

## Impacto de las olas de calor en vacas lecheras en Salto (Uruguay)

Saravia Celmira<sup>1</sup>, Astigarraga Laura<sup>2</sup>, Van Lier Elize<sup>2</sup>, Bentancur Oscar<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Unidad de Sistemas Ambientales, Estación Experimental de Facultad de Agronomía en Salto, ruta 31 km 21,5; Salto, Uruguay.

<sup>2</sup>Departamento de Producción Animal y Pasturas, Facultad de Agronomía, Universidad de la República; Montevideo.

<sup>3</sup>Departamento de Biometría, Estadística y Cómputo, Estación Experimental Mario A. Cassinoni, Universidad de la República; Paysandú.

Recibido: 18/12/09 Aceptado: 3/3/11

### Resumen

El objetivo de este trabajo fue caracterizar la ocurrencia de condicionantes meteorológicas (CM) estivales de diferente severidad en Salto (Uruguay) y su impacto sobre las respuestas fisiológicas y productivas de vacas lecheras. Se caracterizaron las CM según el índice de temperatura y humedad (ITH) promedio, horas al día con  $ITH \geq 72$  y las temperaturas mínima y máxima diaria. En los animales, se registró la temperatura rectal (TR) y la frecuencia respiratoria (FR) a las 6:00 y 15:00 horas, también el tiempo dedicado al pastoreo (TP) durante el día. Se identificó una ola de calor severa (OCS), tres olas de calor leve (OCL) y días de no ola de calor (NOC). La FR y la TR de las vacas variaron en función de CM ( $P < 0,0001$ ). Las FR y TR (6:00 y 15:00) fueron mayores en OCS con respecto a OCL y a NOC ( $P < 0,0001$ ). El TP fue menor durante OCS con respecto a OCL y NOC ( $P < 0,0001$ ). La producción de leche, grasa y proteína fueron menores en OCS ( $P < 0,0001$ ) con respecto a OCL y NOC. El recuento de células somáticas fue mayor en OCS que en OCL, pero no que en NOC ( $P = 0,0618$ ). Durante OCS las vacas no lograron mantener la normotermia y tuvieron menor TP, reduciendo la productividad. En OCL las vacas recuperaron la normotermia durante la noche, no reduciendo la productividad en comparación a los días NOC.

**Palabras clave:** estrés calórico, temperatura rectal, frecuencia respiratoria, tiempo de pastoreo, producción y composición de leche

### Summary

## Impact of Heat Waves on Dairy Cows in Salto (Uruguay)

The aim of this study was to characterise summer meteorological determining factors (MDF) of different severity in Salto (Uruguay) and their impact on the physiological and productive responses of dairy cows. The MDF were characterised according to the mean temperature-humidity index (THI), average hours per day with  $THI \geq 72$  and minimum and maximum daily temperatures. Rectal temperature (RT) and respiratory frequency (RF) of the cows were taken at 6:00 and 15:00 h, and the time spent grazing (GT) during daytime. One severe heat wave (SHW), three light heat waves (LHW) and days of no heat wave (NHW) were identified.

The MDF affected RT and RF of the cows ( $P < 0,0001$ ). The RF and RT (6:00 and 15:00) were higher in SHW compared to LHW and NHW ( $P < 0,0001$ ). Grazing time was less during SHW compared to LHW and NHW ( $P < 0,0001$ ). The production of milk, fat and protein were lower during SHW ( $P < 0,0001$ ) than during LHW and NHW. Somatic cell count was lower during SHW than LHW but not NHW ( $P = 0,0618$ ). During SHW cows did not

maintain normothermia and spent less time grazing, reducing productivity. During LHW cows recovered normothermia during the night, with no reduction in productivity compared to NHW.

**Key words:** heat stress, rectal temperature, respiratory frequency, grazing time, milk production and composition

## Introducción

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

Los animales están adaptados a las condiciones ambientales en las que viven, sin embargo hay ciertas ocasiones en las que sufren estrés térmico debido a las variaciones térmicas o bien por una combinación de factores negativos a los que se someten durante un corto período de tiempo. Estos períodos anormalmente cálidos y generalmente húmedos de tres días consecutivos o más se denominan olas de calor (Ministerio de Defensa, 2000). Estas son eventos meteorológicos extremos que provocan pérdi-

das económicas en la producción agropecuaria por reducir la productividad de los animales e incluso provocarles la muerte (St-Pierre *et al.*, 2003). Se han documentado eventos de olas de calor con grandes pérdidas económicas en distintas localidades en todo el mundo (Nienaber y Hahn, 2007).

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

ros, con o sin acceso voluntario a sombra artificial, pero los resultados de estos dos últimos efectos son reportados en otro trabajo (Saravia, 2009).

## Materiales y métodos

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

### Diseño experimental y determinaciones en los animales

El diseño experimental consistió en un arreglo factorial completo donde se evaluaron dos biotipos (Holando y Jersey) y dos ambientes (con y sin acceso voluntario a sombra artificial). Se utilizaron 20 vacas lecheras primíparas, 10 Holando y 10 Jersey, de época de parición primavera-estival. Al inicio del período experimental las vacas tenían en promedio ( $\pm$  DE) 21  $\pm$  31 días de paridas, con un peso vivo ( $\pm$  DE) de 311  $\pm$  22,6 kg y 416  $\pm$  46,8 kg, una condición corporal ( $\pm$  DE) de 3,5  $\pm$  0,4 y de 3,5  $\pm$  0,5 y una edad promedio ( $\pm$  DE) de 27  $\pm$  3 meses y de 31  $\pm$  1 meses para las vacas Jersey y para las vacas Holando respectivamente.

Durante el período experimental los animales pastorearon sorgo forrajero (*Sorghum bicolor* L.) en franjas diarias con una asignación del 6% del peso vivo determinada semanalmente (la disponibilidad se determinó por el Método de Rendimientos Comparativos de Haydock y Shaw, 1975, un día antes del ingreso a la franja) estimando una utilización del 50% de la biomasa ofrecida (biomasa a 10 cm del suelo). Los animales fueron suplementados con afrechillo de arroz a razón de un 1,5% del peso vivo ofrecido en dos veces, durante cada ordeño (6:30 y 15:30 horas). Una vez por semana, después del ordeño matutino (sin desbaste previo), se determinó peso vivo en una balanza electrónica (True Test de 0,5 kg de precisión). En cada ordeño se registró la producción individual de leche con medidores MM6 DeLaval. Cinco días a la semana se extrajeron muestras de leche en cada ordeño a las cuales se les agregó el conservador (2-bromo-2-nitro-1,3 propanediol) y fueron almacenados a -20 °C hasta procesamiento por el Laboratorio de Leche (INIA La Estanzuela, Depar-

tamento de Colonia). Las determinaciones de los contenidos de lactosa, grasa, proteína y sólidos no grasos se realizaron según la técnica establecida en IDF Standart 141 A (FIL-IDF, 1990). Para la determinación del recuento de células somáticas se tomaron dos veces por semana muestras del ordeño matutino y vespertino, las cuales fueron conservadas a 5 °C y enviadas al Laboratorio de Análisis de leche (Cooperativa Laboratorio Veterinario de Colonia COLAVECO, Nueva Helvecia, Departamento de Colonia), donde fueron analizadas según la técnica establecida en IDF Standart 148 (FIL-IDF, 1991).

Considerando las diferencias en las concentraciones de los componentes (grasa, proteína, lactosa) en la leche de los diferentes biotipos, la producción diaria de leche fue corregida por sólidos (LCS) en función de la cantidad de grasa y de sólidos no grasos según la ecuación propuesta por Tyrrell y Reid (1965). La producción de leche corregida por sólidos y la producción de grasa y proteína fueron expresadas por peso metabólico (PV<sup>0,75</sup>) (Kleiber y Mead, 1941; Gaines, 1946).

Tres veces a la semana o todos los días ante pronóstico de temperaturas elevadas, se realizaron las medidas de temperatura rectal (TR) y frecuencia respiratoria (FR) previo a cada ordeño a las 6:00 y 15:00 horas (TR<sub>6:00'</sub>, FR<sub>6:00'</sub> y TR<sub>15:00'</sub>, FR<sub>15:00'</sub> respectivamente). La temperatura rectal fue determinada mediante termómetro de máxima de mercurio de 0,1 °C de precisión. La frecuencia respiratoria fue determinada por apreciación visual del movimiento de los flancos durante un minuto, expresada en respiraciones por minuto (r.p.m.).

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

Para el cálculo del Índice de Temperatura y Humedad (ITH) (Thom, 1959) se utilizaron registros horarios de temperatura y humedad del aire de una estación meteorológica automática (Watchdog Mo-

del 900ET, Spectrum Technologies Inc., Plainfield, IL) ubicada en el Parque Agrometeorológico de la EEFAS cercano a la sala de ordeño y a 2,5 km del lugar de pastoreo. El ITH fue calculado usando la conversión de Valtorta y Gallardo (1996).

### Caracterización de las condicionantes meteorológicas

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

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

### Análisis estadístico

Los registros de la variable producción de leche (corregida por sólidos y peso metabólico, expresada en kg/kg<sup>0,75</sup>), producción de grasa, producción de proteína, (en g/kg<sup>0,75</sup>) y las medidas fisiológicas temperatura rectal y frecuencia respiratoria de las 6:00 y las 15:00 horas se analizaron ajustando un modelo lineal general de efectos fijos y de sus interacciones, con medidas repetidas en el tiempo. La estructura de correlación ajustada fue autorregresiva de orden 1. Se utilizó para el análisis el procedimiento Mixed del paquete estadístico SAS (SAS Institute, Cary, NC, 2006). Dado que las interacciones no resultaron significativas se presentan solo los resultados referentes al efecto Condicionante Meteorológica.

Para el análisis de la producción y de la composición de leche se consideraron dos covariables: el valor medio de las observaciones de la misma obtenidas durante los días 1 al 7 inclusive del experimento (21 al 28 diciembre de 2005); y el número de días desde la parición de cada vaca al 28 de diciembre de 2005. Las covariables fueron extraídas del modelo cuando no fueron significativas. Las medias de los efectos significativos fueron comparadas usando el test de Tukey. Se utilizó un nivel de significancia crítico de 10%.

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

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

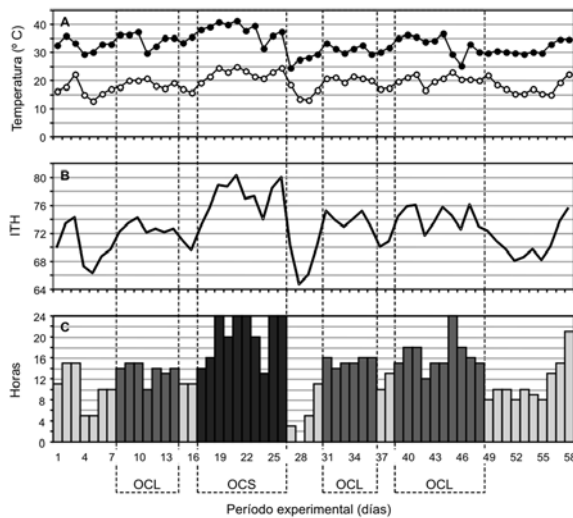
La probabilidad de tiempo dedicado al pastoreo (TP) se analizó ajustando un modelo lineal generalizado de medidas repetidas en el tiempo con el procedimiento GLIMMIX del paquete estadístico SAS (SAS Institute, Cary, NC, 2006). Se asumió que el número de observaciones de tiempo dedicado al pastoreo en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

## Resultados

### Ambiente atmosférico

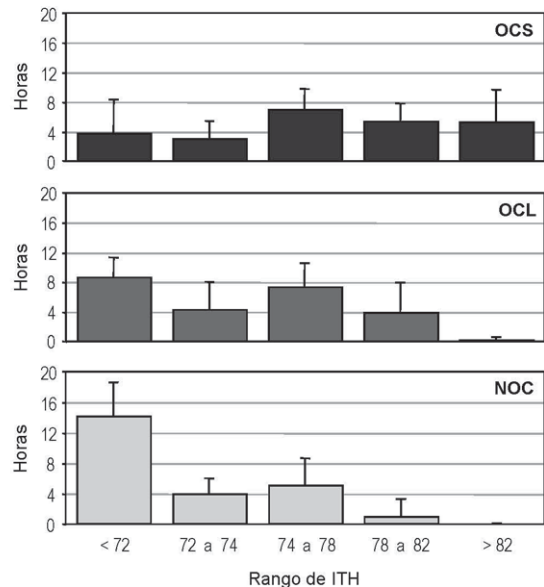
La temperatura promedio en el período experimental fue de 25,9 °C ( $\pm 2,7$  DE) y la humedad relativa 55% ( $\pm 14$  DE). La temperatura máxima promedio fue de 32,9 °C con una máxima absoluta de 41,1 °C ocurrida el 10 de enero. La temperatura mínima promedio fue de 18,9 °C registrándose la mínima absoluta de 12,6 °C el 25 de diciembre. El ITH promedio diario durante el experimento fue de 72,6 ( $\pm 3,47$  DE).

En la Figura 1 se presenta la ocurrencia de las tres condicionantes meteorológicas a lo largo del



**Figura 1.** A) Temperatura del aire (°C) diaria máxima (círculos cerrados) y mínima (círculos abiertos); B) ITH promedio diario (línea) y C) cantidad de horas al día con ITH >72 (barras).

período experimental. Se identificó una **ola de calor severa** (OCS) de una duración de diez días en total que comprendió del 6 al 15 de enero inclusive (días experimentales 17 al 26). La OCS comenzó con dos días de 14 y 16 horas de ITH  $\geq 72$  (lo que ya permitió definir el comienzo de una ola de calor) y temperaturas mínimas de 19 y 21 °C, respectivamente. A partir del tercer día comenzaron a sucederse días con 24 horas con ITH  $\geq 72$  y temperaturas mínimas superiores a 23 °C. Como condicionante meteorológica **ola de calor leve** (OCL) se identificaron tres que duraron siete, seis y diez días (Cuadro 1), totalizando 23 días. Los días de OCL se caracterizaron por tener catorce horas o más al día con ITH >72; ITH promedio diario  $\geq 72$  durante casi la totalidad de los días y temperaturas máximas >29 °C en veintidós de los días. Sin embargo, el descenso de la temperatura durante la noche resultó en temperaturas mínimas menores a 23 °C, e ITH menores a 72 de 6,4 a 10,4 horas (Figura 2). El resto de los días que no cumplieron con los criterios de definición de ola de calor, días de **no ola de calor** (NOC), fueron el 43% restante de los días del período experimental (veinticinco días). Los NOC se caracterizaron por tener una temperatura máxima promedio de 30,9 °C, temperatura mínima promedio de 16,7 °C e ITH



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

promedio diario de 69,8. Presentaron en promedio 10 horas al día con ITH mayores o iguales a 72, pero con una variación de 0 a 21 horas según el día. Los resultados de las variables meteorológicas temperatura, humedad del aire e ITH durante las condicionantes meteorológicas OCS, OCL y NOC se presentan en el Cuadro 1.

### Respuesta animal

Las respuestas fisiológicas (FR, TR) de las vacas variaron en función de las condicionantes meteorológicas ( $P < 0,0001$ ) (Cuadro 2). Los valores observados de FR y TR tanto a las 6:00 como a las 15:00 fueron mayores en OCS con respecto a OCL y a NOC.

El tiempo total dedicado al pastoreo durante el período de observación difirió significativamente ( $P < 0,0001$ ) según la condicionante meteorológica siendo menor el tiempo de pastoreo total durante OCS con respecto a OCL, y NOC, mientras que éste fue similar entre OCL y NOC. Dentro de cada turno de observación (turno 1, turno 2 y turno 3) también se encontraron diferencias significativas ( $P < 0,0001$ ) según la condicionante meteorológica. En el turno 1 (de 8:00 a 11:00) se observó el menor tiempo dedi-

**Cuadro 1.** Temperatura (°C), humedad del aire (%) e Índice de temperatura y humedad (medias  $\pm$  DE), en cada condicionante meteorológica.

	Día experimental	T med	T máx	T min	HR	ITH med	ITH máx	ITH min	Horas ITH> 72	Horas ITH> 78	Horas ITH> 82
OCS	17 – 26	29,3 $\pm$ 2,4	37,9 $\pm$ 2,9	22,5 $\pm$ 1,9	57 $\pm$ 18	77,2 $\pm$ 2,5	83,3 $\pm$ 1,9	71,3 $\pm$ 3,2	85	22	22
OCL	8 – 14 31 – 36, 39 – 48	26,3 $\pm$ 1,6	32,8 $\pm$ 3,1	19,8 $\pm$ 1,5	60 $\pm$ 15	73,7 $\pm$ 1,4	78,8 $\pm$ 2,0	67,3 $\pm$ 2,5	64	16	0,4
NOC	1 – 7, 15 – 16, 27 – 30, 37, 38, 49 – 58	24,2 $\pm$ 2,1	30,9 $\pm$ 2,7	16,7 $\pm$ 2,5	51 $\pm$ 12	69,8 $\pm$ 2,6	75,9 $\pm$ 2,5	61,8 4,0	46	4	0

OCS = Ola de calor severa; OCL = Olas de calor leve; NOC = no ola de calor; Tmed = temperatura media; Tmáx = temperatura máxima media; Tmin = temperatura mínima media; HR = humedad relativa; ITHmed = Índice de temperatura y humedad promedio diario; ITHmáx = Índice de temperatura y humedad máximo medio; ITHmin = Índice de temperatura y humedad mínimo medio; Horas ITH> 72 = Horas con ITH mayores a 72 (%); Horas ITH> 78 = Horas con ITH mayores a 78 (%); Horas ITH> 82 = Horas con ITH mayores a 82 (%).

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

Condicionantes meteorológicas	FR <sub>6:00</sub>	FR <sub>15:00</sub>	TR <sub>6:00</sub>	TR <sub>15:00</sub>
OCS	34,8 $\pm$ 0,83 a	70,2 $\pm$ 1,76 a	38,8 $\pm$ 0,04 a	39,8 $\pm$ 0,08 a
OCL	29,9 $\pm$ 0,52 b	65,9 $\pm$ 1,17 b	38,5 $\pm$ 0,02 b	39,6 $\pm$ 0,05 b
NOC	25,8 $\pm$ 0,51 c	55,0 $\pm$ 1,17 b	38,4 $\pm$ 0,02 b	39,3 $\pm$ 0,05 c

Medias seguidas de letras distintas indican diferencias significativas en la columna ( $P<0,05$ ). OCS = ola de calor severa; OCL= olas de calor leve; NOC = días de no ola de calor; FR<sub>6:00</sub> = Frecuencia respiratoria registrada a la hora 6:00; FR<sub>15:00</sub> = Frecuencia respiratoria registrada a la hora 15:00; TR<sub>6:00</sub> = Temperatura rectal registrada a la hora 6:00; TR<sub>15:00</sub> = temperatura rectal registrada a la hora 15:00.

cado al pastoreo durante OCS en comparación a OCL y NOC~ en el turno 2 (de 11:00 a 14:00) tanto en OCS como OCL se observó un menor tiempo dedicado al pastoreo, menor que en NOC y en el turno 3 (de 18:00 a 21:00) el tiempo dedicado al pastoreo fue mayor en OCL con respecto a OCS y NOC (Cuadro 3).

Las condicionantes meteorológicas afectaron significativamente la respuesta productiva de las vacas,

tanto en producción de leche que resultó significativamente ( $P<0,0001$ ) menor en OCS con respecto a las otras dos condicionantes meteorológicas, como así también en producción de grasa y proteína ( $P<0,0001$ ). El recuento de células somáticas fue diferente entre condicionantes meteorológicas ( $P=0,0618$ ) registrándose los mayores valores durante OCS (aunque no difirió de NOC) (Cuadro 4).

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

Condicionantes meteorológicas	Turno 1	Turno 2	Turno 3	Total
OCS	104 $\pm$ 6,1 b	25 $\pm$ 3,7 b	108 $\pm$ 8,8 b	222 $\pm$ 12,6 b
OCL	137 $\pm$ 4,7 a	18 $\pm$ 4,1 b	148 $\pm$ 6,3 a	292 $\pm$ 15,7 a
NOC	129 $\pm$ 4,7 a	55 $\pm$ 4,3 a	119 $\pm$ 4,3 b	306 $\pm$ 8,3 a

Medias seguidas de letras distintas indican diferencias significativas en la columna ( $P<0,05$ ).

OCS = ola de calor severa; OCL= olas de calor leve; NOC = días de no ola de calor; Turno 1 = tiempo dedicado al pastoreo observado entre las 8:00 y 11:00; Turno 2 = tiempo dedicado al pastoreo observado entre las 11:00 y 14:00; Turno 3 = tiempo dedicado al pastoreo observado entre las 18:00 y 21:00; Total = Tiempo dedicado total al pastoreo en los tres turnos de observación.

**Cuadro 4.** Producción de leche corregida por sólidos ( $\text{kg/kg}^{0,75}$ ), producción de grasa ( $\text{g/kg}^{0,75}$ ) y producción de proteína ( $\text{g/kg}^{0,75}$ ), y recuento de células somáticas (1000 cell/ml) en cada condicionante meteorológica (media  $\pm$  EEM).

Condicionantes meteorológicas	LCS/PM	G/PM	P/PM	RCS
OCS	0,147 $\pm$ 0,0028 <b>b</b>	5,77 $\pm$ 0,148 <b>b</b>	4,42 $\pm$ 0,126 <b>b</b>	53,381 $\pm$ 6,501 <b>a</b>
OCL	0,181 $\pm$ 0,0020 <b>a</b>	6,99 $\pm$ 0,098 <b>a</b>	5,48 $\pm$ 0,088 <b>a</b>	43,047 $\pm$ 5,236 <b>b</b>
NOC	0,178 $\pm$ 0,0021 <b>a</b>	7,03 $\pm$ 0,104 <b>a</b>	5,31 $\pm$ 0,095 <b>a</b>	51,739 $\pm$ 5,754 <b>ab</b>

Medias seguidas de letras distintas indican diferencias significativas en la columna ( $P < 0,1$ ) OCS = ola de calor severa; OCL = olas de calor leve; NOC = días de no ola de calor; LCS/PM = leche corregida por sólidos y peso metabólico; G/PM = Producción de grasa en leche corregida por peso metabólico; P/PM = Producción de proteína en leche corregida por peso metabólico; RCS = recuento de células somáticas en leche.

## Discusión

Las condicionantes meteorológicas denominadas para este trabajo olas de calor leves (OCL) y ola de calor severa (OCS) (Valtorta *et al.*, 2002; Rodríguez *et al.*, 2003; Nienaber *et al.*, 2003; Valtorta, *et al.*, 2004) representaron el 57% del tiempo experimental (en total 33 días). OCS se caracterizó por elevadas temperaturas máximas (entre 31,1 y 41,1 °C), lo que determinó la ocurrencia de niveles de ITH considerados de emergencia (ITH > 82) (Information release, 1970, citado por du Preez *et al.*, 1990) durante cinco a nueve horas al día totalizando 22 % de horas con ITH por encima del umbral de peligro 78 (Cuadro 1). El conjunto de estas características permitió definir esta condicionante meteorológica como una ola de calor severa (Nienaber, *et al.*, 2003). Los días de ola de calor leve se caracterizaron por presentar condiciones meteorológicas en la fase diurna de elevadas temperaturas y contenidos de humedad del aire que determinaron niveles de ITH considerados de peligro (ITH entre 78 y 82) durante cuatro a ocho horas al día (Figura 2) pero el descenso de temperatura durante la noche permitió condiciones de recuperación nocturna de la normotermia en las vacas (Nienaber *et al.*, 2003). Durante NOC, en promedio cinco horas al día el ITH se encontró entre 74 y 78, y solo en cuatro de los veinticinco días NOC (un 16% de los días) se registraron valores horarios (de cuatro a ocho horas) superiores a 78, lo que estaría indicando que aunque existieron condiciones de altas temperaturas diurnas se dieron por pocas horas al día y solo en algunos de los días, contras-

tando con las condicionantes meteorológicas olas de calor.

Las condicionantes meteorológicas tuvieron diferente impacto sobre las respuestas fisiológicas de las vacas. A las horas de alta temperatura del aire (temperatura máxima media de todo el período experimental: 32,9 °C) la  $FR_{15:00}$  medida en las vacas presentó valores superiores a las 65 r.p.m. tanto en OCS como en OCL, indicando situaciones de estrés calórico para vacas en lactación de medio a alto (Thomas y Pearson, 1986; Gaughan *et al.*, 1999). Estos resultados observados en las tres condicionantes meteorológicas están en acuerdo con los resultados encontrados por Muller *et al.* (1994) en vacas lecheras en días con temperaturas máximas mayores a 25 °C (temperatura crítica máxima para vacas Holando en lactación según Berman *et al.*, 1985). Mientras que en NOC la  $FR_{15:00}$  promedió 55 r.p.m., valor considerado de estrés calórico leve según Thomas y Pearson (1986). A pesar de estas altas frecuencias respiratorias, las  $TR_{15:00}$  estuvieron siempre por encima de 39,0 °C considerado el límite superior de la normotermia (Seath y Miller, 1946; Hansen *et al.*, 1992) registrándose los mayores valores en OCS (39,8 °C) y en OCL (39,6 °C) con respecto a NOC (39,3 °C), lo cual estaría indicando las dificultades para mantener la temperatura corporal en las condicionantes más extremas. Según Muller y Botha (1993) y en acuerdo con McDowell *et al.* (1953) y Legates *et al.* (1991), los bovinos incrementan su frecuencia respiratoria en condiciones cálidas, debido a la alta radiación solar, para reducir su temperatura rectal. Sin embargo, a diferencia de lo ocurri-

do en OCS, en OCL las temperaturas e ITH diurnos altos son alternados con períodos nocturnos (entre las 21:00 y las 6:00 horas) con ITH menores a 72 (ITH promedio de 70,4) y con temperaturas promedio de 23,1 °C. Estas condiciones les permiten a las vacas lecheras disipar la carga calórica acumulada durante el período diurno (Thomas y Pearson, 1986; Gaughan *et al.*, 1999) presentando  $TR_{6,00}$  similares a NOC (Cuadro 2).

El tiempo total dedicado al pastoreo durante el período de observación fue menor en OCS (41,1% menor) con respecto a NOC. Esta disminución se apreció desde temprano, en el turno 1, cuando la temperatura del aire era ya de 26 °C a las 8:00, hasta llegar a 36,6 °C a las 11:00. Por otro lado, al retorno del ordeño de la tarde en OCS, la temperatura del aire también permanece elevada, 32,2 °C en promedio, lo que podría indicar por qué el tiempo dedicado al pastoreo es bajo aún en el turno 3 con respecto a NOC (Cuadro 4). Durante la ola de calor severa el análisis del ITH horario, indicó valores promedio de 76, 81 y 79 para los turnos 1, 2 y 3 respectivamente. En condiciones de pastoreo en verano y en climas cálidos, bajo situaciones de estrés calórico la actividad de pastoreo durante la noche puede ser un importante aporte al tiempo total dedicado al pastoreo (alrededor del 50% según Valtorta *et al.* 2003), y prefiriendo los animales pastorear durante las mañanas más frescas y en el atardecer (Seath y Miller, 1946; Albright, 1993). En nuestro trabajo no se realizaron observaciones durante la noche, pero por los altos ITH registrados aún en la noche en OCS (de una a nueve horas con ITH entre 74 y 78 y hasta una hora con ITH mayor a 82), es probable que la capacidad de recuperar tiempo de pastoreo fuera escasa. En OCL, también se observó una modificación del comportamiento en pastoreo como mecanismo de defensa para evitar el período de mayor calor, pero sin afectar el tiempo total del pastoreo, ya que las vacas dedicaron más tiempo al pastoreo durante el turno 3, cuando la temperatura de aire promedio fue de 26,3 °C y el ITH promedio de 73,4.

La severidad de la condicionante meteorológica durante OCS también afectó significativamente la respuesta productiva de las vacas (Cuadro 4). La producción de leche disminuyó 18,5% en OCS, eviden-

ciando una incapacidad de los animales para disminuir la carga calórica en este período. Efectos similares encontraron Valtorta *et al.* (1997) en vacas después de estar sometidas a una ola de calor (temperaturas máximas de hasta 37,9 °C y mínimas 20,4 °C), con una reducción de un 12% de la producción hasta 20 días después de culminada dicha condicionante meteorológica. Johnson y Vanjonack (1976) también reportan una reducción en la producción de leche asociada a una disminución del consumo de alimento en vacas lecheras sometidas a una temperatura constante de 32 °C y una humedad relativa de 45% reduciéndose la respiración y la evaporación desde la superficie corporal, con respecto a una situación de humedad relativa de 20%. En nuestro trabajo durante OCS, la temperatura del aire fue igual o superior a 32 °C más de un tercio del tiempo total de duración de la condicionante meteorológica, asociado a niveles de humedad promedio de 32%, lo que resultó en un ITH promedio durante esas horas de 82,2 (límite de emergencia). Estas condiciones podrían explicar la disminución del tiempo dedicado al pastoreo y posiblemente al consumo de alimento, aunque esta última variable no fue medida.

La producción de sólidos en la leche siguió la misma variación que la producción de leche. Se observó una disminución de la producción de sólidos en la leche en OCS, disminuyendo la producción de grasa y proteína con respecto a las producciones observadas en OCL y NOC (-17,7% y -18,2% respectivamente). Resultados similares reportan Valtorta *et al.* (1997) para la producción de proteína (-18,7%) durante una ola de calor severa. Estos resultados podrían deberse a la alteración (reducción) durante las altas temperaturas de la síntesis, absorción y movilización de los metabolitos (glucosa, ácidos grasos volátiles, lípidos, aminoácidos) a partir del tracto digestivo, hígado y tejido adiposo y su utilización por la glándula mamaria (Arcaro Junior *et al.*, 2003). Sin embargo, la producción de leche y de sólidos fue similar entre OCL y NOC. En nuestro trabajo la  $TR_{6,00}$  promedio observada en OCL no difiere de la observada en NOC, explicado seguramente por un mayor número de horas con condiciones para la recuperación nocturna de las vacas lecheras del



calor acumulado durante el día (entre una y ocho horas con ITH menores a 72 entre las 21:00 y las 6:00 horas en OCL). Estos resultados concuerdan con lo reportado por Bianca (1965) que señala que no observaron diferencias en la producción de vacas lecheras sometidas a elevadas temperaturas diurnas (32 a 38 °C) pero mantenidas a temperaturas nocturnas relativamente bajas (menores a 24 °C), indicando que la posibilidad de recuperación nocturna de la normotermia le permitió a los animales afrontar el estrés calórico durante el día, minimizando de esta forma los efectos perjudiciales sobre la productividad.

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

## Conclusiones

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

vacas recuperar la normotermia, el efecto detrimental del calor no se evidenció sobre la producción de leche ni de sólidos en comparación a los días de no ola de calor.

## Bibliografía

- Albright J.L. 1993. Feeding behavior of dairy cattle. *J. Dairy Sci.*; 76: 485-498.
- Arcaro Junior I., Arcaro J., Pozzi C., Fagundes H., Matarazzo, S. e de Oliveira C. 2003. Teores plasmáticos de hormônios, produção e composição do leite em sala de espera climatizada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*; 7(2): 350-354.
- Berman A., Folman Y., Kaim M., Mamen M., Herz Z., Wolfenson D., Arieli A. and Graber Y. 1985. Upper critical temperatures and forced ventilation effects for high yielding dairy cows in a subtropical climate. *J Dairy Sci.*; 68: 1488-1495.
- Bianca W. 1965. Reviews of the progress of dairy science. Section A Physiology. Cattle in a hot environment. *J. Dairy Res.*; 32: 291-345.
- Collier R. J., Beede D.K., Thatcher W. W., Israel L. A. and Wilcox C. J. 1982. Influences of environment and its modification on dairy animal health and production. *J. Dairy Sci.*; 65: 2213-2227.
- Cruz G. y Saravia C. 2008. Un índice de temperatura y humedad del aire para regionalizar la producción lechera en Uruguay. *Agrociencia*; 12(1): 56-60.
- du Preez J. H., Giesecke W. H. and 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: 77-86.
- Flammenbaum I. 1994. Factores que afectan la producción lechera en la zona Norte. Informe de consultoría en el «Segundo Proyecto de desarrollo agropecuario». Montevideo: Comisión Honoraria del Plan Agropecuario. 18 p.
- Flammenbaum I. 1996. Heat stress relief from high producing Israeli cows in summer. In International Symposium intensive milk production in Israel under hot climate conditions. Tel-Aviv. pp. 3-9.
- Gaines E. L. 1946. Live weight versus metabolic body size in dairy cows and goats. *J. Dairy Sci.*; 29(5): 259-272.
- Gaughan J. B., Mader T. L., Holt S. M., Josey M. J. and Rowan K. J. 1999. Heat tolerance of Boran and Tuli crossbred steers. *J. Anim. Sci.*; 77(9): 2398-2405.
- Hahn G. L. 1995. Environmental management for improved livestock performance, health and well-being. *Japanese Journal Livestock Management*; 30(3): 113-127.
- Hahn L. G. 1999. Dynamic responses to cattle to thermal heat loads. *J. Anim. Sci.*; 77(Suppl. 2): 10-20.
- Hansen P. J., Thatcher W.W. and Ealy A.D. 1992. Methods for reducing effects of heat stress on pregnancy. In Van Horn H.H and Wilcox C. J. (Eds). *Large Dairy Herd Management*. Champaign: American Dairy Science Association. pp 116-125.
- Haydock K. P. and Shaw N. H. 1975. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husband.*; 15 (76): 663-700.
- Hugh-Jones M. E. 1994. Livestock: management and decision making. In *Handbook of Agricultural Meteorology*. Griffiths, J. (Ed.). New York: Oxford University Press. pp 291-298.
- Information release 1970. Patterns of transit losses. Citado por: du Preez J. H., Hattingh P. J., Giesecke W. H. and Einsenberg B. E. Heat stress in dairy cattle and other livestock under Southern African conditions: III. Monthly Temperature-

- humidity Index mean values and their significance in the performance of dairy cattle. *Onderstepoort J. Vet. Res.*; 57: 243-248, 1990.
- Ingraham R. H., Gillette D. D. and Wagner W. D. 1974. Relationship of temperature and humidity to conception rate of Holstein cows in subtropical climate. *J. Dairy Sci.*; 57: 476-481.
- Ingraham R. H., Stanley R. W. and Wagner W. C. 1976. Relationship of Temperature and Humidity to Conception Rate of Holstein Cows in Hawaii. *J. Dairy Sci.*; 59: 2086-2090.
- Johnson H. D., Kibler H. H., Ragsdale A. C., Berry I. L. and Shanklin M. D. 1961. Role of heat tolerance and production level in responses of lactating Holsteins to various temperature-humidity conditions. *J. Dairy Sci.*; 44: 1191.
- Johnson H. D. and Vanjonack W. J. 1976. Effects of environmental and the other stressors on blood hormone patterns in lactating animals. *J. Dairy Sci.*; 59(9): 1063-1617.
- Jordan E. R. 2003. Effects of heat stress in reproduction. *J. Dairy Sci.* 86 (E suppl.): E104-E114.
- Kleiber M. and Mead S. W. 1941. Body size and milk production. *J. Dairy Sci.*; 24: 127-134.
- Legates J. E., Farthing B. R., Casady R. B. and Barrada D. M. S. 1991. Body temperature and respiratory rate of lactating dairy cattle under field and chamber conditions. *J. Dairy Sci.*; 74: 2491-2500.
- Leva P. E., Valtorta S. y Fornasero L. V. 1996. Disminución de la producción lechera estival: situación actual y efecto del cambio global. Resúmenes del 20º Congreso de Producción Animal, AAPA. Argentina. *Revista Argentina de Producción Animal Vol. 16(1)*: 26.
- McDowell R. E., Lee Douglas H. K. and Fohrman M.H. 1953. The Relationship of Surface Area to Heat Tolerance in Jerseys and Sindhi-Jersey (F<sub>1</sub>) Crossbred Cows. *J. Anim Sci.*; 12: 747-756.
- Merlot E. 2004. Conséquences du stress sur la fonction immunitaire chez les animaux d'élevage. *INRA Prod. Anim.*; 17(4): 255-264.
- Ministerio de Defensa. Servicio Meteorológico Nacional. 2000. Ola de calor (En línea). Disponible en: <http://www.smn.gov.ar/?mod=biblioteca&id=78>. Consultado: abril 2011.
- Muller C. J. C. and Botha J. A. 1993. Effect of summer climatic conditions on different heat tolerance indicators in primiparous Friesian and Jersey cows. *S. Afr. J. Anim. Sci.*; 23(3/4): 98-103.
- Muller C. J. C., Botha J. A., Coetzer W. A. and Smith W. A. 1994. Effect of shade on various parameters of Friesian cows in a Mediterranean climate in South Africa: 2, Physiological responses. *S. Afr. J. Anim. Sci.*; 24(2): 56-60.
- Nienaber J. A., Hahn G. L., Brown-Brandt T. M. and Eingenberg R. A. 2003. Heat stress climatic conditions and the physiological responses of cattle. In Janni, K. (Ed.), *Fifth International Dairy Housing Proceeding of the Conference*. ASAE. pp 255-262.
- Nienaber J. A. and Hahn G. L. 2007. Livestock production systems management responses to thermal challenges. *Int. J. Biometeorology*; 52: 149-157.
- Rodríguez R. O., Herrera M. G. y Blasón A. D. 2003. Frecuencia, duración e intensidad de las olas de calor en la Argentina. In SBA/UFSM/UNIFRA (Ed) *Anais do Congresso Brasileiro de Agrometeorologia*, 13º, Santa Maria. pp 1087-1088.
- Saravia C. y Cruz G. 2006. Olas de calor en la cuenca lechera de Salto: evolución del ITH y comportamiento atmosférico que determinan su ocurrencia. (CD-ROM) In Iran José Oliveira da Silva (Ed.) *Mudanças climáticas: impacto sobre o homem, a planta e o animal*. 4º Congresso Brasileiro de Biometeorologia Ribeirão Preto, SP. Brasil.
- Saravia C. 2009. Efecto del estrés calórico sobre las respuestas fisiológicas y productivas de vacas Holando y Jersey. (Tesis de Maestría) Montevideo: Facultad de Agronomía. 140p.
- Sargent F. D., Butcher K. R. and Legates J. E. 1967. Environmental influences on milk constituents. *J. Dairy Sci.*; 50(2): 177-184.
- Seath D. M. and Miller G. D. 1946. Effect of warm weather on grazing performance of milking cows. *J. Dairy Sci.*; 29: 199-206.
- Shearer J. K. and Beede D. K. 1990. Effects of high environmental temperature on production, reproduction, and health of dairy cattle. *Agri-Practice*; 11(5): 6-17.
- Silanikove N. 2000. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic. *Livestock Production Science*; 67: 1-18.
- St-Pierre N. R., Cobanov B. and Schmitkey G. 2003. Economic losses from heat stress by US Livestock Industries. *J. Dairy Sci.*; 86 (E. suppl.): E52-E77.
- Thatcher W.W. and Staples C.R. 1995. Efecto del estrés calórico y la alimentación sobre la performance reproductiva: nuevas estrategias para mejorar la eficiencia reproductiva. In XIII Jornadas Uruguayas de Buiatría, Paysandú. E1-E25.
- Thom E.C. 1959. The discomfort index. *Weatherwise*; 12: 57-59.
- Thomas C. K. and Pearson R.A. 1986. Effects of ambient temperature and head cooling on energy expenditure, food intake and heat tolerance of Brahman and Brahman x Friesian cattle working on treadmills. *Anim. Prod.*; 43: 83-90.
- Tyrrell H. F. and Reid J. T. 1965. Prediction of the Energy Value of Cow's Milk. *J. Dairy Sci.*; 48(9): 1215-1223.
- Valtorta S. E. y Gallardo M. R. 1996. El estrés por calor en producción lechera. In Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (Ed.) *Miscelánea*; (81): 173-185.
- Valtorta S. E., Leva P. E., Gallardo M., Fornasero L.V., Veles M.A. y García M.S. 1997. Producción de leche: respuestas a la alta temperatura. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.*; 5(1): 399-401.
- Valtorta S., Leva P., Castro H., Gallardo M., Maciel M., Guglielmo A. y Anzani O. 1998. Producción de leche en verano. Santa Fe: Universidad Nacional del Litoral. 109 p.
- Valtorta S. E., Comerón E.A., Romero L.A., Migliore C., Estrada M. de, Aronna M.S. y Quaino O.A. 2003. Comportamiento de vacas Holando, Jersey sus cruizas durante la época estival. 2. Efecto de las variables meteorológicas y el tiempo de pastoreo. *Rev. Arg. Prod. Anim.*; 23(1): 293-294.
- Valtorta S.E., Leva P.E., Gallardo M., Fornasero L.V., Veles M.A. y García, M.S. 1997. Producción de leche: respuestas a la alta temperatura. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.*; 5(1): 399-401.
- Valtorta S.E., Leva P.E., Gallardo. M.R. and Scarpatti, O.E. 2002. Milk production responses during heat waves events in Argentina. In: *American Meteorological Society (Ed.) Conference on Biometeorology and Aerobiology (15<sup>th</sup>)*: International Congress on Biometeorology (16<sup>th</sup>), Kansas City, Mo, Boston. pp. 98-101.
- Valtorta S.C., Gallardo M.R. y Leva P.E. 2004. Olas de calor: impacto sobre la producción lechera en la cuenca central argentina (CD-ROM). In Asociación Argentina de Agrometeorología (Ed.). Reunión Argentina, 10ma. y Latinoamericana 4ta. de Agrometeorología, Mar del Plata.
- Wegner T. N., Schuh J.D., Nelson F.E. and Stott G.H. 1974. Effect of stress on blood leucocyte and milk somatic cell counts in dairy cows. *J. Dairy Sci.*; 59(5): 949-956.