; García, M.S. (1997) Producción de leche: respuestas a la alta temperatura. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 5 (Supl.1): 399-401.
137. West, J.W. (2003) Effects of heat stress on production in Dairy Cattle. *J Dairy Sci.* 86:2131-2144.
138. West, J.W. (2003) Effects of Heat-Stress on Production in Dairy Cattle. *J. Dairy Sci.* 86:2131–2144.
139. Widowski, T. (2001) Shade-seeking behavior of rotationally grazed cows and calves in a moderate climate. En: *Livestock Environment VI: Proceedings of the 6th International Symposium.* 632–639 p.
140. Wiersma, F.; Armstrong, D.E. (1983) Cooling dairy cattle in the Holding pen. Paper No. 83-4507, Am. Soc Agric Eng St. Joseph, MI. pp. 1-5.
141. Wilson, N.C.; Gisolfi, C.V.; Ferber, J.; Hinricks, H.K. (1978) Colonic and tail-skin temperature responses of the rat at selected running speeds. *J. Appl. Physiol.* 44:571–575.
142. Wilson, S.J.; Marion, R.S.; Spain, J.N.; Spiers, D.E.; Keisler, D.H.; Lucy, M.C. (1998) Effects of controlled heat stress on ovarian function of dairy cattle. 1. Lactating cows. *J Dairy Sci*, 81:2124-2131.
143. Wolfenson, D.; Her, E.; Flamenbaum, I.; Folman, Y.; Kaim, M.; Berman, A. (1984). Effect of cooling heat stressed cows on thermal, productive and reproductive responses. *Proc. Soc. Study Fertil. Univ. Reading, UK*, p. 38.

144. Young, B.A. (1985) Physiological responses and adaptations of cattle. En: Yousef MK, ed. Stress physiology in livestock Ungulates. Boca Raton, CRC Press, p. 101-109.
145. Young, D.R.; Mosher, R.; Erve, P.; Spector, H. (1959) Body temperature and heat exchange treadmill running in: dogs. J Appl Physiol. 14:839-843.
146. Zimbelman, R.B.; Rhoads, R.P.; Rhoads, M.L.; Duff, G.C.; Baumgard, L.H.; Collier, R.J. (2009) A Re-Evaluation of the Impact of Temperature Humidity Index (THI) and Black Globe Humidity Index (BGHI) on Milk Production in High Producing Dairy Cows. Proceedings of the Southwest Nutrition and Management Conference, Arizona, pp. 26-27.