

Producción, comportamiento y bienestar de vacas lecheras sometidas a estrés calórico en la Argentina. Evaluación económica del sistema de refrigeración en el sector de comedero.

*Tesis presentada para optar al título de Magister de la Universidad de Buenos Aires,
Área Producción Animal*

Jorge Ghiano

Ingeniero Agrónomo - Universidad Nacional del Litoral - 2009

Lugar de trabajo: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación
Experimental Agropecuaria Rafaela



Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano
Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires

COMITÉ CONSEJERO

Director de Tesis

Perla Leva

Ingeniero Agrónomo (Universidad Nacional del Litoral)

Doctora en Ciencias Agrarias (Universidad Nacional del Litoral)

Co-director de Tesis

Héctor Ferrari

Licenciado en Biología (Universidad Nacional de La Plata)

Magister en Antropología (Universidad Nacional de Córdoba)

Doctor en Ciencias Naturales (Universidad Nacional de La Plata)

Asesor de Tesis

Alejandro Palladino

Ingeniero Agrónomo (Universidad de Buenos Aires)

Doctor en Ciencia Animal (University College Dublin, República de Irlanda)

JURADO DE TESIS

Pablo Roberto Marini

Médico Veterinario (Universidad Nacional de Rosario)
Doctor en Ciencias Veterinarias (Universidad Nacional de Rosario)

Celmira Saravia Tomasina

Ingeniera Agrónoma (Universidad de la República, Uruguay)
Doctoranda en Ciencias Agrarias (Universidad de la República, Uruguay)

Victor Humberto Suarez

Médico Veterinario (Universidad de Buenos Aires)
Doctor en Ciencias Biológicas (Universidad de Ciencia y Técnica del Languedoc, Francia)

Fecha de defensa de la tesis: 4 de Julio de 2019

Declaro que el material incluido en esta tesis es, a mi mejor saber y entender, original producto de mi propio trabajo (salvo en la medida en que se identifique explícitamente las contribuciones de otros), y que este material no lo he presentado, en forma parcial o total, como una tesis en ésta u otra institución.

Jorge Emanuel Jesús Ghiano

ÍNDICE GENERAL

COMITÉ CONSEJERO.....	i
Fecha de defensa de la tesis: 4 de Julio de 2019	
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN GENERAL, MARCO TEÓRICO, OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	1
1.1.- Contexto internacional y nacional de producción de leche.....	2
1.1.1.- Contexto internacional.....	2
1.1.2.- Contexto Nacional.....	3
1.1.3.- Producción Primaria.....	6
1.2.- Bienestar animal.....	8
1.2.1.- Definición.....	8
1.2.2.- Bienestar Animal a nivel mundial y las 5 libertades.....	9
1.2.3.- Bienestar Animal en la Argentina.....	10
1.2.4.- Métodos de evaluación.....	12
1.2.5.- Bienestar Animal y Lechería.....	16
1.2.6.- El estrés.....	18
1.3.- Estrés calórico y sus implicancias productivas y económicas.....	19
1.3.1.- Estrés calórico y su impacto en vacas lecheras.....	20
1.3.2.- Estrés calórico e Índice de Temperatura y Humedad (ITH).....	21
1.3.3.- Estrés calórico y olas de calor.....	21
1.3.4.- Producción de calor de una vaca lechera.....	22
1.3.5.- Estrés calórico y reproducción.....	22
1.3.6.- Estrés calórico y producción de leche.....	23
1.3.7.- Estrés calórico y eficiencia de la producción.....	25
1.3.8.- Estrés calórico y salud animal.....	26

1.3.9.- Estrés calórico y comportamiento animal.....	27
1.3.10.- Temperatura corporal y comportamiento animal.....	29
1.3.11.- Impacto económico del estrés calórico en el tambo.....	30
1.4.- Situación de la producción de leche argentina frente al estrés calórico.....	30
1.4.1.- Riesgos geográficos y temporales.....	30
1.4.2.- Diagnóstico de limitantes productivas en tambos de Argentina.....	32
1.4.3.- Mecanismos de eliminación del calor y medidas de mitigación del estrés calórico.....	34
1.5.- Objetivo general.....	38
1.5.1.- Objetivos específicos.....	39
1.6.- Hipótesis.....	39
CAPÍTULO 2 EVALUACIÓN DE LA REFRIGERACIÓN DE VACAS LECHERAS EN CONDICIONES ESTIVALES.....	40
2.1.- Introducción.....	41
2.2.- Materiales y métodos.....	41
2.2.1.- Sitio experimental.....	41
2.2.2.- Animales y tratamientos.....	41
2.2.3.- Manejo y alimentación.....	44
2.2.4.- Mediciones en el ambiente. Información meteorológica.....	47
2.2.5.- Mediciones en el animal. Mediciones fisiológicas.....	48
2.2.5.1.- Frecuencia respiratoria y Temperatura rectal.....	48
2.2.5.2.- Cortisol.....	48
2.2.5.3.- Pesos y Condición corporal.....	49
2.2.5.4.- Salud animal.....	49
2.2.6.- Producción y composición de la leche.....	49

2.2.7.-Consumo de alimento y agua, y eficiencia de conversión.....	49
2.2.8.- Bienestar y comportamiento animal.....	50
2.3.- Análisis estadístico.....	51
2.4.- Resultados.....	52
2.4.1.- Mediciones en el ambiente. Información meteorológica.....	52
2.4.2.- Mediciones en el animal. Mediciones fisiológicas.....	55
2.4.2.1.- Frecuencia respiratoria (FR) y Temperatura rectal (TR).....	55
2.4.2.2.- Cortisol.....	58
2.4.2.3.- Pesos y Condición corporal.....	59
2.4.2.4.- Salud animal.....	60
2.4.3.- Consumo de alimento y agua.....	61
2.4.4.- Producción y composición de la leche, y eficiencia de conversión.....	63
2.4.5.- Bienestar y comportamiento animal.....	66
2.5.- Conclusiones y Discusión.....	69
2.5.1.- Efecto de la Refrigeración como método de mitigación del estrés calórico sobre la producción, eficiencia de conversión y composición de la leche.....	70
2.5.2.- Efecto de la Refrigeración como método de mitigación del estrés calórico sobre el comportamiento animal.....	70
2.5.3.- Efecto de la Refrigeración como método de mitigación del estrés calórico sobre indicadores de bienestar animal.....	71
CAPÍTULO 3 IMPACTO ECÓNOMICO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN EN SISTEMAS LECHEROS ARGENTINOS.....	72
3.1.- Introducción.....	73
3.2.- Materiales y métodos.....	74
3.3.- Evaluación económica del sistema de refrigeración.....	74

3.4. Valor Actual Neto, Tasa Interna de Retorno, y período de repago de la inversión.....	76
CAPÍTULO 4 CONCLUSIONES E IMPLICANCIAS.....	78
CAPÍTULO 5 LISTA BIBLIOGRÁFICA.....	80
CAPÍTULO 6 APÉNDICES.....	99
6.1.- Anexo I.....	100

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Estratificación de la producción primaria en Argentina.....	8
Cuadro 2. Principios y criterios definidos por el Welfare Quality.....	14
Cuadro 3. Características físicas y productivas de las vacas al inicio del ensayo.....	42
Cuadro 4. Composición física de la dieta ofrecida a los animales.....	45
Cuadro 5. Composición química de la Ración Totalmente Mezclada (RTM) y del balanceado ofrecido a los animales. Los valores están expresados en base seca. Materia Seca (MS), Proteína Bruta (PB), Fibra Detergente Ácida (FDAs), Fibra Detergente Neutro (FDNa), Lignina Detergente Ácida (LDA), Extracto Etéreo (EE), Cenizas (Cz) y Energía Neta de Lactación (NEL).....	46
Cuadro 6. Fecha de comienzo, fin, duración (expresado en días) e ITH medio de las olas de calor.....	54
Cuadro 7. Frecuencia respiratoria expresada en Movimientos Respiratorios por Minuto (MRM) de los animales.....	56
Cuadro 8. Temperatura rectal (°C) de los animales.....	57
Cuadro 9. Concentración de cortisol en leche (ng/ml). Los valores se presentan como media y desvío estándar.....	58
Cuadro 10. Peso vivo de los animales (kg). Los valores se presentan como media y desvío estándar.....	60
Cuadro 11. Recuento de células somáticas (RCS) de los animales. Los valores se presentan como media y desvío estándar.....	61

Cuadro 12. Consumo de alimento ($\text{kg MS vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$) y de agua ($\text{L vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$) durante los eventos de olas de calor. Los valores se presentan como media y desvío estándar.....	62
Cuadro 13. Producción media diaria de leche (kg) y eficiencia de conversión. Los valores se presentan como media y desvío estándar.....	63
Cuadro 14. Composición de la leche, expresado en porcentaje de Grasa Butirosa (GB), Proteína Bruta (PB) y Sólidos Totales (ST).....	65
Cuadro 15. Relaciones agua:alimento y agua:leche.....	66
Cuadro 16. Comportamiento animal dentro del corral (%). Determinado desde las 8 hasta las 20 hs, n=3109 registros.....	69
Cuadro 17. Producción de leche.....	74
Cuadro 18. Costo de alimentación.....	75
Cuadro 19. L Libres de Suplementación (LLS) y beneficio económico de la refrigeración	76
Cuadro 20. Costo de la inversión y funcionamiento de un sistemas de refrigeración en Rafaela, Santa Fe, Argentina.....	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción Argentina de leche.....	3
Figura 2. Consumo per cápita de leche en Argentina.....	4
Figura 3. Cantidad y tipo de industrias lácteas en Argentina.....	5
Figura 4. Cantidad de unidades productivas (tambos) desde 1988 a 2017 en Argentina.....	6
Figura 5. Precio por litro de leche pagado al productor desde enero del 2000 a julio de 2017 expresado en U\$D/L, convertidos a dólares oficial al tipo de cambio vendedor BCRA.....	7
Figura 6. Marco económico que considera el estado de bienestar en relación con la producción animal.....	17
Figura 7. Riesgo de exposición a estrés calórico. Días con Índice de Temperatura y Humedad (ITH) mayor a 68. Período Jul 2001 – Jun 2013.....	31
Figura 8. Tratamiento Refrigeración.....	43
Figura 9. Tratamiento Sombra.....	43
Figura 10. Tratamiento Testigo.....	43
Figura 11. Corral Estabilizado para Alimentación (CEA).....	44
Figura 12. Promedio diario del Índice de Temperatura y Humedad (ITH). El valor 68 de ITH es el umbral donde las vacas comienzan a sufrir estrés calórico.....	53
Figura 13. Temperatura de Globo Negro (GN) en el sector de comedero, promedio de 18 días de mediciones durante el período experimental.....	55

Figura 14. Cortisol (ng/ml) en leche de los tratamientos a (refrigeración), b (sombra) y c (testigo), en los diferentes muestreos, al turno de la mañana (m) y tarde (t).....58

Figura 15. Posicionamiento animal dentro del corral (%). Determinado como el porcentaje de permanencia diario en cada sector desde las 8:00 hasta las 20:00. n=3109 registros.....67

Figura 16. Comportamiento animal dentro del corral (%). Determinado desde las 08:00 hasta las 20:00, n=3109 registros.....68

ABREVIATURAS

INTA	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
DCA	Diseño Completamente Aleatorizado
RCS	Recuento de Células Somáticas ($\log_{10}$)
FR	Frecuencia Respiratoria
TR	Temperatura Rectal
EC	Eficiencia de Conversión
ANOVA	Análisis de la Varianza
ITH	Índice de Temperatura y Humedad
OCLA	Observatorio de la Cadena Láctea Argentina
BA	Bienestar Animal
VAN	Valor Actual Neto
TIR	Tasa Interna de Retorno
PR	Período de Repago
LLS	Litros Libres de Suplementación
Cs	Cortisol
GB	Grasa Butirosa,
P	Proteína
ST	Sólidos Totales
MS	Materia Seca
PB	Proteína Bruta
FDN _a	Fibra Detergente Neutro
FDA _s	Fibra Detergente Ácido
EE	Extracto Etéreo
Cz	Cenizas

LDA Lignina Detergente Ácida

ENL Energía Neta de Lactancia

DIVMS Digestibilidad *In Vitro* de la Materia Seca

CICUAL Comité Institucional para el Cuidado y Uso de Animales de
Experimentación

TGN Termómetro de Globo Negro

RTM Ración Total Mezclada

CEA Corral Estabilizado para Alimentación

RESUMEN

Las condiciones meteorológicas estivales en las diferentes cuencas lecheras de Argentina se alejan de la zona de confort térmico del rodeo lechero, impactando negativamente en el consumo de Materia Seca (MS), la producción de leche y la Eficiencia de Conversión (EC) de alimento a leche. La refrigeración es un tipo de instalación que mitiga el impacto del estrés calórico en las vacas lecheras. La misma, consiste en aplicar ciclos consecutivos de aspersión de agua y ventilación forzada sobre los animales, provocando enfriamiento evaporativo. En el verano 2011/2012, en el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Agropecuaria Rafaela, se realizó un estudio con el objetivo de evaluar el efecto de la refrigeración en el sector de comedero sobre la producción, el comportamiento y bienestar de vacas lactantes. Se utilizaron 27 vacas Holando Argentino de 90 ± 28 días en lactancia, 34.6 ± 7.43 L día⁻¹ y 580 ± 62 kg de peso vivo, al inicio del ensayo. Bajo un Diseño Completamente Aleatorizado (DCA) con mediciones repetidas en el tiempo, se compararon tres tratamientos: Refrigeración, Sombra artificial y Testigo. La dieta de los animales consistió en una Ración Totalmente Mezclada (RTM) suministrada 2 veces por día con un 45% de MS, 15% de Proteína Bruta (PB) y 1.54 Mcal de Energía Neta de Lactancia (ENL), más el balanceado durante los ordeños. La oferta diaria era de 23.19 kg MS vaca⁻¹ día⁻¹. La producción de leche se midió diariamente mediante el software Alpro DeLavalTM. Se efectuaron controles lecheros todas las semanas para determinar composición (grasa y proteína) y Recuento de Células Somáticas (RCS transformada por log₁₀). La Frecuencia Respiratoria (FR) se midió en dos momentos del día, a las 8:00 y 13:30. Mediante la metodología de oferta/rechazo se midió el consumo de alimento. Se determinó la Eficiencia de Conversión (EC) de alimento a leche. La

producción y composición de la leche se analizó mediante un Análisis de la Variancia (ANOVA) con medidas repetidas en el tiempo (muestreos) y covariables, considerando el efecto tratamiento. En el 94% de los días evaluados, el ITH fue mayor a 68, definido como el umbral de estrés calórico para la mayoría de las razas lecheras. El tratamiento refrigeración tuvo una mayor producción de leche (kg leche) 36.3 ± 1.1 que los tratamientos sombra 31.2 ± 0.9 y testigo 33.5 ± 0.9 ($p < 0.05$). También presentó una mejor EC 1.5 ± 0.26 comparado con los tratamientos sombra y testigo, 1.4 ± 0.2 y 1.3 ± 0.3 , respectivamente ($p < 0.05$). En cuanto a la salud animal, el tratamiento Refrigeración tuvo un menor RCS (transformada por $\log_{10}$) que los otros dos tratamientos, 5.2 ± 0.08 , comparado con 5.5 ± 0.08 y 5.4 ± 0.08 , de los tratamientos sombra y testigo, respectivamente ($p < 0.05$).

La FR el tratamiento refrigeración mostró un incremento del 39.2% entre la medición de las 8:00 y 13:30, mientras que el tratamiento sombra un 53.8% y el testigo un 58.3%. Se concluye que la implementación de refrigeración en el sector de comedero, mejora el confort térmico de las vacas lactantes, impactando positivamente en el bienestar, la EC y la producción de leche.

PALABRAS CLAVE: Índice de Temperatura y Humedad (ITH), Estrés Calórico, Refrigeración, Confort Animal, Lechería.

ABSTRACT

The central dairy region in Argentina is subject to extended periods of high Temperature and Humidity Index (THI). Increasing THI above critical threshold of 68 is related to decreased Dry Matter Intake (DMI), milk yield and efficiency of milk yield. Cooling systems improves cow's performance under heat stress. The purpose of this study was to evaluate a cooling system in Holstein lactating cows at a feed lane during the summer in Rafaela, Argentina. Twenty seven dairy cows in early lactation (90 ± 28 days in milk, 34.6 ± 7 , 43 L día^{-1} and 580 ± 62 kg of live weight) were randomly allocated to 3 treatments groups: Cooling ($n=9$), Shade ($n=9$) and Control. Cows spent 24 hours per day in each treatment in a dry lot. All cows were housed, feed and managed under identical conditions. A total mix ration was offered twice a day with 45% of dry matter, 15% protein and 1.54 mcal of lactation energy, plus the concentrate during milking. Average ration offered was $23.19 \text{ kg MS vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$. The cooling system was switched on at 9:00 until 19:30. Cows spent three months in their respective treatments, between December 2011 to February 2012. Daily milk production was measured with Alpro DeLaval™ software. Every week, milk samples were taken to determined protein, fat and somatic cell counts. Respiration rate was measured at 8 am and 1:30 pm. Dry matter intake was measured at the feed lane. THI was above the critical threshold in 94% of the days. Cooling cow's milk production ($36.3 \pm 1.1 \text{ L cow}^{-1} \text{ day}^{-1}$) was higher than Shade ($31.2 \pm 0.9 \text{ L cow}^{-1} \text{ day}^{-1}$) and Control ($33.5 \pm 0.9 \text{ L cow}^{-1} \text{ day}^{-1}$) ($p < 0.05$). Efficiency of milk yield (1.5 ± 0.26) was higher in Cooling cows than Shade (1.4 ± 0.2) and Control (1.3 ± 0.3) ($p < 0.05$). Cooling cows somatic cell count $\log_{10}$ (5.2 ± 0.08) was less than Shade (5.5 ± 0.08) and Control (5.4 ± 0.08) ($p < 0.05$). Respiration rate increment was less in Cooling cows (39.2%) than in Shade (52.8%) and Control (58.3%). Cooling systems

at the feed lane improves animal welfare, milk production, efficiency of milk production and cow's health.

KEY WORDS: Heat Stress, Temperature and Humidity Index (THI), Cooling System, Dairy, Dairy Cow Comfort.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN GENERAL, MARCO TEÓRICO, OBJETIVOS E HIPÓTESIS

1.1.- Contexto internacional y nacional de producción de leche

1.1.1.- Contexto internacional

La producción mundial de leche actual es de 650.000.000 mil millones de litros (L). La leche bovina representa el 85% del total de la leche de origen animal consumida en el mundo.

Los principales países productores de leche son: Estados Unidos, India, China, Brasil, Rusia, Alemania, Nueva Zelanda, Francia, Turquía y Pakistán con el 60%. Asia produce el 36%, habiendo incrementado su participación un 238% en las últimas 3 décadas. América del Sur produce el 11% del total.

En cuanto al mercado mundial de productos lácteos, Nueva Zelanda y la Unión Europea participan con el 56% de la exportación, mientras que la demanda está muy atomizada, con China como principal comprador con un 12%. Esta característica, sumado a la alta relación que tiene con algunas variables de la economía mundial (precio del petróleo, valor del dólar, comportamiento del Producto Bruto Interno), le dan al mercado lácteo mundial una alta volatilidad y gran incertidumbre para todos los actores de la cadena de valor (OCLA, 2017).

El 43% de la leche mundial tiene como destino la leche fresca, seguida por el queso y la mantequilla, en un 25 y 23%, respectivamente.

La producción y exportación, y el consumo por habitante de productos lácteos varía entre los diferentes continentes. América del Norte, Europa y Oceanía son excedentarias en producción, con consumos per cápita de más de 250 L por año, confiriéndoles el papel predominantemente exportador. Por otro lado, Asia, América Central y África, son deficitarias, de manera que son regiones netamente importadoras. Por último, América de Sur se encuentra en un cuasi equilibrio debido a que su producción de leche

es muy similar a sus niveles de consumo anual de 150 L por habitante por año (OCLA, 2017).

Con una población mundial de 7.300 millones de habitantes, el consumo mundial de leche per cápita presenta un promedio por debajo de la recomendación FAO-OMS (500 ml diarios, unos 180 L por año). Hay países de Europa con consumos que superan los 300 L por persona y por año, y por otro lado países africanos con consumos menores a 50 L por año. Los países desarrollados en promedio consumen 240 L mientras tanto los países en desarrollo 80 L por persona y por año (OCLA, 2017).

1.1.2.- Contexto Nacional

La producción nacional de leche se ubica en torno a los 10.000 millones de L anuales, exportándose aproximadamente el 16% (Ministerio de Agroindustria. Sub Secretaria de Lechería de la Nación, 2017) (Figura 1).



Figura 1: Producción anual de leche de Argentina de 1970 a 2016 (millones de L).

La Argentina participa con el 1,7% de la lechería mundial (OCLA, 2017).

La producción tiene una leve estacionalidad, siendo octubre el mes con mayor producción (+10%) y abril el de menor (-10%), debido a cuestiones de oferta de forraje y climatológicas. Con respecto al destino industrial de la leche, el 50% va a quesos, el 17% a leche en polvo, el 7% a leche esterilizada y el 6% a manteca entre los principales productos (OCLA, 2017).

El consumo anual per cápita nacional se encuentra en el orden de los 200 L de leche equivalente, representado por, el 58% quesos, 20% leche fluida y 11% leche en polvo, entre los 3 principales productos. Este valor es superior a los 150 L recomendado por la Organización Mundial de la Salud (Ministerio de Agroindustria. Sub Secretaria de Lechería de la Nación, 2017) (Figura 2).

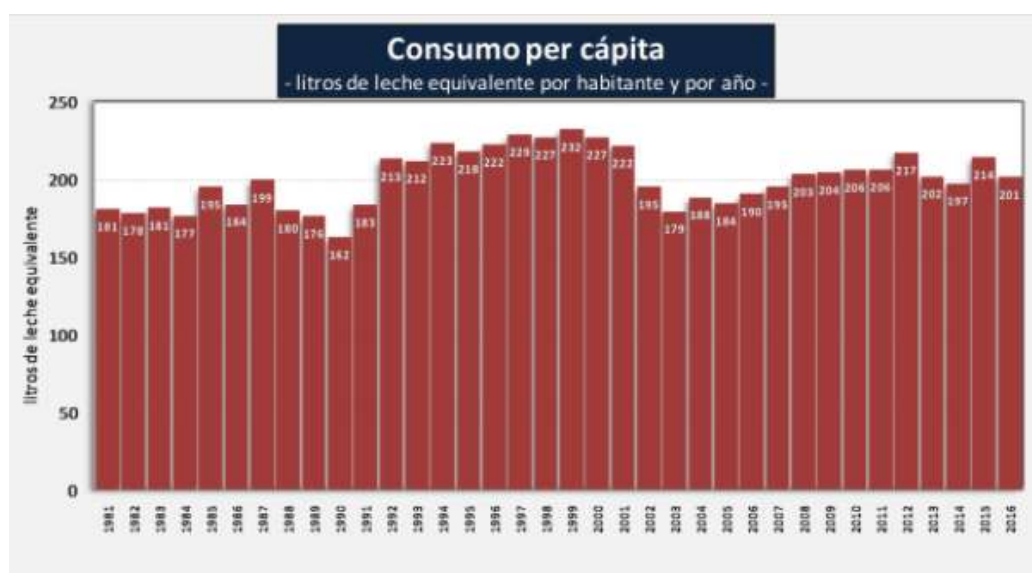


Figura 2: Consumo per cápita de leche (expresado en L equivalente por habitante por año) desde 2001 a 2016 en Argentina.

El 10% de los gastos de hogares en bebidas y alimentos corresponden a productos lácteos integrando la canasta básica familiar (OCLA, 2017).

Las exportaciones nacionales anuales de productos lácteos rondan las 300.000 toneladas, representando el 1,4% del total de exportaciones anuales argentinas. Los tres

principales productos exportados son leche en polvo entera 36,4%, suero 22,3% y mozzarella 9,8%, siendo Brasil, Rusia y Argelia, los tres principales destinos de exportación con un 36,5%, 11,6% y 9,8%, respectivamente (OCLA, 2017).

En la Argentina existen 1.066 industrias lácteas, generando un empleo directo registrado de 35.870 puestos de trabajo (0,5% del empleo total). Entre las 4 empresas más grandes Cr4 procesan el 40% del total de la leche, siendo el mercado informal de aproximadamente un 7% (OCLA, 2017) (Figura 3).



Figura 3: Cantidad y tipo de industrias lácteas en Argentina.

El valor generado anual es de 5.338 millones de dólares. La productividad de la mano de obra es de 700 L de leche por empleado por día. La exportación anual es de 816 millones de dólares.

Con respecto a la comercialización interna, el 29,1% se vende en supermercados, el 22,9% en autoservicios y mayoristas y el 20,8% en negocios de proximidad (OCLA, 2017).

1.1.3.- Producción Primaria

El número actual de unidades productivas es 11.326, siendo 30.131 en el año 1989 y 15.000 en el 2002. La tasa anual de disminución de unidades productivas desde el 2002 a la fecha fue de 1,9% (OCLA, 2017) (Figura 4).

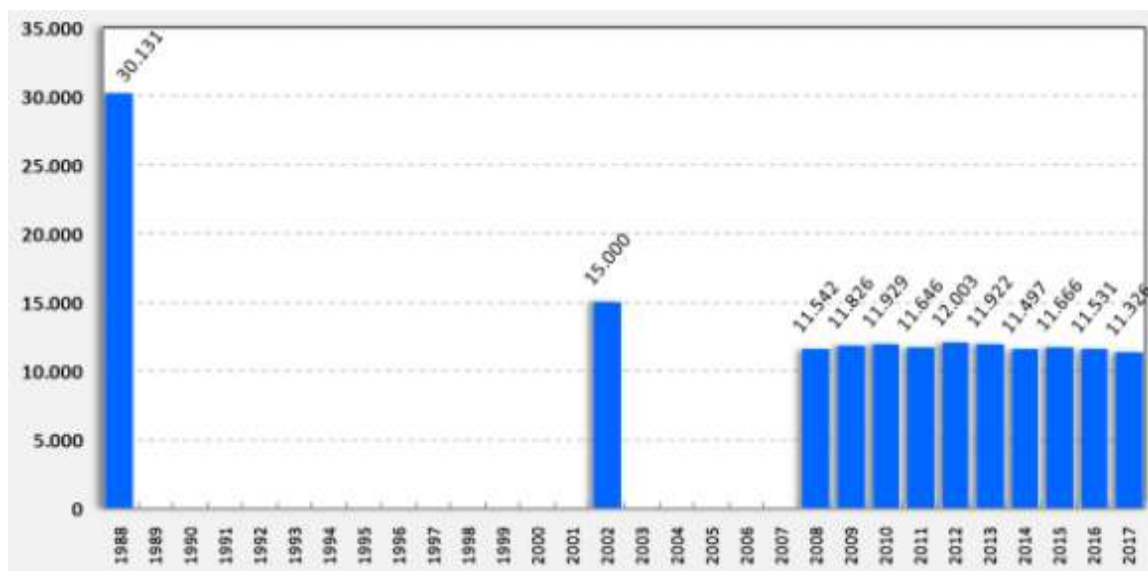


Figura 4: Cantidad de unidades productivas (tambos) desde 1988 a 2017 en Argentina.

La producción promedio diaria por tambo se encuentra en los 2.494 L de leche. La cantidad de vacas en el año 2017 fue de 1.720.067, un 20% menor que en el año 2006, año con mayor número de animales en las últimas dos décadas. (OCLA, 2017).

El precio por litro de leche cobrado por el productor se ubica en 0,326 centavos de dólar, 4 veces superior que el mínimo registrado en enero de 2002 (Ministerio de Agroindustria. Sub Secretaria de Lechería de la Nación, 2017) (Figura 5).



Figura 5: Precio por litro de leche pagado al productor desde enero del 2000 a julio de 2017 expresado en U\$D/L, convertidos a dólares oficial al tipo de cambio vendedor BCRA.

Santa Fe es la provincia con mayor cantidad de unidades productivas (35,1%), siendo Córdoba la de mayor existencia bovina para tambo (31,9%) y Buenos Aires la de mayor producción promedio diaria por tambo (3.773 L). Estas 3 provincias concentran el 87,2% de las unidades productivas y el 90,5% de las existencias bovinas para tambo (Ministerio de Agroindustria. Sub Secretaria de Lechería de la Nación, 2017).

En cuanto a la estratificación de la producción, el 45% se produce en tambos de hasta 4.000 L diarios, que representan el 81% del total de tambos. El 19% restante de tambos, produce el 55% del total, evidenciando la concentración en el sector primario lechero (Ministerio de Agroindustria. Sub Secretaria de Lechería de la Nación, 2017) (Cuadro 1).

Cuadro 1: Estratificación de la producción primaria en Argentina en porcentaje de tambos y de producción, de agosto de 2017 y acumulado del período agosto 2017.

Estrato de Producción	ago-17		Acumulado	
	% de tambos	% de producción	% de tambos	% de producción
- de 1.000 litros diarios	31,0%	5,0%	31,0%	5,0%
entre 1.000 y 2.000	23,0%	13,0%	54,0%	18,0%
entre 2.000 y 3.000	17,0%	15,0%	71,0%	33,0%
entre 3.000 y 4.000	10,0%	12,0%	81,0%	45,0%
entre 4.000 y 6.000	10,0%	17,0%	91,0%	62,0%
entre 6.000 y 10.000	6,0%	17,0%	97,0%	79,0%
+ de 10.000 litros diarios	3,0%	21,0%	100,0%	100,0%

En cuanto a la calidad composicional de la leche, el contenido de grasa butirosa varía entre 3,44 y 3,77 % y el de proteína entre 3,24 y 3,43 en los últimos 5 años. Con respecto a la calidad higiénica, el recuento bacteriano varía entre 70.000 y 200.000 Unidades Formadoras de Colonias y el Recuento de Células Somáticas (RCS) entre 330.000 y 570.000, en los últimos 5 años (OCLA, 2017).

1.2.- Bienestar animal (BA)

1.2.1.- Definición

El Bienestar Animal (BA) ha sido definido por la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE) como el término amplio que describe la manera en que los individuos se enfrentan con el ambiente y que incluye su sanidad, sus percepciones, su estado anímico y otros efectos positivos o negativos que influyen sobre los mecanismos físicos y psíquicos del animal (OIE, 2004).

Broom, en el año 1991, señala que es el estado de un individuo en sus intentos de mantenerse en equilibrio con su ambiente. Es la calidad de vida de un animal, en función de sus necesidades de bienestar. Es el grado en el cual un animal puede lidiar

con los desafíos de su ambiente y está determinado por una combinación de medidas de salud veterinaria y de bienestar psicológico.

EL BA es una característica propia de los mismos, no algo que se le da, y puede variar de muy pobre a muy bueno a lo largo de un continuo. También, puede ser medido de una forma científica, independiente de consideraciones morales. De manera que, el conocimiento de las preferencias de un animal suele dar valiosa información sobre qué condiciones pueden resultar en buen bienestar.

El bienestar de un animal de granja depende de su habilidad para mantenerse sano y libre de sufrimiento. La responsabilidad del ganadero es asegurar a sus animales un adecuado bienestar proveyéndoles de unas prácticas zootécnicas adecuadas (Webster, 2001).

1.2.2.- Bienestar Animal a nivel mundial y las 5 libertades

La preocupación por el bienestar animal es tan antigua como la ganadería; posiblemente la razón sea que desde un principio el hombre necesitó evitar alimentarse de animales enfermos y evitar que el animal muera antes de comerlo. Incluso se afirma que el bienestar animal fue la base de la domesticación, porque sin esta condición los animales no habrían permanecido junto al hombre (Price, 1984; Swart, 2005).

En 1965 el Comité Brambell, en el Reino Unido fue el primero en intentar desarrollar científicamente el término bienestar animal. Dicho comité propuso cinco privilegios que todo animal debía tener, independientemente de su alojamiento, y se referían a que el animal pudiera sentirse libre para agacharse, levantarse, darse vuelta, estirarse y acicalarse en el espacio en el que se hallara alojado (Brambell, 1965).

El Consejo de Bienestar para Animales de Granja del Reino Unido (FAWC por sus siglas en Inglés Farm Animal Welfare Council) en el año 1992, basados en los 5

privilegios propuestos en 1965, determinó normas generales vinculadas al bienestar animal que integran las tres dimensiones mencionadas por Fraser et al., (1997). Las normas establecidas se encuentran agrupadas en lo que se conoce actualmente como las “5 libertades”. Estas libertades son hoy el pilar fundamental de las políticas de la Unión Europea y del resto del mundo relacionadas con el bienestar de los animales.

Las “5 libertades” son:

- 1) Libertad de sed, hambre y malnutrición, con acceso a agua fresca y a una dieta que mantenga plena la salud y el vigor;
- 2) Libertad de discomfort, proveyendo un apropiado ambiente, incluyendo refugio y una comfortable área de descanso;
- 3) Libertad de dolor, heridas, y enfermedades, mediante prevención o diagnóstico rápido;
- 4) Libertad de expresar su comportamiento normal, proveyendo suficiente espacio, instalaciones apropiadas y compañía de animales del mismo tipo;
- 5) Libertad de miedo y aflicción proveyendo condiciones que eviten el sufrimiento mental.

En Latinoamérica solo existen cuatro países que tienen legislación sobre bienestar animal (México, Paraguay, Uruguay y Colombia). La misma se encuentra basada en los estándares que propone la OIE (Gallo, 2006).

1.2.3.- Bienestar Animal en la Argentina

En Argentina en el año 1954 se promulgo ley n° 14.346 en la que se contempla la protección de los animales con relación a aquellas conductas humanas caracterizadas como malos tratos y/o actos crueles. A su vez, en relación con la protección de los animales de producción y experimentación se generaron resoluciones que prohíben la

alimentación forzada de las aves y establecen buenas prácticas de BA para los ensayos biológicos y químicos. A la promulgación de esta ley le continuaron la sanción de ordenanzas, normativas, y decretos de carácter normativos.

El 1º de abril de 2004 en la Resolución N° 259 del SENASA se señala que es competencia de dicho servicio la creación de políticas y acciones sobre BA, de acuerdo a los alcances y estándares vigentes en la materia en cuestión.

Respecto al BA en lechería dentro el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), distintos investigadores han trabajado en los últimos años en desarrollo de proyectos relacionados con el bienestar en producción de carne y leche (Suárez et al., 2013).

En los bovinos productores de leche se ha estudiado el estrés por calor y el diseño de instalaciones adecuadas. El INTA y las universidades han comenzado a incluir el BA en sus proyectos de investigación y en lo que hace a la lechería ya se puede contar con algunos resultados referidos a instalaciones y BA, protocolos y toma de datos preliminares para calificar el BA tanto en tambos ovinos y bovinos (Ghiano et al., 2011; Suárez et al., 2013; Suárez y Martínez, 2014).

A su vez, diferentes industrias lácteas y asociaciones han editado sus propias cartillas vinculando a las buenas prácticas para el manejo del rodeo lechero con el BA. Es oportuno mencionar que si bien en el país existen tanto actores como entidades que han manifestado interés en llevar adelante trabajos en materia de BA; cabe destacar que tanto las acciones realizadas como planificadas se encuentran ligadas a tareas de extensión que en general se sustentan en antecedentes internacionales.

En producción lechera, cada vez más, surge la necesidad de obtener eficiencia en los sistemas productivos que permitan maximizar los recursos y lograr que las vacas expresen todo su potencial. Según Lager et al. (2004) los sistemas de producción

lechera en los países con clima templado tienen un modelo pastoril puro, mientras que en Argentina los productores si bien se basan en el sistema pastoril, han incorporado en forma generalizada el suministro de silo de maíz y otros alimentos en piquetes con comederos, siendo por lo tanto un modelo semi-pastoril. Todos los sistemas de producción presentan ventajas y desventajas para el BA. No hay evidencias, hasta el momento, de sistemas de producción "ideales" para el BA cuando observamos las cinco libertades o necesidades de los animales.

En Argentina, la concientización respecto al bienestar animal es incipiente, de hecho los consumidores no están aún sensibilizados con la temática. Los interesados actualmente en la disciplina son productores que perciben la falta de bienestar ya sea como una reducción en los ingresos por pérdidas en la producción, o bien como una futura exigencia de los mercados internacionales a la que deben dar cumplimiento con el fin de agregar valor a sus productos (Martínez et al., 2016b).

En ese sentido, se ha demostrado en diferentes estudios, que no solo la ética, sino también los beneficios económicos que logran los productores por aplicar protocolos de BA han hecho crecer el interés en la temática (Esslemont, 1990; Warnick et al., 2001). En los rodeos lecheros, la condición corporal como herramienta de monitoreo de la nutrición; la salud de los animales a lo largo de las diferentes etapas productivas; el control y la prevención de problemas podales; la detección, control y profilaxis de mastitis han demostrado ser el núcleo de los diferentes protocolos de BA (FIL-IDF, 2009; Welfare Quality, 2009).

1.2.4.- Métodos de evaluación

A nivel mundial dentro de los sistemas creados para la valoración del BA se puede mencionar al TGI 35 L desarrollado en Austria cuyo método de evaluación se basó en la

construcción de un índice relacionado con las necesidades de los animales. Si bien es un método sencillo para ser llevado a campo, cuenta con la limitante de solo considerar parámetros asociados a las condiciones que deben tener los alojamientos en estabulación para cumplir con las necesidades de los animales y asegurar su bienestar (Bartussek, 1999).

En base a modificaciones del sistema TGI 35 L, en Alemania, se creó el sistema TGI 200. Este nuevo sistema ya no solo contempló parámetros asociados al alojamiento de los animales, sino también, incluyó aquellos vinculados con su alimentación e higiene, a la vez que considera la interacción con los humanos (Sundrum, 1997).

En 2004, la Unión Europea con la participación de cuarenta instituciones de Europa y cuatro de América Latina fundó un proyecto de investigación centrado en la integración del bienestar de los animales de producción denominado Welfare Quality (WQ). El proyecto tuvo como objetivo satisfacer la preocupación social y las exigencias de los mercados en cuanto al BA.

El WQ definió cuatro principios: buena alimentación, buen alojamiento, buena salud y comportamiento apropiado, y 12 criterios complementarios (Cuadro 2). A su vez, estableció la forma de evaluarlos a campo.

Cuadro 2. Los doce principios y criterios definidos por el Welfare Quality en cuanto a: alimentación, alojamiento, salud y comportamiento de los animales.

Principios	Criterios
Alimentación	1. Ausencia de hambre prolongada. 2. Ausencia de sed prolongada.
Alojamiento	3. Confort en relación al descanso. 4. Confort térmico. 5. Facilidad de movimiento.
Salud	6. Ausencia de lesiones. 7. Ausencia de enfermedad. 8. Ausencia de dolor causado por prácticas de manejo.
Comportamiento	9. Expresión de un comportamiento social adecuado. 10. Expresión adecuada de otras conductas. 11. Interacción positiva humano – animal. 12. Estado emocional positivo.

Una de las principales limitantes que han sido relevadas respecto a la implementación del protocolo propuesto por el WQ es el tiempo que insume, y por consecuencia, el costo para poder llevar adelante la evaluación a campo (Knierim y Winckler, 2009). De hecho, el WQ ha sugerido que para poder aplicar el protocolo en los establecimientos lecheros el tiempo requerido es de un día (Welfare Quality, 2009). En virtud de esto, Vries et al., (2013) han trabajado sobre el protocolo del WQ buscando disminuir el tiempo operativo para su ejecución, sin embargo, concluyeron que la sustitución de los

indicadores del WQ basados en el animal para la predicción de otros indicadores logran poco margen de reducción de tiempo de evaluación en el ganado lechero.

Tomando como base fundamentalmente lo propuesto en el WQ y las 5 libertades propuestas por la FAWC se han desarrollado y evaluado diferentes modelos de valoración del BA (Main et al., 2001; Capdeville y Veissier, 2001; Stull et al., 2005).

Algunos autores como Fraser et al., (1997), Duncan y Fraser, (1997) y Von Keyserlingk et al., (2009) coinciden en señalar que al evaluar el BA se deben considerar tres aspectos importantes en los animales: el funcionamiento biológico (salud), la naturalidad de su vida (comportamiento) y su estado afectivo (estado mental). A su vez, sugieren que la conjunción de estas funciones constituye el estado ideal de bienestar, ya que el éxito de una sola no garantiza que se haya alcanzado un estado de bienestar.

Estos autores convinieron en considerar que dentro de las funciones biológicas se debe tener en cuenta tanto parámetros de salud, de longevidad, de éxito reproductivo, así como las alteraciones fisiológicas o del comportamiento. A su vez, en cuanto al estado afectivo, consideraron que este puede ser definido a partir de las experiencias subjetivas de los animales (sentimientos y emociones), enfatizando la reducción de los sentimientos negativos (sufrimiento, dolor) o promoviendo los positivos (confort, placer). La limitante que reportaron respecto a este factor es que al momento de la evaluación es escasa la precisión que se puede lograr en cuanto a su valoración. Al comportamiento natural lo consideraron como la posibilidad de que el animal pueda expresarse de la manera en que lo haría en un estado “natural o salvaje”.

Los indicadores para la evaluación del BA tienen como característica común que pueden ser medidos científicamente y son independientes de cualquier valoración moral. Los indicadores para considerar dentro de los sistemas de producción de leche pueden ser agrupados en dos categorías: aquellos basados en el animal y aquellos

basados en el ambiente. Entre los primeros podemos encontrar: la condición corporal, las enfermedades podales, las mastitis, los problemas de fertilidad, entre otros. Dentro del segundo grupo encontramos: el alojamiento, la alimentación, las instalaciones, entre otros.

1.2.5.- Bienestar Animal y Lechería

Los programas de selección y mejoramiento genético ligados a la producción de leche durante muchos años han tenido como objetivo principal trabajar en pos del aumento de la producción individual de leche. Si bien la mayoría de los programas implementados alcanzaron grandes logros en materia productiva, han puesto en riesgo otros aspectos importantes que hacen al BA y a la rentabilidad de la explotación. Oltenacu y Algers, (2005) han reportado que las vacas lecheras que han sido seleccionadas por su alta producción resultan ser particularmente susceptibles al estrés y corren más riesgos de sufrir trastornos metabólicos, fisiológicos e inmunológicos. Sin embargo, Trevisi et al., (2006) concluyeron que si se lleva adelante un programa de gestión y manejo adecuado de los animales de elevado mérito genético es posible combinar altas producciones con buenas condiciones de BA para los animales.

McInerney, (2004) propuso un marco económico para considerar el estado de BA en relación con la producción (Figura 6). “En su estado salvaje o natural, un animal expresará una productividad natural pero su bienestar no será el óptimo debido a la depredación, las enfermedades, la falta de alimento y otras circunstancias naturales adversas (Punto A). En la medida en que los animales satisfacen mejor sus necesidades, cuando forman parte de una explotación, su producción aumenta y su bienestar mejora en primer lugar cuando cuentan con todas sus necesidades básicas y más tarde cuando se obtienen las necesidades secundarias como protección ante enfermedades o abrigo.

Eventualmente, el estado de bienestar se verá maximizado (Punto B). Superando este punto, un mayor esfuerzo para aumentar la producción comenzará a tener impacto en el bienestar del animal (Punto C). Por último, se llega a un punto (Punto D) en el que una mayor búsqueda de producción alcanza (o supera) los límites biológicos de los animales, y el bienestar es pobre (esto equivale al punto W_{min} o de crueldad)''.

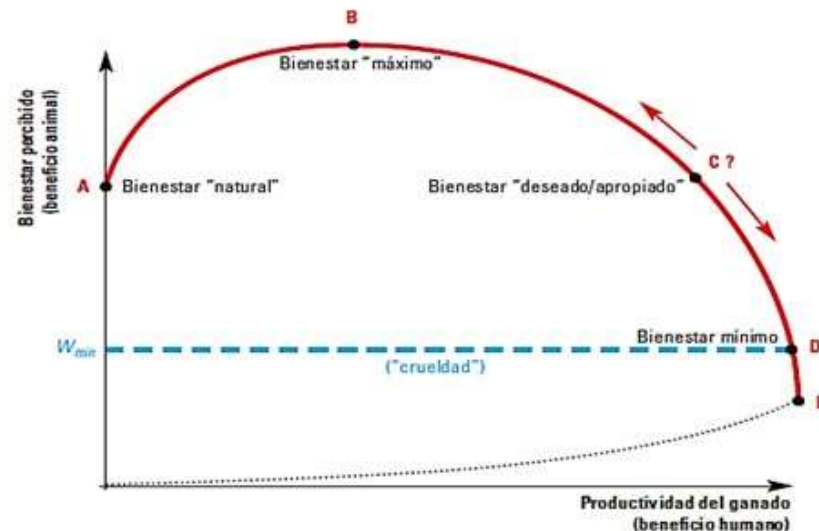


Figura 6. Marco económico que considera el estado de bienestar en relación con la producción animal.

Como síntesis del trabajo presentado por McNerney, se puede concluir que si bien es factible la combinación de altas producciones y buenos estados de BA; pueden alcanzarse incrementos en la productividad y no necesariamente evidenciarse mejoras en cuanto al bienestar, o hasta incluso deteriorarse cada vez más.

Por lo expuesto anteriormente, todos los establecimientos dedicados a la producción de leche deberían ser capaces de combinar la rentabilidad con la responsabilidad de la protección de la salud humana, del BA y del medio ambiente.

1.2.6.- El estrés

El estrés es definido como la suma de disturbios en los sistemas motivacionales del animal.

Moberg (2000) define el estrés como la respuesta biológica de un individuo cuando percibe alguna amenaza a su homeostasis.

De acuerdo con Broom (1991) el miedo puede ser producido por el riesgo de un ataque de un predador o por el riesgo de daños producidos por otro animal de la misma especie. El miedo puede ser consecuencia de manejos desconocidos para el animal, como el transporte, manipulaciones en la granja, y su respuesta puede traducirse en inmovilizaciones, vocalizaciones, intentos de escape, ataque, aumento de la frecuencia cardiaca.

La cantidad de tiempo que un individuo pasa en un ciclo de este tipo, está relacionada con el grado de daño que le causa el estrés.

El estrés surgiría de un conflicto entre la motivación del individuo y las condiciones ambientales. Aquí se proponen dos teorías en conflicto: las que enfatizan el papel de las experiencias psicológicas, donde los estresantes son externos y se imponen al animal, y las que proponen que se trata de conflictos con factores internos (motivacionales). El conflicto es aparente, y se resuelve incorporando el estrés, en el sentido de pérdida de predictibilidad y control, dentro de un modelo sistémico de la motivación.

Las variables fisiológicas son indicadores esenciales, pero el estrés es primordialmente un fenómeno comportamental/psicológico. La idea de que el estrés es más comportamental que fisiológico, surge de una serie de experimentos en los que se vio que monos que sufrían un aumento paulatino de la temperatura no mostraban estrés, en tanto que el mismo aumento rápido, sí producía cambios en el eje hipotálamo hipofisiario.

Los estados de estrés o distrés pueden ser medidos a través de variables sanguíneas, sean estas hormonas o metabolitos. La ventaja de estas mediciones es que producen resultados cuantificables y posibles de comparar. El estrés induce varias respuestas hormonales adaptativas, entre las más destacadas están la secreción de catecolaminas en la médula adrenal, corticoesteroides en la corteza adrenal y corticotropina (ACTH) en la hipófisis anterior. Existe un gran número de interacciones en la liberación de estas hormonas. Así, los glucocorticoides regulan la biosíntesis de catecolaminas en la médula adrenal y las catecolaminas estimulan la liberación de ACTH en la hipófisis anterior. Además, existen otras hormonas como el factor liberador de la corticotrofina, el péptido vasoactivo intestinal y la vasopresina arginina que estimulan la liberación de ACTH, mientras que la somatostatina la inhibe. En conjunto, estos agentes determinan una compleja respuesta fisiológica a los distintos factores inductores de estrés (Axelrod y Reisine, 1984).

Entre los indicadores sanguíneos de estrés más comúnmente utilizados tenemos las concentraciones de adrenalina, noradrenalina, Factor Liberador de Corticotropina, cortisol, prolactina, metabolitos como glucosa, ácidos grasos libres, b-hidroxibutirato y los leucocitos. Dentro de las variables fisiológicas indicadoras de estrés tenemos la temperatura corporal, frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria, hematocrito y relación neutrófilos/linfocitos. Estas variables han sido utilizadas frecuentemente para medir estrés por transporte o por manejo en la especie bovina y ovina (Crookshank et al., 1979; Mitchell et al., 1988, Warris et al., 1995, Tadich et al., 2000).

1.3.- Estrés calórico y sus implicancias productivas y económicas

La preocupación de la sociedad civil sobre el impacto ambiental de la producción láctea y el BA es cada vez mayor. En las últimas décadas, el estrés calórico ha sido una

temática de investigación importante debido al impacto que tiene sobre el confort y la performance animal. Las pérdidas productivas asociadas a eventos de estrés calórico van del 5 al 11%, dependiendo de la magnitud del evento (Gastaldi, 2011). Las pérdidas económicas asociadas a este problema en la Argentina se estiman en 80 millones de dólares anuales, solamente considerando las mermas de producción de leche (Taverna, comunicación personal).

El estrés calórico afecta directa e indirectamente el consumo de alimento, la temperatura corporal del animal, los requerimientos de mantenimiento, procesos metabólicos, la eficiencia de conversión de alimento a leche, la producción y calidad de la leche, la performance reproductiva, el estado sanitario, el comportamiento, el BA y crea una estacionalidad indeseable en el abastecimiento de leche al mercado (Thatcher, 1974; Cook et al., 2007; Tucker et al., 2007; Rhoads et al., 2009; Flamenbaum, 2008).

1.3.1.- Estrés calórico y su impacto en vacas lecheras

Las vacas lecheras tienen un rango de temperatura corporal en el cual su metabolismo funciona con normalidad. La temperatura corporal de los animales es generalmente mayor a la ambiental para asegurar un flujo de calor metabólico desde el animal hacia su entorno (Collier et al., 2006).

Temperaturas entre 5 y 25 °C se consideran confortables para el ganado bovino lechero, rango que se denomina de confort térmico o termoneutral. En este rango el animal tiene el costo metabólico y fisiológico mínimo, y producir leche es más eficiente. Por encima de este rango se incrementa la temperatura rectal, la frecuencia respiratoria y se modifica el comportamiento animal, ocasionando un descenso en la producción de leche y en el desempeño reproductivo (Correa-Calderón et al., 2004).

1.3.2.- Estrés calórico e Índice de Temperatura y Humedad (ITH)

La temperatura no es solo el único parámetro meteorológico que incide en la intensidad del estrés calórico. El Índice de Temperatura y Humedad (ITH) (Thom, 1959) se ha utilizado ampliamente como indicador del grado de estrés calórico sufrido por un animal. Este involucra no solo a la temperatura ambiente, sino también la humedad relativa. Su ecuación es la siguiente:

$$ITH = (1,8 \times Ta + 32) - (0,55 - 0,55 \times hr) \times (1,8 \times Ta - 26)$$

donde Ta es la temperatura del aire y hr es la humedad relativa expresada en forma decimal.

El valor del ITH considerado como límite entre situaciones de confort y de estrés ha variado a lo largo de los años desde 72 (Whittier, 1993; Armstrong, 1994) en vacas produciendo 10 L día⁻¹, a 68 en vacas de alta producción actuales (Zimbelman et al., 2009).

1.3.3.- Estrés calórico y olas de calor

El tiempo de recuperación nocturna que tiene el animal es una variable importante para establecer el grado de impacto del ambiente cálido. A medida que aumenta el número de horas diarias de estrés, disminuye la posibilidad de recuperación nocturna de los animales. Si esta situación se prolonga en el tiempo, pueden desarrollarse las denominadas “olas de calor”. Una ola de calor se define como el período de tres o más días consecutivos con valores de ITH promedio diario por encima del umbral de confort (Hahn et al, 2003). Durante las olas de calor se ve afectado el intercambio calórico de los animales, que fallan en disipar la carga calórica extra y por lo tanto tienen poca oportunidad para recuperarse. La termorregulación y el comportamiento se ven afectados en estos casos (Nienaber et al., 2001).

1.3.4.- Producción de calor de una vaca lechera

Adicionalmente al aporte de calor proveniente del ambiente, la vaca lechera genera una considerable cantidad de calor interno debido a la rumia y al metabolismo. Una vaca de alta producción (mayor a 30 L día⁻¹) genera entre 1,32 a 1,76 kWh de calor (Harner et al., 2000). La emisión de calor de una vaca produciendo 19 L diarios es 27% más que una vaca seca, y la de una vaca produciendo 32 L diarios es 48% mayor (Purwanto et al., 1990). La combinación del aporte ambiental y la producción interna de calor, repercuten directamente en el animal, generando un estado de estrés calórico.

1.3.5.- Estrés calórico y reproducción

El incremento de la temperatura corporal de vacas lecheras sometidas a estrés calórico tiene un efecto negativo en la performance reproductiva. El aumento de 1 °C en la temperatura rectal 12 horas post inseminación, provocó una disminución del 16% en la tasa de preñez (Ulberg y Burferning, 1967). El aumento de 0,5°C en la temperatura uterina en el día de la inseminación o posterior, disminuyó la tasa de preñez 13 y 7%, respectivamente (Gwazdauskas et al., 1973). Badinga et al. (1985) atribuyen la disminución en las tasas de preñez de las vacas lecheras a su incapacidad de mantener temperaturas corporales normales con temperaturas del ambiente superiores a 30°C.

Ealy et al. (1993) demostraron que los embriones se vuelven más tolerantes al estrés calórico a medida que progresa la preñez. A su vez, los embriones son sensibles a los efectos deletéreos del estrés calórico desde el día de la inseminación hasta los 10 días posteriores. Después de este período desarrollan mayor resistencia. La expresión y duración del celo también se deprimen en condiciones de estrés calórico (Abilay et al., 1975). En vacas sufriendo estrés calórico se observa una disminución en la liberación de hormona luteinizante en el quinto día estral, en comparación con vacas aclimatadas

(Wise et al., 1988). También es afectado la dominancia y dinámica folicular, y hay un menor crecimiento del feto debido a una disminución en el flujo sanguíneo y de nutrientes hacia el útero (Collier et al., 1982).

Resumiendo, el estrés calórico disminuye la eficiencia reproductiva de distintas maneras: retrasando el inicio de la pubertad, alterando y/o retrasando la ovulación, alterando la intensidad y la duración del celo, comprometiendo la viabilidad de los gametos, la supervivencia del embrión, y el desarrollo del embrión y/o del feto, e incluso alterando la función lútea del ovario en mantener la gestación (Aréchiga-Flores y Hansen, 2003). Todo esto lleva a un incremento en el intervalo entre partos afectando negativamente los índices reproductivos del rodeo lechero.

1.3.6.- Estrés calórico y producción de leche

El estrés calórico afecta de dos maneras a las vacas lecheras, por un lado en la reducción del consumo de alimento, y por el otro en una disminución en la eficiencia de conversión de alimento a leche. Este último se da por un incremento en los requerimientos de mantenimiento debido a la activación de procesos termorregulatorios para mantener la homeotermia. Esta energía extra utilizada para la termorregulación contrarresta otros procesos fisiológicos como lo es la producción de leche (Buffington et al., 1983). Las principales vías de disipación del calor del animal en climas calurosos y húmedos son el jadeo y la transpiración, conocidas como enfriamiento evaporativo. En condiciones de excesiva temperatura y humedad ambiente, estas vías se ven reducidas, y la vaca lechera ingresa en un estado de estrés calórico, donde no puede disipar el calor corporal, aumentando su frecuencia respiratoria y temperatura corporal. Esto provoca un mayor costo energético, incrementando los requerimientos diarios de mantenimiento del animal entre un 7 a un 25% (NRC, 2001). Las vacas en estrés calórico sufren un balance

energético negativo (NEBAL por sus siglas en inglés) ya que el consumo de alimento no cubre las necesidades energéticas de mantenimiento, ni de lactación.

La disminución del consumo de alimento explica aproximadamente un 36% de la disminución de producción de leche, debido a cambios en el metabolismo postabsortivo y la partición de nutrientes (Rhoads et al., 2009).

En condiciones de termoneutralidad, las vacas experimentando NEBAL incrementan la tasa de lipólisis, aumentando los niveles de ácidos grasos no esterificados (NEFA por sus siglas en inglés) en plasma, mientras que la glucosa es utilizada en gran medida por la glándula mamaria para la síntesis de leche. Por otro lado, las vacas experimentando situaciones de estrés calórico, tienen menores niveles de NEFA en plasma y mayores tasas de utilización de la glucosa en tejidos periféricos, no así en la síntesis de leche en la glándula mamaria (Rhoads et al., 2009).

Spiers et al. (2004) manifestaron que la reducción del consumo de alimento se da un día después de comenzado el estado de estrés calórico, mientras que la disminución en la producción de leche dos días posteriores. Por su parte, Collier et al. (1981), demostraron que la mayor caída se da luego de 48 horas de iniciado el estado de estrés calórico.

Durante episodios de estrés calórico se afecta la secreción de la hormona de crecimiento (GH por su sigla en inglés), esto provoca menores tasas de crecimiento y afecta negativamente la performance productiva de las vacas lecheras (Mitra et al., 1972).

Johnson et al. (1963) cuantificaron una disminución de $1,8 \text{ kg vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$ por cada aumento de $0,55 \text{ °C}$ en la temperatura rectal por encima de $38,6 \text{ °C}$. Más recientemente Igono et al. (1985) demostraron que una vaca con temperatura rectal de $39,1 \text{ °C}$ produjo $0,7 \text{ kg vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$ menos que una vaca con $38,8 \text{ °C}$. Zimbelman et al. (2009) también expresaron una relación inversa entre temperatura rectal y producción de leche. Esta

relación se acentúa en vacas de alta producción, por la mayor producción de calor metabólico (Purwanto et al., 1990).

Aunque el estrés calórico afecta negativamente a las vacas a lo largo de toda la lactancia, el grado de afectación difiere según la etapa en la cual se sufrió dicho estrés. Al inicio, causa una disminución de la producción de leche y descenso del pico de producción. Cuando se da en el segundo tercio, afecta la persistencia. Durante la parte final, afecta al desarrollo del feto y masa placentaria, limitando el desarrollo de la glándula mamaria e indirectamente, la lactancia subsiguiente (Flamenbaum, 2008).

1.3.7.- Estrés calórico y eficiencia de la producción

Cuando las vacas se encuentran en estado de estrés calórico, hay una mayor utilización de energía para mantenimiento celular, lo cual provoca un exceso de calor metabólico. Por lo tanto, es fundamental que haya un intercambio de calor desde el animal hacia el ambiente que lo rodea para mantener una óptima temperatura corporal (Kadzere et al., 2002).

Una relación inversa se ha observado entre diferentes hormonas metabólicas como tiroideas, somatotropina y prolactina (Mitra et al., 1972; Johnson et al., 1988; Lu, 1989; Collier et al., 2006). Estas hormonas son las responsables de un mayor uso de energía para el mantenimiento celular y producción de calor metabólico, una menor motilidad intestinal y un menor flujo sanguíneo hacia el sistema digestivo (Hales et al., 1984; Johnson et al., 1988). La disminución en la motilidad intestinal provoca menores tasas de pasaje, con el consiguiente menor consumo de alimento. West (2003) reportó una disminución de 0,85 kg de Materia Seca (MS) por cada 1 °C de incremento en la temperatura ambiente por encima de la zona termoneutral del bovino lechero.

Los mecanismos fisiológicos que mejoran la disipación del calor llevan a mayores requerimientos de mantenimiento debido a una mayor utilización de nutrientes. Los ejemplos más claros son: aumento de la respiración, sudoración, ritmo cardíaco y salivación (Atrian y Shahryar, 2012). Esto incrementa la pérdida de fluidos corporales con la consiguiente deshidratación y pérdida de homeostasis sanguínea (Collier et al., 2006). Por su parte, la respiración por ejemplo, disipa un 15% del total del calor metabólico generado por el animal y cuanto mayor es la misma (jadeo), mayor es la disipación de calor.

La adaptación ha llevado a la vaca lechera a minimizar la producción de calor metabólico y maximizar la disipación del mismo. Esto lleva a una disminución de la producción de leche y a una mayor necesidad de energía y nutrientes para lograr la termoneutralidad, con el consiguiente aumento de los requerimientos de mantenimiento. Rhoads et al., (2009) reportaron que la disminución en el consumo de MS solo explica el 36% de disminución en producción de leche, siendo el restante explicado por una necesidad mayor de energía, específicamente glucosa, para mantenimiento.

1.3.8.- Estrés calórico y salud animal

El principal efecto del estrés calórico sobre la salud animal es el aumento de la incidencia de laminitis, debido a la mayor susceptibilidad a contraer acidosis y al mayor tiempo parados (Cook et al., 2007). También se ha reportado un aumento de la incidencia de mastitis (Dohoo y Meek, 1982; Elvinger et al., 1991) y problemas reproductivos asociados a los meses de verano (Collins y Weiner, 1968; Silanikove, 2000; Kadzere et al., 2002).

1.3.9.- Estrés calórico y comportamiento animal

Los animales ante condiciones de estrés calórico realizan cambios de comportamiento tendientes a regular la temperatura corporal. Es decir, modificaciones en los patrones corrientes de postura, movimiento y consumo de alimentos.

El animal realiza modificaciones para reducir la producción, favorecer la pérdida y evitar la acumulación de calor. Algunas de las normas de la conducta termorregulatoria son la resistencia de las hembras a montarse unas a otras durante el celo, la dispersión de grupos, la disminución de actividades locomotoras (Brown-Brandl et al., 2006; Arias et al., 2008).

El estrés calórico modifica el comportamiento animal. Por ejemplo, al aumentar el ITH y la radiación solar, las vacas lecheras buscan sombra y lugares frescos (Tucker et al., 2007). Estos cambios en el comportamiento, sugieren que los animales buscan ambientes con menor temperatura.

Para maximizar la pérdida de calor corporal, las vacas tienden a pasar más tiempo paradas para incrementar la superficie corporal para disipación del calor mediante convección (Igono et al., 1987; Anderson et al., 2012, Smith et al., 2016). Debido a esto, durante episodios de estrés calórico se incrementa la probabilidad de ocurrencia de laminitis, principalmente cuando los animales permanecen parados más de 45% del día (Galindo y Broom, 2002). Se ha reportado una correlación negativa entre el tiempo que las vacas permanecen echadas y la incidencia de laminitis y el ITH (Leonard et al., 1996; Privolo y Riva, 2009). Esto sugiere que las vacas expuestas a elevados valores de ITH pasan mayor tiempo paradas para poder disipar mayor calor corporal, pero con el consiguiente aumento del riesgo de sufrir laminitis. También se ha reportado que una disminución en el tiempo de echado, reduce la producción de leche (Bach et al., 2008,

Grant, 2007). Por cada hora que se reduce el tiempo de echada, la producción de leche disminuye $1,7 \text{ kg vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$, en vacas produciendo más de 30 L por día.

La observación del comportamiento es una herramienta muy valiosa para ayudar a determinar el grado de estrés que sufren los animales en un ambiente dado. Davison et al. (1999), citado por Valtorta (2004), presentaron una lista de los cambios frente al estrés por calor, en orden creciente:

- Alineación del cuerpo con la dirección de la radiación
- Búsqueda de sombra
- Rechazo a echarse
- Reducción del consumo
- Amontonamiento alrededor de las aguadas
- Salpicado del cuerpo
- Agitación e intranquilidad
- Disminución o supresión de la rumia
- Búsqueda de sombra de otros animales
- Boca abierta y respiración trabajosa
- Salivación excesiva
- Inhabilidad para moverse
- Colapso, convulsiones, coma, fallo fisiológico y muerte

Es importante tener en cuenta estos signos, dado que los animales tienen diferentes prioridades en ambientes adversos que, ordenadas en forma decreciente, son:

- Equilibrio de los fluidos corporales
- Normalidad de la temperatura corporal
- Crecimiento
- Producción de leche

- Reproducción

1.3.10.- Temperatura corporal, frecuencia respiratoria y comportamiento animal

El aumento de la Frecuencia Respiratoria (FR) es uno de los mecanismos fisiológicos de control de la temperatura corporal del animal ante situaciones de estrés calórico. Mediante el mismo, el animal incrementa el dióxido de carbono (CO₂) exhalado, disminuye el ácido carbónico y aumenta el pH sanguíneo. También, el riñón incrementa la absorción de hidrógeno y aumenta la excreción de cationes, principalmente sodio, a través de orina.

El incremento de la actividad respiratoria suele ser el primer síntoma visible de la respuesta al estrés térmico. A medida que aumenta la cantidad de aire respirado que puede ser calentado y saturado de humedad, mayor será la pérdida de calor.

El ritmo respiratorio aumenta al elevarse la temperatura del aire. En condiciones de termoneutralidad las vacas respiran unas 20 veces por minuto y el volumen del aire expirado es de 40 a 60 L, variando con la raza y el tamaño corporal. Sin embargo, a 40°C pueden respirar 115 veces por minuto con un volumen expirado de 300 L (Johnson et al., 1959). Esta diferencia representa, aproximadamente, la triplicación de la pérdida de calor. En Israel, Berman et al. (1985) midieron frecuencias respiratorias entre 50 y 60 movimientos por minuto, cuando la temperatura ambiente superaba los 25°C. En Argentina, Valtorta et al (1996) registraron frecuencias del orden de 80 respiraciones por minuto (r.p.m.), con temperaturas de 30°C.

Una frecuencia respiratoria elevada puede aumentar la pérdida de calor durante períodos cortos, aunque si este ritmo se mantiene por varias horas es probable que el animal experimente problemas graves. La respiración acelerada y prolongada interfiere en el consumo de alimentos y en la rumia, aumenta la producción de calor corporal derivada

de la actividad muscular, consume energía que podría utilizarse para otros fines y reduce la capacidad de combinación con el CO₂ del plasma sanguíneo (Bianca y Findlay, 1962).

La frecuencia respiratoria elevada no indica que los animales mantengan con éxito su equilibrio térmico, sino que señala que poseen una carga excesiva de calor y que tratan de restablecer su equilibrio normal. Los jadeos respiratorios cortos y rápidos pueden ser útiles hasta que la vaca ponga en funcionamiento otros mecanismos de pérdidas de calor.

Con respecto a la temperatura corporal y su relación con el comportamiento animal, Allen et al. (2012) demostraron que cuando la temperatura corporal supera los 38,9 °C aumenta el tiempo de parado en más de un 50% y cuando el ITH supera el umbral de 68, también ocurre lo mismo. Esto sugiere que estos dos umbrales de temperatura corporal e ITH, indican el comienzo del estado de estrés calórico.

1.3.11.- Impacto económico del estrés calórico en el tambo

Un estudio económico realizado por Flamenbaun (2012) muestra que para la zona de Santa fe y Córdoba ingresos adicionales de 80 a 200 U\$S vaca⁻¹ año⁻¹ asumiendo incrementos del 5 y 10% en producción de leche y eficiencia alimenticia, utilizando sistemas de ventilación y mojado.

1.4.- Situación de la producción de leche argentina frente al estrés calórico

1.4.1.- Riesgos geográficos y temporales

El estrés calórico afecta negativamente a las distintas cuencas lecheras de la Argentina, desde 15 a más de 165 días al año (Figura 7) con ITH mayores a 68, ocasionando

cuantiosas pérdidas económicas, disminuyendo la performance productiva y reproductiva de los tambos y empobreciendo el bienestar animal (Baudracco, 2014).

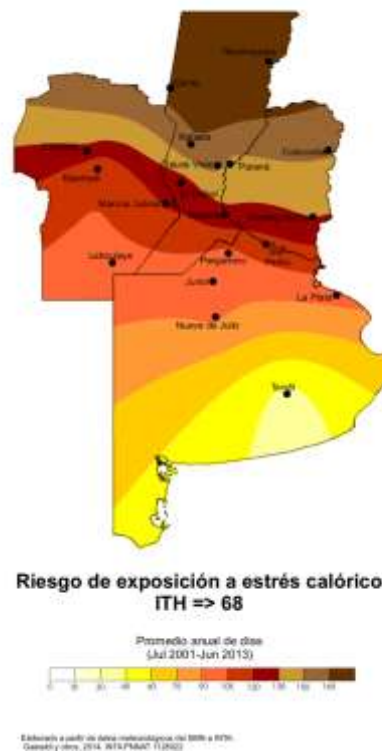


Figura 7: Riesgo de exposición a estrés calórico para las provincias de Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba y Entre Ríos, expresado como los días con ITH mayor o igual a 68. Promedio anual de días (Julio 2001 – Junio 2013).

El efecto de estrés calórico es aún mayor cuando se dan episodios de olas de calor, definidos como al menos tres días consecutivos con ITH promedio diario por encima de 68 (Valtorta et al., 2008).

Durante las olas de calor se ve afectado el intercambio calórico de los animales, que fallan en disipar la carga calórica extra acumulada durante los días en que hay varias horas con ITH por encima del nivel de confort (68), y poca oportunidad para recuperarse durante la noche.

La termorregulación y el comportamiento del consumo se ven afectados en estos casos (Nienaber et al., 2001).

Para la zona de Rafaela, provincia de Santa Fe, Argentina, epicentro de la cuenca lechera central, se da un período de olas de calor de más de cuatro meses al año, y una vez cada cinco años ese período podría durar hasta seis meses (Valtorta et al., 2008). La primera ola de calor se inicia, en promedio, el 11 de noviembre y la última el 15 de marzo.

Si bien las olas de calor son más comunes durante el período cálido del año, pueden presentarse en cualquier época. Es probable, incluso, que sus efectos sean más perniciosos si se presentan durante períodos en los cuales las temperaturas no son tan elevadas.

1.4.2.- Diagnóstico de las limitantes productivas en tambos de Argentina

Los sistemas lecheros de Argentina han incorporado tecnología de insumos relacionada a los animales y a la alimentación de los mismos, muchas veces sin lograr la respuesta esperada en producción de leche por vaca. De manera que, existen otros factores, además de la alimentación y el potencial genético de los animales, que están limitando fuertemente la expresión del potencial de producción de leche por vaca y por hectárea en Argentina, y que dichos factores no están siendo debidamente controlados.

Un completo estudio llevado a cabo por Baudracco et al. (2014) permitió inferir que el crecimiento en número de vacas de los tambos, no fue acompañado armoniosamente con el crecimiento necesario en infraestructura (principalmente instalaciones de ordeño, aguadas y sombras). Este aumento en la carga animal por tambo, uno de los factores que más influyen en el resultado económico de la empresa, llevó aparejado un subdimensionamiento de la infraestructura con la consiguiente limitación a la sustentabilidad económica, social y ambiental del tambo.

Del mismo estudio se desprendió que:

- Instalaciones de ordeño: El tambo promedio relevado tenía una instalación de ordeño de 24 años de antigüedad, con una máquina de ordeño de 11 años de antigüedad, y en el 85% de los casos la instalación era una espina de pescado de 9 bajadas promedio. En el 90 % de los tambos el corral de espera era de cemento, con una superficie promedio de $1,57 \text{ m}^2 \text{ VO}^{-1}$. Aproximadamente un tercio contaba con sombra en el corral de espera y menos del 11% contaba con ventiladores y/o aspersores para mitigar el impacto del estrés por calor en las vacas. Se observó un elevado porcentaje de tambos con reserva de vacío insuficiente para el ordeño, ya que el 29% de los tambos contaba con menos de 50 L de reserva efectiva de vacío por unidad de ordeño. El porcentaje de tambos con insuficiencia en la capacidad de la bomba de vacío de la ordeñadora era menor al 11%. Estos niveles insuficientes de vacío y reserva de vacío para el ordeño causaban mayor tiempo de ordeño, problemas durante el ordeño y posible predisposición a problemas de sanidad de ubre.
- Sombra: la mayoría de los tambos contaban sombra natural y/o artificial para las vacas en ordeño, pero la superficie disponible por vaca era escasa, ya que el 91% de los tambos tenían menos de $2 \text{ m}^2 \text{ VO}^{-1}$ de sombra artificial, lo cual es inferior a lo recomendado para mitigar los efectos del estrés calórico ($4 \text{ m}^2 \text{ VO}^{-1}$). A pesar de esto, el 13% de los tambos no proveían de ningún tipo de sombra. El 58% de los establecimientos tenían al menos un rodeo sin acceso a sombra. A su vez, en una gran proporción de los sectores con sombra no había disponibilidad de comederos (aproximadamente el 70% de sectores de sombras no tenían comederos) y la disponibilidad de aguadas era escasa en los sectores destinados a sombra (solo contaban con aguadas el 28% de sectores con sombras artificiales y el 57% de sectores con sombras naturales).

- **Aguadas:** Se observaron dos problemas importantes en relación a la disponibilidad de agua de bebida. Uno era que el agua se encontraba lejos de las parcelas, a una distancia mayor (461 metros en promedio) al máximo recomendado para vacas en pastoreo (200 metros). El otro problema, relacionado al primero, era la escasa cantidad de aguadas; en promedio había una aguada cada 34 hectáreas en los tambos relevados, siendo lo recomendado: 1 cada 5 hectáreas.
- **Callejones:** el 58% de los callejones estaba en estado “regular o malo”, bajo una observación visual, con escasa o nula pendiente para escurrimiento del agua.
- **Preparto:** El área destinada al rodeo de vacas preparto estaba en general cerca de la casa del tambero. En ese sector, el dimensionamiento de sombras era de 5,8 m² por vaca, lo cual era adecuado, pero el 37% de los tambos no tenía sombra y el 25% no tenía aguadas, siendo esta la categoría más susceptible a sufrir estrés.

Según lo expuesto, uno de los grandes desafíos del sector primario de producción de leche en Argentina es reevaluar las instalaciones e infraestructura existente, e invertir para adecuar las mismas al tamaño de los rodeos actuales.

1.4.3.- Mecanismos de eliminación del calor y medidas de mitigación del estrés calórico

El ganado bovino tiene cuatro mecanismos de intercambio térmico para eliminar el calor corporal (Hahn, 1999):

- **Radiación:** se da través del aire, donde la transmisión de calor entre dos cuerpos se produce por medio de ondas, del más caliente al más frío. Es proporcional a la diferencia de temperaturas y se produce a través de la piel. La radiación puede ser directa o indirecta, es decir, radiación reflejada por otro cuerpo sólido y recibida por el animal.

- **Convección:** es la transmisión de calor que se produce por calentamiento del aire que rodea al animal. Al calentarse, se eleva y permite que aire más frío ocupe su lugar y se repita el proceso. Las pérdidas por esta vía son proporcionales a la velocidad del aire alrededor del animal. Esta convección puede ser forzada cuando se usa energía para mover el aire e incrementar la transmisión de calor. En ambientes calurosos no supone un porcentaje muy importante del intercambio térmico.
- **Conducción:** tiene lugar cuando un cuerpo caliente entra en contacto físico con otro más frío, siendo el intercambio térmico proporcional al gradiente de temperatura entre ambos cuerpos. En las vacas se produce cuando están echadas.

Estos tres mecanismos permiten la de pérdida de calor sensible, muy efectivas cuando el ITH no es tan elevado.

- **Evaporación:** a medida que el calor aumenta, la evaporación del vapor de agua en las mucosas del aparato respiratorio, por la piel (sudoración) y por las deyecciones, es la forma más eficiente de disipar calor.

Para mantener la temperatura corporal del animal es preciso que las ganancias de calor sean iguales a las pérdidas. Conforme aumenta la temperatura ambiental, se incrementan las pérdidas de calor latente en detrimento de las de calor sensible.

Existen diferentes estrategias para minimizar los impactos del estrés por calor. Entre ellas se encuentran el manejo nutricional y las modificaciones del ambiente como las más importantes. Las modificaciones nutricionales pueden minimizar la hipertermia, pero la mayor respuesta a los cambios en la dieta se da a través de cambios en el ambiente.

Los diferentes sistemas de modificación del ambiente se clasifican, según el impacto que pueden producir sobre los animales, en protectivos y productivos o de enfriamiento (Hahn, 1981). Los primeros son los que permiten disminuir la ganancia de calor por

intercepción de la radiación solar directa. Entre los segundos hay una gama que cubre desde la ventilación forzada y la aspersión de agua, cada una por separado, hasta combinaciones de ambos sistemas (enfriamiento), incluyendo el enfriamiento evaporativo e, incluso, el aire acondicionado.

Las diferentes opciones se clasifican de la siguiente manera:

Métodos protectivos:

- Sombras naturales
- Sombras artificiales

Métodos de enfriamiento

- Directos (enfriamiento del animal)
 - Ventilación forzada
 - Humedecimiento del animal
 - Combinación de ventilación y humedecimiento
- Métodos Indirectos (enfriamiento del aire)
 - Nebulizado
 - Ventilación cruzada
 - Túnel de viento
 - Aire acondicionado

Uno de los métodos más difundidos y mejor evaluados a nivel mundial es el enfriamiento directo con combinación de ventilación y humedecimiento del animal. Este sistema se basa en privilegiar la vía más importante de pérdida de calor en condiciones de temperatura elevada, la evaporación desde la superficie de la piel.

Es importante tomar en consideración de qué manera se potencian las pérdidas de calor cuando se combinan la aspersión y la ventilación forzada. Cada gramo de agua evaporada desde la piel del animal equivale a una pérdida de 0,56 kcal. Sin embargo,

existen grandes diferencias en la cantidad de agua que se evapora en diferentes situaciones:

- La difusión pasiva, o perspiración, evapora unos 30 g h^{-1} , que representan $16,8 \text{ kcal h}^{-1}$

- La transpiración activa evapora 170 g h^{-1} , equivalentes a $95,2 \text{ kcal h}^{-1}$

- El mojado y la ventilación evaporan 1000 g/h , que significan la pérdida de 560 kcal h^{-1}

Este sistema es efectivo en todo tipo de climas (secos y húmedos), ya que la alta velocidad forzada del aire permite secar las vacas y evita la saturación del aire.

Utilizado en vacas al comienzo de la lactancia y durante el período de transición en el verano, disminuye significativamente la merma en el nivel de producción de leche y en la tasa de preñez (Flamenbaun, 2008). A su vez, vacas secas y con preñez avanzada que se sometieron a un sistema de refrigeración, incrementaron su posterior producción, en comparación a los animales no tratados (do Amaral et al., 2009). En ese estudio, las vacas fueron sometidas a refrigeración diaria durante un período de 46 días pre-parto, y luego del parto todas las vacas se manejaron en conjunto en un establo equipado con aspersores y ventiladores. Con este manejo las vacas refrescadas en el pre-parto, presentaron una producción de leche significativamente ($p > 0,01$) mayor durante las primeras 30 semanas de la lactancia.

El enfriamiento intensivo mediante sombra, ventilación y mojado permite aumentar la disipación de calor corporal, disminuyendo la temperatura corporal y mejorando la performance de vacas lecheras de alta producción (Armstrong, 1994; West, 2003; Correa-Calderón et al., 2004).

Este puede instalarse en el corral de espera previo al tambo, en pistas de alimentación, establos o salas de refrigeración.

En Israel, durante la época estival, la combinación de un correcto tratamiento de refrigeración con una adecuada condición corporal al parto y un buen manejo de la

alimentación al comienzo de la lactancia tienen el potencial de permitir niveles de producción y fertilidad casi similares a los que se obtienen en invierno. En rodeos de alta producción, la relación de desempeño productivo en verano versus invierno es del 96 al 100% en tanto que, cuando no se aplica el enfriamiento intensivo, esta relación varía entre 86 y 88% (Flamenbaum, 2008).

En tambos que manejan varias categorías de animales por separado, el orden de prioridad en cuanto al refrigeración es: vacas frescas (primeras 3 semanas post-parto), vacas pre-parto (3 semanas previas al parto), vacas de alta producción (hasta 100 días en lactancia DEL), vacas de producción media (100 a 200 DEL), vacas secas (desde secas hasta 3 semana antes del parto) y vacas de lactancia tardía (más de 200 DEL).

La refrigeración ha sido ampliamente estudiada en el corral de espera de los tambos argentinos, incrementando la producción y mejorando la composición de la leche de las vacas en ordeño (Valtorta y Gallardo, 2004, Gallardo et al., 2011). Estos trabajos mostraron incrementos de hasta un 5% en producción de leche, e incrementos de un 13% en sólidos totales, solamente aplicando dos ciclos de refrescado diarios, previo a los ordeños. Existe abundante información del impacto positivo del refrescado intensivo sobre los animales en sistemas confinados en distintos países lecheros del mundo, pero poca investigación en sistemas lecheros locales lo que hace necesario profundizar el conocimiento en este tema.

1.5.- Objetivo general

Siendo la refrigeración un método efectivo y eficiente para reducir el estrés térmico, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto que dicha tecnología tiene sobre la producción, el comportamiento y bienestar animal, aplicada en el sector de comedero.

Analizar económicamente la inversión y conocer su impacto en el resultado general de la empresa tampera.

1.5.1.- Objetivos específicos

Determinar el efecto beneficioso de la refrigeración como método de mitigación de estrés calórico sobre:

- a- la producción, eficiencia de conversión y composición de la leche
- b- el comportamiento animal
- c- indicadores de bienestar animal
- d- realizar un análisis económico de la inversión en refrigeración

1.6.- Hipótesis

La refrigeración de bovinos de leche sometidos a estrés calórico mejora la respuesta productiva y el bienestar animal, modificando el comportamiento de los mismos. Esta tecnología, aumenta el tiempo dedicado al consumo de materia seca, la producción y composición de la leche, la eficiencia de conversión y disminuye el recuento de células somáticas de la leche. Impacta positivamente en el confort y bienestar animal, disminuyendo la frecuencia respiratoria, la temperatura rectal y el tiempo dedicado a jadear.

Esta tecnología tiene un impacto positivo en los ingresos de la empresa tampera durante los meses cálidos, siendo una inversión.

CAPÍTULO 2

EVALUACIÓN DE LA REFRIGERACIÓN DE VACAS LECHERAS EN CONDICIONES DE ESTRÉS CALÓRICO

2.1.- Introducción

El presente trabajo se desarrolló durante el período estival en Rafaela, Santa Fe, Argentina, con el fin de evaluar la refrigeración de vacas lecheras sobre distintos parámetros productivos, comportamentales y de bienestar animal. El manejo de los animales fue el típico de la zona, para los meses de verano.

Se evaluó la respuesta productiva, la composición y calidad de la leche. También se midió el consumo de alimento y la eficiencia de conversión. Se registró y analizó el comportamiento animal y se tomaron muestras de cortisol para evaluar el estrés. A su vez se midió la frecuencia respiratoria y temperatura corporal como signos más importantes de estrés calórico.

2.2.- Materiales y métodos

2.2.1.- Sitio experimental

El estudio se realizó en las instalaciones del INTA, Estación Experimental Agropecuaria Rafaela, Santa Fe, Argentina (latitud 31° 15,09' 12" S y longitud 61° 29,30' 32" W) durante el verano. Hubo un período pre-experimental de 15 días, comenzando el 15 de noviembre de 2011, donde los animales se manejaron conjuntamente recibiendo la misma alimentación. Luego, el período de experimentación fue de tres meses desde el 1 diciembre al 29 de febrero inclusive.

2.2.2.- Animales y tratamientos

Todas las mediciones realizadas a los animales con el fin de investigación, estuvieron encuadradas dentro del protocolo del Comité de Cuidado y Uso de Animales de Laboratorio (CICUAL) de la Facultad de Veterinarias de la Universidad de Buenos

Aires bajo declaración jurada. Número de protocolo 2017/4. Médico Veterinario supervisor: Mariano Ferreira, INTA.

Se utilizaron 27 vacas de la raza Holando Argentino, que presentaban al inicio del ensayo las características que se detallan en la Cuadro 3.

Cuadro 3: Características físicas y productivas (media $\pm$ desvío estándar) de las vacas al inicio del ensayo

Peso vivo (kg)	580 $\pm$ 62
Días en leche (días)	90 $\pm$ 28
Lactancias (número)	2,8 $\pm$ 1,24
Producción de leche (kg vaca ⁻¹ día ⁻¹)	34,6 $\pm$ 5,2
Producción de leche al 4% GB (kg vaca ⁻¹ día ⁻¹)	32,2 $\pm$ 4,8
Grasa Butirosa (g/100ml)	3,54 $\pm$ 0,84
Proteína (g/100ml)	3,29 $\pm$ 0,31
Recuento células somáticas (log ₁₀)	5,37 $\pm$ 0,69

Las vacas se asignaron al azar a tres tratamientos:

- Refrigeración: sector de comedero con sombra artificial, ventilación y mojado (refrigeración) (n=9) (figura 8)
- Sombra: sector de comedero con sombra artificial (n=9), (figura 9)
- Testigo: sector de comedero sin sombra artificial ni refrigeración (n=9) (figura 10)

La sombra artificial proporcionada interceptaba 80% de la radiación solar incidente. El sistema de refrigeración consistía en ciclos consecutivos de 40 seg de aspersión de agua y 5 minutos de ventilación forzada. El caudal aplicado fue de 70 L de agua por aspersor por hora, lo que equivale a 1 L por vaca por ciclo de refrigeración. El tamaño de gota generado era de 5 mm, lo que posibilitaba un mojado completo del cuerpo del animal. El caudal de aire generado por los ventiladores era de 34.000 m³ h⁻¹, con una velocidad

de viento de 2 m seg^{-1} (Taverna et al, 2014). El sistema de ventilación y mojado se encendía automáticamente con temporizador a las 9:00 y se apagaba a las 19:30.



Figura 8: Foto del corral donde se ubicaban los animales correspondientes al Tratamiento Refrigeración.



Figura 9: Foto del corral donde se ubicaban los animales correspondientes al Tratamiento Sombra.



Figura 10: Foto del corral donde se ubicaban los animales correspondientes al Tratamiento Testigo.

2.2.3.- Manejo y alimentación

Las vacas permanecían encerradas las 24 horas del día en un Corral Estabilizado para Alimentación (CEA) (Figura 11) con una asignación de 75 m² de superficie y 70 cm de frente de comedero por animal. De esta manera se minimizó la competencia por alimento entre animales.

El corral disponía de una estructura de media sombra en el extremo opuesto al sector de comedero en los 3 tratamientos y varios puntos de acceso al agua de bebida. La malla plástica de la media sombra era de 80% de intercepción de la radiación solar y la estructura estaba orientada en dirección N-S, con una altura de 4 metros en la parte E y 3,2 metros en el W, logrando una superficie sombreada de 4 m² por animal. Todos los animales tenían libre acceso a esta sombra. La oferta de agua era *ad libitum*, en bebederos tipo media caña de 200 L con alta capacidad de llenado. El sector de comedero, consistía en una platea de hormigón armado. Los callejones estaban en buen estado, abovedados y con drenajes bien marcados. Se utilizaron caravanas con insecticida para la mosca de los cuernos. El trato animal era el adecuado, sin gritos ni ruidos fuertes. La ordeñadora estaba regulada para no provocar sobre ordeños y dolores de pezones. La limpieza de los animales era la adecuada.



Figura 11: Fotos del corral estabilizado para alimentación (CEA).

La dieta estaba formulada para alcanzar los requerimientos de los animales (NRC, 2001). En el cuadro 4 y 5 se muestra la composición física y química de la dieta, respectivamente. El balanceado se suministraba en partes iguales durante los ordeños de la mañana (3:30) y de la tarde (15:30). El resto de la Ración Total Mezclada (RTM) se distribuía con mixer, un 40% luego del ordeño matutino y el resto luego del ordeño vespertino. El mayor suministro de alimento vespertino era para que las vacas del grupo Testigo pudieran tener alimento fresco durante las horas nocturnas. Si bien los bovinos, son de hábitos diurnos (Valtorta et al., 1996), en ensayos llevados a cabo durante la época estival se observó que los animales se alimentan también durante el período nocturno (Leva et al., 2005).

En los días en que se midió el consumo de alimento, cada tratamiento se subdividió en tres réplicas de dimensiones similares, donde se colocaban tres animales en cada uno.

Cuadro 4: Composición física de la dieta a ofrecida a los animales ($\text{kg MS vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$ y en %).

<i>Dieta</i>	<i>kg MS vaca⁻¹ día⁻¹</i>	<i>%</i>
Silaje de maíz	7,52	32
Heno de alfalfa	2,00	9
Semilla de algodón	1,32	6
Grano de maíz partido	1,07	4
Pellet de soja	2,00	9
Grano de soja	1,65	7
Balanceado	7,63	33
Total	23,19	100

Cuadro 5: Composición química de la ración total mezclada (RTM) y del balanceado ofrecido a los animales. Los valores están expresados en % base seca: Materia Seca (MS), Proteína Bruta (PB), Fibra Detergente Ácida (FDAs), Fibra Detergente Neutro (FDNa), Lignina Detergente Ácida (LDA), Extracto Etéreo (EE), Cenizas (Cz) y Energía Neta de Lactación (NEL).

<i>Items</i>	<i>RTM</i>	<i>Balanceado</i>	<i>Dieta*</i>
Oferta (kg MS vaca ⁻¹ día ⁻¹)	15,56	7,63	23,19
MS (%)	45,12	91,27	60,30
PB (%)	14,95	17,35	15,74
FDN _a (%)	44,45	24,30	37,82
FDA _s (%)	23,10	4,71	17,05
LDA (%)	3,69	0,73	2,72
EE (%)	5,71	5,01	5,48
Cz (%)	9,73	6,66	8,72
NEL (Mcal kg MS ⁻¹)	1,54	1,85	1,64

*Promedio ponderado

Relación forraje:concentrado 41:59

MS a 65 °C: Protocolo PROMEFA-v2 AOAC, 1990 N° 130.15 y N° 167.03

PB: AOAC, 1998 N° 976.05

FDNa: ANKOM Technology-Method 6-2011. Validado con método de referencia ISO 16472:2006

FDAs: ANKOM Technology-Method 5-2011. Validado con método de referencia ISO 13906:2008

LDA: protocolo PROMEFA V2 para equipo ANKOM

EE: AOAC 1999 N° 920.39 (modificado para extractor EE automatizado)

Cz: AOAC 1990 N1C 942.05

$$\text{NEL: (Mcal/kg MS}^{-1}\text{)}=0.0245 \times \text{TDN(\%)}-0.12$$

2.2.4.- Mediciones en el ambiente. Información meteorológica

La información meteorológica, temperatura (TMd, °C) y humedad (HRd, %) del aire media diaria fueron registradas automáticamente por instrumental Davis[®], en la Estación Agrometeorológica de INTA EEA Rafaela.

Además en el sector comedero, se colocaron globos negros o esferas de Vernon (Berbigier, 1988) en las que se registraba la temperatura, con los aportes del calor por convección y radiación, mediante sensores automáticos Sugesa[®]. Se trata de una esfera hueca de cobre pintada de color negro mate, en cuyo centro se encuentra un termómetro. Su importancia radica en que la temperatura de globo negro (TGN) representa un valor que combina los efectos de la temperatura, la radiación y la velocidad del viento. La TGN expresa las ganancias o pérdidas de calor del ambiente (Hertig, 1972). Las lecturas en el TGN se efectuaron cada dos horas entre las 8:00 y las 20:00.

Con los datos diarios de TMd y HRd se estimó el ITH de acuerdo a la siguiente fórmula (Thom, 1959):

$$\text{ITH} = (1,8 \times \text{Ta} + 32) - (0,55-0,55 \times \text{hr}) + (1,8 \times \text{Ta} - 26)$$

dónde :

Ta: temperatura del aire media diaria (°C)

hr: humedad relativa media diaria al tanto por uno

Con los valores de ITH diarios se determinaron las olas de calor, definidas como al menos 3 días consecutivos con ITH mayor o igual a 68 de acuerdo a la definición propuesta por (Valtorta et al., 2006) con el nuevo valor umbral de 68 (Zimbelman et al., 2009).

2.2.5.- Mediciones en el animal. Mediciones fisiológicas

2.2.5.1.- Frecuencia respiratoria y Temperatura rectal

La frecuencia respiratoria (FR) y la temperatura rectal (TR) se midieron dos veces por semana, en dos momentos del día, a las 8:00 y 13:30. La FR se realizó por observación visual de los movimientos respiratorios por minuto en la zona del flanco de los animales (M.R.M.), y la TR por medio de termómetro clínico de mercurio (°C).

2.2.5.2.-Cortisol

La concentración de cortisol (Cs) en leche está directamente relacionada con la concentración en plasma. Distintos reportes señalan una positiva y alta correlación de cortisol en plasma y leche (Dobson et al., 1986, Schutt y Fell, 1985, Termeleun et al., 1981, Verkerk et al., 1998). Por lo cual determinar el Cs en leche es otro indicador de estrés en vacas lecheras y tiene la ventaja de ser una metodología no invasiva.

El Cs se midió una vez por semana, tanto en el ordeño de la mañana como en el de la tarde a cuatro vacas por tratamiento previamente seleccionadas, en frascos estériles de control lechero. De este modo se trató de identificar un patrón de comportamiento diario. La medición se realizó mediante la técnica de Electro quimio luminiscencia (ECLIA), que básicamente consiste en reacciones químicas donde un precursor quimioluminiscente es tratado con sustancias oxidantes y catalizadores para producir un producto intermedio que, excitado electrónicamente produce radiaciones electromagnéticas en el espectro visible (fotones) (Lagger et al., 2004), (Biovet Laboratorios, Rafaela, 2012).

2.2.5.3.- Pesos y Condición corporal

Se realizaron tres registros de peso vivo con balanza de piso VESTA[®], precisión ± 1 kg. Al comienzo del ensayo, a los 43 y a los 85 días. Al inicio y fin del ensayo se evaluó la condición corporal visualmente mediante la escala de 5 puntos (Ferguson et al., 1994).

2.2.5.4.- Salud animal

Se efectuaron muestreos durante los controles lecheros todas las semanas para determinar el recuento de células somáticas (RCS transformadas por $\log_{10}$). Se registraron eventos de mastitis clínicas. Diariamente un Médico Veterinario realizaba un diagnóstico de las vacas en general por posibles problemas digestivos, cojeras, traumatismos.

2.2.6.- Producción y composición de la leche

La producción de leche fue medida y registrada diariamente mediante el sistema Alpro[®] DeLaval[®]. La composición fue determinada todas las semanas para cada vaca del ensayo, obteniéndose una muestra compuesta por dos submuestras, una del ordeño matutino y otra del vespertino. Las mismas se enviaron al Laboratorio de Calidad de Leche y Agroindustria del INTA EEA Rafaela, donde se analizaron los siguientes parámetros, grasa butirosa (GB), proteína (P) y sólidos totales (ST). Todos los valores se obtuvieron mediante Milkoscan minor[®] Foss Electric[®].

2.2.7.- Consumo de alimento y agua, y eficiencia de conversión

Las mediciones de consumo de agua y alimento se realizaron únicamente cuando se presentaron olas de calor. El consumo de alimento se registró mediante la metodología de oferta/rechazo en cinco días no consecutivos durante el período del ensayo. Durante

los días de mediciones, cada tratamiento se dividió en tres subgrupos con tres animales cada uno, utilizando carretel eléctrico. Se midió el consumo de alimento y la producción de leche promedio de cada subgrupo. Con estas dos mediciones se calculó la eficiencia de conversión (EC kg de leche/kg de alimento consumido) de los días evaluados. El consumo de agua bebida de cada subgrupo, se midió con caudalímetro los mismos días en que se midió el consumo de alimento.

Los distintos alimentos de la dieta se analizaron en el Laboratorio de Pasturas y Forrajes del INTA EEA Rafaela para determinar MS, PB, FDNa, FDAs, LDA, EE y Cz, cada vez que se efectuó una medición de consumo.

Se determinó la relación L de agua de bebida por kilogramo de MS consumida ($L \cdot kg^{-1}MS$) y por kilogramo de leche producido ($L \cdot kg^{-1}leche$).

2.2.8.- Bienestar y comportamiento animal

Se observó y registró el comportamiento y posicionamiento animal dentro del CEA una vez por semana mediante la metodología de Scan Sampling (Martin, 1991) con una frecuencia de 15 minutos de intervalo desde las 8:00 hasta las 20:00. No se efectuaron registros nocturnos dado que los bovinos son mayoritariamente de hábitos diurnos (Valtorta et al., 2006).

Las categorías o conductas observadas para comportamiento fueron:

- Comiendo: animal que tenía su cabeza en el interior del comedero, comiendo alimentos
- Bebiendo: animal que tenía introducido su morro en el interior del bebedero ingiriendo agua
- Rumiando: animal que realizaba movimientos de re-masticación (desplazamiento del maxilar inferior) con la boca

- Jadeando: animal que realizaba respiraciones rápidas y superficiales con la boca abierta según el patrón respiratorio descrito por la escala de jadeo de Gaughan et al., 2008

A su vez se registraron otras dos categorías simultáneas:

- Parado en estación: animal que se encontraba en estación sin realizar otra actividad (poseía sus cuatro patas erguidas y apoyadas en el suelo)
- Echado: animal que se encontraba con gran parte de su cuerpo en contacto con el suelo

En cuanto al posicionamiento se determinaron cuatro sectores bien diferenciados del corral:

- Comedero: animal que se encontraba en estación o echado, próximo al sector de comedero
- Bebedero: animal que se encontraba en estación, en las cercanías del bebedero
- Sombra posterior: animal en estación o echado bajo la estructura de sombra
- Central: animal en estación o echado en el sector central del corral

Para analizar la asociación entre comportamiento/posicionamiento animal y los diferentes tratamientos se utilizó la metodología de regresión logística con variable respuesta binaria o dicotómica, con un tamaño de muestra de 3109 observaciones.

2.3.- Análisis estadístico

El análisis estadístico del comportamiento animal se realizó mediante la prueba de Chi-cuadrado con la metodología de regresión logística con variable respuesta binaria o dicotómica (SAS Institute, Cary, NC, 1989).

El resto de las variables analizadas se presentaron como los cuadrados mínimos de cada tratamiento y la variabilidad de los datos se expresó como error estándar de la media

(media $\pm$ EEM). Se efectuó un ANOVA mediante SAS. Los resultados son presentados con su valor medio y el error estándar (PROC MIXED SAS Institute, Cary, NC, 1989).

Se utilizó un modelo lineal con medidas repetidas en el tiempo:

$$y_{ij} = \mu + n_i + a_j + b_{ij} + e_{ij}$$

dónde:

y_{ij} = la puntuación del i ésimo muestreo bajo la j ésimo condición experimental o tratamiento

μ = la media global de todos los datos del experimento

$n_i = \mu_i - \mu$ = el efecto asociado al i ésimo muestreo

$a_j = \mu_j - \mu$ = el efecto de j ésimo nivel de la variable de tratamiento

$b_{ij} = \mu_{ij} - \mu$ = interacción del i ésimo muestreo y el j ésimo nivel de la variable de tratamiento

e_{ij} = el error experimental asociado al i muestreo bajo el j tratamiento

2.4.- Resultados y discusión

2.4.1.- Mediciones en el ambiente. Información meteorológica

En cuanto a la caracterización agroclimática, el ITH medio diario varió entre 64 y 85 (Figura 12). El ITH promedio del período experimental fue 75. El 94% (88 días) de los días los animales estuvieron expuestos a condiciones de estrés térmico entre moderado y elevado, superando el umbral de 68 (Zimbelman et al., 2009). Utilizando la clasificación de Allen et al. (2012), un 6% de los días tuvieron ITH menor al umbral de 68, 19% ITH mayor a 68 y menor a 72, 50% estrés moderado (ITH mayor o igual a 72 y menor o

igual a 79) y 24% estrés severo (ITH mayor o igual a 80). Lo anterior indicaría que las vacas ganaron más calor del ambiente del que pudieron perder (Johnson et al., 1980, Beede et al., 1987, West, 2003).

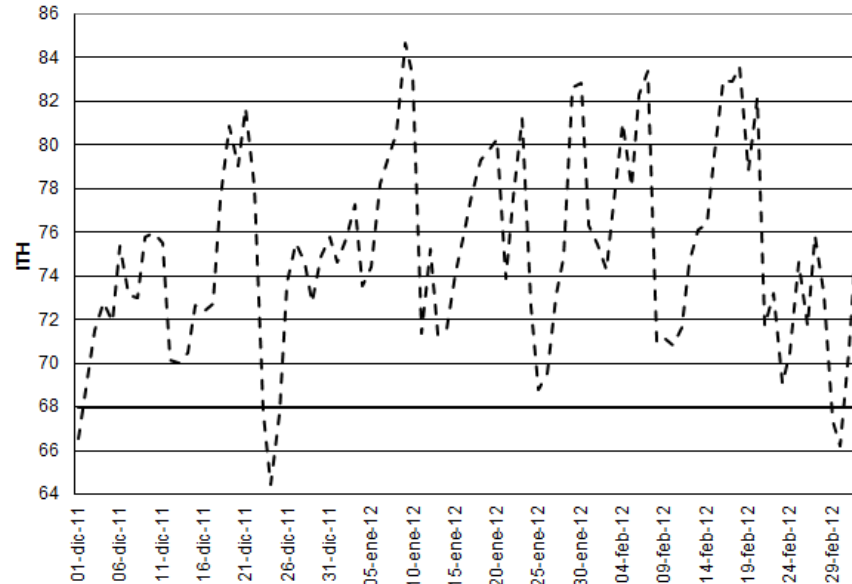


Figura 12: Índice de Temperatura y Humedad (ITH) promedio diario durante el período experimental. El valor 68 de ITH (-) es el umbral de estrés calórico.

Por otro lado, con los valores de ITH diarios se determinaron las olas de calor, definidas como al menos 3 días consecutivos con ITH mayor o igual a 68 de acuerdo a la definición propuesta por (Valtorta et al., 2006) con el nuevo valor umbral de 68 (Zimbelman et al., 2009). Se contabilizaron dos olas de calor que se detallan en el cuadro 6.

Cuadro 6: Fecha de comienzo, fin, duración (expresado en días) e ITH (medio $\pm$ desvío estándar) de las olas de calor ocurridas durante el periodo experimental.

<i>Fecha</i>	<i>Duración</i>	<i>ITH</i>
02/12/2011-22/12/2011	21	74 $\pm$ 4
26/12/2011-28/2/2012	65	76 $\pm$ 4

Las precipitaciones durante el período evaluado fueron de 40 milímetros, 18 mm en Diciembre, 15 mm en Enero y 7 mm en Febrero. Fue considerado un verano con escasas precipitaciones, un 11% respecto a la media de la serie histórica 1930-2012, donde Diciembre presenta 125 mm, Enero 119 mm y Febrero 112 mm.

La TGN a la intemperie refleja mejor la temperatura a la que realmente están expuestos los animales. Es una medición equivalente a la sensación térmica que perciben los animales. En la figura 13 se presenta la TGN promedio horario. Se observa que la temperatura media máxima, registrada a las 14 horas en el tratamiento Testigo, alcanzó valores de 40°C mientras que con Refrigeración fue 10°C menor. Esto demuestra un ambiente más confortable, con la consecuente modificación del comportamiento y posicionamiento animal, como será explicado en el punto Bienestar y Comportamiento Animal. Cabe recordar que el umbral de estrés de temperatura media ambiente para la mayoría de las razas lecheras varía entre 25 y 27 °C (Beede et al., 1986, Fuquay, 1981, Hahn, 1999) y es coincidente con la declinación del umbral de consumo (Hahn et al., 1992).

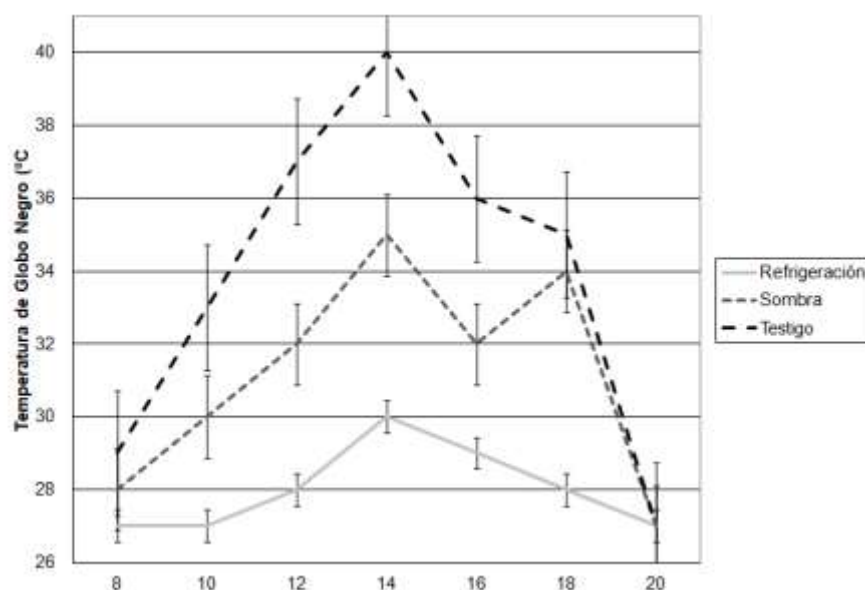


Figura 13: Temperatura del Globo Negro (TGN, °C) en el sector de comedero para los tres tratamientos (Refrigeración, Sombra y Testigo), registrada de 8:00 a las 20:00, promedio horario de los 18 días de mediciones durante el período experimental.

2.4.2.- Mediciones en el animal. Mediciones fisiológicas

2.4.2.1.- Frecuencia respiratoria (FR) y Temperatura rectal (TR)

La FR de los animales del tratamiento Refrigeración fue significativamente ($p < 0,0001$) menor que la de los restantes tratamientos, con un incremento entre la medición de la mañana y la tarde de un 39%, en comparación con un 54% para sombra y 58% para el testigo (Cuadro 7).

Cuadro 7: Frecuencia respiratoria expresada en Movimientos Respiratorios por Minuto (MRM, media $\pm$ EEM) de los animales registrada en dos momentos del día (8:00 y 13:30) en los distintos tratamientos (Refrigeración, Sombra y Testigo).

<i>Tratamiento</i>	<i>08:00</i>	<i>13:30</i>
Refrigeración	52,1 $\pm$ 1,4 ^a	72,5 $\pm$ 1,9 ^a
Sombra	55,4 $\pm$ 1,3 ^a	85,2 $\pm$ 1,3 ^b
Testigo	52,2 $\pm$ 1,4 ^a	82,7 $\pm$ 1,6 ^b

^{a,b}Letras diferentes indican diferencias significativas en la columna ($p < 0,0001$)

Trabajos realizados en bovinos por Silanikove (1992) caracterizaron el estrés calórico en base a la FR de la siguiente manera: bajo 40-60 MRM, medio alto 60-80, alto 80-120 y severo superiores a 120 movimientos por minutos. En base a lo anterior, podría decirse que las vacas de los tres tratamientos se encontraron durante la mañana en condiciones de estrés bajo. Durante las mediciones vespertinas, los animales del tratamiento Sombra y Testigo presentaron condiciones de estrés alto mientras que las vacas del tratamiento Refrigeración, medio-alto, indicando el mayor confort relativo de las mismas.

Las diferencias entre las FR, registradas en las mediciones vespertinas, entre las vacas del tratamiento Refrigeración, y las de los tratamientos Sombra y Testigo, varió en 10 y 13 MRM. Estos resultados no coinciden con los reportados por Turner et al. (1992) quienes encontraron 16 MRM menos en un grupo de vacas Holstein refrigeradas, comparado con uno no refrigeradas. En otro estudio (Armstrong et al., 1999) reportó una diferencia de 26 MRM entre un grupo de vacas Holstein refrigeradas con un sistema de aspersores y abanicos comparado con el uso de únicamente sombra.

El incremento de la TR de las vacas, entre la medición de la mañana y la tarde, fue significativamente menor ($p < 0,0001$) en el tratamiento Refrigeración (Cuadro 8).

Cuadro 8: Temperatura rectal ($^{\circ}\text{C}$, media $\pm$ EEM) de los animales registrada en dos momentos del día (8:00 y 13:30) e incremento producido entre ambos registros ($^{\circ}\text{C}$), en los distintos tratamientos (Refrigeración, Sombra y Testigo).

<i>Tratamiento</i>	<i>08:00</i>	<i>13:30</i>	<i>Incremento</i>
Refrigeración	38,8 $\pm$ 0,73 ^a	39,1 $\pm$ 0,66 ^a	0,23 ^a
Sombra	38,8 $\pm$ 0,54 ^a	39,2 $\pm$ 1,67 ^b	0,35 ^b
Testigo	38,9 $\pm$ 0,66 ^a	39,4 $\pm$ 0,68 ^b	0,50 ^b

^{a,b}Letras diferentes indican diferencias significativas en la columna ($p=0,0001$)

Las vacas del tratamiento Refrigeración fueron capaces de mantener más estable su TR. Esto coincide con lo informado por Flamenbaum y Ezra, (2003); Flamenbaum, (2008); Flamenbaum y Galon, (2010) donde vacas de altas producciones manejadas con sistemas de refrigeración, son capaces de mantener su TR dentro de rangos de normalidad. Se ha encontrado que animales sometidos a estrés calórico, sin provisión de sombra, presentan incrementos de TR del orden de $1,5^{\circ}\text{C}$ (Igono et al., 1987). Trabajos realizados por Valtorta et al. (1996), reportaron que los animales sin acceso a sombra presentaron un incremento de TR de $1,2^{\circ}\text{C}$. En este ensayo todos los animales tenían acceso a sombra artificial posterior en el corral estabilizado para alimentación (CEA), por lo cual no se alcanzaron incrementos de TR como los informados por Igono et al. (1987), Wilson et al. (1998) y Valtorta et al. (1996). Por otro lado, solamente con provisión de sombra se observaron variaciones de TR de $0,31^{\circ}\text{C}$ (Verkerk et al., 1998). Se puede inferir que la refrigeración mejora aún más el confort, que la sola provisión de sombra.

2.4.2.2.-Cortisol

El Cs en leche no presento diferencias significativas ($p>0,05$) entre los tratamientos (Cuadro 9). La evolución del Cs en los diferentes muestreos se presenta en el figura 14.

Cuadro 9: Concentración de cortisol en leche (ng/ml, media $\pm$ EEM) muestreado en ambos ordeñes (matutino y vespertino), en los distintos tratamientos (Refrigeración, Sombra y Testigo).

<i>Cortisol(ng/ml)</i>		
<i>Tratamiento</i>	<i>Ordeñe matutino</i>	<i>Ordeñe vespertino</i>
Refrigeración	6,6 $\pm$ 0,48 ^a	7,1 $\pm$ 0,55 ^a
Sombra	6,0 $\pm$ 0,46 ^a	7,4 $\pm$ 0,46 ^a
Testigo	6,6 $\pm$ 0,46 ^a	7,7 $\pm$ 0,46 ^a

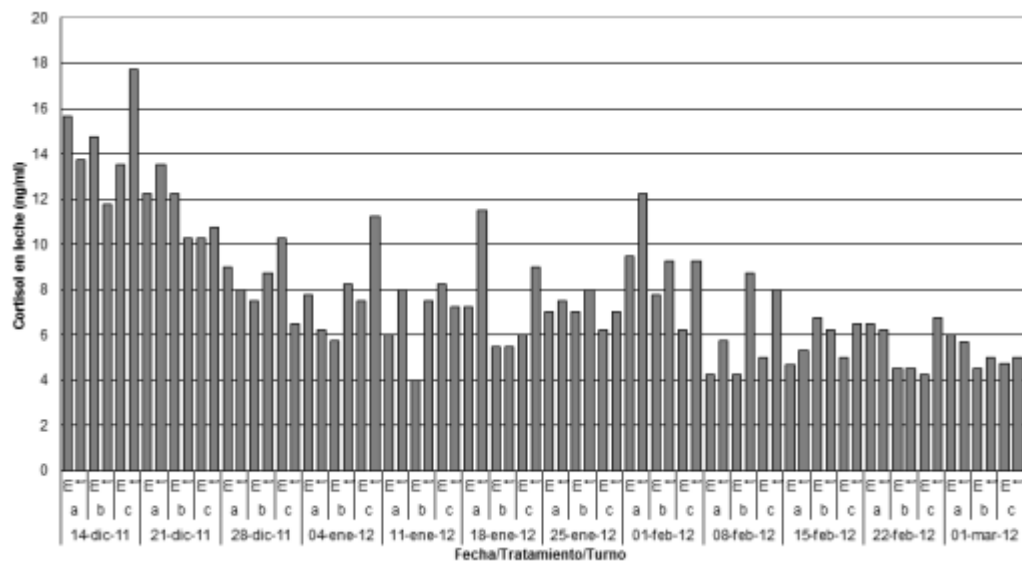


Figura 14: Cortisol en leche (ng/ml) de los tratamientos a (Refrigeración), b (Sombra) y c (Testigo), en los diferentes muestreos, en ambos ordeñes, en el turno de la mañana (m) y de la tarde (t).

El Cs para todos los tratamientos fue más elevado en comparación a otras determinaciones que informan valores de 0,36 ng/ml (Schutt y Fell, 1985, Gigax et al.,

2006) y 0,5ng/ml (Dobson et al., 1986). Lager et al (2004) reportaron valores de 6,55 ng/ml en vacas sometidas a estrés calórico. Estos valores son similares a los determinados en este ensayo para todos los tratamientos. Por otro lado, se observa un aumento en el Cs del ordeño vespertino con relación al ordeño matutino. Trabajos realizados por Verkerk et al. (1998) reportaron que el Cs es superior en el ordeño de la tarde. Este mayor valor de Cs por la tarde puede deberse a la acumulación de calor durante el día.

También se evidenció un mayor nivel de cortisol en leche de todos los tratamientos al comienzo del período experimental $14,5 \pm 4,1$ ng/ml, que disminuyó hacia el final $5,1 \pm 0,9$ ng/ml.

Existen otros indicadores como proteínas de fase aguda, ACTH, que se utilizan también como indicadores de estrés animal, que no han sido medidos en el presente trabajo.

2.4.2.4.- Pesos y Condición corporal

El estado nutricional de la vaca lechera es fácil de determinar mediante la estimación de la condición corporal de la vaca (Edmonson et al., 1989). En la escala de 1 a 5, la vaca al parto no debería estar debajo de una condición corporal de 3 - 3,5, luego, su disminución en los primeros 70 días de lactancia no debería ser mayor a 0,5, iniciando la recuperación de las reservas energéticas a los 80 - 90 días postparto (Contreras 1998; Veerkamp, 1998). En este experimento la condición corporal promedio de los animales fue $3,2 \pm 0,15$ y $3,2 \pm 0,10$ al inicio y fin del ensayo.

Los valores promedios de peso vivo no fueron diferentes ($p > 0,05$) entre los tratamientos (Cuadro 10).

Cuadro 10: Peso vivo de los animales (kg, media $\pm$ EEM) registrado en los distintos tratamientos (Refrigeración, Sombra y Testigo).

<i>Tratamiento</i>	<i>Peso inicial</i>	<i>43 días*</i>	<i>85 días**</i>
Refrigeración	630,1 $\pm$ 7,27 ^a	640,8 $\pm$ 7,59 ^a	635,4 $\pm$ 6,61 ^a
Sombra	614,2 $\pm$ 6,86 ^a	636,5 $\pm$ 7,12 ^a	625,3 $\pm$ 6,23 ^a
Testigo	621,7 $\pm$ 6,86 ^a	642,9 $\pm$ 7,12 ^a	632,3 $\pm$ 6,23 ^a

*43 días: peso a los 43 días de haber comenzado el ensayo. Los animales se encontraban en 140 días en lactancia promedio

**85 días: peso a los 85 días de haber comenzado el ensayo. Los animales se encontraban en 182 días en lactancia promedio

Se puede apreciar que los animales mantuvieron su peso a lo largo del ensayo. Trabajos similares donde evaluaron la condición corporal y el peso, no reportaron diferencias en animales refrigerados y con los de solo acceso a sombra (Hahn, 1999, Valtorta y Gallardo, 2004).

2.4.2.3.- Salud animal

Existen diversas afecciones que afectan a la vaca lechera y que causan dolor y discomfort. Entre las más frecuentes se encuentran las rengueras y las mastitis.

Las afecciones podales determinan un fuerte estado de distrés, ya que el dolor está siempre presente, el cual es el principal problema desde el punto de vista del bienestar del animal (Galindo y Broom, 2002; Green et al., 2010). Para el tratamiento de las rengueras se utilizó anestesia local y analgésicos. No hubo diferencias entre tratamientos en casos de problemas podales.

Los casos clínicos y subclínicos de mastitis fueron tratados en forma oportuna y no hubo diferencia entre tratamientos.

El Recuento de Células Somáticas (RCS transformadas por $\log_{10}$) de los animales del tratamiento Refrigeración no presentó diferencias estadísticamente significativas con respecto al Testigo, pero si con Sombra ($p=0,0428$) (Cuadro 11).

Cuadro 11: Recuento de células somáticas (RCS, media $\pm$ EEM) registrado en los distintos tratamientos (Refrigeración, Sombra y Testigo).

<i>Tratamiento</i>	<i>RCS_(log10)</i>
Refrigeración	5,2 $\pm$ 0,08 ^a
Sombra	5,5 $\pm$ 0,08 ^b
Testigo	5,4 $\pm$ 0,08 ^{ab}

^{a,b} Letras diferentes indican diferencias significativas ($p\leq 0,05$)

Igono et al., (1987) también observaron una tendencia de reducción del RCS con el uso de sistemas de refrigeración. Estos resultados muestran que las vacas con refrigeración podrían ser menos susceptibles a infecciones bacterianas (Rodríguez et al., 1985). El RCS en leche se ha utilizado como un indicador de presencia de mastitis y tiene una correlación negativa con la producción de leche (Igono et al., 1988).

Al respecto, Morse et al. (1988) señalaron que el estrés térmico puede incrementar la susceptibilidad de la vaca a infecciones debido a una reducción de la resistencia a patógenos en ciertas condiciones ambientales. Esta baja en la resistencia a infecciones se puede deber a un efecto indirecto en el sistema inmunológico y a la reducción del consumo de alimento y, en consecuencia, de algunos nutrientes como selenio y vitamina E, necesarios para una óptima acción inmunológica (Hogan et al., 1990).

2.4.3.-Consumo de alimento y agua

El consumo de alimento en vacas en lactación comienza a declinar con temperaturas del aire superiores a 25°C y cae más rápidamente por encima de 30°C. A los 40°C, la

ingesta de alimentos puede disminuir hasta en un 40% (NRC 2001). El estrés por calor en vacas lecheras de alta producción se traduce en una considerable reducción en la ingesta de fibra y la rumia. La reducción en el apetito bajo estrés por calor es resultado de la temperatura corporal elevada y puede estar relacionado con el llenado del intestino (Silanikove, 1992).

Se realizaron cinco mediciones de consumo de alimento. Una de ellas en diciembre en un día con ITH promedio diario de 73; dos en enero en días con ITH promedio diario de 74 y 80 y dos en febrero en días con ITH promedio diario de 83 en ambas mediciones.

El consumo de alimento y agua de los animales fue el adecuado teniendo en cuenta su peso vivo, estado fisiológico y producción (NRC, 2001), y no mostró diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) entre tratamientos, a pesar de que la temperatura media diaria durante las olas de calor alcanzó valores entre 28 y 33°C (Cuadro 12). Estas temperaturas se ubican fuera de la zona de confort del ganado lechero.

Cuadro 12: Consumo de alimento ($\text{kg MS vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$, media $\pm$ EEM) y de agua ($\text{L vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$, media $\pm$ EEM) registrados durante los eventos de olas de calor en los distintos tratamientos (Refrigeración, Sombra y Testigo).

<i>Tratamiento</i>	<i>Consumo alimento</i>	<i>Consumo agua</i>
Refrigeración	23,5 $\pm$ 0,53 ^a	134,5 $\pm$ 19,31 ^a
Sombra	23,0 $\pm$ 0,54 ^a	122,1 $\pm$ 23,50 ^a
Testigo	23,6 $\pm$ 0,51 ^a	133,9 $\pm$ 19,26 ^a

^{a,b} Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Los resultados obtenidos no coinciden con los informado por Flamenbaum y Galon (2010), Flamenbaum (2012) donde las vacas refrigeradas consumieron más MS que las sin refrigerar. Una de las posibles explicaciones podría ser, que la RTM se suministró en

un 40% luego del ordeño de la mañana y el restante luego del ordeño de la tarde, lo que permitió un mayor consumo de las vacas del tratamiento sombra y testigo por la noche. También es importante remarcar que la tasa de consumo en sistemas RTM es de 6,6 kg MS vaca⁻¹ hora⁻¹, indicando que en las horas más frescas del día los animales de los tratamientos sombra y testigo pudieron haber comido su ración diaria (Bargo et al, 2002).

Los valores de consumo de agua son mayores a los reportados por Murphy et al. (1983), donde con condiciones ambientales de 30°C de temperatura y producciones de 30 L de leche vaca⁻¹, el consumo diario de agua fue de 114 L vaca⁻¹.

2.4.4.- Producción y composición de la leche, y eficiencia de conversión

La producción de leche, corregida al 4% de grasa butirométrica, fue estadísticamente diferente ($p < 0,05$) entre el tratamiento Refrigeración y Sombra, no así con el Testigo, durante el período de ensayo. En cuanto a la eficiencia de conversión (EC), la Refrigeración fue estadísticamente diferente ($p < 0,05$) al Testigo (Cuadro 13).

Cuadro 13: Producción media diaria de leche corregida al 4% de grasa butirosa (kg leche vaca⁻¹día⁻¹, media±EEM) y eficiencia de conversión (EC, kg de leche kg de MS⁻¹, media±EEM) registrado en los distintos tratamientos (Refrigeración, Sombra y Testigo).

Tratamiento	Producción de leche (4% GB)	EC
Refrigeración	33,5 ± 1,43 ^a	1,5±0,26 ^a
Sombra	29,0 ± 1,22 ^b	1,4±0,16 ^{ab}
Testigo	31,7 ± 1,25 ^{ab}	1,3±0,28 ^b

^{a,b} Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Se observa una mayor producción (15,7%) en el tratamiento Refrigeración comparado con Sombra y (9,38%) comparado con Testigo. Estos resultados coinciden con otras

investigaciones hechas en Missouri, USA (Igono et al., 1987), Arizona, USA (Armstrong et al., 1988), Arabia Saudita (Armstrong et al., 1993, Ryan et al., 1992) y en Uruguay (Martínez et al. 2016). Trabajos realizados en la Argentina por Valtorta et al. (1996), reportaron un incremento en la producción de leche en las vacas refrigeradas de un 5% y de un 13% en sólidos totales.

La producción de leche corregida al 4% de grasa butirométrica fue mayor en el tratamiento Testigo que en Sombra, coincidiendo con lo informado por Saravia (2009) y Gonzalez (2004), en Uruguay, pero contradiciéndose con los resultados de otros ensayos realizados por Ghiano durante el verano 2010/2011, Román-Ponce et al., (1977) (+2.8%); Muller et al., (1994a) (+3.7%) y Collier et al., (1981) (+20%). Esto se puede explicar con el comportamiento que presentaron los animales (ver Bienestar y Comportamiento Animal). Los animales del tratamiento Testigo pasaron casi un 7% más del tiempo diurno comiendo que los del tratamiento Sombra.

Lo que se puede apreciar es que la EC fue mayor en el tratamiento Refrigeración, seguido por Sombra (Cuadro 13). Esto concuerda con estudios llevados a cabo en Alabama, USA, donde la eficiencia de conversión fue de 1,4 y 1,32 kg leche kg MS⁻¹ en vacas produciendo en invierno y verano respectivamente. En USA, en 1970, encontraron que la EC era un 10% superior en vacas que parían en el invierno comparado con aquellas que lo hacían en verano (Flamenbaum, 2012). Cabe recordar que al aumentar la temperatura se eleva la frecuencia respiratoria. El jadeo implica un aumento en los requerimientos energéticos de mantenimiento de 7 a 25% aproximadamente dependiendo del animal y de la condiciones ambientales (NRC, 1981). Esto se debe a que los requerimientos de energía de mantenimiento de vacas de alta producción eran un 25% mayor en condiciones ambientales de 35°C comparado con 20°C (NRC 1981) y a que la energía destinada a la producción de leche fue del 60% de

los requerimientos alimenticios diarios de vacas mantenidas en condiciones ambientales normales pero solo de un 35% en vacas expuestas durante dos semanas a condiciones de estrés calórico en cámaras de calor a 32°C. El enfriamiento de las vacas en verano mejoró la eficiencia de conversión leche:alimento, al aumentar entre un 5 a un 10 % la EC (Flamenbaum, 2012).

En relación a la composición de la leche: no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p \geq 0,05$) ni en GB, ni en PB, ni en Sólidos Totales (Cuadro 14).

Cuadro 14: Composición de la leche, expresado en porcentaje de grasa butirosa (GB, media $\pm$ EEM), proteína (PB, media $\pm$ EEM) y sólidos totales (ST, media $\pm$ EEM) registrado en los distintos tratamientos (Refrigeración, Sombra y Testigo)

<i>Tratamientos</i>	<i>GB (%)</i>	<i>PB (%)</i>	<i>Sólidos totales (%)</i>
Refrigeración	3,5 $\pm$ 0,11 ^{ab}	3,3 $\pm$ 0,06 ^a	12,6 $\pm$ 0,12 ^a
Sombra	3,4 $\pm$ 0,11 ^b	3,4 $\pm$ 0,06 ^a	12,5 $\pm$ 0,11 ^a
Testigo	3,7 $\pm$ 0,11 ^a	3,2 $\pm$ 0,06 ^a	12,6 $\pm$ 0,11 ^a

^{a,b} Letras diferentes indican diferencias significativas en la columna ($p \leq 0,05$)

Esto coincide con lo informado por Correa-Calderón et al., (2002) en ensayos con vacas refrigeradas y con acceso a sombra.

En el Cuadro 15 se muestra la relación entre la producción de leche, el consumo de alimento y la ingesta de agua.

Cuadro 15: Relaciones agua (L): alimento (kg MS) y agua (L): leche (L), registrado en los distintos tratamientos (Refrigeración, Sombra y Testigo)

<i>Tratamiento</i>	<i>L agua/kg MS</i>	<i>L agua/L leche</i>
Refrigeración	5,72	4,01
Sombra	5,31	4,21
Testigo	5,68	4,22

2.4.5.- Bienestar y comportamiento animal

En relación al posicionamiento y comportamiento animal, se evaluó que existe asociación entre dichos indicadores y el tratamiento asignado ($P < 0,05$).

Los animales del tratamiento Refrigeración tuvieron un 317% más de chance de estar en el sector de comedero en comparación al resto de los sectores del corral que el tratamiento Testigo ($P < 0,05$). Lo que concuerda con el comportamiento de estar parado y comiendo con un 53% más de chance que el tratamiento Testigo ($P < 0,05$). Vale decir que los mismos no solo se acercaban a comer sino también a refrescarse, explicando la mayor eficiencia de conversión del tratamiento Refrigeración.

Por otro lado, el tratamiento Sombra tuvo un 12% menos chance de estar en el sector de comedero en comparación al resto de los sectores del corral que el tratamiento Testigo ($P < 0,05$). Resultado también concordante con el comportamiento de estar comiendo, con 34% menos chance ($P < 0,05$) que el tratamiento testigo. Esto explica en gran medida la menor producción de los animales del tratamiento Sombra.

Teniendo en cuenta el confort animal, el tratamiento refrigeración tuvo un 42% menos de chance de jadear en relación a los demás comportamientos (comer, beber y rumiar) en comparación al tratamiento testigo ($P < 0,05$), indicando un mayor bienestar. Mientras que el tratamiento sombra tuvo un 37% más chance de jadear que el tratamiento testigo ($P < 0,05$), hecho que concuerda con la menor producción de dicho tratamiento.

En cuanto a la utilización de la sombra posterior del corral, común a todos los tratamientos, los animales del tratamiento Refrigeración presentaron un 74% menos chance de estar en este sector en relación a los demás sectores (comedero, bebedero, zona central) en comparación con el tratamiento Testigo ($P<0,05$). Mientras el tratamiento Sombra presentó un 26% más de chance de estar en este sector que el tratamiento Testigo ($P<0,05$).

Los animales del tratamiento Refrigeración estuvieron más tiempo en el sector de comedero, realizando la conducta de comer, en comparación a los otros dos tratamientos, debido al ambiente más confortable generado por la ventilación y aspersión de agua. También se evidenció un menor tiempo de jadeo, signo de mayor confort animal (figura 15 y 16).

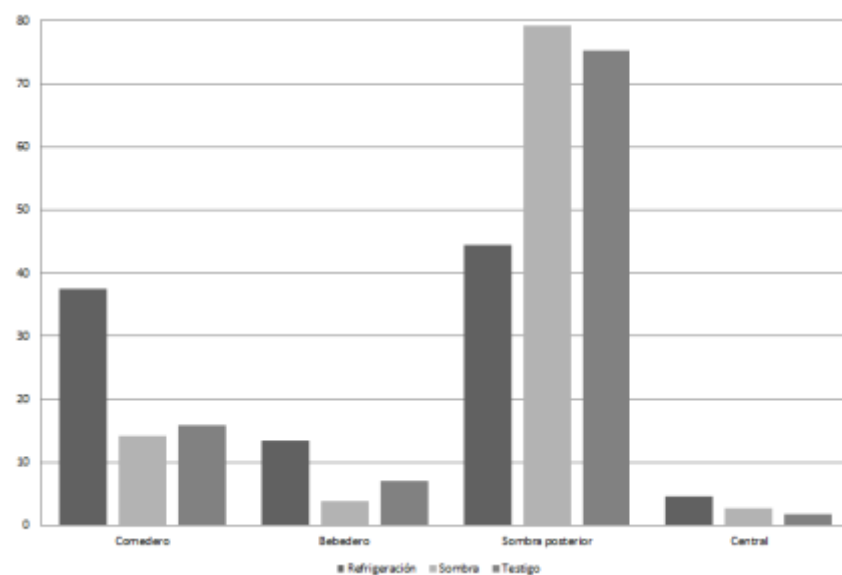


Figura 15: Posicionamiento animal dentro del corral (%). Determinado como el porcentaje de permanencia diario en cada sector desde las 8:00 hasta las 20:00, registrado en los distintos tratamientos (Refrigeración, Sombra y Testigo)

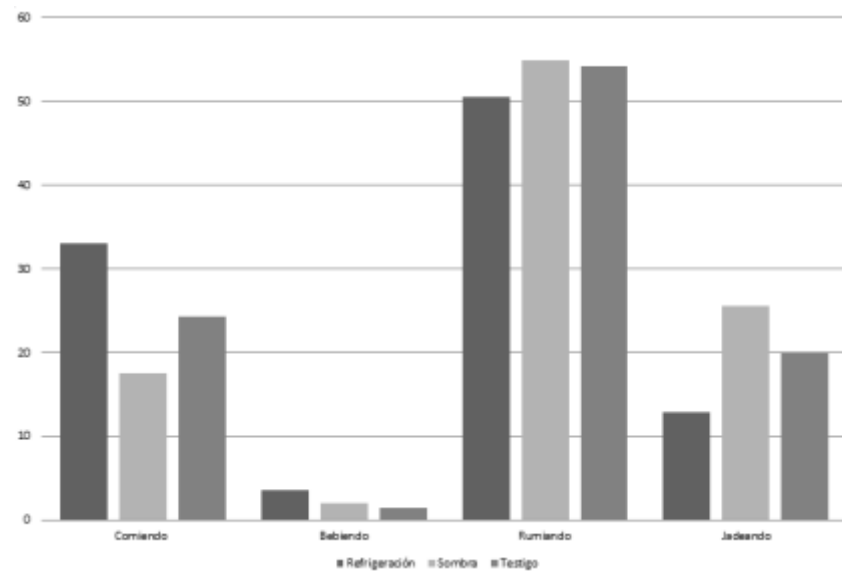


Figura 16: Comportamiento animal dentro del corral (%). Determinado desde las 08:00 hasta las 20:00, registrado en los distintos tratamientos (Refrigeración, Sombra y Testigo)

Las vacas de alta producción de leche en condiciones de confinamiento destinan entre 4 a 6 horas al día para alimentarse, y esto lo hacen entre 9 a 14 comidas diarias (Botherasi, 2007). El estímulo que mayor efecto tiene en relación al acercamiento de las vacas al sector de comedero es la oferta de alimento fresco en comparación con el estímulo del regreso del ordeño. El patrón del comportamiento ingestivo de animales confinados depende mayoritariamente de la oferta de comida a lo largo del día (Botharesi, 2007).

Considerando el tiempo de echado y parado (Cuadro 16), los animales del tratamiento Refrigeración tuvieron un 38% más de chance de estar parados que los animales testigo ($P < 0,05$).

Cuadro 16: Comportamiento animal dentro del corral (%). Determinado desde las 8:00 hasta las 20:00, registrado en los distintos tratamientos (Refrigeración, Sombra y Testigo)

<i>Tratamiento</i>	<i>Parado</i>	<i>Echado</i>
Refrigeración	70,64	29,36
Sombra	65,38	34,62
Testigo	63,51	36,49

Las vacas destinaron un 29,4; 34,6 y 36,5% del tiempo a estar echadas en el tratamiento Refrigeración, Sombra y Testigo, respectivamente. Estos valores alcanzados son inferiores a lo informado para vacas Holstein que utilizaban el 51% del tiempo a estar echadas (Wechsler et al., 2000) considerando un período de 24 hs. Cabe recordar que en condiciones ideales, los bovinos adultos permanecen echados hasta el 69% del tiempo, debido a que duermen y descansan echados (Wilson et al., 1998). Por otro lado Allen et al., (2015), observaron que en general los animales permanecen más tiempo en la conducta parado durante la época estival, para facilitar la disipación de calor. Otros autores (Overton et al., 2002) informaron que el tiempo utilizado en estar parado aumenta en un 10% cuando la carga de calor aumenta en un 15%. Tucker et al. (2009) infirieron que las vacas pasan más tiempo paradas para aumentar la pérdida de calor, al aumentar la cantidad de superficie expuesta al flujo de aire. De todos modos, en el tratamiento Refrigeración, la refrigeración en el sector de comedero influyó en el mayor tiempo de parado de los animales.

2.5.- Conclusiones

El presente trabajo, se llevó a cabo en INTA EEA Rafaela en un verano con escasas precipitaciones, 11% respecto a la media de la serie histórica 1930-2012. En el 94% de

los días evaluados, los animales estuvieron expuestos a condiciones de estrés térmico entre moderado y elevado.

La Refrigeración como método de mitigación de estrés calórico permitió generar un ambiente más confortable para las vacas lecheras, como lo indica la disminución de la TGN en hasta 10°C en el sector de comedero en las horas de mayor temperatura diaria. Es importante remarcar que si las condiciones de encierre no son las adecuadas, como por ejemplo, corrales en mal estado sin mantenimiento diario, el comportamiento y bienestar animal son sumamente afectados, ya que el animal no realiza las conductas que se ve motivados a realizar. De manera que es fundamental realizar un mantenimiento periódico de los lugares de encierre de animales.

2.5.1.- Efecto de la Refrigeración como método de mitigación del estrés calórico sobre la producción, eficiencia de conversión y composición de la leche

El tratamiento Refrigeración presentó un 15,7% más de producción de leche y un 15,3% más de eficiencia de conversión. Esto es debido a que los animales destinaron mayor energía a producir leche y no a activar procesos fisiológicos internos para eliminar su calor corporal. La refrigeración es un método efectivo para reducir el estrés calórico en las vacas lecheras. No encontraron diferencias significativas en la composición de la leche de los animales en el sistema de refrigeración.

2.5.2.- Efecto de la Refrigeración como método de mitigación del estrés calórico sobre el comportamiento animal

Los animales del tratamiento Refrigeración tuvieron un 317% más de chance de estar en el sector de comedero en comparación al resto de los sectores del corral que el tratamiento Testigo ($P < 0,05$). Las vacas del tratamiento Refrigeración pasaron un 42%

menos del tiempo jadeando y un 53% más comiendo, durante la fase diurna, debido a una ambiente más confortable. El jadeo, le implica un gran gasto de energía al animal y al disminuir el consumo de alimento, se activan procesos fisiológicos y metabólicos que lo inducen a un mayor grado de estrés, principalmente cuando se dan olas de calor.

2.5.3.- Efecto de la Refrigeración como método de mitigación del estrés calórico sobre indicadores de bienestar animal

La refrigeración permitió disminuir la TR y la FR a las 13:30 horas, principales signos de confort animal. No hubo diferencias en Cs en leche entre los diferentes tratamientos, indicando que este indicador no parecería ser el más adecuado para evaluar estrés calórico en bovinos de leche.

En cuanto a la salud animal, el RCS mostro una tendencia a ser menor en los animales del tratamiento Refrigeración con respecto Sombra y Testigo, coincidente con la literatura en la temática.

CAPÍTULO 3

IMPACTO ECÓNOMICO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN EN SISTEMAS LECHEROS ARGENTINOS

3.1.- Introducción

Los sistemas de producción de leche, sobre todo aquellos de base pastoril, se encuentran expuestos a diversas situaciones meteorológicas que afectan la producción. El estrés calórico es sufrido por los animales durante gran parte del verano y en algunos momentos puntuales de la primavera y otoño (Baudracco et al., 2014). Ante esas situaciones, las vacas lecheras intentan disipar el calor por varios mecanismos fisiológicos. Sin embargo, ante determinados umbrales, estos mecanismos son insuficientes y los animales reducen la producción como consecuencia de cambios metabólicos y una marcada disminución del consumo de alimentos.

Usualmente, las provincias más afectadas por estrés térmico han sido Entre Ríos, Santa Fe y Córdoba. Las mermas de producción son del orden del 10 al 25% dependiendo del grado de severidad, llegando incluso a casos extremos donde la disminución puede ser de hasta el 40% (Gastaldi, 2011). En cuanto a la provincia de Buenos Aires, donde aparentemente la intensidad de este fenómeno parece ser bajo, la misma presenta en algunas zonas cierto riesgo de exposición a estrés. Trabajos recientes Flamenbaum (2012) y Taverna (2014) han demostrado beneficios del uso de sombras y refrigeración contra el estrés calórico en zonas templadas, resultando en aumentos de producción del orden del 15% al 25%, dependiendo del momento de la lactancia. Además, existen otros beneficios más difíciles de cuantificar como ser mejor inmunidad, mejores índices de preñez y menor tasa de descarte.

En el presente estudio se analizó el beneficio económico de la Refrigeración y se realizó un análisis de inversión, calculando Valor Actual Neto (VAN); Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Período de Repago (PR).

3.2.- Materiales y métodos

Se calcularon los LLS, expresados como L de leche $\text{VO}^{-1} \text{ día}^{-1}$, ya que es un indicador que tiene una alta correlación con el resultado económico de la empresa tampera (Demarchi y Lovino, 2012). Para su cuantificación se tuvo en cuenta el precio promedio de los alimentos y de la leche, durante el período del experimento.

También se determinó el beneficio económico de la respuesta en eficiencia de conversión de alimento a leche.

Se efectuó un análisis económico de inversión del sistema de refrigeración, calculando la TIR, el VAN y el PR.

3.3.- Evaluación económica del sistema de refrigeración

El beneficio económico logrado por un mejor confort animal durante el período estival, debido a la refrigeración, se debe a múltiples aspectos, entre ellos productivos, reproductivos y sanitarios. En el presente trabajo se analizaron dos de ellos, la producción de leche por animal y la eficiencia de conversión de alimento a leche.

Con respecto a la producción de leche por animal, el tratamiento refrigeración tuvo un incremento de un 8,3% y un 16,3% con respecto al testigo y sombra respectivamente (Cuadro 17).

Cuadro 17: Producción de leche de los tratamiento Refrigeración, Sombra y Testigo durante el periodo experimental.

<i>Tratamiento</i>	<i>Producción ($\text{L vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$)</i>
Refrigeración	36,3
Sombra	31,2
Testigo	33,5

El costo de alimentación fue de 4,26 U\$D $\text{vaca}^{-1}\text{día}^{-1}$, equivalente 13,31 L $\text{VO}^{-1}\text{día}^{-1}$ (Cuadro 18), con un valor del litro de leche de 0,32 U\$D. Durante el período del experimento hubo 88 días con ITH mayor a 68.

Cuadro 18: Oferta y costo de la dieta de los animales durante el periodo experimental.

<i>Alimento</i>	<i>Costo unitario (U\$D kg MS⁻¹)</i>	<i>Oferta (kg MS vaca⁻¹ día⁻¹)</i>	<i>Costo total (U\$D vaca⁻¹ día⁻¹)</i>
Silaje de maíz	0,081	7,52	0,6
Heno de alfalfa	0,058	1,99	0,11
Semilla de algodón	0,188	1,32	0,25
Grano de maíz	0,183	1,07	0,19
Pellet de soja	0,323	1,99	0,64
Balanceado	0,255	7,63	1,94
Poroto de soja	0,325	1,65	0,53
Total		23,17	4,26

El costo de la dieta fue de 0,18 U\$D kg MS⁻¹.

Adicionalmente como medida de resultado económico se obtuvieron los LLS, expresados como L $\text{vaca}^{-1}\text{día}^{-1}$, ya que este indicador tiene una fuerte correlación con el resultado económico de la empresa tambara y es una de las variables con mayor impacto en el análisis del Margen Bruto (Demarchi y Lovino, 2012). Los LLS a lo largo del periodo del experimento fueron 23, 17,9 y 20,2 L $\text{VO}^{-1}\text{día}^{-1}$, para los tratamientos Refrigeración, Sombra y Testigo respectivamente (Cuadro 19). Valores superiores a los reportados por CREA RSFC (Demarchi, comunicación personal), demostrando que la implementación sistemas de refrigeración tiene un alto impacto en la producción estival de los tambos de la región, mejorando sustancialmente el resultado económico de la empresa.

El tratamiento Refrigeración produjo un beneficio económico de 195 USD vaca⁻¹, como consecuencia de un incremento en la eficiencia de conversión de 51 USD vaca⁻¹ y un aumento de la producción de leche de 144 USD vaca⁻¹ (Cuadro 19).

Cuadro 19: Eficiencia de conversión (EC, kg leche kg alimento⁻¹), Litros libres de Suplementación (LLS, L vaca⁻¹ día⁻¹) y Beneficio económico (USD vaca⁻¹) de la Refrigeración

<i>Tratamiento</i>	<i>EC (kg leche kg alimento⁻¹)</i>	<i>LLS (L vaca⁻¹ día⁻¹)</i>	<i>Beneficio económico (USD vaca⁻¹)</i>
Refrigeración	1,5	23	195
Sombra	1,41	17,9	
Testigo	1,32	20,2	

3.4.- Valor Actual Neto, Tasa Interna de Retorno y Período de repago de la inversión

El costo de la inversión y funcionamiento del sistema de refrigeración para la zona de Rafaela fue de 120 USD por vaca (cuadro 20).

Cuadro 20: Costo de la inversión y funcionamiento de un sistema de refrigeración en Rafaela, Santa Fe, Argentina.

<i>Variable</i>	<i>USD vaca⁻¹</i>
Inversión sistema de refrigeración	108
Costo mantenimiento, reparación y gastos de funcionamiento	12

Con un precio del litro de leche de 0,32 USD y con 88 días con ITH mayor a 68 durante el período del ensayo, el beneficio económico por mitigar el estrés calórico, fue de 195 USD vaca⁻¹.

Para la evaluación de cualquier proyecto, es recomendable la utilización de indicadores actualizados. Uno de estos indicadores es el VAN, definido como el valor actualizado del flujo de fondos y mide el beneficio sobre los costos actualizados a una tasa dada (tasa de descuento). La tasa de descuento deberá ser la mínima tasa anual de ganancia esperada del proyecto o costo de oportunidad.

A su vez, la TIR es la tasa de descuento a la cual el VAN, para el periodo de proyecto analizado, es igual a cero. Lo que indicaría la máxima de tasa de descuento que se le podría exigir al proyecto.

El VAN de la inversión con un plazo de 5 años y 88 días de estrés calórico fue de 418 USD vaca⁻¹, siendo la TIR de 162%.

Otro indicador importante a evaluar, es el PR, que indica la cantidad de años que transcurren hasta que se recupera el capital invertido. El PR de la inversión es menor a un año.

En conclusión, la implementación de un sistema de refrigeración en tambos tiene un alto impacto en los ingresos del mismo. El costo de la inversión tiene un impacto limitado en el proyecto, siendo la dinámica de los ingresos el factor relevante.

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES FINALES E IMPLICANCIAS

El enfriamiento de vacas lecheras en condiciones de estrés calórico aumenta la producción por lactancia y mejora la eficiencia de conversión de alimento a leche.

Esta mejora se debe principalmente a un mayor confort y bienestar animal, cualidad muy relegada en los tambos de Argentina. Las vacas enfriadas presentan indicadores fisiológicos como TR y FR en las horas de la tarde, muy por debajo de las sometidas a estrés calórico; y exhibieron comportamientos asociados a condiciones de bienestar, como lo demuestra el mayor tiempo de rumia y menor de jadeo.

La refrigeración de vacas lecheras es una inversión rentable que impacta positivamente en el resultado económico de la empresa tampera. Su período de repago es muy corto, y disminuye los costos directos de alimentación del rodeo lechero, debido a una mayor eficiencia de conversión.

Es necesario readecuar las instalaciones de las explotaciones al tamaño de los rodeos actuales para permitir a los animales expresar su potencial biológico.

Es importante seguir investigando en la temática, principalmente, en diferentes tipos de instalaciones y materiales para mitigar el estrés calórico, y en estrategias reproductivas que aumentan la performance durante el verano.

CAPÍTULO 5

BIBLIOGRAFÍA

- Abilay, T. A., Johnson, H. D., Madan, M., 1975. Influence of environmental heat on peripheral plasma progesterone and cortisol during the bovine estrous cycle. *Journal of Dairy Science* 58:1836-1840.
- Allen, J. D., Anderson, S. D., Collier, R. J., Smith, J. F., 2012. Managing Heat Stress and its impact on cow behavior. Western Dairy Management Conference. March 6-8, 2012 Reno, NV. Páginas 150-162.
- Allen, J. D., Hall, L. W., Collier, R. J., Smith, J. F., 2015. Effect of core body temperature, time of day, and climate conditions on behavioral patterns of lactating dairy cows experiencing mild to moderate heat stress. *Journal of Dairy Science* 98:118–127.
- Anderson, S. D., Bradford, J. P., Harner, C. B., Tucker, C. Y., Choi, J. D., Allen, L. W., Hall, S., Rungruang, E., Rajapaksha, R. J., Collier, R. J., Smith, J. F., 2012. Effects of adjustable and stationary fans with misters on core body temperature and resting behavior of lactating dairy cows in a semi-arid climate. *Journal of Dairy Science* 96 (7):4738-4750.
- Atrian, P., Shahryar, H. A., 2012. Heat stress in dairy cows, a review. *Research in Zoology* 2:31-37.
- Aréchiga-Flores, C., Hansen, P., 2003. Adverse impact of climate on reproductive processes of the bovine. *Veterinaria Zacatecas* 2:89-107.
- Arias, R. A., Mader T. L., Escobar, P. C., 2008. Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Arch. Med. Vet.* 40: 7-22.
- Armstrong, D. V., Wise, M. E., Torabi, M. T., Wiersma, F., Hunter, R., Kopel, E., 1988. Effect of different cooling systems on milk production of late lactation Holstein cows during high ambient temperature. *Journal of Dairy Science* 71(1): 212. Abstract.

- Armstrong, D. V., Denise, S.K., Delfino, F. J., Hayes, E. J., Grundy, P. J., Montgomery, S., Correa, A., 1993. Comparing three different dairy cattle cooling systems during high environmental temperatures. *Journal of Dairy Science* 76 (1): 240. Abstract.
- Armstrong, D., 1994. Heat stress interaction with shade and cooling. *Journal of Dairy Science* 77:2044-2050.
- Armstrong, D. V., Molina, D. J., Correa-Calderón, A., González- García, H., Faber, S. N., 1999. Effect of a three stage spray and fan cooling system on milk yield and reproduction of Holstein cows in early lactation. *Journal of Dairy Science* 82 (1):48 Abstract.
- Axelrod J., Reisine T. D., 1984. Stress hormones: Their interaction and regulation. *Science* 224:452-459.
- Bach, A., Valls, N., Solans, A., Torrent, T., 2008. Associations between nondietary factors and dairy herd performance. *Journal of Dairy Science* 91:3259-3267.
- Badinga, L., Collier, R. J., Thatcher, W. W., Wilcox, C. J., 1985. Effects of climatic and management factors on conception rate of dairy cattle in subtropical environment. *Journal of Dairy Science* 68:78-85.
- Bargo, F., Muller, L. D., Delahoy, J. E., Cassidy, T. W., 2002. Performance of high producing dairy cows with three different feeding systems combining pasture and total mixed rations. *Journal of Dairy Science* 85 (11): 2964-2973.
- Bartussek, H., 1999. A review of the animal needs index for the assessment of animals wellbeing in the housing systems for Austrian proprietary products and legislation. *Livestock Production Science* 61: 179-192.
- Baudracco, J., Lazzarini, B., Lyons, N., Braida, D., Rosset, A., Jauregui, J., Maiztegui, J. 2014. Proyecto INDICES: Cuantificación de limitantes productivas en tambos de Argentina, Reporte Final. Convenio de Vinculación Tecnológica entre Junta

- Intercooperativa de Productores de Leche y Facultad de Ciencias Agrarias de Esperanza, UNL. 97 p.
- Beede, D.K., Collier, R.J., 1986. Potential nutritional strategies for intensively managed cattle during thermal stress. *Journal of Animal Science* 62:543-554.
- Beede, D. K., Bray, D. R., Bucklin. R. A., Shearer, F., 1987. Integration of cooling methods for environmental management systems in hot humid environments. Florida Dairy Production Conference, Gainesville. 68 p.
- Berbigier, P., 1988. Bioclimatologie des ruminants domestiques en zone tropicale. Paris. INRA. 237 p.
- Berman, A, Folman, Y. M., Kaim, M., Mamen, Z., Herz, D., Wolfenson, A., Graber, Y., 1985. Upper critical temperatures and forced ventilation effects for high-yielding dairy cows in a tropical climate. *Journal of Dairy Science* 68: 488–495.
- Bianca, W., Findlay, J. D., 1962. The effect of thermally-induced hyperpnea on the acid–base status of the blood of calves. *Research Veterinary Science* 3: 38–49.
- Botherasi, N. A., 2007. The feeding behavior of dairy cows: Considerations to improve cow welfare and productivity. Department of Animal Science. The Ohio State University.
- Brambell, F. W. R., 1965. Report of the Technical Committee to enquire into the welfare of animals kept under intensive livestock husbandry systems, Command Report 2836, HMSO, Londres.
- Broom, D. M., 1991. Animal welfare: Concepts and measurement. *Journal of Animal Science* 69:4167-4175.
- Brown-Brandl, T. M., Nienaber, J. A., Eigenberg, R. A., Mader, T. L., Morrow, J. L., Dailey, J.W., 2006. Comparison of heat tolerance of feedlot heifers of different breeds. *Livestock Science* 105: 19-26.

- Buffington, D. E., Collier, R. J., Canton, G. H., 1983. Shade management systems to reduce heat stress for dairy cows in hot, humid climates. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 26:1798:1803.
- Capdeville, J., Veissier, I., 2001. A Method of Assessing Welfare in Loose Housed Dairy Cows at Farm Level. Focusing on Animal Observations. *Acta Agric. Scand., Sect. A. Animal Sci. Suppl.* 30: 62-68.
- 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. *Journal of Dairy Science* 64:844-849.
- Collier, R. J., Beede, D. K., Thatcher, W. W., Israel, L. A., Wilcox, C. J., 1982. Influences of environment and its modification on dairy animal health and production. *Journal of Dairy Science* 65:2213-2227.
- Collier, R. J., Dahl, G. E., Van Baale, M. J., 2006. Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 89:1244-1253.
- Collins, K. H., Weiner, H. S., 1968. Endocrinological aspects of exposure to high environmental temperature. *Physiological Review* 48(4):785-794.
- Contreras, P., 1998. Síndrome de movilización grasa en vacas lecheras al inicio de la lactancia y sus efectos en salud y producción de los rebaños. *Archivos Médicos Veterinarios* 30:17-27.
- Correa-Calderón, A., Avendaño-Reyes, L., Rubio-Villanueva, A., Armstrong, D., Smith, J.F., De Nise, S., 2002. Efecto de un sistema de enfriamiento en la productividad de vacas lecheras bajo estrés calórico. *Agrociencia* 36:531-539
- Correa-Calderón, A., Armstrong, D., Ray, D., DeNise, S., Enns, M., Howison, C., 2004. Thermoregulatory responses of Holstein and Brown Swiss Heat-Stressed dairy cows

- to two different cooling systems. *International Journal of Biometeorology* 48:142-148.
- Cook, N. B., Mentink, R. L., Bennett, T. B., Burgi, K., 2007. The effect of heat stress and lameness on time budgets of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 90:1674-1682.
- Crookshank H. R., Elissalde M. H., White R. G., Clanton D. C., Smalley H. E., 1979. Effect of transportation and handling of calves upon blood serum composition. *Journal of Animal Science* 48:430-435.
- Demarchi, E., Lovino, D., 2012. Análisis de información física y económica ejercicio 2009/2010. Jornada de actualización técnica en lechería. Analizando las alternativas para potenciar los sistemas de producción de la Región Santa Fe Centro. Noviembre, 2012. Sociedad Rural de Rafaela.
- Do Amaral, B. C., Connor, E. E., Tao, S., Hayen, J., Bubolz, J., Dahl, G. E., 2009. Heat-stress abatement during the dry period: Does cooling improve transition into lactation. *Journal of Dairy Science* 92: 5988-5999.
- Dobson, H., Owen, J., Foster, R., 1986. Department of Veterinary Clinical Science University of Liverpool. 14th World Congress Disease of Cattle. Dublin
- Dohoo, I. R., Meek, A. H., 1982. Somatic cell counts in bovine milk. *Canadian Veterinary Journal* 23(4):119-125.
- Duncan, I. J. H., Fraser, D., 1997. Understanding animal welfare. *Animal Welfare*, M.C. Appleby, and B.O. Hughes, eds., CABI Publising, Wallingfor, pp. 19–31.
- Ealy, A. D., Drost, M., Hansen, P. J., 1993. Developmental changes in embryonic resistance to adverse effects of maternal heat stress in cows. *Journal of Dairy Science* 76:2899-2905.

- Edmonson, A. J., Lean, I. J., Weaver, L., Farver, T., Webster, G., 1989. A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*; 72:68-78.
- Elvinger, F., Hansen, P. J., Natzke, R. P., 1991. Modulation of function of bovine polymorpho nuclear leukocytes and lymphocytes by high temperature in vitro and in vivo. *American Journal Veterinary Research* 52(10):1692-1698.
- Esslemont, R. J., 1990. The costs of lameness in dairy herds. *Proceedings of the XIth International Symposium on Diseases of the Ruminant Digit.* Liverpool, Reino Unido, pp. 237–251.
- Ferguson, J. D., Galligan, D. T., Thomsen, N., 1994. Principals descriptors of body condition score in Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 77: 2695-2703.
- FIL-IDF. 2009. Guía para el bienestar animal en la producción lechera de la Federación Internacional de Lechería–2008. *Rev. Sci. Tech. Off. int. Epiz.* 28 (3): 1183–1191.
- Flamenbaum, I., Ezra, E., 2003. A large-scale survey evaluating the effect of cooling Holstein cows on productive and reproductive performances under sub-tropical conditions. *Journal of Dairy Science* 86(1):19.
- Flamenbaum, I., 2008. Manejo del estrés calórico del ganado lechero en entorno tropical y sub-tropical. *Décimo Congreso Panamericano de la Leche.* San José de Costa Rica, Abril 2008.
- Flamenbaum, I., Galon, N., 2010. Management of heat stress to improve fertility of dairy cows in Israel. *Journal of Reproduction and Development* 56: S36-S41.
- Flamenbaum, I., 2012. Cool cows improve feed efficiency and profit. *Hoard's Dairyman*, página 163.
- Fraser, D., Weary, D. M., Pajor, E. A., Milligan, B. N., 1997. A scientific conception of animal welfare that reflects ethical concerns. *Animal Welfare* 6: 187–205.

- Fuquay, J. W., 1981. Heat stress as it affects animal production. *Journal of Animal Science* 52:164-174.
- Galindo, F., Broom, D., 2002. Effects of lameness of dairy cows. *Journal of Applied Animal Welfare Science* 5:193-201.
- Gallardo, M.R.; Valtorta, S.E. 2011. La vaca y su entorno. En: Producción y bienestar animal. Estrés por calor en el ganado lechero: impactos y mitigación Editorial Hemisferio Sur.14-24.
- Gallo, C., 2006. Enseñanza del bienestar animal en los cursos de Medicina Veterinaria y Zootecnia. 18º Conferencia regional de la OIE para las Américas. Florianópolis. Brasil.
- Gastaldi, L., Ghiano, J., Domínguez, J., Ferreira, M., García, K., Massoni, F., Sosa, N., Walter, E. y Taverna, M., 2011. Retorno económico de una inversión en estructuras de sombra para ganado lechero. *Revista Argentina de Producción Animal*, Volumen 31 Suplemento 1: 199-269 (2011).
- Gaughan, J., Mader, T. L., Holt, S., Lisle, A., 2008. A new heat load index for feedlot cattle. *Journal of Animal Science* 86 (1) 226–234.
- Ghiano, J., García, K., Gastaldi, L., Dominguez, J., Sosa, N., Massoni, F., Ferreira, M., Taverna, M., 2011. Manejo del estrés calórico en el tambo. Alternativas de sombras. Ficha técnica 17, (disponible: www.inta.gov.ar/lechería Verificado: 09 de enero de 2015).
- 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.
- Grant, R., 2007. Taking advantage of natural behavior improves dairy cow performance. Pages 225- 236 in Proc. Western Dairy Management Conference, Reno, NV.

- Green, L. E., Borkert, J., Monti, G., Tadich, N., 2010. Associations between lesion-specific lameness and the milk yield of 1635 dairy cows from seven herds in the X region of Chile and implications for management of lame cows world wide. *Animal Welfare* 19:419-427.
- Gygax, L., Neuffer, I., Kaufmann, C., Hauser, R., Wechsler, B., 2006. Milk Cortisol Concentration in Automatic Milking Systems Compared with Auto-Tandem Milking Parlors. *Journal of Dairy Science* 89:3447-3454.
- Gwazdauskas, F. C., Thatcher, W. W., Wilcox, C. J., 1973. Physiological, environmental, and hormonal factors at insemination which may affect conception. *Journal of Dairy Science* 56:873-877.
- Hahn G. L., 1981. Housing and management to reduce climatic impacts on livestock. *Journal of Animal Science* 52: 175-186.
- Hahn, G. L., Chen, Y. R., Nienaber, J. A., Eigenberg, R. A., Parkhurst, A. M., 1992. Characterizing animal stress through fractal analysis of thermoregulatory responses. *Journal of Thermal Biology* 17:115-120.
- Hahn, G. L., 1999. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *Journal of Animal Science* 77: 10-20.
- Hahn, G. L., Mader, T. L., Eigenberg, R. A., 2003. Perspective on development of thermal indices for animal studies and management. En: Lacetera, N., Bernabucci, U., Khalifa, H., Ronchi, B., Nardone, A. (Eds.) *Interactions between climate and animal production*. EEAP Technical series N° 7.
- Hales, J. R. S., Bell, A. W., Fawcett, A. A., King, R. B., 1984. Redistribution of cardiac output and skin AVA activity in sheep during exercise and heat stress. *Journal of Thermal Biology* 9 (1-2):113-116.

- Harner, J. P., Smith, J. F., Brook, M. J., Murphy, J. P., Boomer, G., 2000. Reducing heat stress in the holding pens. In: 2000 Heart of America Dairy Management Conference. June 21-22, Washington, DC: 5-12.
- Hertig, B., 1972. Medición del medio ambiente físico. Principios de la Adaptación Animal. Hafez, E. ed. México páginas438-456.
- Hogan, J. S., Smith, K. L., Weiss, W. P., Todhunter, T. A., Schockey, W. L., 1990. Relationship among vitamin E, selenium, and bovine blood neutrophils. *Journal of Dairy Science* 73: 2372-2378.
- Huber, J.T., Higginbotham, G., Gómez- Alarcon, R.A., Taylor, R.B., Chen, K.H., Chan, S.C., Wu, Z. 1994. Heat stress, interactions with protein, supplemental fat and fungal cultures. *Journal of Dairy Science* 77: 2080–2090.
- Igono, M. O., Steevens, B. J., Shanklin, M. D., Johnson, H. D., 1985. Spray cooling effects on milk production, milk and rectal temperatures of cows during a moderate summer season. *Journal of Dairy Science* 68:979-985.
- Igono, M. O., Johnson, H. D., Steevens, B. J., Krause, G. F., Shanklin, M. D., 1987. Physiological, productive, and economic benefits of shade, spray, and fan system versus shade for Holstein cows during summer heat. *Journal of Dairy Science* 88: 2454-2461.
- Igono, M. O., Jonson, H. D., Steevens, B. J., Hainen, W. A., Shanklin, M. D., 1988. Effect of season on milk temperature, milk growth hormone, prolactin, and somatic cell counts of lactating cattle. *International Journal of Biometeorology* 32: 194-200.
- Johnson, J. E., McDowell, R. E., Shrode, R. R., Legates, J. E. 1959. Summer climate and its effect on dairy cattle in the Southern region. En: *Southern Cooperative Series Bulletin* No. 63.

- Johnson, H. D., Ragsdale, A. C., Berry, I. L., Shanklin, M. D., 1963. Temperature-humidity effects including influence of acclimation in feed and water consumption of Holstein cattle. Missouri Agr. Exp. St. Res. Bul. 846.
- Johnson, H. D., Katti, P. S., Hahn, L., Shanklin, M. D., 1988. Short-term heat acclimation effects on hormonal profile of lactating cows. In: Research Bulltetin No. 1061. University of Missouri, Columbia.
- Kadzere, C.T., Murphy, M.R., Silanikove, N., Maltz, E., 2002. Heat stress in lactating dairy cows: a review. Livestock Production Science 77: 59–91.
- Knierim, U., Winckler , C., 2009. On-farm welfare assessment in cattle: validity, reliability and feasibility issues and future perspectives with special regard to the Welfare Quality® approach. Animal Welfare 18 (8): 451–458.
- Lagger, J., Schmidt, E., Waran, N., Otrosky, R., 2004. Medición de cortisol en leche como indicador de bienestar animal, resultados preliminares, Veterinaria Argentina (Argentina) 21(208):577-586.
- Leonard, F. C., O’Connell, J. M., O’Farrell, K. J., 1996. Effect of different housing conditions on behavior and foot lesions in Friesian heifers. Veterinary Record 134:490-494.
- Leva, P. E.; García, M. S.; Veles, M. A.; Valtorta, S. E., 2005. Respuestas fisiológicas de vacas Holando argentino y cruza Jersey-Holando, en la cuenca lechera santafesina. Revista FAVE - Ciencias Agrarias 4 (1-2): 49-54.
- Lu, C. D., 1989. Effect of heat stress on goat production. Small Ruminant Research 2:151-162.
- McDowell, R. E., N. W. Hooven, Camoens J. K., 1976. Effects of climate on performance of Holsteins in first lactation. Journal of Dairy Science . 59: 965-973.

- Main, D. C. J., Webster, F., Green, L. E., 2001. Animal Welfare Assessment in Farm Assurance Schemes. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A — Animal Science* 51 (30): 108-113.
- Martínez, R.S., Román, L., Pla, M., Mazzino, E., Palladino, R. A., La Manna, A., 2016b. Efecto del uso de medidas de mitigación del estrés térmico sobre el consumo y comportamiento de vacas Holstein en lactancia avanzada. Comunicación. *Revista Argentina de Producción Animal*, 36 (1): 190.
- Martínez, G. M., Suárez, H. V., Ghezzi, M. D. 2016b. Bienestar animal en bovinos de leche: selección de indicadores vinculados a la salud y producción. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 42 (2): 153-160.
- McInerney, J., 2004. Animal welfare, economics and policy. Último acceso: 6 de abril de 2016
http://archive.defra.gov.uk/evidence/economics/foodfarm/reports/documents/animal_welfare.pdf
- Ministerio de Agroindustria. Sub Secretaria de Lechería de la Nación, 2017. Último acceso: 13/09/2017.
http://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/ss_lecheria/estadisticas/_01_primaria/index.php
- Mitchell G., Hattingh J., Ganhao M., 1988. Stress in cattle assessed after handling, transport and slaughter. *Veterinary Record* 123:201-205.
- Mitra, R. G., Christison, G. I., Johnson, H. D., 1972. Effect of prolonged thermal exposure on growth hormone (GH) secretion in cattle. *Journal of Animal Science*. 34:776-779.

- Moberg G. P., 2000. Biological responses to stress: Implications for Animal Welfare. The Biology of Animal Stress: Basic Principles and Implications for Animal Welfare. Ed. By Moberg, G. P., and Mench, J. A. CABI Publishing, Oxon, UK.
- Morse, D., De Lorenzo, M. A., Natzke, R. P., Bray, D. R., 1988. Characterization of clinical mastitis records from one herd in a subtropical environment. *Journal of Dairy Science* 71: 1396-1405.
- 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
- Murphy, M. R., Davis, C.L., McCoy, G. C., 1983. Factors Affecting Water Consumption by Holstein Cows in Early Lactation. *Journal of Dairy Science* 66(1): 35–38.
- NRC (National Research Council), 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th rev. ed. National Academy of Science Press, Washington, DC.
- Nienaber, J. A., Hahn, G. L., Eigenberg, R. A., Brown-Brandl, T. M., Gaughan, J. B., 2001. Feed intake response of heat-challenged cattle. *Proc. 6th Int. Livest. Environ. Symp. ASAE*: 154-164. St. Joseph: Michigan.
- OCLA, 2017. Observatorio de la Cadena Láctea Argentina. Informe económico de coyuntura N 6, Octubre de 2017.
- OIE. 2004. Bienestar animal. (Disponible: <http://www.oie.int/es/bienestar-animal/el-bienestar-animal-de-un-vistazo/> verificado: 03 de diciembre de 2015).
- Oltenacu, P. A., Algers, B., 2005. Selection for increased production and the welfare of dairy cows: are new breeding goals needed? *Ambio* 34: 4–5.

- Overton, M. W., Sischo, W. M., Temple, G. D., Moore, D. A., 2002. Using time-lapse video photography to assess dairy cattle lying behavior in a free-stall barn. *Journal of Dairy Science*. 85:2407-2413.
- Price, E. O., 1984. Behavioural aspects of animal domestication. *Quarterly Review of Biology* 59: 1-32.
- Privolo, G., Riva, E., 2009. One year study of lying and standing behavior of dairy cows in a freestall barn in Italy. *Journal of Agricultural Engineering* 2:27-33.
- Purwanto, B. P., Abo, Y., Sakamoto, R., Furumoto, F., Yuamamoto, S., 1990. Diurnal patterns of heat production and heart rate under thermoneutral conditions in Holstein Friesian cows differing in milk production. *J. Agric. Sci.* 114:139-142.
- Rhoads, M. L., Rhoads, R. P., Van Baale, J. 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: I. Production, metabolism and aspects of circulating somatotropin. *Journal of Dairy Science* 92:1986-1997.
- Rodríguez, L. A., McKonnen, G., Wilcox, C. J., Martin, F. G., Krienke W. A., 1985. Effects of relative humidity, maximum and minimum temperature, pregnancy, and stage of lactation on milk composition and yield. *Journal of Dairy Science* 68: 973-978.
- Román-Ponce, H.; Thatcher, W. W.; Buffington, D. E.; Wilcox, C. J.; Van Horn, H. H. 1977. Physiological and production responses of dairy cattle to a shade structure in a subtropical environment. *J. Dairy Sci.* 60 (3): 424-430.
- Ryan, D. P., Boland, M. P., Kopel, E., Armstrong, D. V., Munyakazi, L., Godke, R. A., Ingraham R. H., 1992. Evaluating two different evaporative cooling management systems for dairy cows in hot dry climate. *Journal of Dairy Science*: 75: 1052-1059.

- Saravia, C. 2009. Efecto del estrés calórico sobre las respuestas fisiológicas y productivas de vacas Holando y Jersey. Tesis de Maestría en Ciencias Agrarias. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía 140 p.
- Schutt, D. A., Fell, L. R., 1985. Comparison of total and free cortisol in bovine serum and milk or colostrum. *Journal of Dairy Science* 68(7): 1832–1834.
- Silanikove, N., 1992. Effects of water scarcity and hot environment on appetite and digestion in ruminants: a review. *Livestock Production Science* 30:175-194.
- Silanikove, N., 2000. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livestock Production Science* 67:1-18.
- Smith, J. F., B. J. Bradford, J. P. Harner, J. C. Potts, , J. D. Allen, M. W. Overton, Ortiz, X. A., Collier R. J., 2016. Short communication. Effect of cross ventilation with or without evaporative pads on core body temperature and resting time of lactating cows. *Journal of Dairy Science* 99 (2): 1495-1500
- Spiers, D. E., Spain, J. N., Sampson, J. D., Rhoads, R. P., 2004. Use of physiological parameters to predict milk yield and feed intake in heat-stressed dairy cows. *Journal of Thermal Biology* 29(7-8):759-764.
- Suárez, V. H., Busetti, M. R., Gavella, J., 2013. Propuesta para calificar el bienestar animal en lechería ovina. *Veterinaria Argentina* 302: 1-19. (Disponible: <http://www.veterinariargentina.com/> verificado: 15 de enero de 2015).
- Suárez, V. H., Martínez, G. M., 2014. Observaciones preliminares para calificar bienestar animal en lechería bovina. Resúmenes 37° Congreso Argentino de Producción Animal (AAPA), 20-22 de octubre de 2014, CABA. SA 25, p. 31.
- Sundrum, A., 1997. Assessing livestock housing conditions in terms of animal welfare, possibilities and limitations. In: J.T. Sorensen (ed.) *Livestock farming systems – more than food production*. EAAP Publication No. 89: 238 – 241.

- Stull, C. L., Berry, S. L., Reed, B.A., 2005. A comparison of three animal welfare assessment programs on California dairies. *Journal of Dairy Science* 88: 1595–1600.
- Swart, J. A. A., 2005. Care for the wild: An integrative view on wild and domesticated animals. *Environmental Values* 14(2): 251-263.
- Tadich N., Gallo, C., Alvarado, M., 2000. Efecto de 36 horas de transporte terrestre con y sin descanso sobre algunas variables sanguíneas indicadoras de estrés en bovinos. *Archivos de Medicina Veterinaria* 32(2):171-183.
- Taverna, M., Ghiano, J., Walter, E., Gastaldi, L., Solis, F., Pairola, M., 2014. Estrés calórico. Enfriamiento de vacas mediante la combinación de mojado y ventilación forzada. Web page: <http://inta.gob.ar/documentos/estres-calorico.-enfriamiento-de-vacas-mediante-la-combinacion-de-mojado-y-ventilacion-forzada>. Fecha de acceso 20 de octubre de 2017.
- Thatcher, W. W., 1974. Effects of season, climate, and temperature on reproduction and lactation. *Journal of Dairy Science* 57:360-368.
- Termeleun, S. B., Butler, W. R., Natzke, R. P., 1981. Rapidity of cortisol transfer between blood and milk following adrenocorticotropin injection. *Journal of Dairy Science* 64 (11):2197-2200.
- Thom, E. C., 1959. The discomfort index. *Weatherwise* 12 (2): 57-61.<https://doi.org/10.1080/00431672.1959.9926960>
- Trevisi, E., Bionaz, M., Piccioli-Cappelli, F., Bertoni, G., 2006. The management of intensive dairy farms can be improved for better welfare and milk yield. *LivestockScience* 103(3): 231-236.
- Tucker, C. B., Rogers, A. R., Shutz, K. E., 2007. Effect of solar radiation on dairy cattle behaviour, use of shade and body temperature in a pasture-based system. *Applied Animal Behaviour Science* 109(2-4):141-154.

- Tucker, C.B., Schütz, K., 2009. Behavioral Responses To Heat Stress: Dairy Cows Tell The Story. Western Dairy Nutrition Conference, Tepme, AZ February. http://animal.cals.arizona.edu/swnmc/Proceedings/2009/02Tucker_09.Pdf
- Turner, L. W., Chastain, J. P., Hemken, R. W., Gates, R. S., Crist, W. L., 1992. Reducing heat stress in dairy cows through sprinkler and fan cooling. *Applied Engineering in Agriculture* 8(2): 251-256.
- Ulberg, L. C., Burfening, P. J., 1967. Embryo death resulting from adverse environment on spermatozoa or ova. *Journal of Animal Science* 26:571-577.
- Valtorta, S. E., Gallardo, M. R, Castro H. C., Castelli, M. E., 1996. Artificial shade and supplementation effects on grazing dairy cows in Argentina. *Trans. Amer. Soc. Agric. Eng.* 39: 233-237.
- Valtorta, S. E., Gallardo, M. R., 2004. Evaporative cooling for Holstein Dairy cows under grazing conditions. *International Journal of Biometeorology* 48:213-217.
- Valtorta, S. E., Scaglione, M. C., Acosta, P., Coronel, J. E., Beldomenico, H. R., Boggio, J. C., 2006. Daily rhythm in blood and milk lead toxicokinetics following intravenous administration of lead acetate to dairy cows in summer. *International Journal of Biometeorology* 50: 133-138
- Valtorta, S. E., Leva, P. E., García, M. S., Rodríguez, R. O., 2008. Régimen agroclimático de olas de calor en la Provincia de Santa Fe, Argentina. *Revista FAVE. Ciencias Agrarias*. 7:1-2:131-136.
- Veerkamp, R. F., 1998. Selection for economic efficiency of dairy cattle using information on live weight and feed intake: A review. *Journal of Dairy Science* 81:1109-1119.

- Verkerk, G. A., Phipps, A. M., Carragher, J. F., Matthews, L. R., Stelwagen, K., 1998. Characterization of Milk Cortisol Concentrations as a Measure of Short-Term Stress Responses in Lactating Dairy Cows. *Animal Welfare* 7 (1) 77-86(10).
- Von Keyserlingk, M.A. G., Rushen, J., De Pasille, A. M., Weary, D.M., 2009. The welfare of dairy cattle-key concepts and the role of science. *Journal of Dairy Science* 94: 4101–4111.
- Vries, M., Engel, B., Den Uijl, I., Van Shaikv, G., Dijkstrad, T., De Boer, I. J. M., Bokkers, E. A. M., 2013. Abstract: Assessment time of the Welfare Quality[®] protocol for dairy cattle. *Animal Welfare* 22: 85-93.
- Warnick, L. D., Janssen, D., Guard, C. L., Grohn, Y.T., 2001. The effect of lameness on milk production in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 84: 1988–1997.
- Warris, P. D., Brown, S. N., Knowles, T. G., Kestin, S. C., Edwards, J. E., Dolan, S. K., Phillips, A. J., 1995. Effects on cattle transport by road for up to 15 hours. *The Veterinary Record* 1995; 136:319-323.
- Webster, A. F. J., 2001. Farm Animal Welfare: the five freedoms and the free market. *The Vetereninary Journal* 161:229-237.
- Wechsler, B., Schaub,J., Friedli, K., Hauser, R., 2000. Behaviour and leg injuries in dairy cows kept in cubicles system with straw bedding or soft lying mats. *Applied Animal Behaviour Science* 68(3): 189-197.
- Welfare Quality, 2009. Welfare Quality assessment protocol for cattle. Welfare quality consortium, Lelystad, Países Bajos. (Disponible: <http://www.welfarequality.net/> verificado: 10 de diciembre de 2014).
- West, J. W., 2003. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 86: 2131–2144.

- Whittier, J. C., 1993. Hot weather livestock stress. Univ. Missouri. Ext. Bull. G2099. Mt. Vernon.
- Wilson, S. J., Marion, R. S., Spain, J. N., Spiers, D. E., Keisler, D. H., Lucy, M. C., 1998. Effects of controlled heat stress on ovarian function of dairy cattle. Lactating cows. *Journal of Dairy Science* 81:2124-2131.
- Wise, M. E., Armstrong, D. V., Huber, J. T., Hunter, R., Wiersma, F., 1988. Hormonal alterations in the lactating dairy cow in response to thermal stress. *Journal of Dairy Science* 71:2480-2485.
- Zimbelman, R. B., Rhoads, R. P., Rhoads, M. L., Duff, G. C., Baumguard, L. H., Collier, R. J., 2009. A re-evaluation of the impact of temperature humidity index (THI) and black globe temperature humidity index (BGHI) on milk production in high producing dairy cows. *Proceedings of the 24th Southwest Nutrition and Management conference, Tempe, AZ.* pp. 158-168.

CAPÍTULO 6**APÉNDICES**

FACTIBILIDAD DEL PROYECTO

Presupuesto (montos expresados en pesos \$)

1- Instalaciones y Equipamiento-----	\$19.500,00.-
2- Bibliografía-----	\$1.000,00.-
3- Bienes de consumo	
Papel secado pezones-----	\$1.000,00.-
4- Viajes y viáticos-----	\$2.000,00.-
5- Difusión-----	\$3.000,00.-
6- Servicios de terceros	
Análisis composicional de leche individual por vaca-----	\$8,40.-
Análisis RCS individual por vaca-----	\$6,00.-
Análisis químico de alimentos-----	\$150,00.-
Análisis de Cortisol en leche-----	\$140,00.-
Alquiler vacas-----	\$7.862,00.-
Alimentación vacas-----	\$94.300,00.-
7- Trabajo de campo-----	\$2.000,00.-
8- Total	

DIAGRAM DE GANTT

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Revisión bibliográfica			X	X	X	X	X	X	X			
Visita a tambos										X	X	
Trabajo de campo	X	X										X
Procesamiento estadístico de la información			X	X	X							
Análisis de la información				X	X	X						
Elaboración informes parciales					X	X						
Elaboración informe final							X					