

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EFFECTO DEL ESTRÉS CALÓRICO SOBRE LA PRODUCCIÓN Y
COMPOSICIÓN DE LA LECHE EN VACAS HOLANDO**

por

**Juan Andrés ABRAHIM ALVAREZ
Lucas Álvaro COLLAZO COLLAZO**

**TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo**

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2015**

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. Alejandro La Manna

.....
Ing. Agr. MSc. Celmira Saravia

.....
Ing. Agr. Lorena Román

Fecha: 13 de octubre de 2015

Autor:

Juan Andrés Abraham

.....
Lucas Álvaro Collazo

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Álvaro y Fabiana, por su apoyo, esfuerzo y aliento para que pueda realizar esta hermosa carrera.

A mis hermanos Rodrigo y Gimena.

A Julieta por el apoyo incondicional a lo largo de este camino el cual hemos transitado siempre juntos.

A mis amigos y compañeros de facultad con los cuales compartí muchos días y noches de estudio.

Y especialmente a dos maravillosas personas que hoy me acompañan desde el cielo pero que siempre estuvieron presentes y seguro que desde algún lugar me enviaron sus fuerzas para cumplir este objetivo, mis abuelos Cacho y Nenucha.

A mis padres Freddy y María Laura por todo su esfuerzo y apoyo brindado.

A mis hermanas María Elaiza y María Julia, y en especial a mi sobrina Pilar por recordarme en sus oraciones nocturnas.

A todos los familiares que de diferentes maneras siempre me ayudaron, en especial María Elena, María José, Raquel, Bernardo, Javier, José y mis abuelos Mami y Papo.

A los amigos/as y compañeros/as de facultad con los cuales compartimos momentos inolvidables, buenos y no tanto.

Al resto de mis amigos/as de siempre, y a las personas que han sido parte de este tramo de mi vida.

A nuestro director de tesis Ing. Agr. Alejandro La Manna por confiarnos la elaboración de este trabajo de tesis y por el apoyo brindado en la elaboración del mismo.

A la Ing. Agr. Lorena Román por su incondicional apoyo, excelente disposición e invaluable ayuda en este trabajo, así como las gratas horas vividas durante el trabajo de campo.

A la Ing. Agr. Celmira Saravia por su siempre gran disposición y atención brindada.

Al personal de INIA por su colaboración en la etapa de campo.

A Sully Toledo, por su guía en los aspectos formales de la presentación de la tesis.

Y a todas las personas que de alguna u otra manera hicieron que este trabajo se pueda llevar a cabo.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
1.1. <u>OBJETIVO GENERAL</u>	2
1.1.1. <u>Objetivos específicos</u>	2
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1. <u>EN ANIMAL Y EL AMBIENTE</u>	3
2.1.1. <u>Homeostasis y homeotermia</u>	3
2.1.2. <u>Balance calórico y termorregulación</u>	5
2.1.3. <u>Respuesta animal al estrés calórico</u>	6
2.1.4. <u>Medidas de mitigación al estrés calórico</u>	7
2.1.4.1. <u>Modificación del ambiente físico</u>	7
2.1.4.2. <u>Uso de biotipos menos sensibles</u>	9
2.1.4.3. <u>Manejo del plano nutricional</u>	9
2.2. <u>CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA</u>	11
2.2.1. <u>Temperatura</u>	12
2.2.2. <u>Humedad relativa</u>	12
2.2.3. <u>Radiación solar</u>	13
2.2.4. <u>Velocidad del viento</u>	13
2.2.5. <u>Índice de temperatura y humedad</u>	13
2.2.6. <u>Esferas de Vernon</u>	15
2.3. <u>EFFECTO DEL ESTRÉS TÉRMICO EN EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO DEL ANIMAL</u>	15
2.3.1. <u>Producción de leche</u>	15
2.3.2. <u>Composición de la leche</u>	16
2.4. <u>HIPÓTESIS</u>	17
2.4.1. <u>Hipótesis específicas</u>	17
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	19
3.1. <u>LOCALIZACIÓN Y PERÍODO EXPERIMENTAL</u>	19
3.2. <u>ANIMALES, TRATAMIENTOS Y MANEJO</u>	19
3.3. <u>DETERMINACIONES EN EL AMBIENTE TÉRMICO</u>	21

3.4. DETERMINACIONES EN LOS ANIMALES.....	21
3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	22
4. <u>RESULTADOS</u>	24
4.1. DETERMINACIONES EN EL AMBIENTE TÉRMICO.....	24
4.1.1. <u>Temperatura, humedad del aire e ITH</u>	24
4.1.2. <u>Esferas de Vernon</u>	28
4.2. VARIABLES PRODUCTIVAS.....	29
4.2.1. <u>Producción de leche</u>	29
4.2.2. <u>Contenido de grasa</u>	32
4.2.3. <u>Contenido de proteína</u>	33
4.2.4. <u>Contenido de lactosa</u>	35
5. <u>DISCUSIÓN</u>	37
5.1. EFECTO DEL AMBIENTE TÉRMICO EN EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO.....	37
5.2. EFECTO DE LA SOMBRA ARTIFICIAL Y EL SISTEMA DE ASPERSIÓN-VENTILACIÓN EN EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO.....	39
6. <u>CONCLUSIONES</u>	45
7. <u>RESUMEN</u>	46
8. <u>SUMMARY</u>	47
9. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	48
10. <u>ANEXOS</u>	54

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Consumo de agua según temperatura y nivel de PL....	11
2. Composición química del forraje disponible.....	20
3. Composición de la ración totalmente mezclada (RTM)..	20
4. Comparación de los registros meteorológicos en diciembre 2012 – febrero 2013 con los registros de las normales climatológicas 1961-1990 (medias mensuales).....	26
5. Comparación de ITH mensuales diciembre 2012 - febrero 2013 con los normales climatológicos 1961-1990.....	26
6. Producción de leche promedio diario (PL, L/a/d, media \pm EEM) según ambiente durante el período experimental.....	30
7. Producción de leche corregida por energía (LCE, kg/a/d, media \pm EEM) según tipo de ambiente asignado.....	31
8. Contenido de grasa en porcentaje (%) según tipo de tratamiento asignado.....	32
9. Contenido de grasa en kg según tipo de ambiente asignado.....	32
10. Contenido de proteína en porcentaje (%) según tratamiento asignado.....	33
11. Contenido de proteína en kg según tratamiento asignado.....	34
12. Contenido de lactosa en porcentaje (%) en función del tratamiento asignado.....	35

13. Contenido de lactosa en kg según el tratamiento asignado.....	35
Figura No.	
1. Representación esquemática de las condiciones ambientales críticas para la supervivencia animal.....	4
2. Principales factores que afectan el desempeño de animales en pastoreo.....	11
3. Efecto de la temperatura ambiente sobre la PL y el consumo de alimento.....	12
4. A) Variación espacial del Índice de Temperatura y Humedad en el mes de enero, B) Variación espacial del Índice de Temperatura y Humedad en el mes de febrero.....	14
5. Temperatura del aire (°C) diaria media (círculos negros), máxima (círculos blancos) y mínima (círculos grises) durante el período experimental.....	25
6. Humedad relativa (%) diaria media (línea punteada), máxima (área gris claro) y mínima (área gris oscuro) de los días experimentales.....	25
7. Comportamiento del ITH promedio diario (puntos negros) durante el ensayo y serie de dos o más días consecutivos de ITH ≥ 72 (áreas grises).....	27
8. Cantidad de días según categorías de ITH promedio diario registrado durante el experimento.....	28
9. Temperaturas máximas y mínimas de las esferas de Vernon según día experimental en cada tratamiento; sombra + aspersion + ventilación (SAV), acceso a sombra (SOM) y sin acceso a sombra (SOL).....	29

10. Producción de leche (L/a/d) promedio de los tratamientos SAV (línea negra), SOM (línea doble) y SOL (línea gris) durante el período experimental.....	30
11. Producción diaria promedio de LCE (kg/a/d) de los tratamientos SAV (línea negra), SOM (línea doble) y SOL (línea gris) durante el período experimental.....	31
12. Contenido de grasa (kg/a/d) de los tratamientos SAV (área negra), SOM (área en trama) y SOL (área gris) durante el período experimental.....	33
13. Contenido de proteína (kg/a/d) de los tratamientos SAV (área negra), SOM (área en trama) y SOL (área gris) durante el período experimental.....	34
14. Contenido de lactosa (kg/día) de los tratamientos SAV (área negra), SOM (área en trama) y SOL (área gris) durante el período experimental.....	36

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales cambios a nivel global en este último tiempo, como resultado de diversas actividades, ha sido el aumento en los niveles de CO₂ atmosférico (Vitousek, 1994). Como consecuencia se han registrado variaciones de las condiciones climáticas en el mundo, particularmente en los registros de temperatura, tal es así que se prevé un aumento del orden de 1,5 a 4,5 °C de la superficie terrestre (Khalifa, 2003).

Como consecuencia de esto la producción agropecuaria, y en especial la producción animal sufriría un impacto directo en el desempeño productivo al estar directamente relacionado al ambiente meteorológico, como los encontrados en nuestro país, sistemas pastoriles donde los animales están en constante interacción con el ambiente (Valtorta y Gallardo, 2011).

Según Kadzere et al. (2002), el ambiente térmico es el principal factor que puede afectar negativamente la producción de leche. No solo considerando litros de leche, sino también la composición de ésta (contenido de grasa, proteína, células somáticas) y la posterior valoración.

Por ello se hace necesario poder caracterizar el ambiente meteorológico en el cual se desarrolla la actividad productiva. En Uruguay existen trabajos en los cuales es posible diferenciar zonas climáticas en relación a la producción de leche dentro del territorio nacional (Cruz y Saravia 2008, Cruz y Urioste 2009b).

En dichos trabajos el ambiente es caracterizado a través de un índice biometeorológico altamente difundido como lo es el Índice de Temperatura y Humedad (ITH). Tal índice fue propuesto por Thom (1959) y relaciona dos variables meteorológicas como lo son temperatura y humedad del aire.

En Cruz y Saravia (2008) puede observarse que los niveles de ITH a partir de 72, valor considerado crítico para la producción lechera según Johnson et al. (1961), se da en términos climáticos (MDN. DNM, 1996) hacia el norte del Río Negro para el mes de enero, y se desplaza aún más hacia el norte en el mes de febrero, comprendiendo los departamentos de Artigas, Salto y Tacuarembó.

Teniendo en cuenta los valores de ITH que se presentan en nuestras condiciones y el impacto que ocasiona sobre la producción lechera es necesario

implementar medidas de mitigación que ayuden a minimizar sus efectos. En este sentido existen una serie de recomendaciones como puede ser la modificación del ambiente físico donde viven los animales, aspectos relacionados al plano nutricional y la utilización de biotipos menos susceptibles al calor (Beede y Collier, 1986).

Considerando ambientes que determinan estrés este trabajo busca evaluar medidas que impacten sobre el ambiente del animal, como es el caso de la utilización de sombras, el humedecimiento y la ventilación de los animales como ayuda para enfrentar el estrés térmico que puedan sufrir y las pérdidas productivas que puedan ocasionar.

1.1. OBJETIVO GENERAL

Cuantificar el efecto del ambiente físico estival sobre las respuestas productivas de vacas Holando con diferentes medidas de protección.

1.1.1. Objetivos específicos

- Caracterizar en el Sur la ocurrencia de condiciones meteorológicas adversas durante el verano.

- Evaluar el efecto del acceso a sombra artificial durante el verano sobre las respuestas productivas de vacas lecheras de alta productividad.

- Evaluar la incorporación de ventilación y mojado en el tratamiento de los animales sobre el efecto en la respuesta productiva de vacas lecheras de alta producción.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. EL ANIMAL Y EL AMBIENTE

2.1.1. Homeostasis y homeotermia

Los animales domésticos son homeotermos esto quiere decir que tienen la capacidad de mantener la temperatura corporal dentro de ciertos límites ante amplias variaciones de la temperatura ambiental (Valtorta y Gallardo, 2011). La homeotermia forma parte de la homeostasis, la cual es determinante del normal desempeño de las funciones corporales. *“El concepto de homeostasis (o equilibrio interno) comprende: balance calórico y termorregulación, balance químico del agua, compuestos carbonados y electrolitos; y balance circulatorio de las actividades cardiovasculares. Se previene la desviación de las condiciones normales o correctas mediante varios mecanismos homeostáticos”* (Bianca, 1972). Si no se restablece el equilibrio, el animal muestra síntomas de estrés: amenaza o situación que compromete la homeostasis o la incapacidad de hacer frente al ambiente. Como principales respuestas globales al estrés se busca el mantenimiento de la homeostasis, e inhibición de las funciones esenciales a favor del mantenimiento y supervivencia.

Las transferencias de calor desde el cuerpo del animal hacia el ambiente se dan mediante los procesos de radiación, conducción y convección, sobre éstos el animal puede ejercer un mínimo control, mientras que sobre la evaporación el animal ejerce un observable control fisiológico.

Dentro del rango de temperatura ambiente en que no es necesaria acción alguna para mantener la temperatura corporal se define la zona de confort térmico. Cuando se dan condiciones fuera de los rangos de confort el animal entra en situación de estrés y se generan respuestas de distinto orden, comportamentales y fisiológicas. Khalifa (2003) definió la temperatura ambiente efectiva de confort para bovinos como el estado constante de temperatura corporal, la cual puede ser mantenida sin necesidad de ajustes fisiológicos o de comportamiento. Esta zona es coincidente con la zona óptima para la producción de leche (PL). Las vacas lecheras Holando prefieren temperaturas ambiente entre 5 y 25°C (Johnson et al., 1962). Cuando la temperatura del aire toma valores superiores o inferiores al rango térmico delimitado en la zona de confort, el animal activa sus mecanismos de defensa: la sudoración, el

incremento de la frecuencia respiratoria y la vasodilatación periférica para mantener la temperatura interna en el rango considerada normal o característico para la especie (normotermia, Figura No. 1).

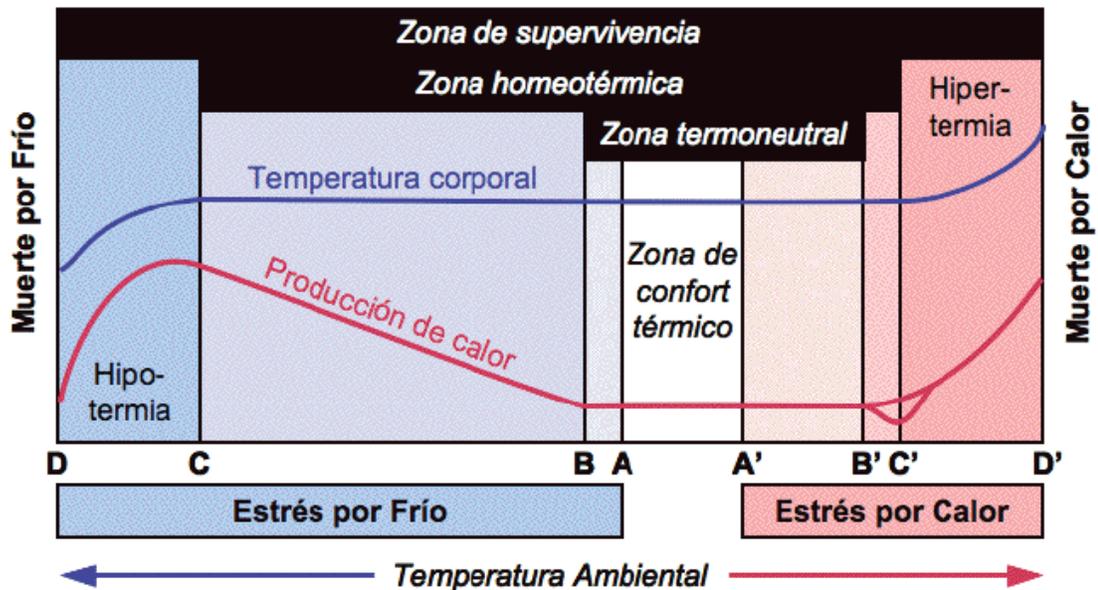


Figura No. 1. Representación esquemática de las condiciones ambientales críticas para la supervivencia del animal. Las zonas A →B para condiciones frías y A'→B' para condiciones de calor representan cambios en la temperatura ambiental que demanda esfuerzos mínimos en el animal para mantener su temperatura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

Cuando se supera la temperatura crítica máxima la respuesta animal se asocia con una disminución en la producción metabólica de calor y otros mecanismos citados anteriormente; mientras cuando exceden C' los mecanismos pierden eficiencia y los animales no son capaces de mantener la homeotermia y entran en hipertermia (Bianca, 1972). La muerte del animal se da en el punto D' que representa la temperatura letal máxima.

Por otro lado la velocidad del viento, la radiación y el contenido de humedad del aire pueden modificar los umbrales de confort (Johnson, 1965). Valores de alta humedad relativa afectan los procesos de pérdidas evaporativas acotando los umbrales, a su vez este mismo efecto relativo de la humedad puede verse empeorado con bajas velocidades de viento.

2.1.2. Balance calórico y termorregulación

El balance calórico es el proceso mediante el cual el animal encuentra un equilibrio entre ganancias y pérdidas de calor, de manera que la temperatura interna no exceda los límites superiores o inferiores de la zona de confort térmico, de esta manera cuando el balance es positivo el animal se encuentra en situación de estrés calórico y es necesario que comiencen a operar mecanismos de regulación de temperatura para lograr nuevamente un equilibrio interno.

Dentro del balance tanto ganancias como pérdidas pueden dividirse en dos grandes grupos, externas e internas. Dentro de la carga calórica externa se encuentran los mecanismos de transferencia de calor, mientras que en la carga calórica interna se encuentran la energía generada por el propio organismo del animal.

La transferencia y/o flujos de calor entre el animal y su ambiente se da mediante los procesos ya mencionados: conducción, convección, radiación y evaporación, los tres primeros representan tanto ganancias como pérdidas, mientras que la evaporación solo representa pérdidas.

Conducción: este proceso existe si hay un gradiente térmico entre dos objetos que se encuentran en contacto, la magnitud de dicho efecto va a depender del área de contacto entre ambos y de la conductividad térmica de los mismos.

Convección: la transferencia de calor por convección se da por el transporte de un fluido (aire o agua) y del gradiente térmico entre el fluido y la superficie del animal. Existen dos maneras de transferir calor por esta vía, estas son: pasiva y forzada. Convección pasiva se da cuando el aire ubicado en la superficie de la piel es removido, como resultado de una disminución en la densidad del aire en superficie y se da un movimiento ascendente de la temperatura hacia la superficie del objeto, produciéndose el intercambio

calórico. Por otra parte la convección forzada ocurre cuando la energía externa es utilizada para mover un objeto. Como el caso de la circulación de aire a través del tracto respiratorio o el flujo sanguíneo a través del sistema circulatorio (Spiers, 2012).

Radiación: este proceso surge como el primer elemento determinante de los intercambios de energía con el ambiente (Valtorta y Gallardo, 2011). La radiación de onda corta (espectro visible) proveniente del Sol, es la de mayor carga energética, pero no es totalmente absorbida por el animal, sino que cierta parte es reflejada hacia la atmósfera; dependiendo del albedo (o coeficiente de reflexión de la superficie del objeto). De esta manera objetos oscuros son capaces de absorber más radiación que aquellos objetos más claros. Por otra parte los animales emiten y absorben radiación de onda larga (o infrarroja), y la cantidad emitida dependerá de la temperatura del cuerpo emisor.

Evaporación: este es un mecanismo de pérdida de calor, y la misma se da en el pasaje de líquido a gas. Este mecanismo toma gran importancia en ambientes calurosos, ya que es el único mecanismo en el cual no se necesita un gradiente térmico para lograr la transferencia de calor, pero si es muy dependiente del nivel de humedad en el ambiente, cuando el nivel de humedad es alto se compromete dicho proceso y las pérdidas de calor disminuyen.

Carga calórica interna: además de los mecanismos antes mencionados el animal gana y pierde calor a través de procesos relacionados con su propio organismo y actividad. Dentro de los procesos de ganancia se encuentra el metabolismo basal, el incremento calórico y la actividad muscular. El metabolismo basal está relacionando a las actividades vitales básicas, el incremento calórico al proceso de fermentación digestiva del alimento, y la actividad muscular a los desplazamientos y comportamientos del animal. Por otra parte las pérdidas internas es la energía contenida en heces, orina y leche (Valtorta y Gallardo, 2011).

2.1.3. Respuesta animal al estrés calórico

El estrés térmico se produce cuando diferentes combinaciones del ambiente meteorológico, temperatura, humedad relativa, radiación y velocidad del viento principalmente, determinan una temperatura efectiva mayor que el límite superior de termoneutralidad del animal. De los animales de producción pecuaria, el ganado lechero es particularmente sensible al estrés por calor

debido al elevado metabolismo de la vaca lechera durante la lactancia (Valtorta y Gallardo, 2011).

Los animales hacen frente al estrés mediante respuestas comportamentales y fisiológicas. En la mayoría de los casos estas respuestas se manifiesta en cambios en los requerimientos de nutrientes, siendo agua y la energía los más afectados (Conrad, 1985). Estos cambios adoptados para enfrenar el estrés provocan una disminución del desempeño productivo.

Davidson et al. (1996) asignan en forma decreciente la prioridad de animales en ambiente cálido en el siguiente orden: equilibrio de fluidos corporales, normotermia, crecimiento, producción de leche y reproducción. Esto refleja claramente los efectos del estrés calórico en la PL. Dentro de la zona termoneutral la energía del alimento es utilizada en estos procesos mientras que debajo o sobre ésta la energía es reorientada a funciones para mantener la homeotermia en detrimento de otras como la PL.

2.1.4. Medidas de mitigación del estrés calórico

Beede y Collier (1986) identificaron tres medidas de manejo para minimizar los efectos del estrés calórico: modificación del ambiente físico, selección de biotipos menos sensibles al calor y prácticas de manejo nutricional.

2.1.4.1. Modificación del ambiente físico

Según Hahn (1981), la modificación del ambiente físico puede separarse en dos grupos: métodos de protección y de enfriamiento. Los primeros pretenden disminuir la radiación solar directa sobre el animal, mientras que los segundos buscan disminuir la temperatura ya sea del animal o del ambiente. Estos pueden clasificarse en enfriamiento directo o indirecto respectivamente. A continuación se detallan los distintos métodos, en base a Valtorta y Gallardo (2011).

Métodos de protección

Tanto las sombras naturales como artificiales han demostrado ser efectivas, a pesar que a nivel de sistemas de pastoreo se ha generalizado el uso de sombras artificiales por su fácil implementación y buen resultado. El objetivo principal del uso de sombras es disminuir la carga calórica del animal atenuando las ganancias de calor generadas por la radiación solar incidente,

brindando a los animales la posibilidad de acceder a un microambiente que disminuya el estrés en el período diurno. Por ejemplo, las mallas de sombra artificiales de uso frecuente en Uruguay logran interceptar el 80% de la radiación solar incidente.

Métodos de enfriamiento directo

Se basan en mecanismos de enfriamiento sobre el animal, siendo los más utilizados e investigados en la región (Invernizzi y Marzziotte 1998, Arcaro Junior et al. 2005).

Ventilación forzada: en situaciones donde no hay suficiente viento que remueva la capa de aire cercana al animal esta comienza a calentarse y se interrumpe el gradiente de calor del animal hacia el ambiente. Esta técnica intenta favorecer las pérdidas de calor por convección al remover esta capa de aire, permitiendo un gradiente de energía.

Humedecimiento del animal: consiste en el mojado del animal, debe ser considerado que esta técnica puede no ser eficiente en ambientes húmedos, debido a que el mojado combinado con altas temperaturas favorece el aumento de vapor de agua pudiendo saturar la atmósfera perjudicando el proceso de pérdida de calor por evaporación.

Combinación de ventilación forzada y humedecimiento: el mojado permite favorecer la evaporación (principal mecanismo de pérdida de calor) absorbiendo energía del animal y facilitando el pasaje de líquido a gas. La ventilación acelera el proceso evitando la saturación del aire y removiéndolo de la superficie del animal. Esto hace posible la implementación en todo tipo de climas, tanto húmedos como secos (Valtorta y Gallardo, 2011).

Métodos de enfriamiento indirectos

Actúan enfriando el medio ambiente, esto se traduce en mayor uso de energía e infraestructura, lo que puede ser causa de su baja adopción en nuestro medio.

Neblina: es un sistema de enfriamiento por evaporación del aire, se basa en producir una neblina de gotas pequeñas que se evaporan antes de llegar al suelo, de esta manera se enfría el aire. Su mecanismo hace que no

sea posible su utilización en ambientes húmedos al saturarse el aire del ambiente perjudicando la evaporación.

Ventilación cruzada: el sistema consiste en combinar la entrada de aire a través de un panel refrigerado a agua colocado en un extremo del galpón, mediante el uso de extractores colocados al otro extremo del galpón; estos extractores expulsan el aire viciado favoreciendo la entrada de aire a través del panel, este sistema favorece el enfriamiento del ambiente.

Túnel de viento: este método consiste en generar una corriente de aire dentro del galpón colocando entradas de aire en un extremo y el uso de extractores en el otro extremo, de esta manera se obtiene una corriente de aire capaz de disminuir la temperatura y humedad del ambiente favoreciendo las pérdidas de calor evaporativas. Este método es adecuado en ambientes templados, debiéndose asociar con otras técnicas en ambientes donde se registren altas temperaturas.

Uso de aire acondicionado: el uso de este sistema ha demostrado tener efectos positivos en cuanto a mejoras en PL (Thatcher et al., 1974), tiene como contrapartida el ser un sistema de altos costos de instalación y mantenimiento.

2.1.4.2. Uso de biotipos menos sensibles

Dentro del ganado bovino existe diferente susceptibilidad frente al estrés calórico, dado principalmente por características evolutivas adoptadas en el ambiente en el cual evolucionaron. Dentro de estos el ganado *Bos primigenius taurus* tiene una susceptibilidad mayor en comparación a *Bos primigenius indicus* el cual evolucionó en climas más cálidos, adquiriendo genes de termotolerancia (Espinoza et al., 2011).

Se han estudiado diferencias en la capacidad de enfriamiento de la superficie corporal por sudoración, los animales *Bos primigenius indicus* presentaron mayor tasa de sudoración por su alta densidad de glándulas sudoríparas comparadas con animales *Bos primigenius taurus* (Kibler y Brody, Allen, citados por Kadzere et al., 2002). A su vez, animales *Bos primigenius indicus* tienen mayor superficie corporal en contacto con el ambiente que genera mayor superficie de intercambio calórico. Las glándulas sudoríparas están asociadas a los folículos pilosos, de la densidad de estos depende la capacidad sudorativa. Los cebuínos tienen una densidad folicular un 20%

superior a los animales de biotipos Shorton y Hereford, y este parámetro en animales Jersey es intermedio entre los grupos anteriores y los cebuínos (Nay, citado por Saravia, 2009).

Dentro del ganado *Bos primigenius taurus* también existen diferencias en cuanto a susceptibilidad al calor siendo Holstein un biotipo más susceptible que Jersey (Valtorta y Gallardo, 2011).

2.1.4.3. Manejo del plano nutricional

Una de las principales causas por las cuales existe una merma productiva en verano está dado por el bajo consumo de materia seca como estrategia del animal para disminuir el calor de fermentación sumado a los elevados requerimientos de mantenimiento que el animal posee para el proceso de termorregulación (Valtorta y Gallardo, 2011).

En este sentido es recomendable el uso de dietas con altos niveles de concentrado y bajo en fibras, de manera de disminuir el tiempo de fermentación y como consecuencia una disminución en la producción de calor (Fernández y Guaita, 2011). El uso de las denominadas dietas frías, proporcionan un importante suministro de nutrientes para la síntesis y disminuye el incremento calórico originado durante la fermentación y el metabolismo. Las características principales de esta dieta son: 1) Mayor contenido energético por unidad de volumen; 2) Fibra de mayor digestibilidad; 3) Fibra efectiva; 4) Menor degradabilidad de las proteínas, (Valtorta y Gallardo, 2011).

Otro factor de importancia que no debe ser obviado es la disponibilidad de agua ad libitum al que deben tener acceso los animales durante todo el día, por ser el agua bebida la principal vía para satisfacer sus requerimientos (Valtorta y Gallardo, 2011). En condiciones de calor los animales aumentan el consumo de agua, incrementándose cuanto mayor la temperatura así como el nivel de producción de leche del animal (Cuadro No. 1). Este aumento se asocia a las variaciones en la cantidad de sangre circulando en el organismo así como la tasa a la que se evapora por la piel y las vías respiratorias (Arias et al., 2008).

Cuadro No. 1. Consumo de agua según temperatura y nivel de PL.

Categoría	Litros de agua		
Temperatura ambiente (°C)	10	20	30
Seca	45	58	70
18 L/día	76	79	92
30 L/día	77	90	100
35 L/día	89	100	115

Fuente: Harris y Van Horn, citados por Valtorta y Gallardo (2011).

En otro sentido, restricciones en el consumo de agua generan un impacto negativo sobre el consumo de materia seca, debido a la relación lineal que existe entre estas dos variables (NRC, citado por Valtorta y Gallardo, 2011).

2.2. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

Los factores del clima que afectan el desempeño animal son: radiación, temperatura, humedad, lluvia y viento (Valtorta y Gallardo, 2011). El efecto conjunto de estos factores pueden resumirse en índices que se presentan como una herramienta muy útil para caracterizar el ambiente térmico junto con los factores de manejo y alimentación que influyen en gran medida en el desempeño productivo y reproductivo de los animales (Figura No. 2).



Figura No. 2. Principales factores que afectan el desempeño de animales en pastoreo (Valtorta y Gallardo, 2011).

2.2.1. Temperatura

Es posiblemente el parámetro más estudiado y más usado como indicador de estrés. El concepto de termoneutralidad refleja el rango de temperaturas de confort para el ganado observado anteriormente. Kalifa (2003) expresa que si bien la temperatura ambiental es importante, por sí sola no es una adecuada expresión de la respuesta animal al estrés.

Johnson et al. (1962) informó de los umbrales térmicos a los cuales vacas Holstein disminuyen su producción diaria de leche (-5 °C y 21 °C). A temperaturas altas primero se ve afectado el consumo de alimento y por consiguiente comienza a disminuir la producción de leche. Bajas temperaturas influyen incrementando el consumo pero aun así disminuye la PL (Figura No. 3).

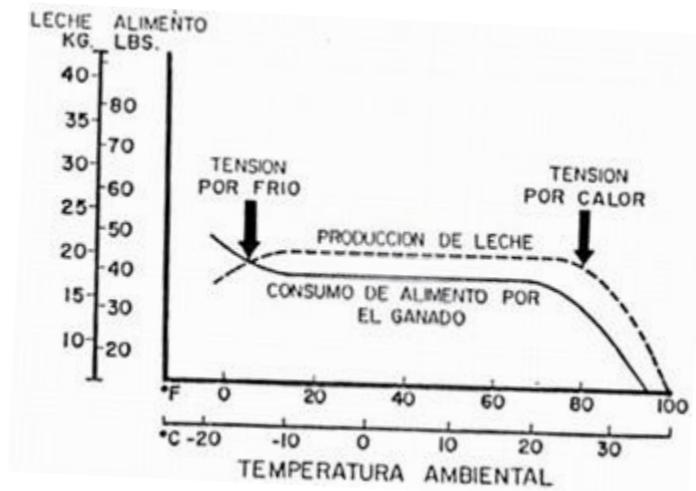


Figura No. 3. Efecto de la temperatura ambiente sobre la PL y el consumo de alimento (Johnson et al., 1962).

2.2.2. Humedad relativa

Es considerada un factor que acrecienta las condiciones adversas de las altas temperaturas. Los principales efectos de la humedad relativa (HR) están asociados con una reducción de la efectividad en la disipación de calor por sudoración y respiración (Blackshaw y Blackshaw, 1994) y están negativamente asociados al consumo de alimento (Meyer et al., 2004). Los

mecanismos de evaporación al ser un mecanismo de intercambio por gradiente de presión de vapor de agua dependen de la presión de vapor de agua entre el animal y el ambiente. El ambiente debe ser capaz de aceptar agua, esto lo determina la HR y a su vez también depende de la resistencia al movimiento en contra del gradiente.

A medida que la temperatura es elevada, la alta HR pasa a tener un rol más importante comprometiendo los mecanismos de disipación del calor de la piel (evaporación) así como de las vías respiratorias (respiración al saturarse el aire y por lo tanto impedir el paso de agua a estado gaseoso).

2.2.3. Radiación solar

La radiación influye tanto si es directa o indirecta. Afecta en la carga de calor incrementando el estrés. Se ha demostrado que tiene un impacto directo en la temperatura rectal y la tasa de respiración (Brosh et al. 1998, Collier et al. 2006). También se conoce que la temperatura del animal se ve afectada por el color y la textura, tanto piel como pelo oscuro absorben mayor radiación aumentando la temperatura de la superficie, la frecuencia respiratoria y la temperatura rectal (Pocay et al., 2001).

2.2.4. Velocidad del viento

El viento actúa removiendo la capa de aire por sobre la superficie del animal mejorando así la disipación de calor por vías evaporativas. Este efecto se ve influenciado por el estado de la superficie de la piel, siendo más efectiva la transferencia de calor si la superficie está húmeda. Por otro lado, la velocidad del viento tiene un efecto negativo en el consumo de alimento y en la escala de jadeo. La escala de jadeo es una herramienta visual desarrollada para evaluar el estrés por calor en los animales (Mader et al. 2005, Mader et al. 2006).

2.2.5. Índice de temperatura y humedad

Es un índice que relaciona las variables meteorológicas temperatura y humedad relativa (Thom, 1959). Trabajando con vacas Holstein en lactación en condiciones controladas Johnson et al. (1961) determinaron a qué valores de temperatura y humedad del aire comenzaba a disminuir la PL, el valor crítico de ITH obtenido por Johnson et al. (1961) fue de 72. Cuanto mayor sea la duración diaria de horas con un ITH mayor a 72, menor será la posibilidad de

recuperación nocturna y como consecuencia el impacto será mayor. Para el Uruguay, Cruz (2009a) encontró que el umbral es de 74.

Se han elaborado diferentes categorías en función del impacto del ITH según el Livestock Weather Safety Index, citado por du Preez et al. (1990): 1) Normal, 70 o menos; 2) Alerta, 70 a 72, aproximándose al límite crítico de producción de leche; 3) Alerta, 72 a 78, por encima del límite crítico de PL; 4) Peligro, 78 a 82; 5) Emergencia, 82 o más.

A nivel nacional existen trabajos de investigación que intentan caracterizar el Uruguay en base a este índice (Cruz y Saravia 2008, Cruz y Urioste 2009b, Saravia et al. 2011). La información generada muestra un ITH mayor al crítico (72) hacia el norte del Rio Negro en el mes de enero, y en febrero este se desplaza aún más hacia el norte como se observa en la Figura No. 4. Por lo que se concluye que en Uruguay existen condiciones climáticas capaces de afectar el desempeño productivo animal durante el verano.

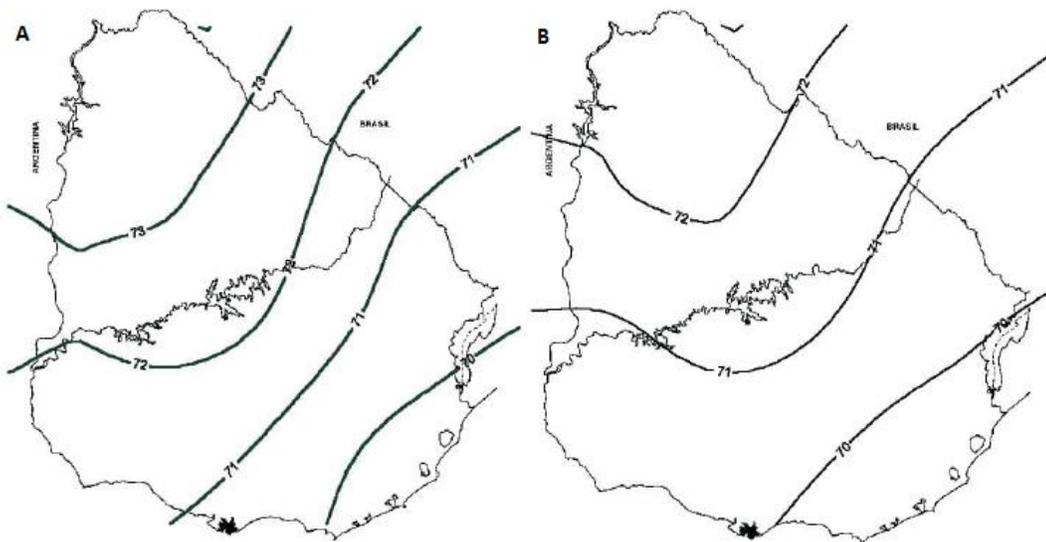


Figura No. 4. A) Variación espacial del Índice de Temperatura y Humedad en el mes de enero, B) Variación espacial del Índice de Temperatura y Humedad en el mes de febrero (Cruz y Saravia, 2008).

A partir de esta información climática (MDN. DNM, 1996) para las condiciones promedio del lugar de este trabajo el ITH promedio mensual no llegaría al límite crítico de PL, igualmente se busca cuantificar y generar información de los efectos del calor sobre bovinos de leche para la zona, ya que

sin duda hay períodos en que el ITH es mayor al límite crítico. Tanto si consideramos varias horas durante un mismo día, así como el promedio diario durante varios días consecutivos.

2.2.6. Esferas de Vernon

Las esferas de Vernon o globos negros son otra forma de caracterizar el ambiente meteorológico (Berbigier, 1988). Estas esferas permiten registrar temperaturas integrando los aportes de calor por convección y radiación. La temperatura registrada expresa las ganancias o pérdidas de calor del ambiente medido.

2.3. EFECTO DEL ESTRÉS CALÓRICO SOBRE EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO DEL ANIMAL

2.3.1. Producción de leche

Diversos trabajos demuestran la disminución en producción de leche en animales expuestos a altas temperaturas en nuestro país (Azanza y Machado 1997, Padula y Rovira 1999, González 2004). El efecto en la baja de producción es provocado en principal medida por una disminución del consumo voluntario, sumado a los altos requerimientos del animal necesarios para el mantenimiento (Valtorta et al., 1998).

La disminución en la PL se acrecienta en animales de alto potencial de producción y en animales que se encuentran en etapas tempranas de lactación (Kadzere et al. 2002, Zimbelman et al. 2009). La modificación del comportamiento ingestivo se agrava bajo estas situaciones, provocando el aumento en el uso de las reservas corporales (Mc Dowell et al. 1976, Barash et al. 2001).

Las condiciones meteorológicas que generan condiciones de estrés calórico parecen reflejarse con retraso en la caída del desempeño productivo. La temperatura y el ITH de los días previos son los que tienen una mayor influencia en el consumo de materia seca (CMS) y en la PL (West et al., 2003). Temperaturas sobre 30°C asociadas a HR de 80% y ausencia de noches frescas disminuyeron la PL en 11,9 kg/día (Arias et al., 2008). Collier et al. (1981) expresan que mayor temperatura y radiación durante el día que en la noche es lo que posiblemente refleje los cambios en la PL, la ausencia de noches frescas impide que el animal se recupere y logre volver a su zona de

confort térmico. En este trabajo el promedio de PL para sombra y no sombra al comienzo del experimento fue de 16,6 y 16,4 kg respectivamente, mientras que el promedio de PL al final del experimento para los mismos grupos corregidos por etapas de lactación fue de 15,1 y 12,7 kg. Se determinó que el máximo efecto de la PL bajo estrés calórico ocurre entre 24 y 48 h seguidas a la exposición, relacionándose a alteraciones en el consumo.

Para Uruguay, Cruz (2009a) verificó la disminución en la PL de ganado Holstein en San José, Florida y Paysandú, constatándose el efecto residual del ITH sobre la producción de leche, la interacción existente entre ITH y etapa de lactación, y el efecto positivo de la interacción de ITH y tambo dentro de una misma zona.

Existe evidencia que modificaciones en el ambiente físico logran disminuir el impacto del estrés calórico sobre la producción de leche. González (2004) para Colonia utilizando vacas Holando con promedio de producción de 22 L/día, verificó una disminución en la producción de 0,36 L/día para las vacas sin acceso a sombra y de 0,11 L/día para las vacas con acceso a sombra. De Nass y Acaro Junior (2000) para las condiciones de San Pablo, Brasil, determinaron diferencias entre tratamientos resultando 20,5 kg/día, 19,9 kg/día y 18,2 kg/día para los tratamientos sombra + ventilación + aspersion, sombra + ventilación y sombra respectivamente.

Por otro lado los bovinos bajo estrés térmico tienen una mayor tasa de utilización de glucosa periférica, lo que sugiere que la captación de glucosa por otros tejido reduce la cantidad de glucosa disponible para la síntesis de la leche (Rhoads et al., 2009).

2.3.2. Composición de leche

Los efectos del ambiente no solo afectan la producción, sino también la concentración de sólidos. Existen registros sobre el efecto de la composición de la leche con especial énfasis en el porcentaje de grasa y proteína (Azanza y Machado 1997, Tarazón-Herrera et al. 1999, González 2004).

Si bien la dieta que consume el animal tiene una marcada influencia sobre la composición de la leche, no hay duda de que existe una variación de acuerdo a las condiciones climáticas a las cuales se expone el animal. El normal funcionamiento del aparato digestivo que es perturbado por las altas

temperaturas afectan en la eficiencia de utilización de nutrientes y por lo tanto en la síntesis de leche, tanto en producción como ya se mencionó, así como en composición (Valtorta et al., 1998). Valtorta et al. (1997) estudiaron la relación entre la temperatura del aire y la composición de la leche durante olas de calor, siendo la proteína el componente más afectado, mostrando su disminución a medida que la temperatura mínima diaria aumentaba.

Por otra parte como respuesta al estrés puede generarse un balance energético negativo esto reduce el requerimiento de energía para la síntesis de la leche y baja la grasa de la leche (Baumgard et al., 2002).

Una vez finalizada la revisión, se pone de manifiesto el impacto negativo del ambiente meteorológico sobre las variables productivas de vacas lecheras. Las vacas lecheras y en especial las de alta producción, presentan una elevada producción de calor metabólico, lo que las hace particularmente sensibles a las altas temperaturas, ya que deben ser capaces de disipar ese calor para lograr mantener la homeostasis. Cuando los mecanismos de disipación de calor no son eficientes se rompe el equilibrio y se da un desbalance calórico, donde las ganancias superan las pérdidas de calor, y es entonces cuando el animal entra en situación de estrés calórico. Por esta razón este trabajo apuntó a cuantificar los efectos negativos del ambiente meteorológico en las variables producción y composición de leche, así como también encontrar diferencias en cuanto al uso de distintas medidas de mitigación; uso de sombra, ventilación forzada y aspersión. Este trabajo utilizo vacas Holstein de alta producción, que como se evidencia en la bibliografía son quienes podrían tener un mayor impacto negativo en producción en un ambiente cálido.

2.4. HIPÓTESIS

En el verano el ambiente meteorológico estresa vacas lecheras (sin medidas de protección ante el ambiente físico) y deprime su productividad.

2.4.1. Hipótesis específicas

- En el Sur las condiciones meteorológicas del verano impactan negativamente en la productividad de vacas de alta producción.

- El acceso voluntario a sombra artificial durante el verano reduce el efecto negativo de las condiciones meteorológicas sobre la productividad de vacas de alta producción.

- La incorporación de ventilación y mojado al manejo de los animales reduce el efecto negativo de las condiciones meteorológicas del verano sobre la productividad de vacas de alta producción.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LOCALIZACIÓN Y PERÍODO EXPERIMENTAL

El estudio se realizó en la Unidad de Lechería del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) La Estanzuela ubicada en el Departamento de Colonia, Latitud 34°20´ S; Longitud 57°41´ W. Inició el 10 de diciembre de 2012 (día experimental = 0) y se extendió durante 82 días hasta el 1 de marzo de 2013.

3.2. ANIMALES, TRATAMIENTOS Y MANEJO

Se utilizaron 39 vacas Holando del rodeo experimental de INIA multíparas no gestantes. En base al número de lactancias (media \pm DE: 2,5 \pm 1,3; mín: 1; máx: 6), producción de leche de la lactancia anterior (media \pm DE: 8735 \pm 1077 L) y de las fases de monitoreo (media \pm DE: 22,0 \pm 1,75 L/día), condición corporal (media \pm DE: 3,1 \pm 0,51 unidades) y peso corporal al inicio del experimento (media \pm DE: 557 \pm 73 kg), los animales fueron bloqueados y asignados al azar a tres tratamientos: animales sin acceso a sombra (n=13; SOL), con acceso a sombra artificial (n=13; SOM), y con acceso a sombra artificial incluyendo dos sesiones diarias de humedecimiento mediante aspersión más ventilación (n=13; SAV) en el corral de espera del tambo.

Como sombra se utilizó malla sombra 80% colocada a 4 m de altura, con un área de 4,5 m² por animal, orientada en dirección este-oeste y ubicada en la parte más alta del terreno sin interferir con los comederos y bebederos. Cada sesión de aspersión-ventilación consistía en: mojado de 2 minutos (300 L h⁻¹; tamaño promedio de las gotitas: 1500 μ) al iniciar la sesión de aspersión-ventilación y al minuto 15, siendo la ventilación de manera continua con dos ventiladores (Magnum 52´´, Gea, Bönen, Germany; altura 3 m; diámetro 1,3 m).

Inicia el día con el ordeño matutino (05:00 am). Finalizado el ordeño, todos los animales pasan a pastoreo en pradera mezcla de trébol blanco (*Trifolium repens*), festuca (*Festuca arundinacea*) y alfalfa (*Medicago sativa*) con una asignación de forraje en franjas diarias de 10 kg de materia seca (MS) por vaca (disponibilidad de forraje promedio 2914 \pm 586 kg de MS/ha, su composición química se presenta en el Cuadro No. 2) hasta las 10:00 am, momento en que luego pasan al encierre en diferentes potreros según tratamiento, a excepción del tratamiento SAV que pasa por su primer sesión de

aspersión y ventilación durante 30 minutos para luego ir a su respectivo potrero. Antes del ordeño vespertino el tratamiento SAV pasa por su segunda sesión de aspersión y ventilación, para después entrar todos los animales al ordeño de las 05:00 pm. Retornando luego cada lote a su potrero pertinente y permanecer allí hasta el ordeño del día siguiente.

Cuadro No. 2. Composición química del forraje disponible

Disponibilidad de forraje (kg MS/ha)	
Composición química (%)	
MS	66,2
PC	18,2
FDN	35,5
FDA	21,5
EE	1,9
Cenizas	6,1
ENL	1,55

PC: proteína cruda, FDN: fibra detergente neutro, FDA: fibra detergente ácido, EE: extracto etéreo, ENL: extracto libre de nitrógeno.

Durante el encierro se les ofrece a todos por igual la misma cantidad de ración totalmente mezclada (RTM) y de agua ad libitum. La RTM se suministra una vez al día al comienzo del encierro por la mañana, su composición y características químicas se detallan en el Cuadro No. 3.

Cuadro No. 3. Composición de la ración totalmente mezclada (RTM)

RTM	
Ingredientes (% 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	0.3

3.3. DETERMINACIONES EN EL AMBIENTE TÉRMICO

Para la caracterización del ambiente térmico se utiliza la temperatura del aire media, máxima y mínima y la humedad relativa (HR) media, máxima y mínima registrados por la estación meteorológica ubicada en el Parque Agrometeorológico de INIA La Estanzuela a 1,5 km de la Unidad de Lechería. Para el cálculo del Índice de Temperatura y Humedad (ITH) medio, máximo y mínimo (Thom, 1959) se utilizaron los registros de temperatura media, máxima y mínima respectivamente y la humedad relativa media, máxima y mínima respectivamente. El ITH fue calculado usando la conversión de Valtorta y Gallardo (1996):

$$ITH = (1,8 T_a + 32) - (0,55 - 0,55 HR/100) (1,8 T_a - 26)$$

Dónde: T_a : Temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$)

HR: Humedad del aire (%)

Se colocaron para cada tratamiento dos esferas de Vernon (esferas de cobre huecas, pintadas de negro mate de 16 cm de diámetro) ubicadas bajo la sombra artificial en los casos donde corresponde, registrando la temperatura en forma horaria. Los registros de temperatura dentro de las esferas fueron realizados por sensores Kooltrak (iButtons-TMEX Modelo DS1921, Dallas Semiconductors, Dallas, TX) cada 15 minutos. Para construir 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 10:00 h, momento en que los animales estaban pastoreando, combinados con las temperaturas de las esferas ubicadas en las respectivas sombras (10:15 a 04:45 h). Para construir los registros del ambiente SAV, además se combinaron con las temperaturas de las esferas ubicadas en la sala de espera en los momentos en que los animales permanecían en la misma.

3.4. DETERMINACIONES EN LOS ANIMALES

Se registró la producción individual de leche en cada ordeñe mediante medidor automático. La ordeñadora utilizada fue GEA Westfalia Surge y el sistema de medición electrónica utilizado para las muestras tomadas en promedio 5 días a la semana (ver Anexo 1 con fechas de muestreo) fue Metatrón P21 (Certificado ICAR). A las muestras se les agregó conservante (2-bromo-2-nitro-1,3 propanediol) y se las conservó en refrigerador hasta su

análisis en el Laboratorio de Leche (INIA La Estanzuela). Se determinó el porcentaje de grasa (G), proteína (P) y lactosa (Lac) a través del análisis infrarrojo medio (Bentley Model 2000, Bentley Instruments Inc., Chaska, MN, USA) de acuerdo a la metodología propuesta por IDF (2000).

La PL fue corregida por energía según la siguiente ecuación:

$$\text{LCE (kg)} = (0,327 \times \text{PL}) + (12,95 \times \text{kgG}) + (7,20 \times \text{kgP}).$$

3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, donde las vacas fueron las unidades experimentales y se estratificaron según etapa de la lactancia (temprana y media), número de lactancia, producción de leche de la lactancia anterior (vacas en lactancia temprana) producción de leche a inicio del ensayo (vacas en lactancia media), peso vivo y estado corporal.

Los registros de PL (kg/a/día), LCE (kg/a/día) y de composición de leche, grasa (%), proteína (%), y lactosa (%), se analizarán ajustando un modelo lineal general con medidas repetidas en el tiempo. Se utilizó para el análisis el procedimiento MIXED del paquete estadístico SAS (2009). El efecto "día experimental" fue considerado como el factor de medidas repetidas. La PL, LCE, producción y composición de grasa, proteína y lactosa antes de iniciados los tratamientos fueron utilizados como covariable en el modelo. En el modelo se incluyeron los efectos fijos de bloque, tratamiento, día, interacción día x tratamiento, y como efecto aleatorio la vaca.

El modelo tendrá la siguiente forma general:

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

donde:

Y_{ijk} = producción de leche (kg/vaca/día); o producción de grasa;
o producción de proteína; o producción de lactosa

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).

4. RESULTADOS

4.1. DETERMINACIONES EN EL AMBIENTE TÉRMICO

4.1.1. Temperatura, humedad del aire e ITH

La temperatura promedio en el período experimental fue de $22,7 \pm 2,91$ °C (media \pm DE) y la humedad relativa $68,1 \pm 9,42$ % (media \pm DE). La temperatura máxima promedio fue de $28,4 \pm 3,75$ °C (media \pm DE) con una máxima absoluta de $35,8$ °C que ocurrió el 24 de diciembre. La temperatura mínima promedio fue de $17,2 \pm 3,07$ °C (media \pm DE) mientras que la mínima absoluta fue de $9,2$ °C ocurrida el 26 de febrero sobre el final del experimento.

En la Figura No. 5 puede observarse el comportamiento diario de la temperatura media, máxima y mínima, mientras que en la Figura No. 6 se presenta el comportamiento diario de la humedad relativa media, máxima y mínima durante el ensayo.

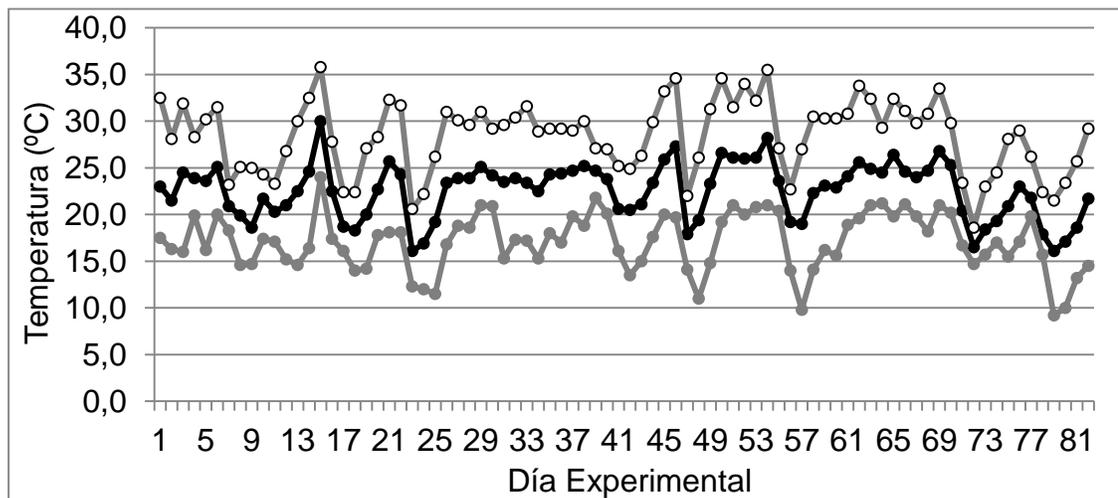


Figura No. 5. Temperatura del aire (°C) diaria media (círculos negros), máxima (círculos blancos) y mínima (círculos grises) durante el período experimental.

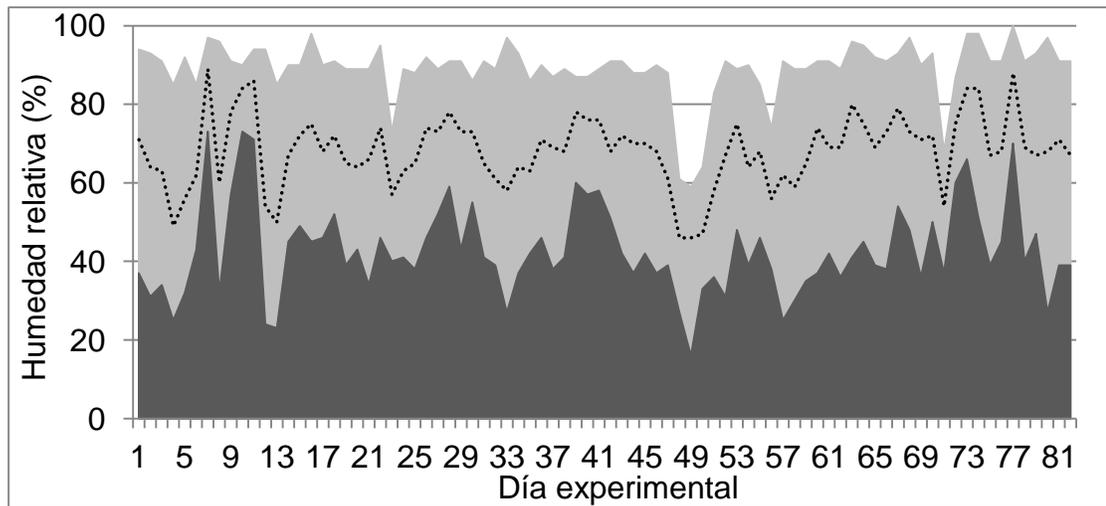


Figura No. 6. Humedad relativa (%) diaria media (línea punteada), máxima (área gris claro) y mínima (área gris oscuro) de los días experimentales.

En el Cuadro No. 4 se comparan los datos mensuales climáticos del periodo diciembre 2012 - febrero 2013, con la serie de datos históricos 1961-1990 de la Estación Meteorológica de Colonia, Latitud 34°45' S; Longitud 57°76' W (MDN. DNM, 1996). La temperatura media registrada se encontró por debajo de lo normal para enero y febrero. Las medias máximas fueron superiores en todos los meses, mientras que las medias mínimas se presentaron siempre inferiores para todos los meses lo que determina una mayor amplitud térmica. A su vez la humedad relativa registrada también se encontró por debajo los valores normales para la totalidad de los meses evaluados.

Cuadro No. 4. Comparación de los registros meteorológicos (temperatura media (TMED, °C), temperatura máxima media (TXM, °C), temperatura mínima media (TNM, °C), temperatura máxima absoluta (TX, °C), temperatura mínima absoluta (TN, °C), humedad relativa media (HR, %) en diciembre 2012 - febrero 2013 con los registros de las Normales Climatológicas 1961-1990 (medias mensuales, MDN. DNM, 1996).

	Diciembre (*)			Enero			Febrero		
	1961-1990	2012	Dif.	1961-1990	2013	Dif.	1961-1990	2013	Dif.
TMED	22,3	22,7	0,4	23,7	23,1	-0,6	22,9	22,1	-0,8
TXM	26,7	28,4	1,7	27,3	29	1,7	27,2	28	0,8
TNM	17,6	17,3	-0,3	19,2	17,3	-1,9	18,8	17	-1,8
TX	38	35,8	-2,2	39,6	34,6	-5	35,8	35,5	-0,3
TN	8,8	13,8	5,0	10,1	11	0,9	10,3	9,2	-1,1
HR	69	67,6	-1,4	70	66,2	-3,8	73	70,5	-2,5

(*) Las comparaciones de diciembre 2012 con las normales climatológicas corresponden al mes completo y no solo a los días del experimento. Dif. = diferencia.

El ITH promedio diario durante el ensayo fue de $70,2 \pm 4,38$ (media \pm DE) (promedio período 1961-1990 = 70,9). Tomando los ITH promedio mensuales se observa que en los meses de enero y febrero se dieron valores en torno a un punto por debajo de los calculados con los registros climáticos promedios 1961-1990 (Cuadro No. 5).

Cuadro No. 5. Comparación de ITH mensuales diciembre 2012 - febrero 2013 con los calculados a partir de las normales climatológicas 1961-1990 (MDN. DNM, 1996).

Mes (*)	ITH 2012-2013	ITH 1961-1990
Diciembre	70,2	69,7
Enero	70,8	71,9
Febrero	69,6	71,0

(*) El ITH de diciembre 2012 corresponde a todo el mes y no solo a los días del experimento.

Los valores de ITH promedio diario mayores a 72, denominados para éste trabajo como críticos se presentaron en un total de 33 días, siendo enero el mes con mayor frecuencia de ésta condición (16 días), mientras que el ITH promedio diario máximo se registró el 24 de diciembre con un valor de 81,7. En la Figura No. 7 se destacan dos o más días consecutivos de ITH promedio diario mayor a 72, dónde la mayor secuencia de días consecutivos se dio durante 10 días entre el 8 y 17 de febrero.

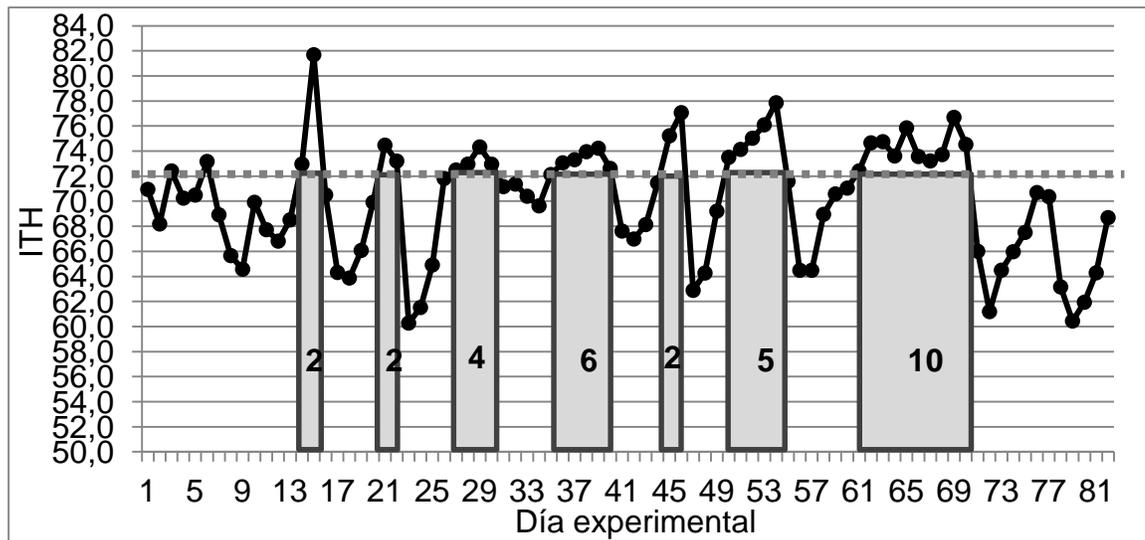


Figura No. 7. Comportamiento del ITH promedio diario (puntos negros) durante el ensayo y series de dos o más días consecutivos de ITH ≥ 72 (áreas grises). Números dentro de áreas grises indican cantidad de días consecutivos con ITH promedio ≥ 72 . Días 21, 52 y 80 corresponden al último día de diciembre, enero y febrero respectivamente.

Según las categorías utilizadas en función del impacto del ITH (Livestock Weather Safety Index, citado por du Preez et al., 1990), la Figura No. 8 muestra la ocurrencia de días con ITH promedio diario dentro de cada rango.

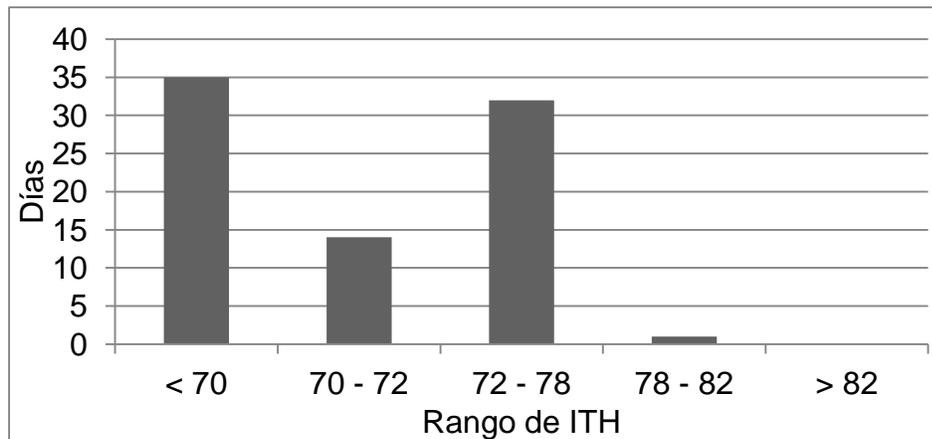


Figura No. 8. Cantidad de días según categorías de ITH promedio diario registrado durante el experimento.

4.1.2. Esferas de Vernon

Las temperaturas registradas por las esferas ubicadas al sol y a la sombra artificial resultaron significativamente diferentes en un 6,2 % de las horas totales. Durante la noche no se determinaron diferencias en las temperaturas de las esferas, siendo las mínimas 17,5; 17,8 y 17,3 °C para SAV, SOM y SOL respectivamente. El horario en que se dieron las diferencias (entre las 12:00 y las 19:00, Anexo 3) las temperaturas fueron diferentes significativamente un 18,7 % de las horas dónde se registran las máximas temperaturas. Las que fueron promediamente 32,1; 32,5 y 37,4 °C para SAV, SOM y SOL respectivamente.

En la Figura No. 9 se observa claramente el comportamiento diferencial de las temperaturas máximas registradas por las esferas al sol respecto a las ubicadas en la sombra, así como también se presentan los registros de las temperaturas mínimas durante el transcurso del experimento.

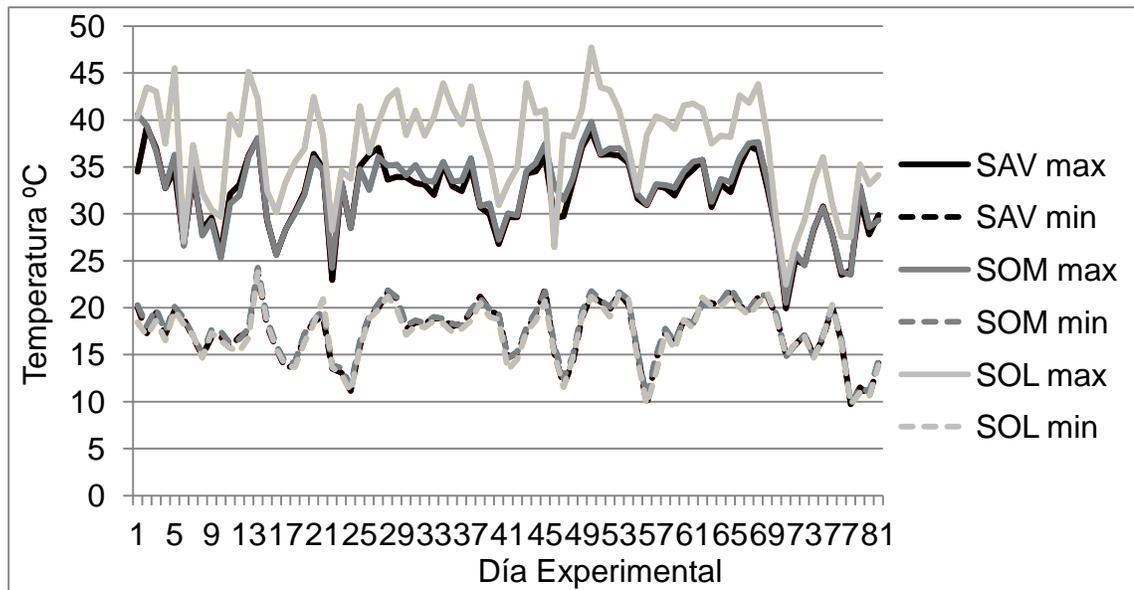


Figura No. 9. Temperaturas máximas y mínimas de las esferas de Vernon según día experimental en cada tratamiento; acceso a sombra + aspersión + ventilación (SAV), acceso a sombra (SOM) y sin acceso a sombra (SOL).

4.2. VARIABLES PRODUCTIVAS

4.2.1. Producción de leche

La producción de leche en litros tuvo un comportamiento significativamente diferencial para los tres tratamientos ($P=0,0326$), dando en orden decreciente mayor cantidad de litros para SAV, SOM y SOL (Cuadro No. 6). Se observó un efecto del día experimental ($P<0,0001$) y de la interacción tratamiento x día experimental ($P<0,0001$).

Cuadro No. 6. Producción de leche promedio diario (PL, L/a/d, media \pm EEM) según ambiente durante el período experimental.

Ambiente	PL	EEM	
SAV	30,3	0,51	A
SOM	28,8	0,53	AB
SOL	28,6	0,50	B

Medias seguidas de letras distintas muestran diferencias significativas ($P < 0,05$) entre ambientes.

En la Figura No. 10 se presenta el comportamiento diario en PL para cada tratamiento, donde puede verse la tendencia superior del tratamiento SAV por sobre los demás.

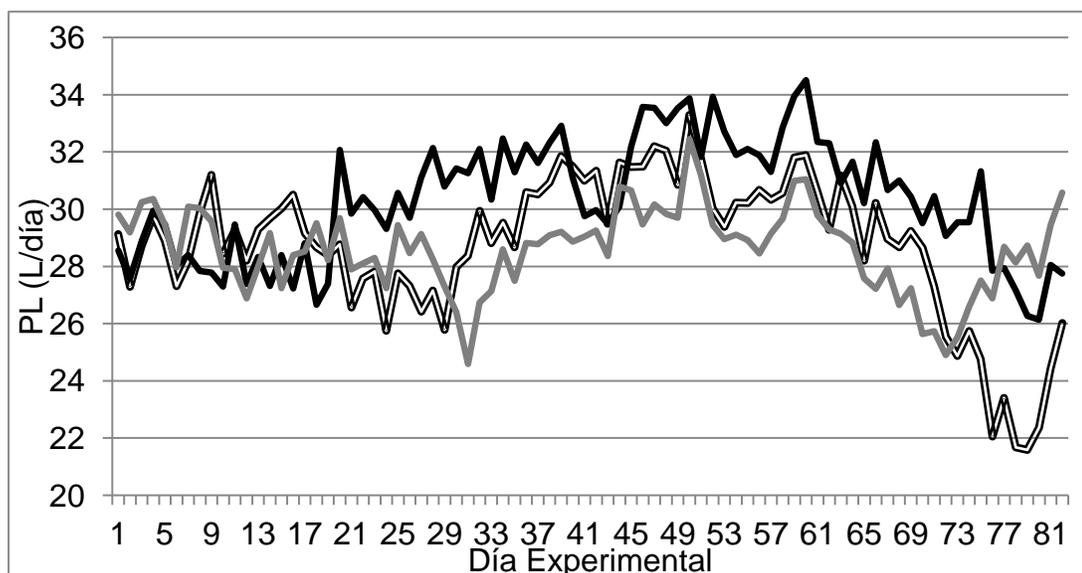


Figura No. 10. Producción de leche (L/a/d) promedio de los tratamientos SAV (línea negra), SOM (línea doble) y SOL (línea gris) durante el período experimental.

En lo que refiera a la producción de leche corregida por energía (promedio diario), los animales sin acceso a sombra presentaron menor producción ($P=0,0146$) que los animales del tratamiento SAV y SOM (Cuadro

No 7.). Hubo un efecto significativo del día experimental ($P < 0,0001$) y de la interacción tratamiento \times día experimental ($P < 0,0001$).

Cuadro No. 7. Producción de leche corregida por energía (LCE, kg/a/d, media \pm EEM) según tipo de ambiente asignado.

Ambiente	LCE	EEM	
SAV	31,8	0,68	A
SOM	31,6	0,67	A
SOL	29,3	0,67	B

Medias seguidas de letras distintas muestran diferencias significativas ($P < 0,05$) entre ambientes.

Observando la producción diaria de LCE en la Figura No. 11 se evidencia la menor producción del tratamiento SOL durante el transcurso del experimento.

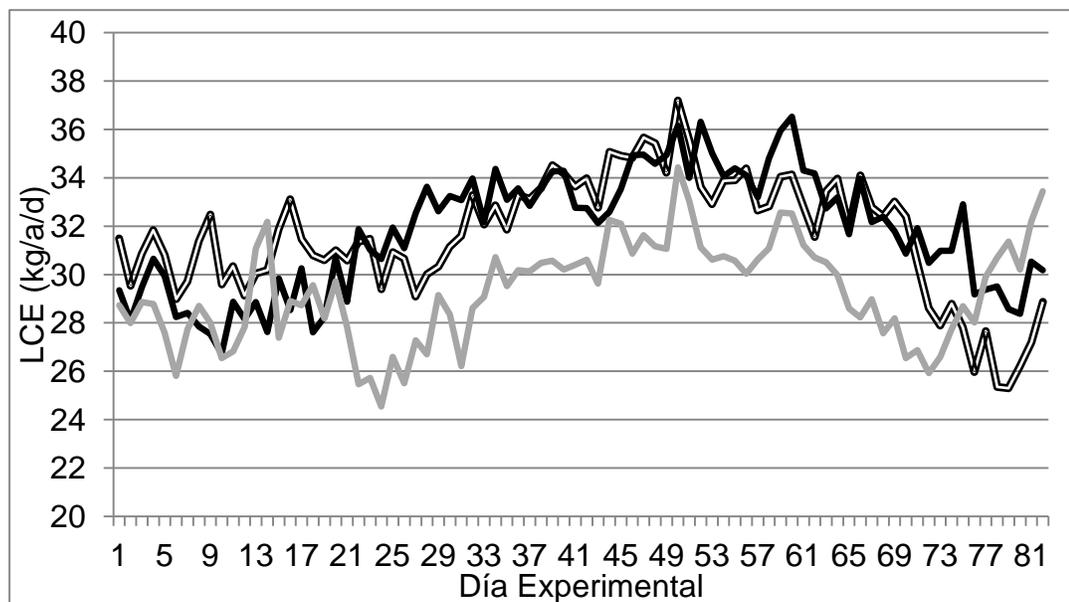


Figura No. 11. Producción diaria promedio de LCE (kg/a/d) de los tratamientos SAV (línea negra), SOM (línea doble) y SOL (línea gris) durante el período experimental.

4.2.2. Contenido de grasa

El porcentaje de grasa en leche fue significativamente mayor para SAV respecto a los demás tratamientos ($P=0,0224$; Cuadro No. 8). Hubo un efecto significativo del día experimental ($P<0,0001$) y la interacción del tratamiento \times día experimental no fue significativa ($P=0,7992$).

Cuadro No. 8. Contenido de grasa en porcentaje (%) según tipo de tratamiento asignado.

Ambiente	Grasa (%)	EEM	
SAV	3,9	0,026	A
SOM	3,9	0,025	AB
SOL	3,8	0,026	B

Medias seguidas de letras distintas muestran diferencias significativas ($P<0,05$) entre ambientes.

En contenido de grasa en kg se observó un comportamiento diferencial entre tratamientos, siendo menor en el tratamiento SOL ($P<0,0001$; Cuadro No. 9). Hubo efecto significativo del día experimental ($P<0,0001$) y no se dio efecto significativo de la interacción tratamiento \times día experimental ($P=0,2322$).

Cuadro No. 9. Contenido de grasa en kg según tipo de ambiente asignado.

Ambiente	Grasa (kg)	EEM	
SAV	1,25	0,014	A
SOM	1,21	0,013	A
SOL	1,09	0,014	B

Medias seguidas de letras distintas muestran diferencias significativas ($P<0,05$) entre ambientes.

El comportamiento diario del contenido de grasa en kg muestra una tendencia descendente entre los tratamientos SAV, SOM y SOL (Figura No. 12).

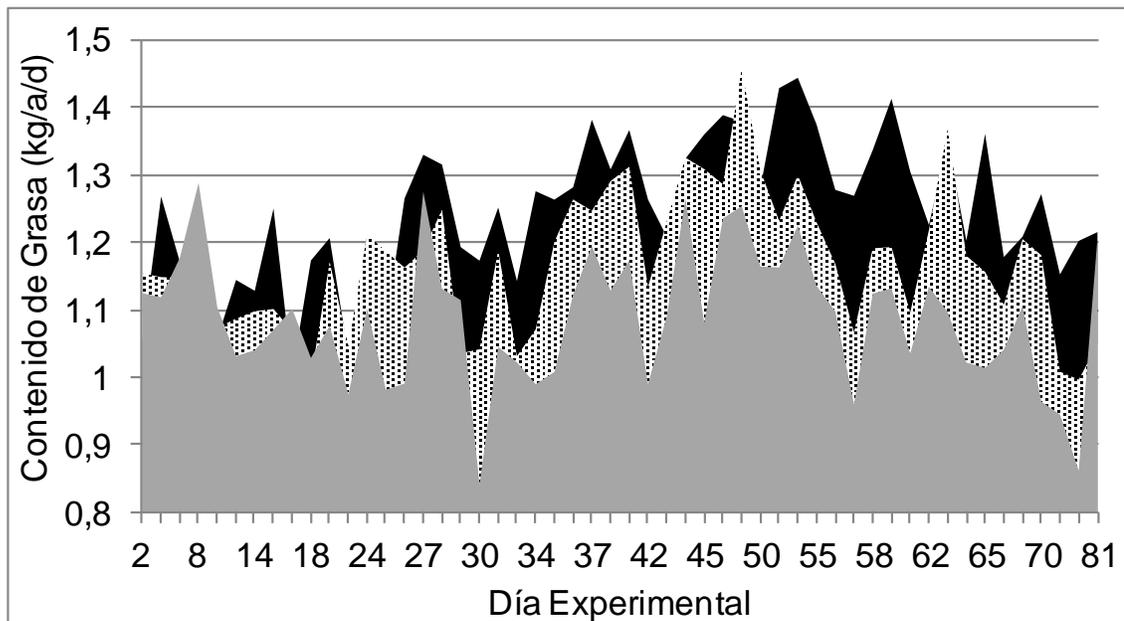


Figura No. 12. Contenido de grasa (kg/a/d) de los tratamientos SAV (área negra), SOM (área en trama) y SOL (área gris) durante el período experimental.

4.2.3. Contenido de proteína

El porcentaje de proteína fue significativamente mayor para el tratamiento SAV ($P=0,0087$; Cuadro No. 10), también se observó efecto significativo del día experimental ($P<0,0001$) así como de la interacción tratamiento x día experimental ($P=0,0203$).

Cuadro No. 10. Contenido de proteína en porcentaje (%) según tratamiento asignado.

Ambiente	Proteína (%)	EEM	
SAV	3,1	0,020	A
SOM	3,0	0,020	B
SOL	3,0	0,021	B

Medias seguidas de letras distintas muestran diferencias significativas ($P<0,05$) entre ambientes.

En cuanto a la producción de proteína (kg) el tratamiento SOL fue significativamente menor a los tratamientos SAV y SOM ($P < 0,0001$; Cuadro No. 11). Se observó un efecto del día experimental ($P < 0,0001$) y de la interacción tratamiento x día experimental ($P < 0,0001$).

Cuadro No. 11. Contenido de proteína en kg según tratamiento asignado.

Ambiente	Proteína (kg)	EEM	
SAV	0,94	0,013	A
SOM	0,91	0,013	A
SOL	0,83	0,012	B

Medias seguidas de letras distintas muestran diferencias significativas ($P < 0,05$) entre ambientes.

En la Figura No. 13 se visualiza el comportamiento diario del contenido en kg de proteína donde los tratamientos SAV y SOM se destacan por encima del tratamiento SOL.

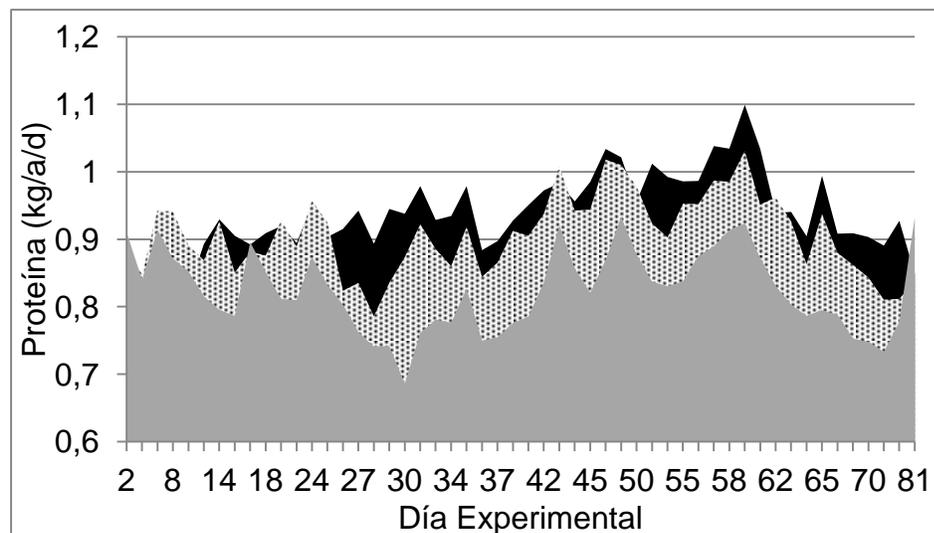


Figura No. 13. Contenido de proteína (kg/a/d) de los tratamientos SAV (área negra), SOM (área en trama) y SOL (área gris) durante el período experimental.

4.2.4. Contenido de lactosa

No se observó comportamiento diferencial en cuanto al porcentaje de lactosa para los tres tratamientos ($P=0,1067$; Cuadro No. 12), hubo efecto significativo del día experimental ($P<0,0001$) y de la interacción tratamiento x día experimental ($P=0,0113$).

Cuadro No. 12. Contenido de lactosa en porcentaje (%) en función del tratamiento asignado.

Ambiente	Lactosa (%)	EEM	
SAV	4,9	0,016	A
SOM	4,9	0,017	A
SOL	4,9	0,016	A

Medias seguidas de letras distintas muestran diferencias significativas ($P<0,05$) entre ambientes.

Por otro lado el contenido de lactosa en kg si mostró un comportamiento diferencial, siendo SAV el tratamiento con significativamente mayor contenido en kg de lactosa ($P=0,0062$; Cuadro No. 13). También se observó efecto significativo del día experimental ($P<0,0001$) y de la interacción tratamiento x día experimental ($P<0,0001$).

Cuadro No. 13. Contenido de lactosa en kg en función del tratamiento asignado.

Ambiente	Lactosa (kg)	EEM	
SAV	1,5	0,027	A
SOM	1,5	0,027	AB
SOL	1,4	0,026	B

Medias seguidas de letras distintas muestran diferencias significativas ($P<0,05$) entre ambientes.

En la Figura No. 14 se observa el comportamiento diario del contenido de lactosa en kg, que confirma el orden descendente de SAV, SOM y SOL visto en el Cuadro No. 11.

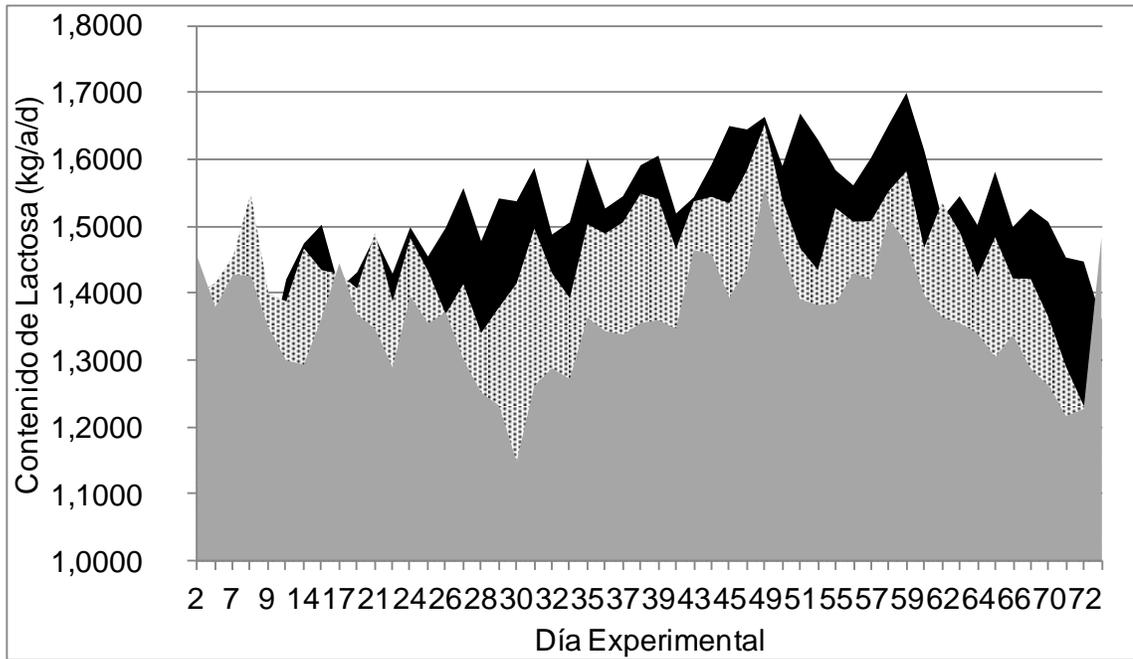


Figura No. 14. Contenido de lactosa (kg/día) de los tratamientos SAV (área negra), SOM (área en trama) y SOL (área gris) durante el período experimental.

5. DISCUSIÓN

5.1. EFECTO DEL AMBIENTE TÉRMICO EN EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO

Los registros promedio mensuales de ITH de $70,2 \pm 4,38$ (media \pm DE) se ubicaron levemente por debajo a lo determinado por Cruz y Saravia (2008) en términos climáticos para la región, siendo enero el de mayor promedio mensual ($70,8 \pm 4,32$) aunque un punto por debajo si se compara con los calculados con la normal climatológica 1961-90 (MDN. DNM, 1996). Esto sugeriría que el período experimental fue levemente más fresco que lo normal, por lo que podría esperarse menos condiciones que generen estrés calórico en las vacas. En este sentido el valor de ITH crítico a partir del cual la producción de leche comenzaría a verse afectada es de 72 (Johnson et al., 1961), éste umbral es mayor al ITH promedio ocurrido en éste trabajo. Sin embargo, cuando se observan los registros de ITH diario la ocurrencia de días con ITH promedio > 72 totalizaron 33 días del ensayo (40,2 %) presentando temperaturas máximas promedio entre 27 y $35,8^{\circ}$ C, temperaturas mínimas promedio entre 16 y 24° C e ITH promedio de $74,3 \pm 1,93$; que demuestran períodos en que se dieron condiciones de estrés. Los días con ITH promedio < 72 totalizaron 49 días (59,8 % del período experimental) presentando temperaturas máximas promedio entre 18,6 y $32,5^{\circ}$ C, temperaturas mínimas promedio entre 9,2 y $20,4^{\circ}$ C y un ITH promedio de 67,2. Utilizando las categorías definidas por el Livestock Weather Safety Index, citado por du Preez et al. (1990) se reparte un 42,7 % de los días dentro de la categoría definida como normal (ITH < 70) y un 39 % para el rango alerta por encima del límite crítico de producción de leche (ITH = 72 - 78), mostrando que existieron condiciones en que los animales pueden presentar estrés.

La magnitud de los valores expuestos de ITH quizás explican en parte que no se haya encontrado para éste trabajo una relación clara entre el ITH diario y la PL al día siguiente en ninguno de los tratamientos durante todo el experimento. Sin embargo pareciera haber episodios en que podría haber una relación ITH y PL, en los días 20 y 21 se registró un ITH medio de 74,5 y 73,2 respectivamente que coincidió con una caída en la PL para los 3 tratamientos, mientras que el tratamiento SAV comienza a recuperarse lentamente y sostiene ésta tendencia, el tratamiento SOL hace lo mismo pero la PL se desploma en el siguiente período con valores de ITH medios mayores a 72 (Día experimental

26 al 29; ITH promedio = 73,2), caída de la que empieza a recuperarse lentamente pero nunca logra volver a los niveles de SAV. Esto sugeriría que las medidas de mitigación pueden estar ocultando la posible relación que puede haber entre el ITH y la PL ya que la mayor evidencia de ésta relación se encontró en los animales al sol. Similar comportamiento ocurrió entre el ITH y las variables de composición de la leche en kg. Resultados diferentes reporta González (2004) en vacas de menor producción (22,7 L/día) donde la producción tuvo una asociación negativa con el ITH del día previo al control lechero, como así también la producción de proteína, aunque la amplitud de las disminuciones fue menor para los animales con acceso a sombra natural. La producción de leche disminuyó 0,40 L para el lote SOL y 0,23 L para el lote SOM por cada unidad incremental del ITH del día anterior al control. En nuestro trabajo se manifestó interacción tratamiento por día para las variables kg de proteína y kg de lactosa. Para los días en que hubo diferencias significativas entre tratamientos, el tratamiento SOL produjo 0,8 kg de proteína/vaca/día y 1,3 kg de lactosa/vaca/día frente a 0,9 y 1,5 kg respectivamente para el tratamiento SAV. De todos los días en que se observaron diferencias entre tratamientos en kg de proteína y lactosa producidos, el 82 y 90% respectivamente, presentaron ITH mayor a 72 el mismo día y/o en las 48 horas previas. Esto mostraría el efecto depresor del ambiente térmico sobre el desempeño productivo, así como lo reportó González (2004) para la producción de proteína, quien registró una disminución de 13 g para el lote sol y de 7 g para el lote sombra por cada unidad incremental del ITH del día anterior al control lechero.

Para nuestro trabajo se registraron 16 días (19,5%) con ITH mínimo de 65 o más, y 57 días (69,5%) con ITH promedio mayor o igual a 68. Los días en que ocurrieron ambos umbrales son coincidentes con diferencias significativas entre tratamientos en el contenido de proteína y lactosa en kg. Zimbelman et al. (2009) indican que la pérdida de rendimiento de leche en vacas produciendo 35 kg/día o más comienza a ser significativo cuando el ITH mínimo en un día determinado es mayor o igual a 65, y en promedio disminuye 2,2 kg/d de leche con un ITH mínimo de 65 o más ($P < 0,05$), sugiriendo iniciar el tratamiento de refrigeración de los animales en éste valor, o cuando el ITH promedio es de 68. Como podría esperarse en éste trabajo tampoco se encuentra una relación clara entre la PL a partir de estos umbrales de ITH ya que son valores menores al límite crítico de producción de leche definido por Johnson et al. (1961), en que no se determinó influencia del ITH por sí solo.

Usando los criterios en Román et al. (2014) para el verano del experimento ocurrió una sola ola de calor de carácter leve que duró cuatro días (días experimentales 50, 51, 52 y 53; ITH promedio= 75,8) lo cual lo caracteriza como un verano con ocurrencia de olas por debajo de lo esperado para esta zona del país, pero coincidente con Román et al. (2014) en cuanto a que las olas de calor severas no se presentan todos los veranos. Román et al. (2014) caracterizaron el régimen agroclimático de las olas de calor para las condiciones de La Estanzuela de 47 veranos, resultando el número de olas de calor en verano de $2,6 \pm 1,3$ cuando se toma un umbral de ITH promedio diario >75 y de $4,2 \pm 1,7$ tomando un ITH promedio diario >72 . Es claro visualizar la ocurrencia de estas condiciones leves para el verano en estudio.

Los registros de ITH promedio mensuales levemente por debajo de lo normal, la mayoría de los días dentro de la categoría definida como normal por el Livestock Weather Safety Index, citado por du Preez et al. (1990) y la ocurrencia de olas de calor por debajo de lo esperado, podrían manifestar que en términos generales el ambiente térmico no fue muy estresante, pero a su vez habría momentos en que los animales deben enfrentar condiciones de estrés.

La realización del experimento en un verano con las características meteorológicas ya descritas podría estar explicando en parte la baja relación encontrada entre los ITH medios diarios y la producción y composición de la leche.

5.2. EFECTO DE LA SOMBRA ARTIFICIAL Y EL SISTEMA DE ASPERSIÓN – VENTILACIÓN EN EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO

La cantidad de horas que son significativamente diferentes las temperaturas de las esferas de Vernon bajo la sombra artificial y al sol no se relacionaron con que el ITH promedio diario fuera o no superior al valor crítico de producción de leche. La cantidad de horas se repartieron de manera similar independientemente del valor de ITH, a diferencia de lo encontrado por Saravia (2009) en que el menor número de horas con diferencias significativas (de 0 a 3 horas) ocurrieron durante una ola de calor severa (ITH med diario= 77,2). El horario de 12:00 a 19:00 h donde se presentaron las diferencias entre las temperaturas de las esferas, es similar al registrado por Saravia (2009) el cual fue de 14:00 a 17:00 momento en que se registran las máximas temperaturas del día.

Por otra parte, los valores de temperatura mínima de las esferas registraron una diferencia de 4,1° C a favor de los días con valores de ITH promedio > 72 (19,9° C) cuando se compara con los días con ITH promedio < 72 independientemente del tratamiento asignado. A pesar que el ITH no integra la radiación incidente y si lo hacen las esferas de Vernon, comparten la temperatura como parámetro común que puede explicar ésta concordancia que demuestra la relación entre el ITH y la temperatura mínima de las esferas más allá del tratamiento.

En el caso de las temperaturas máximas de las esferas, para el grupo de días con ITH > 72 la temperatura máxima promedio de las esferas bajo la sombra (tratamientos SAV y SOM) fue 6,2° C inferior a la temperatura registrada al sol (41,4° C). Mientras que dentro del conjunto de días con ITH < 72 la temperatura máxima promedio de las esferas a la sombra fue 4,4° C menor a las registradas al bajo el sol (34,6° C). Esto podría demostrar la eficiencia de la sombra artificial en mejorar el ambiente térmico incluso en días con ITH superior al crítico de PL y sería una medida efectiva en la disminución del estrés. Diferentes resultados obtuvo Saravia (2009), que debido a la advección de aire caliente durante el día y la noche la sombra no resultó efectiva para aumentar el confort durante una ola de calor severa, no encontrando diferencias significativas en la PL de vacas con acceso voluntario a sombra artificial y al sol durante la ocurrencia de dicha ola de calor.

Para todo el período, las temperaturas máximas al sol se ubicaron en promedio 5,1 °C por encima de las registradas bajo sombra, lo que sugiere que la sombra fue efectiva en la disminución del estrés como lo han comunicado diversos autores (Collier et al. 1981, Muller et al. 1994, Valtorta y Gallardo 2011), lo cual explicaría parte de los resultados observados en producción y composición de leche. En este sentido, la PL de las vacas que accedieron al tratamiento SAV fue significativamente superior 5,9% a las vacas del tratamiento SOL, mientras que la PL del tratamiento SOM no se diferencia significativamente de los tratamientos restantes. Estos resultados no coinciden con lo reportado por Invenizzi y Marziotte (1998) en Salto bajo similares tratamientos, quienes observaron que el lote triple confort (SAV) no mostró diferencias significativas para la producción de leche ($p > 0,10$) con respecto al lote sol, aunque se detectó un leve incremento en la PL (0,6 L/vaca/día) en el lote de triple confort con respecto al lote sol, lo que representa un 4,4 % (14,2 L/vaca/día versus 13,6 L/vaca/día). Este resultado podría deberse a que son

animales menos demandantes de energía (NRC, 2001) para la PL por lo que tendrían un menor consumo (Davidson et al., 1996) y por lo tanto menor producción de calor. En este sentido, Purwanto, citado por Zimbelman (2009) determinó que la producción de calor de vacas produciendo 18,5 y 31,6 kg/d de leche es 27,3 y 48,5% más alta que vacas no lactando, por tanto animales de menor producción de leche tendrían que disipar menos calor, con el menor gasto energético que esto conlleva relacionado a las actividades realizadas para lograr el mantenimiento de la normotermia (NRC, 2001), por lo que serían menos sensibles a condiciones de estrés calórico (Johnson 1987, Valtorta y Gallardo 2011). Padula y Rovira (1999) en La Estanzuela dispusieron un lote de animales que permanecían a la sombra natural durante las horas de mayor calor (11 a 17 hs), éstos animales lograron 9,8 % ($p < 0,12$) más en producción en promedio que aquellos animales que permanecían al sol (12,7 L versus 11,6 L) a pesar de la baja producción y estar en lactancia tardía. Muller et al. (1994a) encontraron para el promedio de tres veranos de evaluación que la producción de leche (PL promedio = 20 L) de las vacas que accedían a la sombra era 5,5% más en relación a aquellas que permanecían al sol, éstas últimas mostraron un menor consumo de alimento, por ende menos energía para la PL que explicarían las diferencias. Para condiciones de Missouri (USA), Igono et al. (1987), a pesar de obtener ITH similares entre tratamientos y generalmente por debajo de 72 (alrededor de 70), las vacas a la sombra más aspersión y ventilación produjeron 2 kg/vaca/día más que otro grupo de vacas con solamente sombra, la alta PL de estos animales (SAV 25,3 kg/a/d versus SOM 23,3 kg/a/d) los hace más sensible al estrés térmico lo que podría explicar parte de los resultados (Johnson, 1987). En este trabajo las temperaturas de las esferas de Vernon a las 16:00 h estuvieron por encima de los 40° C.

La LCE de las vacas que tuvieron acceso a sombra artificial fue significativamente superior a las de vacas sin acceso sombra, (8,5% mayor en SAV y 7,8% en SOM con respecto a SOL). Los 2,4 L de LCE de superioridad promedio que obtuvieron para el período experimental los tratamientos con sombra frente al tratamiento SOL, se explican principalmente por diferencias en producción encontradas en los días con ITH mayor a 72 y las 48 horas posteriores, bajo ésta condición la diferencia fue de 3,7 L de LCE (75 %), frente a 1,2 L de LCE (25 %) de diferencia cuando el ITH promedio diario no llega al límite crítico de producción de leche. La mayor ganancia de calor de los animales sin acceso a sombra (Collier et al., 2006) explicaría parte de las

diferencias, y más aún en animales de alta producción, más sensibles al estrés calórico (Johnson 1987, Valtorta y Gallardo 2011) como se expresó anteriormente. Estos resultados demostrarían la efectividad de la sombra tanto en días con condiciones meteorológicas menos estresantes y en días con presencia de condiciones de mayor estrés para los animales. Cuanta mayor la ganancia de calor (animales al sol) el balance calórico se vuelve positivo y el animal pasa a situación de estrés siendo necesario que operen los mecanismos termorregulatorios para lograr el equilibrio (Bianca, 1972), lo que supone un gasto energético que impactaría en la PL (Johnson 1987, Kadzere 2002, Valtorta y Gallardo 2011).

El contenido de grasa en kg fue significativamente superior para las vacas que tuvieron acceso a sombra artificial por sobre las vacas sin acceso a sombra (4,7% mayor en SAV y 1,0% en SOM con respecto a SOL). En cuanto al porcentaje de grasa obtenido se registró la misma tendencia a favor de SAV (3,9%) respecto al tratamiento SOL (3,8%), por lo que no se atribuye la mayor producción en kg de grasa solo a una mayor PL, ya que también aumenta el porcentaje de grasa. A nivel nacional, estos resultados no concuerdan con Azanza y Machado (1997), que encontraron para la producción de grasa en kg/a/d que los animales con acceso a sombra natural lograron mejor performance debido a mayor producción de leche (17,3 L a la sombra vs 16,6 L al sol) con contenidos de grasa en porcentaje similares ($P>0,05$). Padula y Rovira (1999), tampoco encontraron diferencias significativas en el porcentaje de grasa entre el lote sol y el grupo que permanecía en la sombra, mientras que la grasa producida en kg/a/d fue similar en ambos tratamientos siendo 0,475 kg/a/d para el lote sombra y 0,452 kg/a/d para el lote sol ($P>0,33$). El impacto de la sombra sobre el contenido de grasa en especial en animales de alta PL se explicaría en parte por la disminución de la rumia en los animales al sol (Davidson et al., 1996). Este aspecto es importante en el control del pH ruminal dado las características buffer de la saliva. A consecuencia de una menor rumia y por ende menor salivación el medio ruminal se vuelve más ácido (Kadzere et al., 2002). La flora ruminal es particularmente sensible a los cambios en el pH, por lo que una baja en el mismo rompería el equilibrio y los microorganismos celulíticos serían los más afectados ya que se desarrollan hacia pH más neutros (Dixon y Stockdale, 1999). Como consecuencia disminuiría el proceso de digestión de la fibra, insumo para la síntesis de butírico precursor de la grasa de la leche (Campabadal, 1999). Para Arizona (USA) similares resultados a los

anteriores reporta Tarazón-Herrera et al. (1999), registraron superioridad en la producción de grasa en kg de vacas en tratamiento con aspersión, ventilación y sombra (3,4% superior), por sobre un tratamiento únicamente con acceso a sombra debido a la mayor PL registrada, ya que el % de grasa se mantuvo igual. Distinto resultado reporta Saravia (2009), que no encontró diferencias para la producción de grasa entre ambientes (SOL versus SOM).

El contenido de proteína en kg fue significativamente mayor para los tratamientos SAV y SOM (13,3% y 9,6%) con respecto a SOL. A nivel nacional (Azanza y Machado 1997, Padula y Rovira 1999) no encontraron diferencias significativas en cuanto al porcentaje de proteína entre animales que accedían a sombra y los que permanecían al sol, en cambio se dieron algunas diferencias en los kilogramos diarios producidos de proteína a favor de los animales a la sombra (6%), explicado principalmente por las diferencias en los litros producidos a favor de éstos mismos por sobre los animales al sol. En estos trabajos las diferencias se atribuyen al efecto de dilución a favor de los animales con acceso a sombra. Para nuestro trabajo las diferencias no solo son por efectos de la dilución sino que además podría haber un efecto favorable de los tratamientos de confort sobre el consumo de alimento (Davidson et al., 1996). Se ha registrado que animales bajo situación de estrés térmico disminuyen el consumo como estrategia para disminuir el calor de fermentación (Valtorta y Gallardo, 2011), por ende disminuye el consumo de proteína y energía. La modificación de la proteína en la leche depende de diversos factores, fundamentalmente del suministro de proteína degradable en el rumen proveniente de los alimentos, entonces cuanto mayor sea el consumo de alimentos mayor será el suministro de proteína, por lo tanto animales expuestos a altas temperaturas es probable que presenten una menor producción de proteína debido al menor consumo de alimentos (Bunting, 2004).

Para los kg de lactosa en leche el contenido fue 7,1% significativamente superior para las vacas del tratamiento SAV por sobre SOL, mientras que SOM no es diferenciable de los tratamientos restantes. Como podía esperarse la concentración no se vio afectada por el tipo de tratamiento ya que es un componente esencial en la PL dado su capacidad para regular la osmolalidad de la misma, puede decirse que a mayor concentración de lactosa mayor serán los litros producidos (Bunting, 2004). La lactosa es un derivado de la glucosa y depende del suministro en el alimento de fuentes de glucosa, al esperarse menor consumo de los animales al sol, menor sería el consumo de glucosa. En

animales en situación de estrés por calor la glucosa es utilizada como fuente de energía en procesos vinculados a la termorregulación, aumentando la captación de glucosa por parte de los tejidos periféricos (Rhoads et al., 2009), por lo tanto el suministro de glucosa hacia la glándula mamaria para la posterior síntesis de lactosa se vería afectada (Rhoads et al., 2009).

6. CONCLUSIONES

El ambiente meteorológico del verano 2012-2013 para las condiciones en el Sur de Uruguay afectaron negativamente a los animales sin medidas de protección frente al ambiente térmico sobre su desempeño productivo.

El acceso a sombra demostró ser una medida de mitigación efectiva para enfrentar al estrés calórico, siendo las temperaturas máximas de las esferas de Vernon registradas a la sombra 5,1° C inferiores a las registradas bajo el sol, en promedio durante todo el experimento.

Se comprueba que ambiente meteorológico del verano impacta negativamente en la producción de las vacas de alta producción, se obtuvo para el tratamiento de confort con sombra una superioridad de 2,3 kg/a/d de LCE por sobre el tratamiento testigo al sol.

La incorporación de aspersion y ventilación al uso de sombra no mejoraría los niveles en producción de leche corregida por energía y las variables grasa y proteína en kg, a pesar que si lo hizo para proteína en porcentaje.

7. RESUMEN

En la Unidad de Lechería del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) La Estanzuela ubicada en el Departamento de Colonia, en el período comprendido entre el 10/12/12-1/3/13, fue llevado a cabo un ensayo, con el objetivo de determinar el efecto de diferentes medidas de mitigación del estrés por calor sobre la producción y composición de la leche de animales lecheros. Se utilizaron 39 vacas Holando estratificadas según etapa de la lactancia (temprana y media), número de lactancia, producción de leche de la lactancia anterior (vacas en lactancia temprana), producción de leche a inicio del ensayo (vacas en lactancia media), peso vivo y estado corporal; asignadas al azar a 3 tratamientos (11:00 a 17:00 h): testigo al sol (SOL (n=13)), acceso a sombra (SOM (n=13)) y acceso a sombra más dos sesiones diarias de aspersión y ventilado durante 30 minutos previo a cada ordeño (SAV (n=13)). La alimentación consistió en pastoreo directo de pradera mezcla durante la mañana hasta el encierre estratégico, donde se suministra la misma cantidad de RTM a cada tratamiento. La temperatura máxima, mínima y media, la humedad relativa e Índice de Temperatura y Humedad (ITH) fueron utilizados para caracterizar el ambiente térmico. Además se registraron las temperaturas de las esferas de Vernon colocadas en cada tratamiento. Se midió la producción individual de leche en cada ordeño y se determinó el porcentaje de grasa (G), proteína (P) y lactosa (Lac) cinco días a la semana. El ITH promedio diario durante el ensayo fue de $70,2 \pm 4,38$ (media \pm DE), mientras que las temperaturas máximas de las esferas de Vernon a la sombra fueron en promedio $5,1$ °C inferiores a las registradas al sol. Los resultados de PL en litros mostraron diferencias significativas a favor del tratamiento SAV que produjo $1,7$ L/a/d más que el tratamiento SOL. La LCE fue significativamente mayor en los tratamientos SAV y SOM ($2,5$ y $2,3$ kg/a/d respectivamente) por sobre el tratamiento SOL. Esta misma tendencia significativa a favor de SAV y SOM se observó en kg de G y P, mientras que en kg de Lac la diferencia a favor fue solo para SAV. La composición en porcentajes resulta significativamente mayor para SAV en las variables G y P. El ambiente meteorológico del verano 2012-2013 para las condiciones en el Sur de Uruguay afectó negativamente a los animales sin medidas de protección frente al ambiente térmico en su desempeño productivo.

Palabras clave: Estrés por calor; Sombra; Índice de Temperatura y Humedad; Producción de leche.

8. SUMMARY

Dairy Unit at the National Institute of Agricultural Research (INIA) La Estanzuela located in the Department of Colonia, in the period between 10/12/12-1/3/13, was conducted a trial with the order to determine the effect of different measures to mitigate heat stress on milk production and composition of dairy animals. 39 Holstein cows stratified according to stage of lactation (early and middle), number of lactation, milk production in the previous lactation (cows in early lactation) milk production baseline (cows in mid-lactation), body weight and body condition; randomly assigned to 3 treatments (11:00 to 17:00 h): witness the sun (SOL (n = 13)), access to shade (SOM (n = 13)) and access to shade over two daily sessions wet and ventilated for 30 minutes before each milking (SAV (n = 13)). The feed consisted of direct grazing meadow mixture during the morning to enclose established strategic, where the same amount of TMR is supplied to each batch. The maximum temperature, minimum and average, relative humidity and ITH were used to characterize the thermal environment. Moreover Black Globe temperatures placed in different treatments were recorded. Individual milk production of each milking was measured by automatic metering and percentage fat (G) protein (P) and lactose (Lac) 5 days a week was determined. The THI daily average during the test was 70.2 ± 4.38 (mean \pm SD), while the highest Black Globe temperatures in the shade were on average 5.1 °C lower than those recorded in the sun. The results of milk production in liters showed significant differences in favor of SAV treatment that produced 1.7 L/a/d more than the SOL treatment. Corrected for energy production is significantly higher in the SAV treatments and SOM (2.5 and 2.3 kg/a/d respectively) over the SOL treatment. This similar significant difference for SAV and SOM was observed in fat and protein Kg, whereas lactose Kg the difference was only for SAV. The percentage composition is significantly greater for SAV in fat and protein, while the percentage of lactose is not differentiable between treatments. The meteorological summer environment 2012-2013 for conditions in Southern Uruguay, negatively affected the productive performance of animals without protection measures against thermal environment

Key words: Heat stress; Shade; Temperature and Humidity Index; Milk production.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. Arcaro Junior, I.; Rodrigues Pozzi Arcaro, J.; Rodrigues Pozzi, C.; Del Fava, C.; Fagundes, H.; Matarazzo, S.V.; De Oliveira, J.E. 2005. Respostas fisiológicas de vacas em lactação a ventilação e asperção na sala de espera. *Ciênc. Rural* (Santa María). 35 (3): 639-643.
2. Arias, R. A.; Mader, T. L.; Escobar, P. C. 2008. Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche: revisión. *Arch. Med. Vet.* 40: 7-22.
3. 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. 121 p.
4. Barash, H.; Silanikove, N.; Shamay, A.; Ezra, E. 2001. Interrelationships among ambient temperature, day length, and milk yield in dairy cows under a mediterranean climate: *J. Dairy Sci.* 84: 2314-2320.
5. Baumgard, L. H.; Moore, C. E.; Bauman, D. E. 2002. Potential application of conjugated linoleic acids in nutrient partitioning. In: Southwest Nutritional Conference (17th., 2002, s.l.). Proceedings. s.n.t. pp. 127-141.
6. Beede, D. K.; Collier, R. J. 1986. Potential nutritional strategies for intensively managed cattle during thermal stress. *J. Anim. Sci.* 62: 543-554.
7. Berbigier, P. 1988. Bioclimatologie des ruminants domestiques en zone tropicale. Paris, INRA. 237 p.
8. Bianca, W. 1972. Termorregulación. In: Hafez, E. S. E. ed. Adaptación de los animales de granja. México, Herrero. pp. 135-162.
9. Blackshaw, J. K.; Blackshaw, A. W. 1994. Heat stress in cattle and the effect of shade on production and behavior; a review. *Aust. J. Exp. Agric.* 34: 285-295.
10. Brosh, A.; Aharoni, Y.; Degen, A. A.; Wright, D.; Young, B. A. 1998. Effects of solar radiation, dietary energy, and time of feeding on thermoregulatory responses and energy balance in cattle in a hot environment. *J. Anim. Sci.* 76: 2671-2677.

11. Bunting, L. D. 2004. Estrategias nutricionales para cambiar los componentes de la leche. In: Seminario sobre Alimentación y Manejo de Ganado Lechero (2º., 2004, Guadalajara, MX). Efecto de la proteína de soya, los aminoácidos y los micro-minerales en la producción. Querétaro, Mexico, s.e. s.p.
12. Campabadal, C. 1999. Factores que afectan el contenido de sólidos de la leche. *Nutr. Anim. Trop.* 5 (1): 67-92.
13. 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 (5): 844-849.
14. _____.; Dahl, G. E.; Vanbaale, M. J. 2006. Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 89: 1244-1253.
15. Conrad, J. H. 1985. Feeding of farm animals in hot and cold environments. In: Yousef, M. K. ed. *Stress physiology in livestock*. Boca Raton, FL. CRC Press. v.2, pp. 205-226.
16. Cruz, G.; Saravia, C. 2008. Un índice de temperatura y humedad del aire para regionalizar la producción lechera en Uruguay. *Agrociencia* (Montevideo). 12 (1): 56-60.
17. _____. 2009a. Biometeorología del calor sobre la producción de leche de vacas Holstein en Uruguay. Tesis de maestría. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. pp. 43-66.
18. _____.; Urioste, J. I. 2009b. Variabilidad temporal y espacial del Índice de Temperatura y Humedad (ITH) en zonas de producción lechera de Uruguay. *Agrociencia* (Montevideo). 13 (2): 37-46.
19. Davidson, T.; Mc Gowan, M.; Mayer, D.; Young, B.; Jonsson, N.; Hall, A.; Matschoss, A.; Godwin, P.; Gaughan, J.; Lake, M. 1996. *Managing hot cows in Australia*. Brisbane, AU, Queensland Department of Primary Industry. 58 p.

20. Dixon, R. M.; Stockdale, C. R. 1999. Associative effects between forages and grains; consequences for feed utilization. *Aust. J. Agric. Res.* 50: 757-773.
21. du Preez, J. H.; Giesecke, W. H.; Hattingh, P. J. 1990. 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 (1): 77-86.
22. Espinoza, J.; Ortega, R.; Palacios, A.; Guillén, A. 2011. Tolerancia al calor y humedad atmosférica de diferentes grupos raciales de ganado bovino. *Rev. MVZ (Córdoba)*. 16 (1): 2302-2309.
23. Fernández, H.; Guaita, S. 2011. Algunas consideraciones para la alimentación de vacas lecheras en condiciones de estrés calórico. *Balcarce, INTA Lechero*. 10 p.
24. González, V. F. 2004. Estrategias de manejo para mejorar la producción de sólidos totales de vacas Holando en verano. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 86 p.
25. Hahn, G. L. 1981. Housing and management to reduce climatic impacts on livestock. *J. Anim. Sci.* 52 (1): 175-186.
26. Igono, M. O.; Johnson, H. D.; Steevens, V. J.; Krause, G. F.; Shanklin, M. D. 1987. Physiologic, productive, and economic benefits of shade, spray, and fan systems versus shade for Holstein cows during summer heat. *J. Dairy. Sci.* 70: 1069-1079.
27. INIA. GRAS (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Unidad de Agro-Clima y Sistemas de Información, UY). 2003. Datos meteorológicos. (en línea). Montevideo, INIA. s.p. Consultado 01 mar. 2015. Disponible en <http://www.inia.org.uy/online/site/gras.php>
28. Johnson, H. D.; Kibler, H. H.; Ragsdale, A. C.; Berry, I. L.; 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.

29. _____.; Ragsdale, A. C.; Berry, L. L.; Chalklin, M. D. 1962. Effect of various temperature-humidity combinations on milk production of Holstein cattle. Missouri Agricultural Experiment Station. Bulletin no. 791. s.p.
30. _____. 1965. Environmental temperature and lactation (with special reference to cattle). *Int. J. Biometeorol.* 9 (2): 103-116.
31. Kadzere, C. T.; Murphy, M. R.; Silanikove, N.; Maltz, E. 2002. Heat stress in lactating dairy cows; a review. *Liv. Prod. Sci.* 77: 59-91.
32. Khalifa, H. H. 2003. Bioclimatology and adaptation of farm animals in a changing climate. *In: Conference on Interactions Between Climate and Animal Production (54th, 2003, Viterbo, Italy). Interactions between climate and animal production. EAAP Technical series. 7: 15-29.*
33. Mc Dowel, R. E.; Hooven, N. W.; Camoens, J. K. 1976. Effect of climate on performance of Holsteins in first lactation. *J. Dairy Sci.* 59 (5): 965-971.
34. Mader, T.; Davis, S.; Gaughan, J.; Brown-Brandl, T. 2005. Wind speed and solar radiation adjustment for the temperature-humidity index. *In: Conference on Biometeorology and Aerobiology (16th, 2004, Vancouver, BC). Presentations. Boston, MA, American Meteorological Society. s.p.*
35. _____.; _____.; Brown-Brandl, T. 2006. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 84: 712-719.
36. MDN. DNM (Ministerio de Defensa Nacional. Dirección Nacional de Meteorología, UY). s.f. Normales climatológicas 1961-1990; tablas estadísticas. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 01 mar. 2015. Disponible en <http://www.meteorologia.com.uy/ServCli/tablasEstadisticas>
37. Meyer, U.; Everinghoff, M.; Gadeken, D.; Flachowsky, G. 2004. Investigations on the water intake of lactating dairy cows. *Liv. Prod. Sci.* 90: 117-121.

38. 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 rendimiento de leche y sólidos con valor comercial, el recuento de células somáticas y la variación de peso vivo, condición corporal, en vacas lecheras en el último tercio de la lactancia. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 80 p.
39. Pocay, P. L. B.; Pocay, V. G.; Starling, J. M. C.; Silva, R. G. 2001. Respostas fisiológicas de vacas holandesas predominantemente brancas e predominantemente negras sob radiação solar direta. *Ars Veterinaria*. 17 (2): 155-161.
40. Rhoads, M. L.; Rhoads, R. P.; Vanbaale, M. J.; Collier, R. J.; Sanders, S. R.; Weber, W. J.; Crooker, B. A.; Baumgard, L. H. 2009. Effects of heat stress and plane of nutrition on lactating Holstein cows; production, metabolism, and aspect of circulating somatotropin. *J. Dairy Sci.* 92: 1986-1997.
41. Román, L. C.; Saravia, C.; Astigarraga, L.; La Manna, A. 2014. Régimen agroclimático de olas de calor para La Estanzuela, Colonia, Uruguay. In: Reunión Binacional Uruguay-Argentina (1ª.), Reunión Argentina de Agrometeorología (15ª, 2015, Piriápolis, Maldonado). Resúmenes. Río Cuarto, Córdoba, AR, Asociación Argentina de Meteorología. pp. 104-105.
42. Saravia C. 2009. Efecto del estrés calórico sobre las respuestas fisiológicas y productivas en vacas Holando y Jersey. Tesis de Maestría. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 141 p.
43. _____.; Astigarraga, L.; Van Lier, E; Bentancur, O. 2011. Impacto de las olas de calor en vacas lecheras en Salto (Uruguay). *Agrociencia* (Montevideo). 15 (1): 93-102.
44. Spiers, D. E. 2012. Physiological basics of temperature regulation in domestic animals. In: Collier, R. J.; Collier, J. L. ed. *Environmental physiology of livestock*. West Sussex, UK, Wiley-Blackwell. pp. 17-34.
45. Thatcher, W. W.; Gwazdauskas, C. J.; Wilcox, J.; Toms, J.; Head, H. H.; Buffington, D. E.; Fredriksson, W. B. 1974. Milking performance and

reproductive efficiency of dairy cows in an environmentally controlled structure. *J. Dairy Sci.* 57 (3): 304-307.

46. Thom, E. C. 1959. The discomfort index. *Weatherwise.* 12: 57-59.
47. Valtorta, S. E.; Gallardo, M. R. 1996. El estrés por calor en producción lechera. INTA Rafaela. *Miscelánea.* no. 81: 173-185.
48. _____.; 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.
49. _____.; _____.; Castro, H.; Gallardo, M.; Maciel, M.; Guglielmone, A.; Anzani, O. 1998. Producción de leche en verano. Santa Fe, AR, Universidad Nacional del Litoral. 109 p.
50. _____.; Gallardo, M. 2011. Producción y bienestar animal. Estrés por calor en ganado lechero; impactos y mitigación. Buenos Aires, Hemisferio Sur. 125 p.
51. Vitousek, P. M. 1994. Beyond global warming. *Ecology and global change.* *Ecology.* 75: 1861-1876.
52. West, J. W. 2003. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 86: 2131-2144.
53. 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 (ITH) and black globe humidity index (BGHI) on milk production in high producing dairy cows. In: Southwest Nutrition and Management Conference (24th., 2009, Tempe, Arizona). Proceedings. s.n.t. pp. 158-169.

10. ANEXOS

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

Fecha	Día experimental	ITH > 72	Leche	
10/12/2012	0		CL	COMP
11/12/2012	1		CL	
12/12/2012	2	72,4	CL	COMP*
13/12/2012	3		CL	
14/12/2012	4		CL	COMP*
15/12/2012	5	73,2	CL	COMP
16/12/2012	6		CL	COMP
17/12/2012	7		CL	COMP*
18/12/2012	8		CL	
19/12/2012	9		CL	COMP
20/12/2012	10		CL	
21/12/2012	11		CL	
22/12/2012	12		CL	COMP
23/12/2012	13	73,0	CL	
24/12/2012	14	81,7	CL	COMP
25/12/2012	15		CL	COMP
26/12/2012	16		CL	COMP
27/12/2012	17		CL	
28/12/2012	18		CL	
29/12/2012	19		CL	COMP
30/12/2012	20	74,5	CL	
31/12/2012	21	73,2	CL	COMP
01/01/2013	22		CL	COMP
02/01/2013	23		CL	COMP
03/01/2013	24		CL	COMP
04/01/2013	25		CL	COMP
05/01/2013	26	72,5	CL	COMP
06/01/2013	27	73,0	CL	COMP
07/01/2013	28	74,3	CL	COMP
08/01/2013	29	73,0	CL	COMP

09/01/2013	30		CL	COMP
10/01/2013	31		CL	
11/01/2013	32		CL	COMP
12/01/2013	33		CL	COMP
13/01/2013	34	72,1	CL	COMP
14/01/2013	35	73,1	CL	COMP
15/01/2013	36	73,3	CL	COMP
16/01/2013	37	74,0	CL	COMP
17/01/2013	38	74,2	CL	
18/01/2013	39	72,6	CL	
19/01/2013	40		CL	COMP
20/01/2013	41		CL	COMP
21/01/2013	42		CL	COMP
22/01/2013	43		CL	COMP
23/01/2013	44	75,2	CL	COMP
24/01/2013	45	77,1	CL	
25/01/2013	46		CL	
26/01/2013	47		CL	COMP
27/01/2013	48		CL	COMP
28/01/2013	49	73,5	CL	COMP
29/01/2013	50	74,1	CL	COMP
30/01/2013	51	75,0	CL	
31/01/2013	52	76,1	CL	
01/02/2013	53	77,9	CL	COMP
02/02/2013	54		CL	COMP
03/02/2013	55		CL	COMP
04/02/2013	56		CL	COMP
05/02/2013	57		CL	COMP
06/02/2013	58		CL	
07/02/2013	59		CL	COMP
08/02/2013	60	72,4	CL	COMP
09/02/2013	61	74,7	CL	COMP
10/02/2013	62	74,7	CL	COMP
11/02/2013	63	73,6	CL	COMP
12/02/2013	64	75,9	CL	COMP
13/02/2013	65	73,6	CL	COMP

14/02/2013	66	73,2	CL	
15/02/2013	67	73,7	CL	
16/02/2013	68	76,7	CL	COMP
17/02/2013	69	74,5	CL	COMP
18/02/2013	70		CL	COMP
19/02/2013	71		CL	
20/02/2013	72		CL	
21/02/2013	73		CL	
22/02/2013	74		CL	
23/02/2013	75		CL	
24/02/2013	76		CL	
25/02/2013	77		CL	
26/02/2013	78		CL	
27/02/2013	79		CL	COMP
28/02/2013	80		CL	
01/03/2013	81		CL	

CL: control lechero, COMP: composición de la leche, (*): días sin medición del porcentaje de grasa en leche.

Anexo 2. Variables meteorológicas e ITH en los días experimentales

Fecha	Día exp	T med	T max	T mín	HR med	HR max	HR mín	ITH med	ITH max	ITH mín
10/12/2012	0	23,0	32,5	17,5	71	94	37	70,9	89,4	61,6
11/12/2012	1	21,5	28,1	16,3	64	93	31	68,2	81,6	60,1
12/12/2012	2*	24,5	31,9	16,0	63	91	34	72,4	87,9	59,8
13/12/2012	3	23,9	28,3	19,9	49	85	25	70,2	80,9	63,8
14/12/2012	4	23,6	30,2	16,2	56	92	32	70,5	85,1	60,0
15/12/2012	5*	25,1	31,5	20,0	62	85	43	73,2	86,2	64,9
16/12/2012	6	20,9	23,2	18,3	89	97	73	68,9	73,5	63,9
17/12/2012	7	19,9	25,1	14,6	60	96	32	65,7	76,8	58,2
18/12/2012	8	18,6	25,0	14,7	78	91	57	64,6	76,1	58,4
19/12/2012	9	21,7	24,3	17,4	84	90	73	69,9	74,8	62,5
20/12/2012	10	20,3	23,3	17,1	86	94	71	67,7	73,4	62,0
21/12/2012	11	21,0	26,8	15,2	54	94	24	66,8	79,5	58,8
22/12/2012	12	22,5	30,0	14,6	50	85	23	68,5	83,7	58,2
23/12/2012	13*	24,6	32,5	16,4	67	90	45	73,0	88,7	60,5
24/12/2012	14*	30,0	35,8	24,0	72	90	49	81,7	94,3	70,4

25/12/2012	15	22,5	27,8	17,4	75	98	45	70,5	81,8	61,7
26/12/2012	16	18,7	22,4	16,1	68	90	46	64,3	71,5	60,1
27/12/2012	17	18,3	22,4	14,0	72	91	52	63,9	71,6	57,4
28/12/2012	18	20,0	27,1	14,2	65	89	39	66,1	79,4	57,7
29/12/2012	19	22,7	28,3	17,8	64	89	43	69,9	81,4	62,1
30/12/2012	20*	25,7	32,3	18,1	66	89	34	74,5	88,2	62,2
31/12/2012	21*	24,3	31,7	18,1	74	95	46	73,2	88,2	62,6
01/01/2013	22	16,1	20,6	12,3	57	73	40	60,3	67,4	55,4
02/01/2013	23	16,9	22,2	12,0	63	89	41	61,5	71,1	55,0
03/01/2013	24	19,2	26,2	11,5	65	88	38	64,9	77,8	54,5
04/01/2013	25	23,4	31,0	16,8	74	92	46	71,8	86,5	61,0
05/01/2013	26*	23,9	30,1	18,8	73	89	52	72,5	84,5	63,8
06/01/2013	27*	23,9	29,6	18,6	78	91	59	73,0	83,9	63,8
07/01/2013	28*	25,1	31,0	21,0	73	91	43	74,3	86,3	66,1
08/01/2013	29*	24,2	29,2	20,9	73	86	55	73,0	82,5	66,7
09/01/2013	30	23,5	29,6	15,3	65	91	41	71,2	83,9	59,0
10/01/2013	31	23,9	30,4	17,3	61	89	39	71,4	85,0	61,4
11/01/2013	32	23,4	31,6	17,2	58	97	27	70,4	88,4	61,0
12/01/2013	33	22,5	28,9	15,3	64	93	37	69,6	83,0	59,0
13/01/2013	34*	24,3	29,2	18,0	63	86	42	72,1	82,5	62,4
14/01/2013	35*	24,4	29,2	17,0	71	90	46	73,1	83,1	61,2
15/01/2013	36*	24,7	29,0	19,8	69	87	38	73,3	82,3	64,4
16/01/2013	37*	25,2	30,0	18,8	68	89	41	74,0	84,3	63,3
17/01/2013	38*	24,7	27,1	21,8	78	87	60	74,2	79,2	68,3
18/01/2013	39*	23,8	27,0	20,1	76	87	57	72,6	79,0	65,8
19/01/2013	40	20,6	25,2	16,1	76	89	58	67,6	76,2	60,3
20/01/2013	41	20,5	24,9	13,5	68	91	51	67,0	75,9	56,8
21/01/2013	42	21,1	26,3	15,0	72	91	42	68,1	78,3	58,7
22/01/2013	43	23,4	29,9	17,6	70	88	37	71,5	84,0	61,7
23/01/2013	44*	25,9	33,2	20,0	70	88	42	75,2	89,5	64,8
24/01/2013	45*	27,3	34,6	19,7	68	90	37	77,1	92,3	64,2
25/01/2013	46	17,9	22,0	14,1	61	88	39	62,9	70,7	57,6
26/01/2013	47	19,4	26,1	11,0	46	61	27	64,3	74,5	54,3
27/01/2013	48	23,3	31,3	14,8	46	59	16	69,2	81,5	58,3
28/01/2013	49*	26,6	34,6	19,2	47	64	33	73,5	87,1	63,4
29/01/2013	50*	26,1	31,5	21,0	58	83	36	74,1	85,8	65,6
30/01/2013	51*	26,0	34,0	20,0	67	91	31	75,0	91,5	64,2
31/01/2013	52*	26,1	32,2	20,8	75	89	48	76,1	88,0	66,2
01/02/2013	53*	28,2	35,5	21,0	64	90	39	77,9	93,8	65,8

02/02/2013	54	23,6	27,1	20,4	68	85	46	71,6	78,9	65,5
03/02/2013	55	19,2	22,7	14,0	56	74	38	64,5	70,7	57,5
04/02/2013	56	19,0	27,0	9,8	62	91	25	64,5	79,5	53,1
05/02/2013	57	22,3	30,5	14,1	59	89	30	69,0	85,2	57,6
06/02/2013	58	23,1	30,3	16,2	65	89	35	70,6	84,8	60,0
07/02/2013	59	22,9	30,3	15,6	74	91	37	71,0	85,1	59,4
08/02/2013	60*	24,1	30,8	18,9	69	91	42	72,4	86,0	63,5
09/02/2013	61*	25,6	33,8	19,6	69	89	36	74,7	90,7	64,0
10/02/2013	62*	24,9	32,4	21,0	80	96	41	74,7	89,6	66,0
11/02/2013	63*	24,5	29,3	21,2	75	95	45	73,6	84,0	66,5
12/02/2013	64*	26,4	32,4	19,8	69	92	39	75,9	88,9	64,4
13/02/2013	65*	24,6	31,1	21,1	73	91	38	73,6	86,5	65,9
14/02/2013	66*	24,0	29,8	19,8	79	93	54	73,2	84,6	65,2
15/02/2013	67*	24,7	30,8	18,2	73	97	48	73,7	87,0	62,8
16/02/2013	68*	26,8	33,5	21,0	71	90	36	76,7	90,4	65,6
17/02/2013	69*	25,3	29,8	20,2	72	93	50	74,5	84,6	65,5
18/02/2013	70	20,4	23,4	16,7	54	68	37	66,0	71,3	60,7
19/02/2013	71	16,5	18,6	14,7	75	87	60	61,2	64,9	58,4
20/02/2013	72	18,4	23,0	15,7	84	98	66	64,5	73,2	59,8
21/02/2013	73	19,3	24,5	17,0	84	98	51	66,0	75,9	61,4
22/02/2013	74	20,9	28,1	15,5	67	91	39	67,5	81,4	59,3
23/02/2013	75	23,0	29,0	17,1	68	91	45	70,7	82,9	61,3
24/02/2013	76	21,8	26,2	19,8	88	100	70	70,4	79,2	66,0
25/02/2013	77	17,9	22,4	15,7	69	91	40	63,2	71,6	59,5
26/02/2013	78	16,1	21,5	9,2	67	93	47	60,4	70,2	51,3
27/02/2013	79	17,1	23,4	10,0	68	97	27	61,9	73,9	53,2
28/02/2013	80	18,6	25,7	13,2	71	91	39	64,3	77,3	56,5
01/03/2013	81	21,7	29,2	14,5	67	91	39	68,7	83,2	58,1

T med: temperatura media diaria, T max: temperatura máxima diaria, T mín: temperatura mínima diaria, HR med: humedad relativa del aire media diaria, HR max: humedad relativa del aire máxima diaria, HR mín: humedad relativa del aire mínima diaria, ITH med: ITH medio diario, ITH max: ITH máximo diario, ITH mín: ITH mínimo diario, (*): Días con ITH > 72.

Anexo 3. Cantidad de horas por día en que las temperaturas de las esferas al sol y bajo la sombra artificial son significativamente diferentes (P)

Fecha	Día exp	Cantidad			Horario		
		SAV vs SOM	SOM vs SOL	SAV vs SOL	SAV vs SOM	SOM vs SOL	SAV vs SOL
10/12/2012	0						
11/12/2012	1	1	4	5	12	16 19	12
12/12/2012	2*	2	2	3	11 12	12 15	11 15 17
13/12/2012	3	0	6	4		12 13 15a18	15 a 18
14/12/2012	4	0	0	0			
15/12/2012	5*	0	3	2		15 17 18	17 18
16/12/2012	6	0	0	0			
17/12/2012	7	0	2	2		15 16	15 16
18/12/2012	8	0	0	1			18
19/12/2012	9	0	0	0			
20/12/2012	10	0	0	0			
21/12/2012	11	0	7	6		12 14 a 19	12 15 a 19
22/12/2012	12	0	1	0		15	
23/12/2012	13*	0	6	5		13 a 18	13 15 a 18
24/12/2012	14*	0	0	0			
25/12/2012	15	0	0	0			
26/12/2012	16	0	0	0			
27/12/2012	17	0	2	3		12 14	12 14 18
28/12/2012	18	0	0	2			17 18
29/12/2012	19	0	0	0			
30/12/2012	20*	0	2	2		17 18	17 18
31/12/2012	21*	0	0	0			
01/01/2013	22	0	0	0			
02/01/2013	23	0	1	2		17	17 18
03/01/2013	24	0	0	1			17
04/01/2013	25	0	4	4		12 15 16	12 13 16 17
05/01/2013	26*	0	0	0			
06/01/2013	27*	0	1	1		12	12
07/01/2013	28*	0	3	5		16 18	15 a 19
08/01/2013	29*	0	3	4		12 a 14	12 a 16
09/01/2013	30	0	0	5		12 a 16	

10/01/2013	31	0	2	5		13 14	12 a 16
11/01/2013	32	0	0	4		12 13 17 18	
12/01/2013	33	0	1	3		16	15 a 17
13/01/2013	34*	0	3	4		12 a 14	12 a 14
14/01/2013	35*	0	1	1		12	12
15/01/2013	36*	0	1	3		13	13 a 15
16/01/2013	37*	0	3	2		13 14 16	14 16
17/01/2013	38*	0	1	1		12	12
18/01/2013	39*	0	1	2		12	12 13
19/01/2013	40	0	0	0			
20/01/2013	41	0	1	1		12	12
21/01/2013	42	0	1	1		13	13
22/01/2013	43	0	3	4		13 15	13 15 18
23/01/2013	44*	0	0	2			16 18
24/01/2013	45*	0	0	1			17
25/01/2013	46	0	1	0		12	
26/01/2013	47	0	3	4		15 18 19	15 17 a 19
27/01/2013	48	0	1	1		15	17
28/01/2013	49*	0	0	1			17
29/01/2013	50*	0	3	3		12 13 15	12 13 15
30/01/2013	51*	0	2	3		12 14	12 14 17
31/01/2013	52*	0	2	3		13 15	11 13 15
01/02/2013	53*	0	0	0			
02/02/2013	54	0	0	0			
03/02/2013	55	0	0	0			
04/02/2013	56	0	5	5		12 a 16	12 a 16
05/02/2013	57	0	3	4		12 13 15	12 13 15 17
06/02/2013	58	0	2	2		12 14	12 14
07/02/2013	59	0	2	2		12 14	12 14
08/02/2013	60*	0	2	2		12 13	12 13
09/02/2013	61*	0	3	3		12 13 15	12 13 14
10/02/2013	62*	0	0	1			13
11/02/2013	63*	0	1	3		16	16 17 18
12/02/2013	64*	0	0	0			
13/02/2013	65*	0	0	0			
14/02/2013	66*	0	3	3		12 14 15	12 15 17
15/02/2013	67*	0	2	2		12 13	12 13
16/02/2013	68*	0	1	2		14	14 16

17/02/2013	69*	0	0	1			17
18/02/2013	70	0	0	0			
19/02/2013	71	0	0	0			
20/02/2013	72	0	0	0			
21/02/2013	73	0	0	0			
22/02/2013	74	0	0	2			12 18
23/02/2013	75	0	0	0			
24/02/2013	76	0	0	0			
25/02/2013	77	0	0	0			
26/02/2013	78	0	0	0			
27/02/2013	79	0	1	4		18	12 13 14 18
28/02/2013	80	1	0	1	17		17
01/03/2013	81	0	0	0			

(*): Días con ITH > 72