

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA



Evaluación del efecto de un sistema de enfriamiento sobre  
parámetros fisiológicos y productivos en ganado lechero de la  
zona costera paracentral de El Salvador

POR

**GONZÁLEZ ESPINOZA, FÁTIMA EMILIA**

**LINARES MANCÍA, LEONEL ALFREDO**

**MENDOZA VAQUERANO, ENRIQUE ALFONSO**

SAN SALVADOR, FEBRERO DE 2016

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR INTERINO**

Lic. José Luis Argueta Antillón

**SECRETARIA GENERAL**

Dra. Ana Leticia Zavaleta de Amaya

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**

**DECANO**

Ing. Agr. M. Sc. Juan Rosa Quintanilla Quintanilla

**SECRETARIO**

Ing. Agr. M. Sc. Luis Fernando Castaneda Romero

**JEFE DEL DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA**

Ing. Agr. Ludwing Vladimir Leyton Barrientos

---

**DOCENTE DIRECTOR**

Ing. Agr. M.Sc. Elmer Edgardo Corea Guillén

---

**COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACIÓN**

Ing. Agr. Enrique Alonso Alas García

---

## ABREVIATURAS

ABREVIATURA	DESCRIPCIÓN	UNIDADES
AD	Vacas adultas	
ALC	América Latina y el Caribe	
CCS	Conteo de células somáticas	
CMS	Consumo de materia seca	<b>Kg</b>
CT	Con Tratamiento	
DMS	Método de la Diferencia Significativa Honesta de Tukey	
EC	Estrés calórico	
ELlu	Época Lluviosa	
ESec	Época Seca	
Fig.	Figura	
GEI	Gases de Efecto Invernadero	
Hr	Hora	
hrs	Horas	
HR	Humedad Relativa	<b>%</b>
I	Invierno	
ITH	Índice de Temperatura y Humedad	
L/min	Litros por minuto	
L/s	Litros por segundo	
m/s	Metros sobre segundos	
ST	Sin Tratamiento	
PA	Parámetros ambientales	
PF	Parámetros fisiológicos	
PL	Producción láctea	<b>Kg</b>
PR	Primerizas	
PRL	Hormona Prolactina	
RS	Radiación solar	<b>W/m<sup>2</sup></b>
TA	Temperatura Ambiental	<b>°C</b>
TCS	Temperatura Crítica Superior	
Trec	Temperatura rectal	<b>°C</b>
Tresp	Tasa respiratoria	<b>rpm</b>
Tsup	Temperatura superficial	<b>°C</b>
V	Verano	
Vv	Velocidad del viento	<b>m/s</b>

## RESUMEN

Se evaluó un sistema de enfriamiento en vacas lecheras, en la Cooperativa Astoria de R.L. en el municipio de San Pedro Masahuat, La Paz, El Salvador a 13°27.4'N; W 89°02.7' y 40 msnm. Se consideró dos meses de la época lluviosa (julio y agosto de 2014) y dos de la seca (marzo y abril 2015). Se utilizó vacas Holstein, seis primíparas y seis adultas, con  $520 \pm 35$  Kg de peso vivo,  $84 \pm 26$  días de lactancia y  $15 \pm 3.38$  Kg/día de leche, se ordeñaron mecánicamente dos veces y tuvieron acceso irrestricto a agua. Se instaló un sistema con ventiladores y aspersores de agua, estableciendo ciclos de tratamiento de una hora con ventilación continua y aspersion de agua cada 8 minutos por dos minutos a las 10:00; 12:00; 14:00 y 16:00 horas. El experimento se realizó en periodos de 15 días, con 11 días de adaptación más 4 de toma de datos. En la época lluviosa se realizaron 2 períodos sin tratamiento, mientras en la época seca se realizó 2 periodos sin tratamiento y 2 con tratamiento. Se registró la temperatura ambiente, humedad relativa calculando el índice de temperatura y humedad (ITH), cada una de las 24 horas. Se tomó los parámetros fisiológicos tasa respiratoria, temperatura rectal y la temperatura superficial a las 9:00, 11:00, 13:00, 15:00 y 17:00 horas, además se registró diariamente el consumo de alimento y la producción láctea individual. Se evaluó el efecto de la época del año, la edad y el tratamiento, sobre los parámetros fisiológicos por medio de pruebas t student en cada hora de medición usando el programa SPSS versión 22.0 y el efecto del tratamiento y la edad sobre el consumo y la producción por medio de ANOVA con un modelo Factorial 2x2 y pruebas de Tukey con el programa Infostat. Se encontró que el ITH varió desde 75.6 hasta 86.6 en las 24 horas de ambas épocas sobrepasando 68 (considerado límite estrés calórico). Se identificó durante la época lluviosa valores mayores de ITH y se mantuvieron altos más tiempo antes de disminuir en la noche. Las primerizas tuvieron mayores tasas respiratorias, temperaturas rectales y temperatura superficiales que las adultas principalmente desde las 11:00. Las vacas con tratamiento tuvieron menor tasa respiratoria (44.6 contra 70.3 rpm), temperatura rectal (38.93 contra 39.36°C) y temperatura superficial (31.83 contra 36.16°C) que las vacas no enfriadas ( $P < 0.05$ ). Además, tuvieron un mayor consumo (19.43 contra 17.68 Kg/MS/día) y mejor producción láctea (16.92 contra 15.63 Kg/día) ( $P < 0.05$ ). Se concluye que la implementación adecuada de un sistema de enfriado con ventiladores y aspersores ayuda a mitigar el estrés calórico en las vacas a través de la mejora de sus parámetros fisiológicos y permite mejorar el consumo y la producción, dando lugar a un mayor beneficio económico.

**Palabras clave:** Estrés calórico, ganado lechero, clima tropical, parámetros fisiológicos y productivos.

## **ABSTRACT**

A cooling system evaluation in dairy cows was held at the Astoria Cooperative R.L. municipality of San Pedro Masahuat, La Paz, El Salvador at 13 ° 27.4'N; W 89 ° 02.7 'and 40 masl. Two months of the rainy season (July-August 2014) and two months of the dry season (March-April 2015) were considered. Holstein cows are used, six primiparous and six adults, with  $520 \pm 35$  kg liveweight,  $84 \pm 26$  days of lactation and between  $15 \pm 3.38$  Kg day of milk, they were mechanically milked twice a day having unrestricted access to water. A system with fans and sprinklers were installed, establishing treatment cycles an hour with continuous ventilation and water spray every 8 minutes for two minutes at 10:00; 12:00; 14:00 and 16:00 hours. The experiment was performed in periods of 15 days, 11 days of adaptation and 4 of data collection. In the rainy season two periods were made without treatment, while in the dry season 2 periods without treatment and 2 with treatment was performed. Ambient temperature, relative humidity was recorded hourly for 24 hours, from these the temperature and humidity index (THI) was calculated. The physiological parameters evaluated were respiratory rate, rectal temperature and skin temperature at 9:00, 11:00, 13:00, 15:00 and 17:00, also it was registered daily food consumption and individual milk production. The effect of the season, age and treatment on physiological parameters was evaluated with t student tests to each measurement hour using SPSS version 22.0; the effect of treatment and age on consumption and production through ANOVA, factorial model 2x2 and Tukey tests with Infostat program. The THI found ranged from 75.6-86.6 in a period of 24 hours during the two seasons, both season surpassing 68 (heat stress considered limit). Higher values of THI was observed during the rainy season and remained high longer before declining in the evening. Primiparous had higher respiratory rates, rectal temperatures and skin temperature than adults mainly from 11:00. Treated cows had lower respiratory rate (44.6 against 70.3 rpm), rectal temperature (38.93 against 39.36 ° C) and skin temperature (31.83 against 36.16 ° C) not cooled cows ( $P < 0.05$ ). They also had a higher dry matter intake (19.43 to 17.68 kg / DM / day ) and better milk production (16.92 against 15.63 kg / day) ( $P < 0.05$ ). It was concluded that the proper implementation of a cooling system with fans and sprinklers helps mitigate heat stress in cows through the improvement of their physiological parameters and improves the consumption and production, leading to greater economic benefit.

**Keywords:** Heat stress, dairy cattle, tropical climate, physiological and productive parameters.

## INDICE GENERAL

RESUMEN.....	V
ABSTRACT .....	VI
INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	3
2.1 Estrés calórico .....	3
2.1.1 Zona de termo neutralidad .....	3
2.2 Factores de origen animal ante el estrés calórico .....	4
2.3 Signos de estrés calórico .....	4
2.3.1 Ingestión de alimento bajo estrés calórico.....	4
2.3.2 Ingesta de agua bajo estrés calórico.....	5
2.4 Síntomas de estrés calórico en el ganado .....	7
2.5 Mecanismos de compensación y consecuencias fisiológicas.....	7
2.6 Medición del estrés calórico .....	8
2.6.1 Temperatura ambiente.....	9
2.6.2 Humedad .....	9
2.6.3 Viento .....	9
2.6.4 Índice de temperatura y humedad (ITH).....	10
2.6.4.1 Fórmula para calcular el ITH .....	10
2.6.5 Tasa Respiratoria.....	10
2.6.6 Temperatura Corporal.....	12
2.6.7 Temperatura Rectal .....	13
2.6.8 Temperatura Superficial.....	13
2.6.9 Capacidad calórica corporal.....	14
2.7 Efectos negativos del estrés calórico en el desempeño .....	14
2.7.1 Reducción del consumo de materia seca.....	14
2.7.2 Efectos sobre el crecimiento .....	15
2.7.2.1 Becerras .....	15
2.7.2.2. Vacas en periodo de secado.....	16
2.7.3 Efecto sobre la producción.....	16
2.7.4 Efectos en la reproducción.....	17
2.7.5 Expresión del Estro .....	18
2.7.6 Influencia en óvulos y embriones .....	19
2.8 Métodos de control del estrés calórico .....	19
2.8.1 Sombra natural .....	20
2.8.2 Sombra artificial .....	20
2.8.3 Movimiento del aire .....	20
2.8.4 El Agua .....	20
2.8.5 Combinación de aspersion y ventilación forzada.....	21
2.9 Interacción del enfriamiento y el incremento en la producción con el medio ambiente ....	22
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
3.1 Ubicación y características climáticas .....	22
3.2 Animales en estudio.....	22
3.3 Instalación del sistema de enfriamiento .....	23
3.4 Manejo.....	24
3.5 Descripción del estudio .....	24
3.6 Recolección de datos.....	25

3.6.1	Parámetros ambientales .....	25
3.6.2	Parámetros fisiológicos .....	26
3.6.3	Consumo de alimento .....	26
3.6.4	Producción de leche .....	27
3.6.5	Energía consumida .....	27
3.7	Metodología estadística .....	27
3.7.1	Diseño Estadístico .....	28
3.8	Comparación económica .....	28
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
4.1	PARÁMETROS AMBIENTALES .....	29
4.1.1.1	Temperatura ambiental durante la época seca y lluviosa .....	29
4.1.2	Humedad Relativa (HR) .....	30
4.1.2.1	Humedad relativa durante la época seca y lluviosa.....	30
4.1.3	Índice de temperatura y humedad durante época seca y lluviosa .....	31
4.2	PARÁMETROS FISIOLÓGICOS .....	33
4.2.1	Tasa Respiratoria RPM.....	33
4.2.1.1	Efecto de la época del año sobre la tasa respiratoria (rpm) en el ganado lechero.....	33
4.2.1.2	Efecto de la edad sobre la tasa respiratoria en la época seca.....	35
4.2.1.3	Efecto de la edad sobre la frecuencia respiratoria (rpm) en la época lluviosa y seca	36
4.2.1.4	Efecto del tratamiento en primerizas y vacas adultas en la época seca .....	37
4.2.2	Temperatura Rectal °C .....	39
4.2.2.1	Efecto de la época en la Temperatura Rectal de primerizas y vacas adultas en la época lluviosa y seca.....	39
4.2.2.2	Efecto de la edad en primerizas y vacas adultas sobre la Temperatura Rectal °C en la época seca .....	40
4.2.2.3	Efecto de la edad en primerizas y vacas adultas en la época lluviosa y seca.....	41
4.2.2.4	Efecto del tratamiento para estrés calórico en primerizas y vacas adultas sobre la temperatura rectal en la época seca .....	42
4.2.3	Temperatura Superficial °C.....	43
4.2.3.1	Efecto de la edad en primerizas y vacas adultas sobre la temperatura superficial ....	43
4.2.3.2	Efecto del tratamiento para estrés calórico sobre la temperatura superficial en primerizas y vacas adultas en la época seca .....	45
4.3	CONSUMO DE MATERIA SECA .....	45
4.4	PRODUCCIÓN DE LECHE.....	48
4.4.1	Efecto de la edad sobre la producción de leche y su adaptación al medio .....	48
4.4.2	Efecto del tratamiento para estrés calórico en primerizas y vacas adultas sobre la producción láctea en la época seca .....	49
4.4.3	Efecto de tratamiento sobre la producción de leche en la época seca .....	50
4.5	COMPARACIÓN ECONÓMICA .....	52
5.	CONCLUSIONES .....	54
6.	RECOMENDACIONES .....	55
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	55
8.	ANEXOS.....	75
	CUADROS.....	75
	FIGURAS.....	95
	GLOSARIO.....	100



## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Velocidad del viento .....	24
Cuadro 2. Datos comparativos por Bucklin y Cooperativa Astoria.....	51
Cuadro 3. Comparación económica en vacas bajo estrés calórico y con sistema de enfriamiento.....	52

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.Ubicación geográfica del estudio .....	22
Figura 2.Unidades experimentales en estudio .....	23
Figura 3.Sistema de tratamiento de estrés calórico: ventilador, interruptor térmico, panel de control y medición de volumen de caudal del aspersor .....	23
Figura 4.Velocidad del viento (c/2 metros) .....	24
Figura 5.Prueba del sistema de enfriamiento .....	24
Figura 6.Comedero, bebedero, área de descanso y sala de ordeño .....	24
Figura 7.Instalaciones sin sistema de tratamiento para estrés calórico y con tratamiento ....	25
Figura 8.Medición de parámetros ambientales, termohigrómetro y anemómetro .....	25
Figura 9.Toma de temperatura rectal para ambas épocas .....	26
Figura 10.Toma de tasa respiratoria con tratamiento y sin él .....	26
Figura 11.Medición de la temperatura superficial sin sistema de enfriamiento y con él.....	26
Figura 12. Alimento ofrecido, concentrado, ensilado con y sin sistema de enfriamiento .....	27
Figura 13.Medición de producción láctea, sala de espera, ordeñadora mecánica, toma de temperatura rectal previo al ordeño .....	27
Figura 14.Consumo de energía medidor de energía eléctrica.....	27
Figura 15.Temperaturas (°C) durante las 24 horas del día en la época seca (marzo - abril) y la época lluviosa (julio - agosto) en la Cooperativa Astoria, San Pedro Masahuat, La Paz, El Salvador. ....	30
Figura 16.Humedad relativa (%) durante las 24 horas del día en la época seca (marzo - abril) y la época lluviosa (julio – agosto) en la Cooperativa Astoria, San Pedro Masahuat, La Paz, El Salvador. ....	31
Figura 17.Índice de Temperatura y Humedad, durante las 24 horas del día, en la época seca (marzo - abril) y la época lluviosa (Julio - Agosto) en la cooperativa Astoria, en San Pedro Masahuat, La Paz, El Salvador.....	33
Figura 18. Efecto de la época del año sobre la tasa respiratoria (rpm) en primerizas y vacas lecheras en ordeño sin tratamiento de estrés calórico.. ....	34
Figura 19. Respiraciones por minuto (rpm) sin tratamiento y con tratamiento durante la época seca.....	36
Figura 20. Tasas respiratorias (rpm) en primerizas y vacas en ordeño sin tratamiento de estrés calórico durante la época lluviosa y época seca.....	37
Figura 21. Efecto del sistema de enfriamiento sobre las tasas respiratorias (rpm) en primerizas y vacas durante la época seca. ....	38
Figura 22. Efecto de la época del año sobre la temperatura rectal (°C) en primerizas y vacas lecheras en ordeño sin tratamiento de estrés calórico.....	40
Figura 23. Temperaturas rectales (°C) sin tratamiento y con tratamiento durante la época seca.....	41
Figura 24. Temperaturas rectales (°C) en primerizas y vacas en ordeño sin tratamiento de estrés calórico durante la época lluviosa (izquierda) y época seca (derecha). * Diferencias estadísticas significativas a $P < 0.05$ .....	42
Figura 25. Efecto del sistema de enfriamiento sobre la temperatura rectal (°C) en primerizas (izquierda) y vacas (derecha) durante la época seca.....	43
Figura 26. Temperatura superficial °C en primerizas y vacas adultas en ordeño sin tratamiento de estrés calórico durante la época seca .....	44
Figura 27. Efecto del sistema de enfriamiento sobre la temperatura superficial en primerizas y vacas durante la época seca.....	45
Figura 28. Efecto del tratamiento sobre el consumo de alimento (en materia seca Kg/día) en primerizas y vacas en ordeño en la época seca.....	47

Figura 29. Producción láctea (Kg/día) en primerizas y vacas adultas sin tratamiento y con tratamiento durante la época seca.....	48
Figura 30. Producción láctea (Kg/día) en primerizas y vacas adultas sin tratamiento y con tratamiento durante la época seca.....	50
Figura 31. Promedio de producción láctea (Kg/ día) con tratamiento y sin tratamiento durante la época seca.....	51

## INDICE DE ANEXOS

### CUADROS

Cuadro A-1. Métodos de intercambio de calor entre el ganado y el ambiente .....	75
Cuadro A-2. Índice de Temperatura y Humedad a diferentes temperaturas y humedad del aire .....	76
Cuadro A-3. Valores climáticos de La Paz.....	77
Cuadro A-4. Clasificación de la severidad del estrés calórico en la frecuencia respiratoria en ganado lechero.....	77
Cuadro A-5. Correlación entre indicadores fisiológicos (frecuencia respiratoria y temperatura rectal) y niveles de estrés térmico .....	77
Cuadro A-6. Clasificación de estrés calórico en ganado de engorde .....	78
Cuadro A-7. Descripción del puntaje de la escala de jadeo mediante la observación en el animal.....	78
Cuadro A-8. Descripción del puntaje de la tasa respiratoria como respuesta al estrés calórico como herramienta visual para su evaluación .....	78
Cuadro A-9. Frecuencia de baño de las vacas contra el estrés calórico .....	79
Cuadro A-10. Tiempo de baño de las vacas contra el estrés calórico.....	79
Cuadro A-11. Consumo de Materia Seca (CMS) en diferentes temperaturas ambientes....	79
Cuadro A-12. Consumo de Materia Seca durante la mitad y final de la lactación .....	80
Cuadro A-13. Consumo de agua para diferentes categorías y niveles de producción bajo diferentes temperaturas ambientes .....	80
Cuadro A-14. Efectos de los cambios ocasionados por el estrés por calor sobre la producción.....	80
Cuadro A-15. Resumen de parámetros ambientales .....	81
Cuadro A-16. Escala de ITH revisada por la Universidad de Arizona adaptada para describir el comportamiento de ITH durante la investigación para la época lluviosa y seca .....	82
Cuadro A-17. Impacto de los diferentes niveles de estrés calórico en la producción de leche con algunos ejemplos prácticos.....	82
Cuadro A-18. Registro de la velocidad del viento dentro del sistema de enfriamiento .....	83
Cuadro A-19. Horas de exposición a diferentes niveles de estrés calórico .....	83
Cuadro A-20. Datos climáticos durante el período de 1962 – 1992 de estaciones meteorológicas con altitud similar al ensayo.....	84
Cuadro A-21. Comparación del ITH del sitio de estudio con datos de 6 estaciones meteorológicas con altitud similar (msnm) al estudio durante el periodo de 1962 a 1992. ..	84
Cuadro A-22. Resumen de parámetros fisiológicos en la ELLu .....	85
Cuadro A- 23. Resumen de parámetros fisiológicos en la época seca, ST y CT .....	85
Cuadro A- 24. Indicadores fisiológicos de estrés calórico .....	85
Cuadro A-25. Medios mínimos cuadráticos y errores estándar de producción de leche de vacas Holstein con y sin enfriamiento.....	86
Cuadro A-26. Cargos fijos de electricidad.....	86
Cuadro A-27. Estimación de Costos de electricidad por mes .....	86
Cuadro A-28. Costo de alimentación individual y por hato .....	86
Cuadro A-29. Costo del equipo e instalación del sistema de enfriamiento.....	87
Cuadro A-30. Análisis estadístico a través de la prueba t de student para el efecto de la época (lluviosa y seca) sobre parámetros ambientales (temperatura ambiental, humedad relativa e ITH) durante las horas de muestreo .....	88

Cuadro A- 31. Análisis estadístico a través de la prueba t de student para el efecto de la época (lluviosa y seca) sobre la tasa respiratoria y temperatura rectal de primerizas y vacas adultas sin tratamiento de estrés calórico.....	89
Cuadro A- 32. Análisis estadístico a través de la prueba t student para el efecto de la edad (primeriza y vaca) según la época en estudio (lluviosa y seca) en la tasa respiratoria (TR) y temperatura rectal (TC) .....	90
Cuadro A- 33. Análisis estadístico a través de la prueba t de student para el efecto de la edad (primeriza y vaca) en la tasa respiratoria (TR), temperatura rectal (TC) y temperatura superficial (TI) bajo condiciones de tratamiento para estrés calórico y bajo condiciones habituales de la costa.....	91
Cuadro A- 34. Análisis estadístico a través de la prueba t de student para el efecto del tratamiento (con y sin sistema de enfriamiento) en la tasa respiratoria (TR), temperatura rectal (TC) y temperatura superficial (TI) por edad (primerizas y vacas).....	92
Cuadro A- 35. Análisis estadístico por medio de prueba de Análisis de Varianza (ANOVA) y la Diferencia Significativa Honesta (DSH) de Tukey sobre la producción de leche de la época lluviosa y seca en vacas y primerizas .....	93
Cuadro A- 36. Análisis estadístico por medio de prueba de Análisis de Varianza (ANOVA) y la Diferencia Significativa Honesta (DSH) de Tukey sobre el efecto del tratamiento (en el consumo de materia seca en la época seca para primerizas y vacas adultas .....	94
Cuadro A- 37. Análisis estadístico por medio de la Prueba de Wilcoxon sobre el consumo de materia seca (concentrado y ensilado) en la época seca para primerizas y vacas adultas con tratamiento y sin él.....	95
Cuadro A- 38. Análisis estadístico por medio de la Prueba de Shapiro Wilks sobre la producción láctea en la época seca con tratamiento y sin él .....	95

## FIGURAS

Figura A- 1. Zona de confort del bovino .....	95
Figura A-2. Estrés calórico con sus respectivas consecuencias fisiológicas y de comportamiento .....	96
Figura A- 3. Perdidas de calor .....	96
Figura A-4. Liberación de calor al ambiente. Balance térmico en el ganado bovino de carne	97
Figura A- 5. Funcionamiento del sistema de mojado y ventilación forzada .....	97
Figura A-6. Relación inversamente proporcional entre la humedad relativa (%) y la temperatura ambiental (°C).....	98
Figura A- 7. Mapa térmico para cada región del cuerpo de la vaca.....	98
Figura A- 8. Calculadoras en línea para establecer el estrés calórico .....	99

## INTRODUCCIÓN

La ganadería vacuna está caracterizada por bajos niveles de productividad, rentabilidad, y por la generación de efectos ambientales negativos, sin embargo, constituye uno de los principales usos productivos de la tierra en América Latina y el Caribe (ALC) (FAO, 2008).

La influencia del clima en la producción bovina ha sido estudiada desde hace más de medio siglo (Johnson 1987). En El Salvador según los datos climáticos de las décadas de 1963 a 1993 (Engels 1998) de estaciones meteorológicas con una altitud menor a 60 msnm, la temperatura ambiental y humedad relativa determinan que en promedio los datos actuales son 3 unidades de índice de temperatura y humedad mayor. Los animales interactúan de manera compleja con el entorno a través de mecanismos de respuesta adaptativa física, química y etológica propias de cada especie, que en condiciones de clima tropical muchas veces sobrepasan el límite de sus capacidades en busca de homeostasis y es conocido que, en algunas regiones del trópico, los bovinos soportan mayores afecciones por el estrés calórico. Estas zonas se caracterizan por presentar una temperatura media anual entre los 25 y 35 °C con un período estival muy prolongado, de 6 a 8 meses, dado que los veranos se caracterizan por ser generalmente secos (Salvador 2010). Sumado a esto, también se presenta una época invernal que puede afectar a los animales debido a la excesiva humedad (Blanco 2009). El ganado lechero enfrenta importantes desafíos para expresar su potencial productivo en estas condiciones. Altas temperaturas y humedades causan estrés térmico en las vacas, con lo cual tienen que luchar todas las explotaciones lecheras que cuentan con ganado europeo. El estrés calórico ocurre cuando las vacas no pueden disipar calor suficiente para mantener su temperatura corporal por debajo de 38.5 °C. La producción interna de calor se acelera con la mayor ingestión de alimento. Por lo tanto, las vacas altas productoras son más sensibles al estrés calórico provocando "ineficiencia nutricional", por la reducción en el consumo de alimento que explica la mitad de la declinación en producción de leche, asumiendo que el resto fue energía usada para la activación de mecanismos corporales de disipación del calor (Flamembaum 2013). Se ha demostrado que cuando la temperatura corporal aumenta sólo 1.2°C, hay reducciones en la producción de leche de casi 6 Kg. (Díaz *et al.* 2013). En pocos días otros impactos son aparentes tales como: aumento de la incidencia de desplazamientos del abomaso, cojeras, incremento en la susceptibilidad a las enfermedades en general, menor fertilidad (tanto en vacas como en toros), más días abiertos, más desechos reproductivos, crecimiento lento, menor condición corporal, muertes embrionarias tempranas, reabsorción embrionaria o actividad lútea y reducción de celos (Hoard's West 2012). Las vacas bajo estrés calórico eliminan una porción significativa de su calor corporal a través de la piel. Sin embargo, a medida que aumenta la temperatura ambiente disminuyen la pérdida de calor a través de la piel, al tiempo que aumenta la frecuencia respiratoria y los animales jadean para incrementar la emisión de calor por evaporación, pudiendo tolerar más el calor durante el día siempre y cuando la temperatura baje durante la noche (Díaz *et al.* 2013). Una referencia para reconocer un ambiente favorable al estrés calórico es el Índice de Temperatura y Humedad (ITH) que cuantifica el grado de estrés térmico

basado en los efectos combinados de la temperatura y la humedad del aire. Con un ITH de 68 las vacas empiezan a sufrir estrés calórico (Hoard's 2012). Otra forma es, medir la temperatura rectal por la tarde, los animales que muestren temperatura rectal de 39.0°C o más, se están viendo afectados (Hansen *et al.* 2012). En el aspecto económico, se ocasionan fuertes pérdidas en la ganadería lechera, porque condicionan las ganancias obtenidas en los meses de invierno a las pérdidas sufridas en verano, no dejando márgenes de ganancia (Jarama 2011). Por ello desde 1993 el 3% de las ganaderías salvadoreñas especializadas utilizan ventiladores y aspersores para mitigar el estrés calórico en la zona occidental (CENTA *et al.* 2002). El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto que produce el empleo de un sistema de enfriamiento (ventiladores y aspersores), sobre parámetros fisiológicos (temperatura superficial, tasa respiratoria y temperatura rectal), el consumo de alimento y el rendimiento de la producción láctea en vacas de la zona costera paracentral de El Salvador, vinculando su beneficio económico e incorporando los parámetros ambientales (temperatura ambiente, humedad relativa y velocidad del viento) como manifestaciones características de las épocas del año.



## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Estrés calórico

La capacidad de los homeotermos para mantener con éxito una temperatura corporal constante, puede verse comprometida cuando las condiciones ambientales limitan la pérdida de calor metabólico o contribuyen a la ganancia de calor del animal. (Berman *et al.* 1985).

El calor es usado para mantener la temperatura corporal cuando la temperatura del ambiente se encuentra por debajo de 4°C (40°F), pero cuando la temperatura ambiental se encuentra elevada, la vaca necesita mantener su temperatura corporal dentro de los rangos biológicos compatibles con la vida (García 2004).

El estrés calórico puede entenderse como un indicador de todas las fuerzas relacionadas con altas temperaturas que inducen ajustes que ocurren desde el nivel sub-celular al animal por completo, que ayudan a la vaca a evitar disfunciones fisiológicas para que se adapte mejor a su entorno (Kadzere *et al.* 2002). Así mismo, puede considerarse como la suma de todas las fuerzas que actúan sobre la vaca incrementando la temperatura por encima de los límites normales. Es difícil para el ganado lechero en ambientes con altas temperaturas que puedan expresar por completo su potencial productivo en la fertilidad, cantidad y calidad de leche. Los mecanismos fisiológicos de la vaca en respuesta a éste estrés para evitar la elevación de la temperatura ayudan a prevenir la muerte, pero también reducen su productividad (Hansen *et al.* 2012). Ingraham *et al.* (1983), expresan que bajo un estrés de corta duración (estrés agudo), los animales pueden retornar a su nivel de producción previo al estrés o aclimatarse en niveles productivos menores, dependiendo de la intensidad del estrés sufrido (carga de calor). A su vez, exposiciones crónicas al calor pueden finalmente traducirse en respuestas adaptativas a través del aumento en la temperatura ambiente crítica máxima. Por lo tanto, los efectos adversos del calor sobre la producción dejarían de estar presentes luego de esta adaptación.

#### 2.1.1 Zona de termo neutralidad

Se define como zona de termoneutralidad a la combinación de temperatura y humedad en donde la vaca se siente cómoda y su organismo no necesita recurrir a mecanismos para enfriar o calentar su cuerpo (Figura A-1). Esta ocurre con 20°C de temperatura y 50% de humedad relativa (Díaz y García 2013). Si la temperatura del aire sube por encima de los 16°C, en el caso de los animales *Bos taurus* y de 26°C en el caso de *Bos indicus*, los mecanismos de termorregulación se activan y el animal experimenta un aumento de su respiración y vaporización, principales mecanismos de disipación calórica de los bovinos, (Harmer *et al.* 2000). Las respuestas al estrés calórico son diferentes entre los animales *Bos indicus* de origen tropical y con menor sensibilidad al estrés por calor que en comparación a los *Bos taurus*, ya que logran mantener las temperaturas rectales más constantes (por una mayor densidad de glándulas sudoríparas) y mayores tasas de sudoración (Dowling y Finch citados por La Manna *et al.* 2014). El rango de temperatura neutral aceptable varía con la raza y nivel de producción. El ganado Jersey se muestra favorecida sobre el ganado Holstein Friesian en las

partes del sur de Estados Unidos, ya que presentan una capacidad superior para mantener el consumo de alimento, producción de leche y reproducción para valores de ITH por encima de 78 (Keister et al. 2002). El rango de temperatura confortable en ganado es de 38.3° a 38.6°C (100.9° a 101.5°F) y éstas poseen una especie de termostato que se activa al superar los límites superiores, desencadenando una serie de mecanismos fisiológicos para la regulación del organismo (Cuadro A-1.). Los estudios han demostrado que las vacas lecheras lactantes son más tolerantes al frío que al calor (Broucek *et al.* 1991). Cuando se encuentra en un ambiente frío, las vacas pueden incrementar la producción de calor y disminuir la pérdida de calor hacia el ambiente, como una forma de prevenir una baja de temperatura. En cambio, cuando está en condiciones de altas temperaturas éstas pueden aumentar la pérdida de calor al ambiente, pero la habilidad para reducir la producción de calor está limitada únicamente en reducir la cantidad de alimento ingerido (Hansen *et al.* 2012).

Más allá de esta zona, la evaporación de los líquidos corporales permite regular las pérdidas térmicas a medida que: la temperatura exterior aumenta. En efecto, una vez alcanzada la vasodilatación máxima, la evaporación cutánea y respiratoria aumenta de manera lineal en relación a la temperatura ambiente, permitiendo un equilibrio de los cambios térmicos (Córdova *et al.* 2015). Los forrajes de alta calidad se digieren más rápido y como resultado hay menor producción de calor. Por tanto, cada vez que la ingesta de alimento disminuye debido al estrés calórico, se tiene que considerar enriquecer la ración (García 2004).

## **2.2 Factores de origen animal ante el estrés calórico**

Los bovinos son más sensibles al estrés calórico que los humanos, a pesar de que el ganado no parece tener un amplio rango de tolerancia al calor, existen factores propios que intervienen en la severidad del incremento de calor tales como: edad del animal, raza, manto de pelo, capa de color del pelo y estado nutricional del animal (Managing Feedlot Heat Stress 2000).

## **2.3 Signos de estrés calórico**

Para evitar los efectos del exceso de calor, los animales también modifican su comportamiento habitual. Se ha comprobado que bajo condiciones de estrés por calor los animales disminuyeron el tiempo dedicado a consumir alimento y el que permanecen echados, así también reportaron una reducción en la agresividad del ganado (Young 1985).

### **2.3.1 Ingestión de alimento bajo estrés calórico**

Debido a las altas temperaturas, existe un efecto negativo directo sobre el apetito en el centro del hipotálamo (Baile y Forbes 1994), lo cual produce una baja en el consumo de alimento y en la energía metabolizable disponible del mismo (Verbeck *et al.* 1994). El optar por dietas frescas radica en la utilización de fuentes de rápida fermentación en el rumen para generar menos calor endógeno (fermentación) y contrarrestar la disminución del consumo de materia seca que experimentan las vacas bajo los efectos del calor, concentrando la densidad energética de la dieta para poder cubrir los requerimientos del animal (O'berto *et al.* 2006). La ingestión de alimento y la producción están asociadas más estrechamente con la temperatura ambiente de dos días previos, que con los del día actual (Díaz *et al.* 2013). Así mismo, las vacas necesitan de 12 a 14 horas diarias para descansar,

sino reciben ese tiempo de descanso, no comerán lo suficiente (Ondarza 2012). La digestibilidad se ve afectada por una variedad de factores, tales como la tasa de consumo de alimento, la calidad del alimento, la composición de nutrientes, la tasa de pasaje del contenido ruminal y pos ruminal; todos afectados por la temperatura ambiental (Ellis *et al.* 1984), la digestibilidad se ve incrementada al disminuir el consumo de alimento debido a una mayor permanencia del alimento en el tubo gastrointestinal del animal (Beede y Collier 1986). El consumo voluntario disminuye cuando la temperatura ambiente excede los 25°C, con ello se reduce la producción de leche hasta en un 30%, además en las producciones los componentes de leche pueden cambiar, la eficiencia reproductiva disminuye y el sistema de la vaca se altera, provocando pérdida de habilidad protectora para el animal (Padilla *et al.* 2005; O'Brien *et al.* 2009).

### **2.3.2 Ingesta de agua bajo estrés calórico**

Por otra parte, el estrés de calor aumenta el tiempo dedicado a beber agua y el que permanecen de pie cerca de los bebederos (Young 1985). Una vaca de alta producción requiere entre 100 y 150 L de agua al día, necesitando de 3 a 4 L de agua por cada litro de leche que produce (Martínez 2006).

La ingestión de agua puede aumentar en casi 66% cuando aumenta la temperatura (Cuadro A- 13) (Hardesty 2012). El agua debe ser abundante y limpia ya que, bajo situaciones “normales”, la ingestión de agua es cuatro veces mayor a la ingestión de materia seca. Limitar la ingestión de agua limita la ingestión de materia seca. El agua limpia y no contaminada sin niveles altos de hierro y sulfatos asegura la ingestión tanto de agua como de materia seca (Kertz 2013). Una vaca cuya temperatura corporal se eleva por encima del rango normal (38.6 a 39.1°C), requerirá de 6 a 8L más de agua sobre su requerimiento diario de 24 horas (30 a 40L) por cada grado de aumento en su temperatura corporal (Kopcha 2010). En una investigación, tres días después de ocurrido el estrés calórico, la ingestión de agua había aumentado 55%, mientras que siete días después se incrementó a 65% (Kertz 2013). También el consumo de agua es beneficioso debido a que un mayor contenido de agua del rumen acelera su vaciado, lo que reduce el efecto de llenado debido a la menor velocidad de tránsito durante el estrés por calor; por otro lado, el agua consumida contribuye al enfriamiento corporal total (Martínez 2006).

Para estar tan frescas como les sea posible, las vacas se mantienen cerca de los bebederos, aglomerándose en las áreas húmedas y lodosas en donde terminan con ubres sucias; provocando un aumento en la cuenta de células somáticas. Con una temperatura corporal en las vacas de 39°C; medio grado de incremento provoca problemas reproductivos y además las vacas permanecen paradas, lo que provoca problemas de pezuñas (Block 2011). Overton *et al.* (2002), observaron que el estrés calórico modifica el comportamiento de las vacas lo que aumenta el riesgo de laminitis y lesiones de la pezuña. Schultz (1984), ha demostrado que el porcentaje de vacas que están de pie aumenta con el incremento de la temperatura ambiental e ingieren agua o se mantienen cerca de los bebederos cuando aumenta en el clima caliente y sin sombra. Investigaciones de la Universidad de Arizona y de la Universidad Estatal del Noreste de Missouri (SMNU, 2013), correlacionaron el

comportamiento de las vacas paradas o echadas para predecir el estrés calórico y la temperatura corporal central. Colocando a las vacas en estudio un termómetro intravaginal para medir la temperatura corporal con otro dispositivo para medir el ángulo de las patas. Después de coleccionar los datos en California, Arizona y Minnesota se concluyó que las vacas permanecían paradas durante períodos más prolongados a medida que su temperatura corporal aumentaba de 38.3 a más de 38.9°C. Esto se debe probablemente a que en los días calurosos las vacas se paran para exponer más de superficie corporal y dispersar el calor.

Algunos de los signos de estrés calórico en vacas lecheras son obvios, especialmente descenso en la producción y el comportamiento letárgico. Los signos moderados pueden ocurrir cuando la temperatura ambiental se encuentra entre 26.6 y 32.2°C con un rango de humedad desde 50 a 90%. Estos signos incluyen respiración acelerada y superficial, sudoración profusa y un descenso en la producción láctea y alimento ingerido aproximadamente del 10% (Young 1985).

Cuando la temperatura aumenta de 32.2 a 37.8°C y la humedad se mantiene en un rango de 50 a 90% la vaca mostrará un descenso marcado en la producción láctea usualmente por encima del 25% y su temperatura corporal se observará elevada y empezará a mostrar más signos, como mantener el hocico abierto acompañada de jadeo (Cuadro A-6) y exponiendo su lengua disipando de esa manera el calor al promover la evaporación (Gebremedhin *et al.* 2008). Usualmente en las vacas más productoras son más evidentes los signos debido a las cantidades de alimento ingerido y el volumen de producción (Bray *et al.* 1996). Cuando estas estrategias para disminuir el estrés calórico son ineficaces, la carga de calor acumulado puede aumentar la temperatura del cuerpo y causa disminución en la producción de leche (Wheelock *et al.* 2010). Las vacas altas productoras sufren más con el estrés calórico que las vacas bajas productoras porque tienen mayor actividad metabólica (Hardesty 2012). Las vaquillas de mayor tamaño tienen mayores requerimientos de mantenimiento cuando hace calor. Su tamaño corporal les hace más difícil liberar su carga calórica, ya que tienen una superficie de piel comparativamente menor en relación con su tamaño corporal. Las respuestas de las primizas ante el estrés calórico incluyen ingestión elevada de agua, junto con reducciones en la ingestión de materia seca y eficiencia reproductiva, la disminución en la producción de calostro en cantidad y calidad, naciendo además crías más pequeñas y con más problemas de salud (Kertz 2013). Otro problema que ocurre frecuentemente con el estrés provocado por el calor y la humedad es un aumento en la cuenta de células somáticas del hato (Pritchard 2009). También es posible observar cambios en la distribución del ganado dentro de los corrales, permaneciendo más tiempo en aquellos lugares con mejor ventilación. Mientras que durante los meses de frío es posible observar la agrupación de los animales (apiñado), así como también cambios posturales para tratar de reducir la exposición de la superficie corporal y con ello la pérdida de calor (Young 1985). El mayor riesgo que las vacas se acaloren ocurre en el área de espera a la entrada de la sala de ordeño, las vacas amontonadas en un apretadero pueden aumentar en casi un grado centígrado su temperatura corporal interna, debido a la captación por conducción del calor de otras vacas. Necesitando de 8 a 12 horas para disipar esa clase de calor (Hardesty 2011). Para ese momento ya estarán otra vez en el

apretadero. La forma más rápida de reducir la influencia del calor en el apretadero es no aglomerando a las vacas. Los grupos pequeños que no están amontonados pueden reducir la incorporación de calor, pero prolongan el tiempo de ordeño (Hardesty 2012).

La calidad del agua también es un factor a tener en consideración ya que un contenido muy elevado de sulfato de cloro (más de 1000 ppm) agrava el desequilibrio ácido-base que ocurre durante el estrés por calor. La disminución del consumo de alimentos, el consumo de minerales; el incremento de las pérdidas de estos minerales principalmente por el aumento del sudor, la orina y la saliva, de manera que disminuye su disponibilidad para la producción. El sudor contiene cantidades importantes de potasio y sodio; la saliva contiene principalmente sodio, pero también fósforo, potasio y cloro (Martínez 2006).

#### **2.4 Síntomas de estrés calórico en el ganado**

Entre los síntomas que presenta el ganado al dejar su zona de confort se encuentran: 1) menor tiempo de rumia y mayor retención de alimento (mayor fermentabilidad, limitando la actividad ruminal para reducir el calor endógeno); 2) mayor irrigación a tejidos periféricos por ende, menor flujo sanguíneo hacia la glándula mamaria y tracto gastrointestinal (reduciendo la absorción de nutrientes y producción láctea) 3) reducción de Bicarbonato ( $\text{HCO}_3$ ) en la saliva (susceptibilidad a la acidosis subclínica); 4) aumento en la pérdida de potasio a través de la transpiración; 5) incremento de la energía de mantenimiento para disipar el calor (La Manna *et al.* 2014). Dentro del comportamiento están: 1) menor tiempo echadas; 2) reducción del consumo de materia seca; 3) orientación hacia zonas frescas o de vientos dominantes; 4) dispersión entre animales; 5) búsqueda de zonas provistas de sombra; 6) adopción de posturas en extensión (de pie o tumbadas); 7) contacto con superficies y suelos fríos; 8) merma de la actividad corporal, jadeo, aumento de la frecuencia respiratoria, salivación y consumo de agua; 9) reducción de la ingestión de materia seca con el cambio en los hábitos alimenticios 10) babeo como formas de perder calor (Afriga s.f.).

#### **2.5 Mecanismos de compensación y consecuencias fisiológicas**

Conforme el calor ambiental se aproxima a la temperatura corporal del animal, las vías de eliminación de calor como la radiación, conducción y convección llegan a ser ineficientes, y es la evaporación la principal y única forma de disipar el calor generado en la vaca, utilizando la respiración y la piel para realizar este proceso (Jiménez 2005).

El primer mecanismo que se activa para conseguir una pérdida de calor es la vasodilatación (aumento del flujo de sangre a la piel, por lo que el flujo a los órganos internos es menor); el segundo es el sudor y el aumento de la temperatura rectal, seguido de la respiración (Moráis *et al.* 2008). El aumento de la frecuencia respiratoria es la primera señal visible y depende de la intensidad y duración del estrés al que están sometidos los animales (Afriga, s.f.). Según La Manna *et al.* (2014), el estrés calórico provoca una reducción del consumo de materia seca, menor producción de leche y sus componentes, reducción de grasa y proteína, menor capacidad reproductiva (Cuadro A- 10.),

incremento en la incidencia de retención de placenta, metritis y laminitis. En la vaca en periodo de secado se da un menor desarrollo del feto con menor peso al nacimiento y posiblemente menor producción en la lactancia futura.

Numerosos cambios fisiológicos ocurren en el aparato digestivo, química ácido-base y hormonas sanguíneas durante climas cálidos, algunos de ellos como respuesta a la reducción de nutrientes ingeridos, aunque muchos cambios se producen como resultado del estrés en la vaca. Existen neuronas que son termosensibles, distribuidas en todo el organismo animal que intercambian información con el hipotálamo desencadenando una serie de cambios fisiológicos, anatómicos o de comportamiento al intentar mantener el equilibrio de calor (Curtis 1983). Entre los factores de riesgo de origen nutricional están que altos niveles de energía y bajos niveles de fibra en la ración causan acidosis ruminal, produciendo laminitis y la subsecuente aparición de cojeras debido a úlceras plantares y abscesos de la línea blanca (Vermunt 1990, citado por Blowey 1998). Los riesgos de acidosis aumentan en períodos de estrés calórico (Figura A-2.). Los factores que pueden contribuir a los problemas de acidosis ruminal son: disminución del consumo de materia seca con una menor proporción de forraje y los niveles más altos de carbohidratos fermentables, disminución de la rumia, disminución de la saliva al intestino (una fuente de bicarbonato) con una reducción de su poder tampón debido a la mayor Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) expulsado en el jadeo. Además, la disminución del pH del rumen perjudica la eficiencia en la digestión de las fibras: las bacterias del rumen fibrolíticas son los más afectados cuando el pH del rumen disminuye por debajo de 6.0 (Figura A-2.). Todos estos factores contribuyen a la disminución en la eficiencia de la conversión alimenticia. Por otra parte, la acidosis se ha demostrado que afecta a los animales en el estado general de salud, fertilidad y longevidad de la especie bovina (Lallemand 2012).

El calor es intercambiado entre la vaca y el ambiente por medio de dos tipos de mecanismos: Mecanismos de pérdida de calor sensible: incluyen la conducción, convección y radiación, estos ocurren a una velocidad que depende de la magnitud de gradiente entre la superficie del animal y la temperatura del objeto en el ambiente con el que el animal está intercambiando calor (Cuadro A-1.). La vasodilatación periférica facilita la pérdida de calor sensible al reducir el efecto del aislamiento tisular y favorece la eliminación de calor por evaporación al facilitar la difusión de agua desde la piel (Figura A-3.) (Martínez 2006).

Pérdida de calor latente (Figura A-4.): se refiere al calor asociado con la evaporación del agua. Para una vaca el agua es evaporada a través de la piel como resultado del sudor, inmersión bajo agua o cuando el aire entra al tracto respiratorio y es humedecido. Por tanto, vacas con estrés térmico incrementan el volumen de sudor y la frecuencia respiratoria (Hansen *et al.* 2012).

La disipación de calor por la excreción de heces y orina no es relevante (Bonilla 1999).

## **2.6 Medición del estrés calórico**

La influencia del clima en la producción bovina ha sido reconocida desde hace mucho tiempo (Johnson 1987). Los animales viven en un estado de cercana interacción entre la complejidad de los

procesos físicos y químicos de su propio cuerpo y el entorno que los rodea (Richards 1973, Yousef 1985).

### **2.6.1 Temperatura ambiente**

La homotermia se define como el intervalo de temperatura ambiente donde la temperatura corporal del animal es constante, cuando esta se eleva por arriba de la zona termoneutral, operan los mecanismos de defensa para evitar la acumulación de calor a través de la vasodilatación general, sudoración y jadeo (Siqueiros 2013). El promedio de la temperatura ambiente es generalmente considerado como la principal medida térmica utilizada para estimar el confort animal (NRC 1981, Da Silva 2006).

### **2.6.2 Humedad**

La humedad relativa (HR) es considerada un factor de potencial estrés en el ganado, ya que acentúa las condiciones adversas de las altas temperaturas (Da Silva 2006). Diversos autores han discutido ampliamente el papel que desempeña la humedad relativa como agente estresante. Hafez (2000), aseveró que la tasa de pérdida de calor del animal, el enfriamiento por evaporación a través de la piel y del tracto respiratorio se ve reducido notablemente y depende en gran medida de la humedad relativa. Blackshaw y Blackshaw (1994) y Renaudeau (2005), aseguraron que los principales efectos de la humedad relativa están asociados con una reducción de la efectividad en la disipación de calor por sudoración y respiración. Bianca (1972) y Saravia (2009), describen altos valores de humedad en el aire se disminuye el intercambio entre la superficie del animal y el aire aumentando el estrés calórico.

El estrés calórico provoca la estacionalidad de los partos debido a que el excesivo calor de la época lluviosa causa inhibición de las ondas foliculares que van a producir óvulos en la época seca. Es por eso que en estos hatos muy pocas vacas quedan cargadas en la temporada de lluvias. Eso también explica por qué el mayor número de partos ocurre en los meses de diciembre, enero y febrero; y el mayor número de concepciones ocurre en abril, mayo y junio, cuando las vacas están en su pico de lactancia (Martínez 2013).

En cuanto a la disponibilidad de forraje Hafez (2000), demostró que bajo condiciones de temperatura y humedad elevadas los forrajes crecen aceleradamente, afectando su calidad nutritiva (contenido proteico) y digestibilidad (alto contenido de fibra cruda y lignina).

### **2.6.3 Viento**

Con temperaturas moderadas, las pérdidas de calor son proporcionales a la velocidad del viento. El hecho contrario se produce, cuando las temperaturas son elevadas (29°C). Si existe un gradiente entre la temperatura de la piel y la del ambiente, el movimiento del aire permitirá la pérdida de calor por convección. Si la temperatura del aire es superior a la temperatura de la piel, el animal ganará calor del medio que lo rodea teniendo un efecto inverso de confort (Villagómez *et al.* 2000).

### 2.6.4 Índice de temperatura y humedad (ITH)

Es posible cuantificar el estrés calórico a través de un índice biometeorológico que considera la temperatura y la humedad del aire (ITH) desarrollado por Thom (1959), para su aplicación en humanos extendiéndose por primera vez su uso en la ganadería por Berry *et al.* (1964). Es un número utilizado para indicar la falta de confort en el ganado de forma sencilla para evaluar los riesgos del estrés térmico (West 1981).

#### 2.6.4.1 Fórmula para calcular el ITH

Frank Wiersma, en Tucson (Arizona) (Cuadro A-2.), desarrolló un índice denominado “Índice Termo higrométrico” (ITH) en donde estableció 5 zonas de confort o de riesgo para las vacas de leche. Calculándose:

$$\text{ITH} = 0.81 \times \text{TA} + \text{HR}/100 \times (\text{TA}-14.4) + 46.4$$

Donde TA, es la temperatura del ambiente y HR es la humedad relativa. Siendo importante resaltar que cuando el ITH excede de 72, las vacas comienzan a experimentar el calor.

Si éste excede 78, las vacas lecheras en producción son seriamente afectadas y si se eleva por encima de 82 las pérdidas significativas de la producción de leche, las vacas muestran signos de estrés severo y en última instancia muchas de ellas mueren. También el aumento del rendimiento de leche, aumenta la sensibilidad de la vaca al estrés por calor (West 2003).

Ravagnolo *et al.* (2000), reportó que la temperatura máxima y la humedad relativa mínima fueron las variables más críticas para cuantificar el estrés calórico, ambas se combinan fácilmente en un ITH. La producción de leche se redujo en 0.2 Kg por unidad de incremento en ITH cuando el ITH superó 72. Los autores concluyen que el THI se puede utilizar para estimar el efecto del estrés por calor en la producción. El ITH no toma en cuenta la radiación solar o el movimiento del aire.

### 2.6.5 Tasa Respiratoria

La frecuencia respiratoria basal en bovinos oscila entre 20 a 40 respiraciones por minuto, rpm (Seath y Miller 1946; Thomas y Pearson 1986) y ha sido utilizada como indicador de estrés por calor en ganado. Sin embargo, está influenciada por el efecto de la temperatura ambiente, la edad, el sexo, el genotipo, el nivel de rendimiento, la nutrición, el momento de la alimentación, la condición corporal de los animales, así como la exposición a condiciones calientes, diseño del corral, cualquier estrategia de enfriamiento impuesta y otros factores ambientales (Gaughan *et al.* 2000).

La tasa de respiración es uno de los mecanismos más importantes a considerar al momento de evaluar el nivel de estrés por calor del ganado, ya que es una de las principales respuestas observables en el animal cuando está expuesto a temperaturas por sobre su umbral de confort. El aumento tiene por objeto aumentar la pérdida de calor por las vías respiratorias y es una de las vías más importantes para mantener el balance térmico durante el verano (Gaughan *et al.* 2000). Su aceleración aumenta el volumen de aire capaz de ser calentado y humedecido para así eliminar calor. También se altera la condición ácido básica de la sangre por pérdida de Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), reduciendo la concentración de ácido carbónico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), con el consecuente aumento de la



concentración de bicarbonato( $\text{HCO}_3^-$ ), resultando en una alcalosis respiratoria, y posteriormente desencadena una acidosis metabólica por la excreción de  $\text{HCO}_3^-$  (West, 2003; Nardone *et al.* 2010). El bicarbonato salival en lugar de ir al rumen para contrarrestar los ácidos producidos por la digestión, se pierde al ambiente con el excesivo jadeo (Cuadro A- 7.), generando acidosis ruminal (O'berto *et al.* 2006).

El incremento en la frecuencia respiratoria es más acentuado a los 29°C, y la humedad tiene un efecto muy similar en condiciones experimentales. Su papel en la termorregulación es primordial entre los 10 y 27°C, aunque disminuye marcadamente cuando se sobrepasan los 30°C. Las vacas, pueden respirar “a boca abierta” en donde se puede observar una salivación copiosa, la que puede indicar una tolerancia mínima al calor. Esto también puede determinarse por las frecuencias respiratorias bajas (UNNE 2011).

Silanikove (2000), planteó que la medición de la tasa de respiración de los animales y la determinación de si éste se encuentra en proceso de jadeo, así como también la cuantificación del jadeo como la forma más fácil y accesible de evaluar el estrés por calor en el ganado en condiciones comerciales de producción. El jadeo es una respiración rápida y superficial, se emplea como indicador de la evaporación respiratoria. Sin embargo, en condiciones más extremas esto no resulta suficiente para lograr refrescar al animal, por lo que la respiración vuelve a ser un poco más lenta y profunda (McGovern *et al.* 2000). Meat y Livestock (2005), sugiere utilizar la escala de jadeo basada en la observación de la boca y la posición de la cabeza del animal (Cuadro A- 7 y A- 8.). El jadeo altera la ventilación alveolar afectando la presión parcial de dióxido de carbono en la sangre y su concentración ( $\text{CO}_2$ ) afectando el pH sanguíneo (en aumento) ocurriendo alcalosis metabólica (Martínez 2006; Cook *et al.* 2007).

En los bovinos se pueden dar dos tipos de aceleración en la frecuencia respiratoria según las diferentes amplitudes en los movimientos de los flancos:

Inspiración profunda, consiste en el ingreso de gran volumen de aire a los pulmones (3 L o más en bovinos). La hiperventilación puede conducir a alcalosis respiratoria y alterar otros procesos fisiológicos.

Jadeo superficial, es el menor volumen de aire renovado, aunque el aire intercambiado por minuto será igual o superior que con la inspiración profunda, así evapora más agua y tiene menor riesgo de alcalosis. (UNNE 2011).

Para Hafez (1973), cuando en el ganado vacuno la temperatura corporal rebasa los 40.5 °C se inicia una segunda fase respiratoria que es una respiración más lenta y profunda.

Se puede calificar la severidad del estrés que presentan los animales de acuerdo a la frecuencia respiratoria (Cuadro A- 4.): bajo, medio alto, alto y muy severo (Thomas y Pearson 1986). Otros autores encontraron para bovinos en engorde frecuencias respiratorias (Cuadro A- 6.) que indican termo neutralidad, moderado estrés calórico y excesiva carga calórica (Gaughan *et al.* 1999).

La mayor tasa de respiración implicaría una mayor actividad muscular, lo que contribuiría a una mayor producción de calor. Así, el jadeo (Cuadro A- 8.) demanda un aumento en los requerimientos de mantenimiento en aproximadamente un 7%, mientras que un incremento del 18% es asociado a tasas de respiración más pausadas y profundas (NRC 1981). El gasto energético debido al jadeo aumenta prácticamente de forma exponencial a partir de los 25°C y supone un incremento de las necesidades de mantenimiento de aproximadamente un 30% sobre el metabolismo basal. El incremento de calor derivado de la actividad muscular al jadear se suma al calor total que el organismo debe disipar (Martínez 2006).

Los elementos meteorológicos (temperatura, humedad del aire, viento, precipitación y radiación solar) tienen permanente acción sobre el animal y actúan de dos modos: por la interacción directa con la piel con su cobertura (pelo) y afectando los receptores nerviosos que se encuentran en la piel o en la retina del ojo. La información recibida por los receptores se transmite al hipotálamo que pone en acción los mecanismos compensatorios (Bianca 1972).

A través de la sudoración y el jadeo, se produce el cambio de estado de líquido a vapor, el cual consume aproximadamente 580 cal por gramo de agua evaporada. El control fisiológico sobre este mecanismo involucra la cantidad de agua eliminada (sudor) y/o el volumen de aire que circula por las vías respiratorias, jadeo (Brascesco 2009)

#### **2.6.6 Temperatura Corporal**

La temperatura corporal normal para la vaca de leche en lactación ha sido señalada entre 38.3 y 38.6 °C (Dukes *et al.* 1985; Fraser *et al.* 1993); por la influencia del metabolismo lactacional (NRC 1989, 2001), las actividades locomotoras mínimas (Yousef 1985), la magnitud de la ingesta alimentaria diaria (NRC 2001), el proceso de la fermentación ruminal y la liberación calórica del tracto digestivo (NRC 1989). El exceso de temperatura corporal origina una disminución en los niveles de hormonas calorígenicas (TSH, ACTH, e hidroxisteoides). Un incremento de la temperatura corporal suele considerarse como un síntoma de que el animal no ha logrado desarrollar o poner en marcha las adaptaciones precisas para mantener el equilibrio térmico (Cuadro A- 5.). En el caso de vacas, a veces puede ser ventajoso porque pueden perder calor por conducción ya que no poseen glándulas sudoríparas, tan eficaces como las del hombre, conservando además el agua orgánica, disminuyendo la necesidad de evaporar agua en las superficies (UNNE 2011).

Los animales sometidos a elevados niveles de temperatura y humedad ambiental responden a los estímulos físicos y climáticos de sus alrededores, generando respuestas fisiológicas que conllevan la disminución de la ingestión de alimentos, generando la pérdida de peso de las vacas y provocando trastornos en su comportamiento productivo. Esta cadena de trastornos se debe a la actuación del hipotálamo sobre las fibras nerviosas simpáticas de la ubre, limitando el suministro de sangre e inervación de la musculatura lisa de los conductos colectores y del pezón, provocando una vasoconstricción que ocasiona un efecto inhibitorio de la producción láctea, ya que la adrenalina obstaculiza la acción de la oxitocina, todo esto es ocasionado por el incremento de la temperatura corporal de las vacas (Bodisco *et al.* 1973). Si los tejidos se enfrían demasiado el metabolismo se

reduce, en el caso contrario si se acelera existe también el riesgo de desnaturalización de las proteínas, disrupción de la integridad de la membrana celular y posiblemente un daño permanente de los tejidos, resultando en morbilidad de largo plazo y bajo desempeño productivo (Guyton *et al.* 1996).

### **2.6.7 Temperatura Rectal**

La temperatura rectal promedio para el ganado lechero adulto es 38.3 °C (Andersson 1984) con un rango normo térmico entre 38.0 y 39.3 °C; la cual es una forma de medir la *carga calórica momentum* en el animal. No obstante, la temperatura rectal normal de 38.6 ± 0.5 °C del ganado lechero es utilizada como la referencia térmica, sin embargo, la zona rectal y el sistema mamario pueden ser utilizados para evaluar el comportamiento térmico corporal (Araúz *et al.* 2010). El incremento de la temperatura corporal aumenta la temperatura rectal; producto de una mayor vehiculización térmica sanguínea (Araúz 2008).

### **2.6.8 Temperatura Superficial**

La tolerancia al calor en ganado vacuno también está determinada en gran medida por el volumen y tamaño de las glándulas sudoríparas. La morfología de las glándulas sudoríparas de animales *Bos taurus* y *Bos indicus* es diferente, en los *Bos indicus* (biotipos adaptados al calor) son saculares y de gran diámetro, las de los *Bos taurus* (biotipos menos adaptados al calor) son glándulas estrechas y helicoidales (Nay 1959).

El ganado bovino presenta una densidad calórica por unidad de masa que difiere entre el núcleo corporal y la región epidérmica; lo cual se conoce como heterotermia regional. En condiciones termo neutrales y de estrés por calor y frío, se mantienen las diferencias térmicas dependiendo de la región corporal; destacándose el núcleo corporal con la mayor densidad calórica; mientras que la piel contiene la menor temperatura corporal (Araúz *et al.* 2010).

La grasa subcutánea es la primera barrera frente a la pérdida de calor y su efecto depende del grosor interpuesto entre el interior del organismo y la superficie. La capacidad aislante de la piel depende de la longitud del pelo y puede modificarse por efecto del viento y de la lluvia (Martínez 2006).

La compensación termolítica asociada con la pérdida calórica pasivas (radiación, convección y conducción) y activas (sudoración, evaporación epidérmica y convección respiratoria) que se producen en condiciones termo neutrales y sus alteraciones (Curtis 1981; McDowell 1981; Araúz 2006) determinan *el balance calórico momentum*; el cual se caracteriza por la elevación de la temperatura en los diversos sectores del cuerpo. En las vacas estresadas por calor, el flujo sanguíneo a los tejidos periféricos se incrementa. Esto ayuda a enfriar, pero a expensas del flujo sanguíneo a la glándula mamaria, afecta el suministro de sustrato para la grasa de la leche y la síntesis de proteínas (West 2003).

## **2.6.9 Capacidad calórica corporal**

Es definida por el contenido de agua y materia seca, el calor específico del agua y la materia seca y por la temperatura corporal normal. Los bovinos adultos tipo leche entre 36 y 60 meses de edad presentan un contenido de agua de 65 % y materia seca 35 % (Hafez *et al.* 1974). El calor específico del agua es 1.0 Kcal/Kg °C y la materia seca con 0.40 Kcal/Kg °C (Curtis 1981).

## **2.7 Efectos negativos del estrés calórico en el desempeño**

### **2.7.1 Reducción del consumo de materia seca**

La vaca usa el 60 a 65% de la energía consumida diariamente en la producción de carne o de leche, el 35 a 40 % restante es convertida en calor, a medida que la vaca ingiere más materia seca, más aumenta el metabolismo y más calor se acumula (Jarama 2011).

La temperatura y humedad se combinan para disminuir el consumo de materia seca en vacas lecheras como un medio fisiológico de regulación de la temperatura interna del cuerpo. Esto se logra mediante la disminución de la fermentación ruminal y las tasas metabólicas (Moody *et al.* 1971; Richardson *et al.* 1961). Una reducción en el consumo de materia seca disminuye los nutrientes disponibles para la síntesis de leche, por lo tanto, disminuye su producción (Smith *et al.* 1993; Pennington *et al.* 2004). Las temperaturas también aumentan la tasa de respiración y la ingesta de agua, lo que consecuentemente reduce el consumo de materia seca debido al llenado del tracto digestivo (Mallonee *et al.* 1985).

Se espera una disminución de 10% a 20% en la producción de leche, en verano comparado con el invierno. Las vacas estresadas pueden sufrir una disminución de aproximadamente el 20% en el consumo de alimentos y de 10% en la "eficiencia alimenticia" (Flamembaum s.f.).

La reducción en el consumo de alimento tiene como objetivo reducir la producción de calor de la fermentación y el derivado de la actividad física (caminar hasta los pesebres, masticar y rumiar). El impacto de la temperatura ambiente efectiva (TAE) sobre la ingesta de alimentos es inmediato, manifestándose el mismo día de exposición. Por encima de 18°C (64°F), el consumo comienza a descender y a partir de 30°C (86°F) disminuye acusadamente, de forma que a 40°C (104°F) el consumo no alcanza el 60% del valor en la zona de termo neutralidad (Cuadro A- 11.). Este efecto es menos acentuado en individuos de menor consumo o menor producción (recién paridas, primíparas, vacas en último tercio de lactación), siendo por tanto las vacas multíparas en la mitad de la lactación el grupo más afectado (Martínez 2006). La reducción del aporte de forraje en la ración tiene un efecto positivo sobre la producción de calor corporal de dos maneras: menor calor de fermentación y mayor eficiencia metabólica de los productos finales de la digestión (Martínez 2006). Por ello no se deben dar forrajes o alimentos de baja calidad con mucho tiempo de fermentación en el rumen y que incrementen el calor endógeno (O'berto *et al.* 2006). Un efecto positivo añadido de la reducción del contenido fibroso de las raciones durante el estrés por calor es que se reduce la pérdida fecal de agua (Martínez 2006).

La disminución del consumo de materia seca por encima de 10% sirve como indicador de la presencia de estrés de calor en las vacas en producción. El impacto de la temperatura ambiental sobre el consumo de alimentos es inmediato, manifestándose el mismo día de exposición al calor (Martínez 2006; O'berto *et al.* 2006; Rhoads *et al.* 2009).

La capacidad de las vacas para refrescarse por la noche es un factor importante que influye en su capacidad para comer bien el día siguiente. La producción de calor pico en la vaca se produce alrededor de 3-4 horas después de comer, aunque esto está influenciado por la cantidad de alimento consumido. Por lo tanto, una alimentación evitando la coincidencia en el consumo de materia seca y el aumento de la temperatura ambiente, reduce así la carga máxima de calor en el animal (Staples 2007).

La disminución en los niveles de consumo voluntario durante la lactación (Cuadro A- 11) está asociada con un incremento en el contenido de grasa y una disminución en el contenido de proteína de la leche (Muller *et al.* 1994).

## **2.7.2 Efectos sobre el crecimiento**

### **2.7.2.1 Becerras**

Las altas temperaturas del medio pueden impedir el crecimiento de los animales después del destete, el grado difieren según la raza, la edad, condición corporal, el plano de nutrición y la humedad relativa (Hafez 2000). Las becerras tratan de compensar las temperaturas elevadas aumentando su frecuencia respiratoria y su ingestión de agua (Cuadro A- 13.). Dentro de los resultados que vemos frecuentemente están: la caída en ingestión de materia seca, ganancia de peso, calificación de heces y eficiencia en conversión de alimentos. El sistema inmune también se ve comprometido. Puede ocurrir deshidratación y hay trastornos de la función renal. Si no se corrigen estos factores puede sobrevenir la muerte (Kertz 2013).

Los becerros de los animales de origen tropical son más pequeños y con una tasa de crecimiento menor que los becerros de los animales de origen templado. Aunque si los becerros de clima templado nacen en clima tropical, su tamaño es más pequeño que el de sus homólogos en condiciones tropicales y su tasa de crecimiento mucho menor. Además, aparte de la disminución en la tasa de crecimiento medido a través del peso vivo, también se ha encontrado una disminución en la talla (Salvador s.f.). En las granjas lecheras raras veces se piensa en moderar el estrés calórico en los animales jóvenes. Las becerras sufren estrés calórico o frío cuando la temperatura está por encima de 25°C o por debajo de 15.5°C respectivamente. Fuera de este rango las becerras deben invertir energía adicional para mantenerse calientes o para enfriarse (Kertz 2013).

El crecimiento de las razas bovinas europeas disminuye al someterlas a temperaturas constantes de aproximadamente 24°C. Los efectos se vuelven progresivamente más severos, hasta que a temperaturas de 29 a 32°C baja el aumento de peso (Hafez 2000).

### **2.7.2.2. Vacas en periodo de secado**

El estrés calórico durante el periodo seco compromete el desarrollo de la glándula mamaria antes del parto y la producción de leche en la lactancia subsiguiente (Tao 2012). Las vacas secas, en condiciones de alimentación adecuadas y refrigeración durante el verano, mejoran su salud y rendimiento de producción en la siguiente lactación. Este efecto se debe a la acción de la hormona prolactina (PRL)

El incremento de cada 50000 células/ml. en la leche, resulta en la pérdida de 0.4-0.6 kg de leche por día en vacas primíparas y multíparas respectivamente (Ruegg 2001).

### **2.7.3 Efecto sobre la producción**

El estrés calórico afecta negativamente la rentabilidad y viabilidad económica de la actividad ganadera de un país. En efecto, el estrés por calor influye en muchos instantes de la vida productiva de la mayor parte de los bovinos, entre los cuales se destacan: la supervivencia (mortalidad), ganancia de peso y desarrollo corporal, eficiencia de la conversión alimenticia, la producción de leche o producción de carne y la reproducción animal. Sin embargo, el mayor impacto económico se aprecia en la producción y la reproducción. En la producción de leche se ha comprobado un efecto negativo en todas las etapas de producción, aunque en formas y proporciones diferentes (Gonzáles 2008).

Al inicio de la lactancia, el estrés de calor causa disminución de la producción de leche y un pico de lactación más bajo, principalmente debido a una reducción en el consumo de materia seca. Cuando el estrés de calor se ejerce en la mitad de la lactancia, se afecta la persistencia de la producción o curva de lactación. Cuando el estrés de calor afecta la vaca hacia el final de la lactancia y durante el período de secado, se resiente la acumulación de reservas corporales, esenciales para soportar la producción de leche en la siguiente lactancia. Debido al estrés de calor también se produce un aumento en el conteo de células somáticas (CCS) produciendo una significativa disminución de la calidad higiénica de la leche (Flamenbaum 2010).

Flamenbaum (2007), indica que las vacas que no son sometidas a enfriamiento llegan a tener una producción de 7 al 10% menor en verano que en invierno, con una relación verano/invierno de 93% en primerizas y 91% en vacas adultas.

La vaca lechera es particularmente sensible al clima cálido, la principal estrategia para reducir el calor corporal es la reducción voluntaria del consumo de materia seca; por esta razón, la reducción voluntaria en la ingestión de alimento llega hasta un 25% con la obvia consecuente reducción de la producción de leche (Gonzáles 2008).

En situaciones de estrés por calor la producción lechera disminuye de una forma prácticamente lineal con el aumento de la temperatura. Cuando la temperatura ambiente supera a la temperatura crítica superior (TCS), el organismo debe activar mecanismos fisiológicos para favorecer la eliminación de calor y mantener la homeotermia (Martínez 2006). Estos mecanismos inmediatos incluyen vasodilatación periférica, sudoración y jadeo (Cuadro A- 14.). Si la situación es duradera, la adaptación a las altas temperaturas supone una reducción del consumo de alimento (y de nutrientes)

y una alteración del metabolismo hídrico y mineral. Cuando el estrés por calor es de corta duración u oscilante las consecuencias sobre la producción son peores que si se alcanza una situación estable de altas temperaturas que permita una adaptación de larga duración (Martínez 2006).

Según unos estudios realizados, por McGuire *et al.* (1989); Lough *et al.* (1990) concluyeron que una porción de los efectos negativos del estrés calórico en la producción de leche podría explicarse por la disminución de la ingesta de nutrientes y la disminución de la absorción de nutrientes por vía portal. El flujo sanguíneo que se desplaza a los tejidos periféricos con fines de enfriar a la vaca, puede alterar el metabolismo de nutrientes y contribuir a disminuir la producción de leche durante el clima cálido. Las pérdidas anuales en la producción pueden oscilar, en hatos de alto rendimiento, entre 500 y 1500 kg por lactancia. Se espera así mismo, una reducción de 0.4 y 0.2 unidades de porcentaje en la concentración de grasa y proteína, respectivamente (Flamembaum s.f.).

Cuando la temperatura ambiente aumenta y se incrementa la frecuencia respiratoria y la temperatura rectal, no solo disminuye la producción de leche, sino que también cambia la composición de la misma disminuyendo la caseína y los sólidos no grasos y aumentando el porcentaje de grasa, la cual también cambia su composición con menos ácidos volátiles y aumentando los componentes insaturados (Regan *et al.* 1938, citado por Saravia 2009).

#### **2.7.4 Efectos en la reproducción**

Cuando las vacas lecheras son sometidas al estrés calórico, se reduce su capacidad reproductiva. Las vacas con un bajo estrés calórico han reducido la duración y la intensidad del estro; un desarrollo folicular y en desarrollo embrionario alterado (Jordán 2003).

La causa de mayor merma en la reproducción se debe a fallas en la implantación del embrión, ya que la vaca con estrés calórico, presenta vasodilatación periférica (para disipar calor); por lo cual, el aporte sanguíneo a los órganos como el útero, disminuye. Además, cualquier tipo de estrés determina liberación de Prostaglandinas y entre ellas la  $PgF_2$ , la cual tiene efecto luteolítico y agrava más el cuadro de infertilidad (Dolah *et al.* 1990).

El estrés de calor afecta la ovulación y el desarrollo folicular, incluyendo el reclutamiento, la selección y la dominancia folicular que finalmente resultan en un oocito de baja calidad. Es común que se dañe el óvulo durante el estrés de calor no solamente cuando se va a producir la ovulación sino también se puede producir alteración en los folículos en formación. El cambio en el flujo sanguíneo produce un menor volumen de sangre, comprometiendo la llegada de hormonas al útero y al ovario, y menor cantidad de fluido folicular; además disminuye la concentración de la hormona  $17\beta$  estradiol en el fluido de los folículos ováricos de la primera onda folicular, reduciendo la dominancia del folículo ovulatorio. Cuando el estrés de calor se produce en el primer día del ciclo estral se incrementan los folículos mayores a 10mm de diámetro y genera el surgimiento temprano del folículo dominante de la segunda onda folicular, lo que sugiere que el folículo de la primera onda folicular pierde dominancia (Aréchiga y Hansen 2003; St. Pierre *et al.* 2003).

Durante las primeras 12 horas de maduración del oocito, se ve afectado su crecimiento, debido a que las células del *cumulus* que protegen al oocito proveen cierta protección térmica

mediada por la producción de la Hsp70, desde el estadio de desarrollo de 2 células, además de la presencia de algunos mecanismos antioxidantes que posiblemente actúen a nivel de las células embrionarias, retardándose el desarrollo hacia blastocisto (Aréchiga y Hansen 2003; Edwards *et al.* 2009). Los efectos negativos del estrés calórico se han identificado a partir de los 42 días antes y 40 días después de la inseminación, debido a esto el enfriamiento continuo debe de proporcionarse (Jordán 2003).

La fertilización también se ve afectada por el estrés de calor, posiblemente por daños sobre el oocito, en particular en la zona pelúcida, no pudiendo ser fertilizado y aun siendo fertilizado se muere antes de llegar al útero (Sartori *et al.* 2002). Las tasas de concepción para las vacas lecheras en los Estados Unidos por lo general disminuyen de 10 a 20% en el verano. El estrés por calor es causa de infertilidad en dicho país, pero es más importante en las regiones subtropicales y desérticas. La pérdida de la concepción ha llevado a algunos productores lecheros a suspender la cría durante el verano en los grandes hatos lecheros (Lucy 2002).

Las vacas lecheras lactantes son particularmente sensibles al estrés calórico, ya que tienen una alta producción de calor metabólico asociado con la producción de leche. Además, las vacas lecheras de alta producción son más susceptibles al estrés calórico. Por tanto, existe un efecto aditivo del estrés y una mayor producción de leche para la disminución de la tasa de concepción en vacas lecheras (Lucy 2002). Las vaquillas estresadas por calor tuvieron menor declinación en inmunoglobulinas plasmáticas durante las últimas dos semanas de gestación. Esto estuvo asociado con menores concentraciones de IgG e IgA, proteína total, caseína, lacto albúmina, grasa, lactosa y ácidos grasos de cadena corta y media en el calostro. También tuvieron crías más pequeñas y menos vigorosas con una reducción en su capacidad de absorción de calostro (Kertz 2013)

### **2.7.5 Expresión del Estro**

Durante el estrés de calor, la conducta reproductiva de la vaca se altera, debido a que el gasto energético es mayor y las vacas evitan realizar mayores movimientos, por lo que no tienen ganas de montarse unas a otras, de ahí que el celo suele ser más corto, reduciéndose a 12-13 horas, esto significa 5-6 horas menos y a su vez se presenta con menor intensidad (Jiménez 2005).

El estrés calórico manifiesta su impacto en la expresión del estro en la vaca. Esto se debe a que se provoca una disminución en la producción de la hormona luteinizante y estradiol. El estradiol es la hormona responsable de la expresión del estro. Por tanto, una vaca puede estar en celo, pero no expresarlo, debido a la respuesta de su cuerpo a un sobrecalentamiento (Black *et al.* 2012).

El balance energético negativo (BEN) que se presenta en las vacas de alta producción y recién paridas, origina una moderada hipoglucemia, lo que aumenta la concentración circulante de la hormona liberadora de corticotropina, que a su vez estimula la liberación de ACTH y endorfina, y reduce la concentración de GnRH, afectándose negativamente la pulsabilidad de la secreción de LH, y por lo tanto el reinicio de la ciclicidad ovárica y la presentación del estro. Este efecto se incrementa



durante el estrés calórico debido a la disminución del consumo de materia seca (Echevarría *et al.* 2002).

Un estudio en Florida reportó un estimado del 76 al 82% de los eventos del estro no detectados en los meses de verano comparado con el 44 al 65% de octubre a mayo. El estrés calórico también puede causar una disminución en la actividad física, lo que disminuye aún más el comportamiento de estro (Black *et al.* 2012).

### **2.7.6 Influencia en óvulos y embriones**

En los folículos ováricos, los óvulos fecundados, pueden ser comprometidos por el estrés calórico. Dicho estrés no disminuye la tasa de fertilización después que las vacas son inseminadas; sin embargo, tiene un impacto negativo en la calidad de los óvulos, lo que puede influir en la viabilidad de los embriones jóvenes. Además, si una vaca después de la fertilización sufre de estrés calórico el desarrollo del embrión puede verse comprometido. Un aumento de apenas 0.5°C (0.9 °F) en la temperatura del útero de las vacas puede disminuir su tasa de concepción en un 6.9 % (Aréchiga y Hansen 2003).

Para un animal que ya cuenta con una tasa de concepción baja, el 6.9%, es una gran reducción. Por esta razón la fertilidad disminuye inmediatamente después de que hace calor. Se tarda de 40 a 60 días después que sufren estrés calórico las vacas, para que los óvulos en buen estado se ovulen y la fertilidad vuelva a la normalidad (Black *et al.* 2012). Por otro lado, diversos autores han reportado que el estrés de calor reduce la supervivencia y el desarrollo del embrión en el día 1 después del estro, pero es menos susceptible cuando el estrés se ejerció los días 3, 5 o 7, después del estro, lo que sugeriría que los embriones adquieren una resistencia térmica conforme avanzan en su desarrollo. De cualquier manera, un estrés calórico severo puede comprometer el desarrollo embrionario y la gestación en estadios más avanzados de desarrollo del embrión (Aréchiga y Hansen 2003).

La temperatura vaginal se ha informado que 0.1° a 0.2°C (0.2-0.4°F) es más alta que la temperatura rectal (Burfeind *et al.* 2010). Se puede estimar que la fecundidad se redujo cuando la temperatura rectal alcanzó aproximadamente 39°C (102.2 °F) (Gwazdauskas *et al.* 1973).

Kertz (2013), presentó un estudio, en donde se compararon vaquillas en condiciones de termo neutralidad con vaquillas estresadas por calor, la segunda onda de folículos dominantes fue mayor, seguida de ovulación 9 a 11 días después en las vaquillas bajo termo neutralidad. En las vaquillas termo estresadas, la segunda ola folicular tuvo regresión y fue seguida por una tercera onda ovulatoria de folículos.

### **2.8 Métodos de control del estrés calórico**

Los métodos comunes para mejorar los efectos del estrés calórico han sido proporcionar refrescamiento en forma de sombras, ventiladores o enfriadores evaporativos (Jordán 2003).

El límite superior de la temperatura ambiente a la que el ganado Holstein puede mantener una temperatura corporal estable es de 25 a 26°C, y que por encima de 25°C deben instituirse ciertas prácticas para minimizar el aumento de la temperatura corporal (West *et al.* 2003).

### **2.8.1 Sombra natural**

Los árboles son una excelente fuente de sombra, por lo general buscan la protección de los árboles en lugar de las estructuras hechas por el hombre. No sólo son bloqueantes eficaces de la radiación solar, también la evaporación de la humedad de la superficie de las hojas enfría el aire que rodea sensiblemente sin interferir con la circulación de aire (Shearer *et al.* 1994). La madera, palma y ramas también son materiales de sombreado eficaces (Armstrong 1994).

El pastoreo en ambientes arbolados, también ha demostrado ser una alternativa eficiente para mitigar el efecto del ambiente sobre el animal, impactando positivamente la reducción de la temperatura rectal, la frecuencia respiratoria y la temperatura de piel (Souza de Abreu 2002; Betancourt *et al.* 2003; Britto-Ferreira 2010)

### **2.8.2 Sombra artificial**

La radiación solar es un factor importante en el estrés calórico. El bloqueo de sus efectos mediante el uso de una apropiada estructura que proporcione sombra, incrementa la producción de leche en un 10 a 19% según estudios llevados a cabo en Florida (Shearer *et al.* 1994). Se ha reportado que la absorción de energía solar puede llegar a superar tres veces la energía producida por el metabolismo del animal (Hafez 1972)

Para la sombra más eficaz, la superficie superior de los techos de metal debe ser pintada de blanco. La colocación de unos 2.5 cm de aislamiento directamente por debajo del techo de metal reduce la carga de calor por radiación en la vaca (Armstrong 1994). Aunque la sombra reduce la acumulación de calor de la radiación solar, no hay efecto sobre la temperatura del aire o la humedad relativa y el enfriamiento adicional es necesario para las vacas lecheras en un clima cálido y húmedo (West 2003).

### **2.8.3 Movimiento del aire**

Un factor importante en el alivio del estrés por calor es el movimiento del aire. Este puede ser natural o forzado. Puede reducir la temperatura en virtud de una estructura que proporcione sombra a la del aire exterior. Se recomienda un sistema de ventilación que proporcione por lo menos un cambio de aire por minuto (Bucklin *et al.* 1988). La función de la ventilación es extraer todo el calor que la vaca tiene acumulado en la piel a través de los pelos; el calor corporal es transferido hacia el aire frío y removido continuamente por el aire en movimiento, siempre y cuando la temperatura ambiental sea menor que la del cuerpo (Jiménez 2005; Mader *et al.* 2006). Para que se produzca una buena tasa de intercambio de aire se necesita que el aire vaya a 2-3 m/s (Jiménez 2005)

### **2.8.4 El Agua**

Sus costos de operación son deseados por las ganaderías lecheras que se encuentran en ambientes calurosos. Basándose en rociar con agua el pelo del animal y su posterior evaporación en la piel aumenta la pérdida de calor, siendo eficaz en la reducción de la temperatura corporal y la tasa de respiración, sin la modificación de las condiciones ambientales (Seath 1947).

En comparación con la sombra por sí sola, aplicar agua reduce de manera más eficiente la temperatura corporal y la tasa de respiración, y puede aumentar el consumo de alimento y la producción de leche en condiciones de calor (Keister *et al.* 2002).

### **2.8.5 Combinación de aspersión y ventilación forzada**

El sistema de enfriamiento más usado a nivel mundial consiste en la combinación de ventiladores y aspersores, (Figura A- 5.) que causan enfriamiento evaporativo y merma de la temperatura corporal. (Afriga s.f.). Una alta eficiencia del enfriamiento puede ser alcanzada por evaporación de una capa de revestimiento de agua lo más cerca posible a la piel, mojando por períodos cortos para prevenir un aumento de la humedad ambiental alrededor de los animales (Cuadro A- 9 y A- 10.), y la ventilación forzada para mantener una alta circulación de aire en la superficie del animal (Flamenbaum *et al.* 1986). Los ventiladores colocados por encima del nivel del lomo de las vacas deben poder mover el aire a 3.05m/s (11kms/h) disipando el agua de la piel de las vacas y llevándose el calor con el aireamiento (Hardesty 2012). Según Afriga (s.f.), los ventiladores deben estar a una altura mínima de 2.4 m y con una inclinación de 30°, distanciados entre sí por cerca de 2.5 m. La combinación de la ventilación dinámica con los aspersores de agua alineados con los comederos y dirigidos sobre el cuerpo del animal permiten mejores resultados del control ambiental y disipan el calor del cuerpo del animal por un proceso evaporativo del agua. La aplicación de 0.5 litro de agua sobre el animal puede disipar 255 Kcal (Cuadro A -8.) (O'berto *et al.* 2006).

Varios estudios han demostrado que la aspersión en la parte superior del cuerpo, seguido de la ventilación de aire forzado es un medio eficaz para reducir el aumento de temperatura del cuerpo y aumentar el consumo de alimento y la producción de leche. La popularidad de estos sistemas va en aumento sobre todo en ubicaciones geográficas propensas a clima cálido y húmedo (Shearer *et al.* 1994). Para Flamembaum (s.f.), una forma de enfriar a las vacas en el verano es el "enfriamiento directo", en la que se enfría la vaca por la evaporación del agua de su piel, con el uso de una combinación de mojado y ventilación forzada sin impactar la temperatura dentro del edificio. El enfriamiento directo es el método más común hoy día en el mundo, por ser relativamente barato de instalar; operar y por adaptarse más fácilmente en todo tipo de clima.

Igono *et al.* (1992), informó que, a pesar de las altas temperaturas ambientales durante el día, un período de enfriamiento de menos de 21°C durante 3 a 6 horas minimizará la caída de la producción de leche. Estos hallazgos sugieren que es fundamental no sólo reducir al mínimo los aumentos de temperatura del cuerpo de la vaca durante las horas más calientes del día, sino también encontrar formas de mejorar el enfriamiento de la vaca durante las horas de la tarde. La eficiencia de este sistema es medida generalmente por la respuesta animal, en relación a la temperatura corporal (la medida más cercana es la temperatura rectal) y la frecuencia respiratoria, siendo los resultados más certeros y a tiempo real de lo que ocurre con la vaca (Berman 2008).

## 2.9 Interacción del enfriamiento y el incremento en la producción con el medio ambiente

La producción de leche implica una liberación de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera (metano CH<sub>4</sub> y dióxido de carbono CO<sub>2</sub>). Las emisiones de GEI son inversamente correlacionadas con los altos rendimientos de leche, debido a que los gastos alimenticios para el mantenimiento se dividen en más litros. El incremento en la producción por vaca debido al enfriamiento, contribuye también al aspecto ambiental, por la reducción en la emisión de GEI cada litro de leche producido en el verano (Flamembaum, s.f.). Para Bartaburu (2001), el efecto del estrés calórico en el bienestar de los sistemas de manejo de ganado, es fuertemente considerado.

## 3. MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1 Ubicación y características climáticas

El estudio se realizó en el estable de la Asociación Cooperativa Astoria de R.L. (Fig. 1), ubicado en el Cantón Las Flores, Municipio de San Pedro Masahuat, departamento de La Paz, en las coordenadas 13°27.4'N; W 89°02.7' a una elevación de 40 metros sobre el nivel del mar, ejecutándose en dos épocas del año que comprende el estudio de los meses de julio-agosto 2014 (época lluviosa) y marzo-abril 2015 (época seca).



Figura 1. Ubicación geográfica del estudio

Según MAG (1993), las condiciones climáticas anuales de la zona en estudio son: precipitación de 1720 mm, temperatura ambiental de 26.5°C y humedad relativa de 76% (Cuadro A- 3).

### 3.2 Animales en estudio

Se seleccionó e identificó doce vacas como unidades experimentales con genética predominantemente Holstein (Fig. 2), equivalente al 20% del grupo en ordeño (60 vacas). Según el factor edad se evaluaron seis vacas de primer parto (primerizas) y seis adultas de más de dos partos (multíparas), tomando como criterio de selección un peso corporal de 520 ± 35 kg, una producción diaria de leche entre 15 y 20 kg, un aproximado de 84 ± 26 días en lactancia y un historial normal de salud. Estas doce vacas permanecieron juntas y recibieron el mismo manejo que el resto del grupo.



Figura 2. Unidades experimentales en estudio

### 3.3 Instalación del sistema de enfriamiento

Se estableció un sistema de tratamiento de estrés calórico (Fig. 3), utilizando 7 ventiladores de 220 voltios y 36 pulgadas con una línea de aspersores de agua sobre los comederos lineales techados distribuidos en un corral de 20 x 30 m. Los ventiladores se ubicaron a un ángulo de 30° y a una distancia de 9m entre uno y otro mientras que los aspersores de agua fueron colocados a 2 m de altura y a 1.5 metros de distancia entre cada uno (Fig. 3). Ambos sistemas (ventiladores y aspersores) se activaban con interruptores térmicos independientes; uno encendía los ventiladores y el otro la bomba de presión que hacía llegar el agua a todos los aspersores. El panel de control (timer) del sistema de aspersión de agua se calibró para una duración de baño de dos minutos y un intervalo entre baños de 8 minutos (ciclo de 10 minutos). En el área de descanso techada de 8 x 12m se colocaron 2 ventiladores.



Figura 3. Sistema de tratamiento de estrés calórico: ventilador, interruptor térmico, panel de control y medición de volumen de caudal del aspersor

Una vez instalado el sistema, se realizaron mediciones de velocidad del aire bajo los ventiladores (Fig. 4) a diferentes distancias entre cada uno utilizando un anemómetro (Cuadro 1) y se determinó el caudal por aspersor (2 Lts/min) estimado a través de un recipiente de volumen conocido.





Figura 4. Velocidad del viento (c/2 metros)

Cuadro 1. Velocidad del viento

Distancia (metros)	Velocidad del Viento con Sistema de Enfriamiento en el comedero m/s		
	Ventilador #1 m/s	Ventilador #2 m/s	Ventilador #3 m/s
1	8.5	8.5	9
2	7.5	7.5	7.5
4	5	5	5
5	4.5	4.5	4.5
6	4	4	4
8	2	2.5	2.5
10	2	2	2.3

Fuente: Elaboración propia

Se estableció una hora como tiempo de tratamiento, donde los ventiladores permanecieron encendidos mientras que se aplicaba agua cada 8 minutos durante dos minutos (Fig. 5).



Figura 5. Prueba del sistema de enfriamiento

### 3.4 Manejo

Las vacas recibieron la misma alimentación durante toda la investigación, con ensilado y concentrado comercial (súper concentrado toro-toro) a las 7:00, 10:00, 14:00 y 17:00 horas, con libre acceso al agua de bebida (Fig. 6).

El ordeño se realizó mecánicamente dos veces al día en horario de 3:00 y 15:00 horas; en una sala de ordeño lineal con capacidad de 6 sitios de ordeño, equipada con medidores de leche.



Figura 6. Comedero, bebedero, área de descanso y sala de ordeño

### 3.5 Descripción del estudio

El estudio consistió en la evaluación de un sistema de enfriamiento (Fig. 7) por medio de ventiladores y aspersores. Durante la época lluviosa (julio-agosto 2014), se realizaron dos periodos de

mediciones sin sistema de enfriado separado por un mes; estos consistieron en la toma de datos ambientales y parámetros fisiológicos de las vacas durante cuatro días consecutivos (Fig. 7).

En la época seca (marzo-abril 2015) se desarrollaron cuatro periodos consecutivos de 15 días cada uno (los primeros 11 días se consideraron como adaptación y los últimos 4 de toma de datos). Los periodos uno y tres fueron considerados de control sin sistema de enfriamiento; durante el periodo dos y cuatro se activó el sistema de enfriamiento.

En los periodos con tratamiento de estrés calórico, se efectuaron 4 ciclos de una hora de tratamiento (10:00, 12:00, 14:00 y 16:00).



Figura 7. Instalaciones sin sistema de tratamiento para estrés calórico (izquierda) y con tratamiento (derecha)

### 3.6 Recolección de datos

#### 3.6.1 Parámetros ambientales

En los periodos del estudio (con y sin sistema de enfriamiento), se midió la temperatura ambiental y la humedad relativa (Fig. 8), cada hora durante 24 horas en los cuatro días de muestreo, mediante un termohigrómetro, con el fin de estimar el índice de temperatura y humedad mediante la ecuación:

$$ITH=0.81 \times TA + HR/100 \times (T^a -14. 4) + 46. 4$$

Donde TA, es la temperatura del ambiente y HR es la humedad relativa (Bedolla *et al.* 2012). También se tomaron mediciones de la velocidad del viento con un anemómetro cada hora durante las 24 horas (Fig. 8) durante los cuatro días de todos los periodos.



Figura 8. Medición de parámetros ambientales, termohigrómetro y anemómetro



### 3.6.2 Parámetros fisiológicos

Los parámetros fisiológicos fueron medidos a las 9:00, 11:00, 13:00, 15:00 y 17:00 horas en las seis vacas y seis primerizas por medio de un termómetro digital de 9 segundos para la temperatura rectal (°C) (Fig.9); la tasa respiratoria (rpm) (Fig. 10), con la observación costo-abdominal (flancos) durante 30 segundos (cronómetro) y la temperatura superficial (°C) por medio de un termómetro infrarrojo DT8380® a 35cm de distancia (con una lectura de 4.5 cm de diámetro) en la región dorsal del sacro (grupa) (Fig. 11).



Figura 9. Toma de temperatura rectal (Trec) para ambas épocas



Figura 10. Toma de tasa respiratoria (Tresp) con tratamiento y sin él



Figura 11. Medición de la temperatura superficial (Tsup) sin sistema de enfriamiento y con él

### 3.6.3 Consumo de alimento

Se registró la cantidad de alimento ofrecido (con un 10% adicional al consumo previsto) para todas las vacas del corral de estudio (Fig.12); y el alimento rechazado (se pesó al inicio del día siguiente desde el día uno de la toma de datos de todos los periodos hasta la mañana del día posterior al muestreo).





Figura 12. Alimento ofrecido, concentrado, ensilado con y sin sistema de enfriamiento

### 3.6.4 Producción de leche

Se tomó registro de la producción láctea individual de las vacas durante los cuatro días de muestreo en los cuatro periodos, por medio de medidor de la máquina de ordeño (Fig. 13).



Figura 13. Medición de producción láctea, sala de espera, ordeñadora mecánica, toma de temperatura rectal previo al ordeño

### 3.6.5 Energía consumida

Se registró la lectura del medidor de electricidad (Fig. 14), todos los días en la semana de muestreo y por diferencia se estimó el consumo promedio diario de energía eléctrica en KW/h día de cada periodo de la toma de datos del experimento (Cuadro A- 26 y A- 27), con el fin de estimar el consumo mensual de energía (Cuadro A- 28) y su correspondiente costo con y sin el sistema de enfriamiento funcionando, tomando como base las tarifas vigentes en la distribuidora de electricidad Delsur.



Figura 14. Consumo de energía, medidor de energía eléctrica

## 3.7 Metodología estadística

Los parámetros ambientales: temperatura ambiental, humedad relativa, Índice de temperatura y humedad (ITH) y velocidad del viento, fueron tabulados y graficados.

Los factores en estudio fueron el tratamiento (durante la época seca), edad (primerizas contra vacas adultas), época (época seca y época lluviosa) y parámetros ambientales (temperatura ambiental, humedad relativa e ITH)

Las variables respuesta fueron:

1. Temperatura rectal (°C)
2. Tasa respiratoria (rpm)
3. Temperatura superficial (°C) durante la época seca
4. El consumo de alimento (Kg de materia seca al día)
5. La producción de leche Kg/vaca/día
6. Consumo de energía eléctrica

El procesamiento de la información colectada, elaboración de gráficos y generación de bases de datos, se realizaron en Excel 2013®, en SPSS Statistics versión 22.0® e Infostat®.

### **3.7.1 Diseño Estadístico**

Los efectos de los factores tratamiento, edad y época sobre las variables respuesta fueron evaluados con pruebas de t student. En el consumo de materia seca y producción de leche se realizó análisis de varianza y pruebas de Tukey, las diferencias se consideraron significativas con una probabilidad menor al 5% ( $P < 0.05$ ). La base de datos y los gráficos fueron elaborados en Excel 2013. Los datos de parámetros ambientales y fisiológicos fueron procesados con el programa SPSS Statistics versión 22.0® y las diferencias son declaradas significativas con una probabilidad de 5% o menos ( $P < 0.05$ ), el consumo de materia seca y la producción de leche se procesaron en Infostat®. Se realizaron comparaciones entre las variables durante la época lluviosa y seca sin el uso del sistema de enfriamiento. El sistema de enfriamiento únicamente se comparó en la época seca.

### **3.8 Comparación económica**

Se realizó una comparación económica del balance de ingresos y egresos con el correspondiente ingreso neto mensual del establo con el sistema y sin el sistema funcionando. Para ello se estimaron los costos de energía eléctrica basado en el consumo registrado en el medidor y de alimentación basados en el consumo medido y el precio del alimento. Para los costos fijos se utilizó promedios mensuales registrados en la contabilidad de la Cooperativa Astoria tomando en cuenta los costos de operación, insumos y alimento de reemplazos y horas. Los ingresos de la cooperativa fueron en concepto de venta de leche y descartes. La venta de leche fue estimada según la producción de las vacas con sistema y sin sistema (Cuadro A- 28).

Los costos por inversión inicial fueron USD 7,541.62 e incluyen la adquisición de los aspersores, ventiladores, bomba de presión, panel de control, tanque de agua, tubos entre otros accesorios y los gastos derivados de su instalación (Cuadro A- 29).

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Parámetros ambientales

#### 4.1.1.1 Temperatura ambiental durante la época seca y lluviosa

En la zona donde se realizó la investigación, la temperatura ambiental (TA) presentó una variación diurna de aproximadamente 10°C entre la mínima (alrededor de 25°C) y la máxima (34 a 36°C). Los valores mínimos se registraron en horas de la madrugada (3:00 a 6:00 horas) mientras que los máximos transcurrieron cerca del mediodía (11:00 a 14:00 horas). Durante la mayoría de las horas del día (6:00 a 18:00 horas) las temperaturas en la época seca (ESec) son más elevadas que las de la época lluviosa (ELlu) (Figura 15, Cuadro A- 15), probablemente debido a la menor nubosidad (mayor número de horas de luz).

Los valores de las temperaturas mínimas promedio obtenidas en las primeras 8 horas del día (26.3°C y 26.2°C ELlu y ESec respectivamente Cuadro A- 15) se encuentran por encima del valor máximo permisible para el límite de estrés calórico (22°C), según la escala de estrés calórico revisada por la Universidad de Arizona (2011) (Cuadro A- 2).

Johnson *et al.* (1986) demostraron que el efecto de la temperatura sobre las variables productivas se ve afectado por los umbrales térmicos a los cuales las vacas Holstein disminuyen su producción diaria de leche (-5 y 21° C), dichos valores representan límites a los que los animales activan mecanismos fisiológicos que aseguran su supervivencia disminuyendo la productividad.

Mientras que los valores de las temperaturas máximas promedio obtenidas al mediodía (34°C ELlu y 35.3°C ESec) (Figura 15, Cuadro A- 15), según la escala de estrés calórico revisada por la Universidad de Arizona (2011), como mínimo indicarían estrés leve a moderado (Cuadro A- 2) independientemente del porcentaje de HR.

El papel de la temperatura ambiental es de gran importancia para un análisis superficial de estrés calórico, ya que Khalifa (2003) concluyó que por sí sola no es una adecuada expresión de la respuesta animal al estrés calórico.

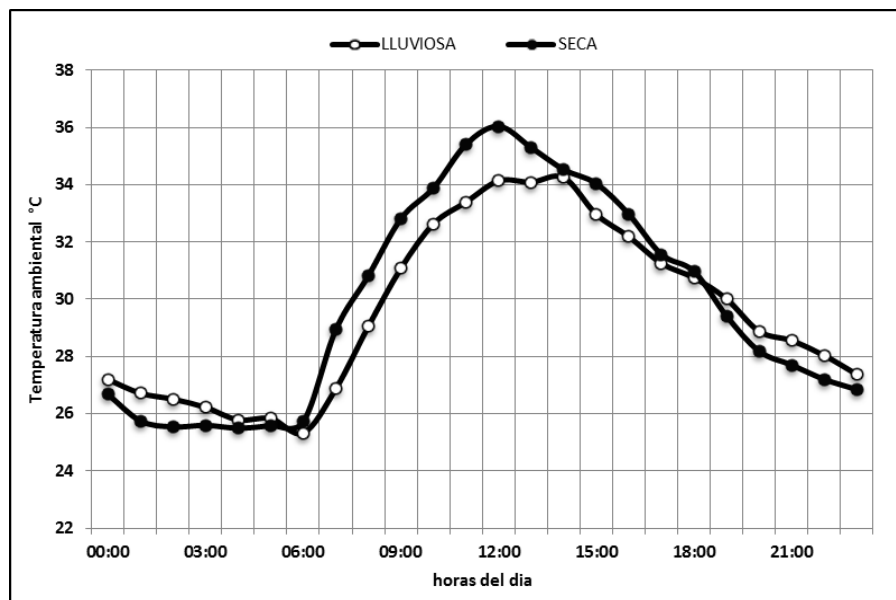


Figura 15. Temperaturas (°C) durante las 24 horas del día en la época seca (marzo - abril) y la época lluviosa (julio - agosto) en la Cooperativa Astoria, San Pedro Masahuat, La Paz, El Salvador.

#### 4.1.2 Humedad Relativa (HR)

##### 4.1.2.1 Humedad relativa durante la época seca y lluviosa

Los valores de HR obtenidos presentan un comportamiento inverso a la TA, fenómeno que se puede identificar con los valores mínimos (horas más cálidas del día) y máximos (madrugada y noche) (Figura 16, Cuadro A- 15).

Las HR de la ELLU son más altas que las de la ESEC durante todo el día, la diferencia más pronunciada se identifica cerca del mediodía, donde se observa aproximadamente 20% de diferencia; en este momento se registra 41% en la ESEC y 60% en la ELLU (Figura A- 7, Cuadro A- 15).

Durante el estudio los datos obtenidos de HR corresponden a valores mayores del 40% independientemente de la hora o época en que fueron tomados; obteniendo los valores mínimos al mediodía con un promedio de 62% y 45% (ELLU y ESEC respectivamente); mientras que los valores máximos se obtuvieron en las primeras 8 horas del día resultando como promedios 85.1% y 74.7% (ELLU y ESEC respectivamente) (Figura 16, Cuadro A- 15) con estos porcentajes de humedad solamente para la ESEC pudiera no existir estrés calórico si hubiesen temperaturas menores a 20 °C, sin embargo el promedio de las temperaturas mínimas fue de 26.2°C (Cuadro A- 15), dichos valores ubican a ambas épocas en la categoría de estrés leve a moderado durante las primeras 8 horas del día (Cuadro A- 2, A-14).

Salvador (2010), describió que los bovinos en las regiones del trópico soportan mayores afecciones por estrés calórico ya que se caracteriza por presentar una temperatura media anual entre los 25 y 35°C, con un período estival muy prolongado de alrededor de 6 a 8 meses (mayo a diciembre), ya que

se caracterizan por ser generalmente secos; además la ELLu afecta a los animales debido a la excesiva humedad (Blanco, 2009; Young, 1975).

Los procesos evaporativos operan a través de una gradiente de presión de vapor denominada pérdida de calor insensible o latente (Collier *et al.* 2006). Richards (1973), reportó que a temperaturas superiores a los 30°C, la HR comienza a asumir un importante rol en los procesos evaporativos; cuando la TA se acerca a valores de la temperatura corporal la pérdida de calor insensible o latente permite reducir o eliminar la gradiente térmica que por consiguiente activa las vías sensibles de pérdidas de calor (conducción, convección y radiación).

Brosh *et al.* (1998), sostienen que en las circunstancias anteriormente descritas, altos valores de HR decrecen la gradiente de vapor evitando que el animal disipe el exceso de calor, acumulándose en el cuerpo, resultando en un incremento de la temperatura corporal.

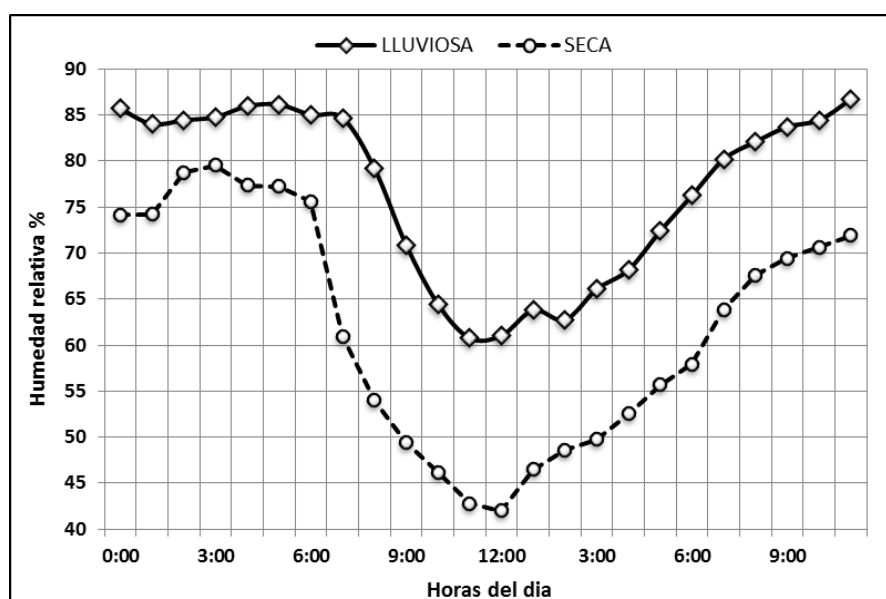


Figura 16. Humedad relativa (%) durante las 24 horas del día en la época seca (marzo - abril) y la época lluviosa (julio - agosto) en la Cooperativa Astoria, San Pedro Masahuat, La Paz, El Salvador.

#### 4.1.3 Índice de temperatura y humedad durante época seca y lluviosa

El ITH durante las dos épocas en la zona donde se realizó el estudio, muestra una evidente superioridad de la época lluviosa sobre la época seca durante la mayoría de las horas del día (a excepción de las 6:00 y 7:00 horas) debido al notable aumento de la HR característico de la ELLu (Figura 17).

Según la escala de estrés calórico de la Universidad de Arizona (2011) (Cuadro A- 2), los valores mínimos de ITH registrados en horas de la madrugada (1:00 a 6:00 horas) pertenecen a la categoría de estrés leve moderado, teniendo como valor mínimo 76.2 y 75.6 en la ELLu y ESec respectivamente; mientras que los valores máximos desde el mediodía hasta el atardecer (11:00 a 17:00 horas), se pueden considerar en la categoría de estrés moderado severo mostrando evidentemente que los

valores más críticos se registraron en la ELLu con una diferencia aproximada de dos unidades (86.6 y 84.7 ELLu y ESec respectivamente) (Figura 17 y Cuadro A- 15).

Analizando el comportamiento del ITH durante el día en tres tramos de 8 horas para cada época se definen promedios por cada tramo (Cuadro A- 15). Para el tramo 1 (00:00 a 7:00 horas) se obtuvo el valor de 77.8 y 76.3 (ELLu y ESec respectivamente), tramo 2 (8:00 a 15:00 horas) 84.9 y 83.3 (ELLu y ESec respectivamente) y tramo 3 (16:00 a las 23:00 horas) 81.7 y 79.7 (ELLu y ESec respectivamente) graficando estos puntos en la escala de ITH para cada época se obtiene una gráfica de tendencias en las que se aprecian visualmente que en la ELLu se abarca mayor cantidad de valores por encima de 80 (Cuadro A- 16) afectados principalmente por el alto porcentaje de HR, mientras que en la ESec se observan diferencias de 2 °C superiores de TA en sus puntos máximos (tramo 2), lo cual no es suficiente para causar el impacto que afecta de manera severa el ITH como en la ELLu.

Se determinó que en la zona costera, donde se realizó el estudio, independientemente de la época, las vacas se encuentran bajo diferentes niveles de estrés calórico durante las 24 horas del día (Cuadro A- 2, A- 15 y A- 16). Ravagnolo *et al.* (2000), menciona que el ITH se puede utilizar para estimar el efecto del estrés por calor en la producción.

Por su parte Burgos *et al.* (2011), demostraron que valores de ITH mayor o igual a 68 puede ser suficiente para causar efectos adversos cuando las vacas sufren estrés calórico y se manifiestan pérdidas significativas en la producción de leche cuando permanecen más de 17 horas de exposición en estas condiciones, mientras que en nuestra investigación en horas de la madrugada los valores promedios de ITH se encuentran por arriba de 74 (estrés leve a moderado) y se sobrepasa el umbral de 80 (estrés moderado a severo) a partir de las 8:00 horas en ambas épocas manteniéndose hasta las 19:00 horas en la ESec (12 horas de exposición) lo que representa un 50% del día y hasta las 23:00 horas en la ELLu (16 horas de exposición) que corresponde a un 67% del día (Figura 17, Cuadro A- 15).

Según Burgos Zimbelman *et al.* (2009), las vacas expuestas a más de 12 horas de ITH mayores que 80 tienen pérdidas de aproximadamente 0.322 kg. de leche por hora, equivalente a 3.9 kg (5.2 botellas) de leche por vaca al día (Cuadro A- 16).

West (2003), alerta que el calentamiento global podría crear condiciones que no sólo perjudican la productividad del ganado, sino que también aumenten su mortalidad en la ausencia de instalaciones que los protejan de dichas condiciones, lo que se comprueba con los valores de ITH promedio más bajos para el período de 1962 – 1992 (calculados a partir de datos climáticos de estaciones meteorológicas ubicadas a latitudes similares al ensayo Engels 1998, Cuadro A- 20) que los obtenidos en nuestra investigación, mostrando valores de ITH de 78.40 para la ELLu, mientras que para la ESec 76.99 dejando un margen de diferencia en comparación con los datos actuales de 3.2 unidades de ITH para la ELLu y 2.7 unidades para la ESec (Cuadro A- 21).

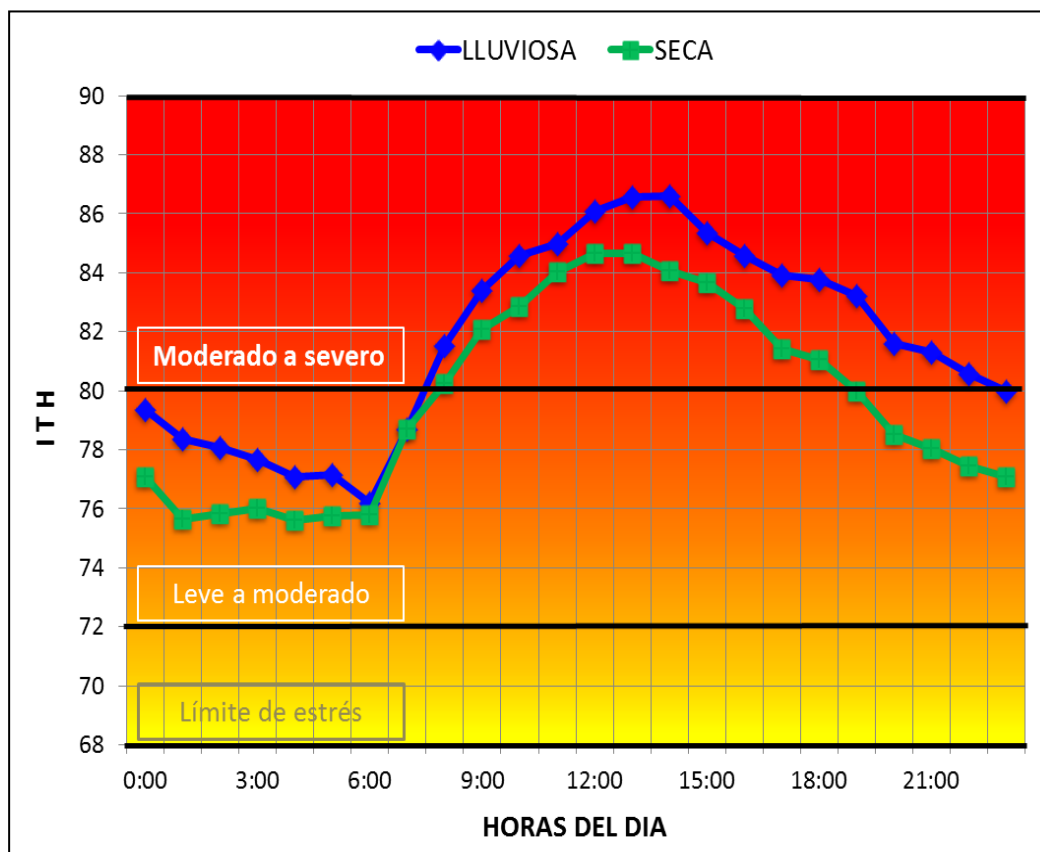


Figura 17. Índice de Temperatura y Humedad, durante las 24 horas del día, en la época seca (marzo - abril) y la época lluviosa (Julio - Agosto) en la cooperativa Astoria, en San Pedro Masahuat, La Paz, El Salvador. Con base al Índice Termo higrométrico de Wiersma calculado por  $ITH=0.81 \times TA + HR/100 \times (TA-14,4) + 46,4$  (Bedolla *et al.* 2012).

## 4.2 Parámetros Fisiológicos

### 4.2.1 Tasa Respiratoria RPM

#### 4.2.1.1 Efecto de la época del año sobre la tasa respiratoria (rpm) en el ganado lechero

En la Figura 18 se muestra la tasa respiratoria de primerizas (PR izquierda) y adultas (AD derecha), registrada a las 9:00, 11:00, 13:00, 15:00 y 17:00 horas encontrándose diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en las adultas durante la época lluviosa (ELlu) y época seca (ESec) en las horas registradas, mientras que en las primerizas únicamente a las 11:00 y 17:00 horas. Los puntos máximos de la tasa respiratoria en la época lluviosa se observaron a las 13:00 horas en las primerizas y a las 17:00 horas en las adultas. En la época seca ambas edades se mantuvieron en su punto máximo a las 13:00 horas y una tasa respiratoria menor a las 17:00 horas; mostrando sus puntos mínimos a las 9:00 horas en ambas épocas. Para Gaughan (2000) una tasa respiratoria disminuyendo no siempre es indicativo de un animal que hace frente a condiciones de calor. Esto es debido a un cambio en la dinámica de la tasa respiratoria rápida con la boca abierta (jadeando) a una fase profunda de jadeo más lenta (siempre con la boca abierta).

Las primerizas se mantuvieron sobre las adultas con 10rpm en promedio durante el día en la época lluviosa mientras que en la época seca oscilo en 8 rpm. En la época lluviosa es predominante en varios animales la polipnea térmica evidenciando la susceptibilidad al estrés calórico provocado por la humedad relativa (en la ELLU 76.8% y en ESec 61.9 %, Cuadro A- 15). Las primerizas y adultas tuvieron una diferencia de 6 rpm en promedio durante el día para ambas épocas. El promedio de tasa respiratoria para las primerizas en la ELLU fue de 79.2 rpm por el contrario en la ESec fue de 72.9rpm (Cuadro A- 22 y A- 23)

Según la clasificación de la severidad del estrés por Thomas y Pearson (1986), (Cuadro A-4), las primerizas se encontraron con un estrés medio alto (60 a 80 rpm) de las 9:00 a las 11:00 horas en ambas épocas (ELLU y ESec), mientras que se manifestó un estrés alto (80 a 120 rpm) a partir de las 13:00 hasta las 17:00 horas durante la época lluviosa, en la época seca se mantuvieron con un estrés medio alto (60 a 80 rpm). Las adultas estuvieron en un nivel bajo de estrés (40 a 60 rpm) a las 9:00 horas para las dos épocas, sin embargo, incrementaron su nivel a medio alto (60 a 80 rpm) durante el resto de toma de datos en ambas épocas.

En bovinos (*Bos taurus*) bajo estrés calórico, cerca del 15% del calor endógeno es perdido directamente desde el centro del cuerpo a través del tracto respiratorio (Mc Dowell *et al.*, 1976). Sin embargo, la eficiencia de las pérdidas por evaporación disminuye con incrementos de la Humedad Relativa (Saravia, 2009). Berman (2006), señaló que a partir de una Humedad Relativa de 45%, la eficiencia de las vías respiratorias para eliminar calor se reduce y con un 55% se disminuye la eficacia del enfriamiento evaporativo.

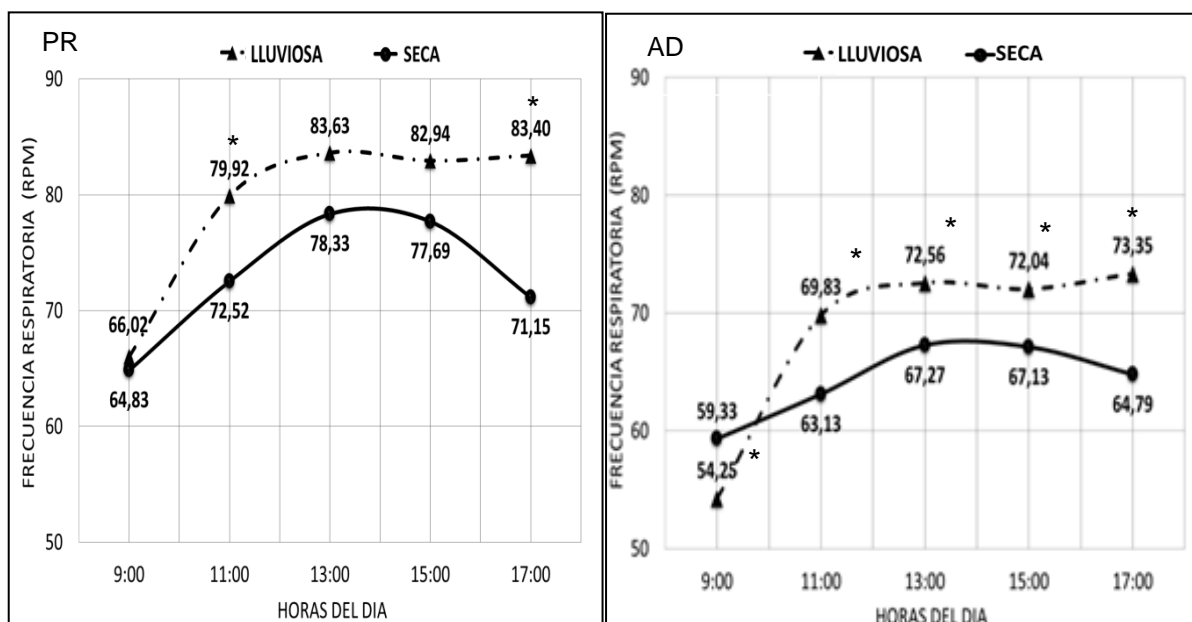


Figura 18. Efecto de la época del año sobre la tasa respiratoria (rpm) en primerizas (izquierda) y vacas (derecha) lecheras en ordeño sin tratamiento de estrés calórico. \* Diferencias estadísticas significativas a  $P < 0.05$ .



#### **4.2.1.2 Efecto de la edad sobre la tasa respiratoria en la época seca**

En la Figura 19 se compara el comportamiento de la tasa respiratoria entre adultas y primerizas sin tratamiento (ST, izquierda) y con tratamiento (CT, derecha) en la época seca. Se encontraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre las edades sin la aplicación del tratamiento desde las 11:00 hasta las 17:00 horas, teniendo las primerizas mayor tasa respiratoria con una diferencia promedio entre ellas de 8 rpm. Esto podría indicar pocas posibilidades de los animales jóvenes de recuperar su normotermia (20 a 40 rpm) (Nienaber *et al.* 2003) durante la noche. Las primerizas también tuvieron mayores tasas respiratorias con tratamiento, aunque las diferencias contra las adultas fueron mínimas (2 rpm) y no fueron significativas.

El primer tratamiento (10:00) redujo 21 rpm a las primerizas (de 65.85 a 43.69 rpm) y 17 rpm a las adultas (58.81 a 40.88 rpm). La medición de las 11:00 horas, ubicó a las vacas adultas dentro de su tasa respiratoria basal (20 a 40 rpm) (Thomas y Pearson, 1986). Hahn *et al.* (1997), reportaron un incremento en la tasa de respiración del ganado de 4 rpm por cada grado de incremento sobre 21°C en la temperatura ambiental.

Según la clasificación de la severidad del estrés (Cuadro A- 4 de Thomas y Pearson 1986), las primerizas sin tratamiento (izquierda) se encontraron en estrés medio alto (60 a 80 rpm) durante la toma de datos (9:00 hasta las 17:00 horas) al igual que en el gráfico con la aplicación del tratamiento (derecha) previo a su aplicación (9:00 horas) y las adultas están en estrés bajo (40 a 60 rpm) a la misma hora; el resto de tiempo similares que las primerizas en estrés medio alto. Sin embargo, la aplicación del enfriado tanto para adultas como en primerizas disminuyó su tasa respiratoria a estrés bajo a partir de las 11:00 hasta las 17:00 horas.

El término estrés es comúnmente utilizado para indicar una condición medioambiental que es adversa al bienestar animal (Stott 1981). La vaca trata de eliminar calor aumentando su frecuencia respiratoria (vaca jadeante), lo que se denomina enfriamiento respiratorio (O'berto *et al.* 2006). Como medida para el estrés calórico se coloca el sistema de enfriamiento (tratamiento) que consiste en enfriar a las vacas empapándolas hasta la piel mediante aspersores y después disipar esa agua con ventiladores llevándose con ello el calor (Hardesty 2012; Figura A-5).

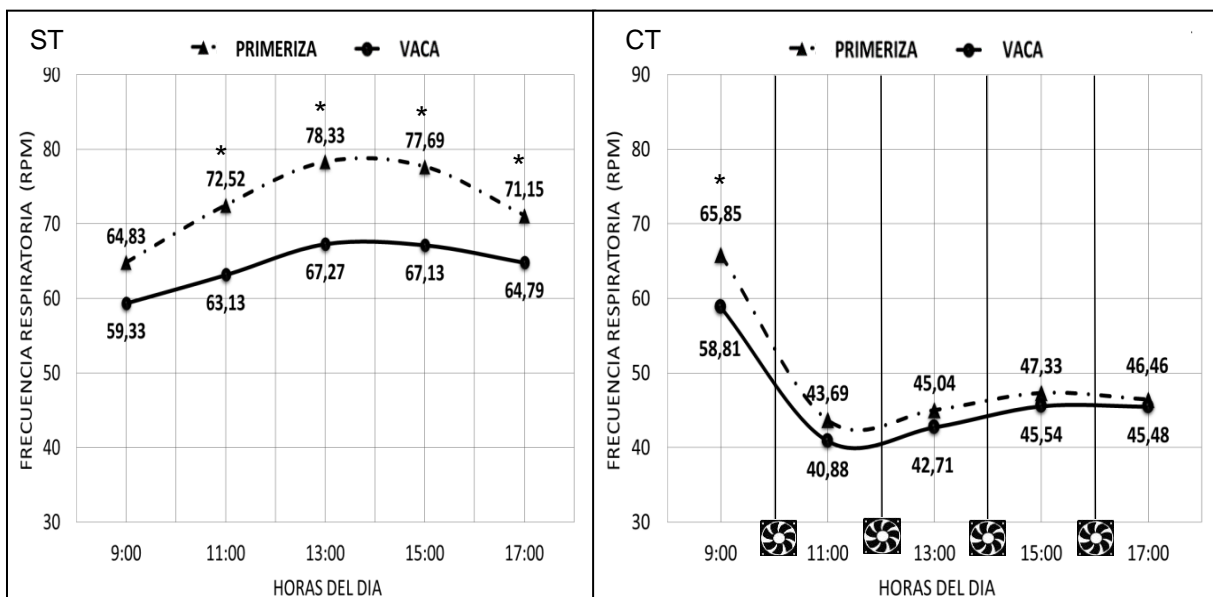


Figura 19. Respiraciones por minuto (rpm) sin tratamiento (izquierda) y con tratamiento (derecha) durante la época seca. Los tratamientos se realizaron a las 10:00, 12:00, 14:00 y 16:00. \* Diferencias estadísticas significativas a  $P < 0.05$ .

#### 4.2.1.3 Efecto de la edad sobre la frecuencia respiratoria (rpm) en la época lluviosa y seca

Las mediciones de tasa respiratoria fueron mayores en primerizas que en vacas adultas ( $P < 0.05$ ), en todas las horas registradas durante la época lluviosa (ELlu) (Figura 20 izquierda). En la época seca (ESec) también la tasa respiratoria de las primerizas fue mayor ( $P < 0.05$ ) a las 11:00, 13:00, 15:00 y 17:00 horas (Figura 20 derecha). Se tuvo durante el día una diferencia promedio de 10 rpm entre primerizas y vacas adultas en la ELLu, contra 8 rpm en la ESec. Las tasas respiratorias son bajas a las 9:00 horas y aumentan rápidamente para las 11:00 horas. Durante la época lluviosa los valores máximos se encontraron a las 17:00 horas en las adultas y a las 13:00 horas en las primerizas, comportándose inversamente ambas edades en la ESec, en el mismo tiempo, lo cual coincide con que el ITH durante la ESec disminuye más rápidamente. Aparentemente, la menor humedad de dicha época permite que los mecanismos de enfriamiento de las vacas funcionen más efectivamente que en la ELLu en horas de la tarde.

Considerando la escala de clasificación de estrés según la frecuencia respiratoria (Thomas y Pearson, 1986) durante la época lluviosa, que es la más difícil, solo se encontró con estrés bajo (40 a 60 rpm) a las adultas a las 9:00 y con estrés medio alto (60 a 80 rpm) de las 11:00 hasta las 17:00 horas. Las primerizas también mostraron estrés medio alto a las 9:00 y 11:00 horas, y se encontraron en estrés alto (80 a 120 rpm) entre las 13:00 y las 17:00 horas. En ocasiones, con temperaturas ambientales mayores de  $40^{\circ}\text{C}$  (extremo calor) se muestran de 120 a 150 rpm (Davis 2003). Sin embargo, el incremento de la frecuencia respiratoria es una respuesta individual que varía según la raza y estado fisiológico de cada animal (Gaughan 1999).

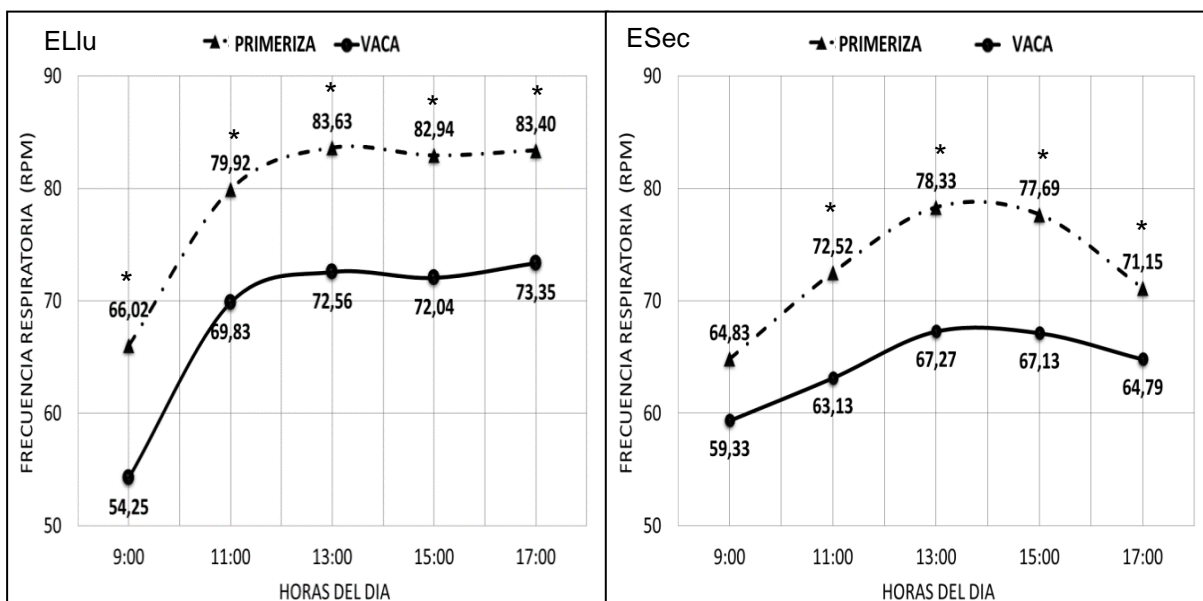


Figura 20. Tasas respiratorias (rpm) en primerizas y vacas en ordeño sin tratamiento de estrés calórico durante la época lluviosa (izquierda) y época seca (derecha). \* Diferencias estadísticas significativas a  $P < 0.05$ .

#### 4.2.1.4 Efecto del tratamiento en primerizas y vacas adultas en la época seca

El sistema de enfriamiento redujo la tasa respiratoria, en primerizas y adultas. Las diferencias fueron significativas ( $P < 0.05$ ) en todas las mediciones posteriores a la aplicación de agua y ventilación, en promedio su tasa respiratoria fue en las primerizas 73 rpm a 45 rpm y en adultas 64 a 43 rpm sin tratamiento y con tratamiento respectivamente. Como se muestra en la Figura 21, las vacas en condición normal elevaron su tasa respiratoria desde las 9:00 horas en adelante, pero el tratamiento provocó que se disminuyera, ubicándolas en una situación de estrés calórico bajo (40 a 60rpm) en el rango de las 11:00 a las 17:00 horas.

Sin la aplicación del sistema durante todo el día, se presentó en las adultas el estrés medio alto (60 a 80rpm) a partir de las 11:00 horas, extendiéndose por el resto del día; lo contrario de las primerizas que lo manifestaron a partir de las 9:00 hasta las 17:00 horas.

El descenso más marcado de la tasa respiratoria debido a la aplicación del tratamiento se observó a las 13:00 horas con una diferencia de 33 y 24 rpm en primerizas y adultas respectivamente. Las diferencias luego fueron 30 y 21 rpm a las 15:00 horas y de 24 a 19 rpm a las 17:00. Turner *et al.* (1992), encontraron 16 rpm menos en un grupo de vacas Holstein enfriado, comparado con uno no enfriado, instalando el sistema sobre el comedero, en un clima húmedo templado, en Kentucky.

La tasa de respiración es uno de los mecanismos más importantes a considerar al momento de evaluar el nivel de estrés por calor del ganado, ya que es una de las principales respuestas observables en el animal cuando está expuesto a temperaturas sobre su umbral de confort (Gaughan *et al.* 2000). Stott (1981), señaló que la única forma de medir la magnitud del estrés es a través de la

respuesta animal. Brown-Brandl (2005), concluye que la tasa de respiración es el indicador más apropiado para monitorear estrés por calor en el ganado. Dada la estrecha relación de la tasa de respiración con la escala de jadeo, éste resulta ser un valioso indicador para estimar el riesgo de estrés calórico. El viento ayuda a reducir los efectos del estrés por calor mejorando los procesos de disipación de calor por vías evaporativas (Mader *et al.* 1999) esta respuesta depende del estado en que se encuentra la piel del animal, ya sea seca o húmeda. La transferencia de calor es más eficiente cuando la piel esta húmeda que cuando está seca (Arkin *et al.* 1991). En climas áridos y secos el aire puede ser efectivamente enfriado usando enfriamiento evaporativo ya que este disminuye la temperatura del aire, pero incrementa la humedad relativa. En climas húmedos el bañar a la vaca y secarla por medio de abanicos (ventiladores) incrementa la pérdida evaporativa de calor, de la superficie corporal de la vaca. El aire es un pobre conductor de calor comparado al agua, por lo que es más eficiente la pérdida de calor evaporando el agua de la superficie del animal (Correa 2013).

Correa *et al.* (s.f.), mostraron una diferencia de 18 rpm ( $p < 0.01$ ) con  $87.8 \pm 1.8$  para el grupo testigo y de  $68 \pm 1.7$  para el grupo enfriado, en la ciudad de Mexicali en Baja California, México, con un clima árido y seco extremoso, con temperatura promedio anual de  $22^{\circ}\text{C}$ . En comparación con nuestro estudio ( $P < 0.05$ ) en el que los animales expresaron una diferencia en promedio de 23 rpm; con 68 rpm sin tratamiento y 44.64 rpm con tratamiento, durante el día, de la época seca. Las primerizas y adultas iniciaron a las 9:00 horas con un promedio de 65 y 59 rpm; culminando el día con 46 y 45 rpm respectivamente.

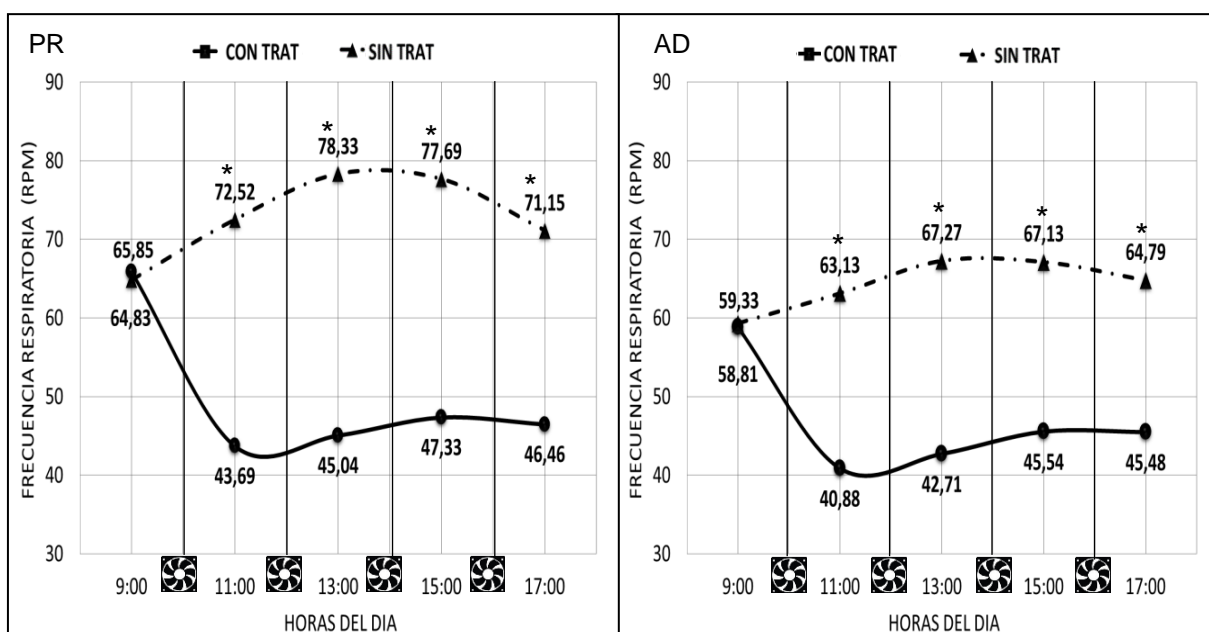


Figura 21. Efecto del sistema de enfriamiento sobre las tasas respiratorias (rpm) en primerizas (izquierda) y vacas (derecha) durante la época seca. Los tratamientos fueron aplicados a las 10:00, 12:00, 14:00, y 16:00. \*Diferencias estadísticas significativas a  $P < 0.05$ .

## 4.2.2 Temperatura Rectal °C

### 4.2.2.1 Efecto de la época en la Temperatura Rectal de primerizas y vacas adultas en la época lluviosa y seca

El cambio en la temperatura rectal (Trec) a lo largo del día, se muestra en la Figura 22. Puede notarse que esta se incrementa de las 9:00 en adelante y que es más alta en las primerizas (PR) que en las adultas (AD). Las comparaciones revelaron diferencias significativas entre épocas a las 9:00 en adultas y a las 17:00 en primerizas ( $P < 0.05$ ). La máxima temperatura rectal se observó a las 17:00 donde las adultas alcanzaron 39.32 y 39.37°C en ESec y ELLU, mientras que las primerizas tuvieron 39.52°C y 39.79°C. Puede notarse que las primerizas alcanzaron su máxima temperatura rectal en época seca a las 15:00 horas y se mantuvieron sin aumentar lo cual podría reflejar un efecto benéfico de la disminución más temprana del ITH en esta época. Se observó una conducta similar en las adultas, aunque su punto máximo fue a las 17:00 horas.

Durante las horas evaluadas, los animales en estudio, en ambas épocas se encontraron a temperaturas por encima de 38.5 °C que Dukes y Swenson (1985), determinan como la temperatura normal en una situación de confort en el ganado lechero, lo cual muestra que el estudio se desarrolló en condiciones de altas temperaturas ambientales y humedades relativas que provocaron manifestaciones de estrés calórico en el ganado. Observándose con mayores temperaturas rectales las primerizas sobre las adultas entre las épocas. Para Warnick (1960), el estudio de las respuestas fisiológicas de los animales jóvenes puede ser buen indicador de su tolerancia al ambiente caluroso, ya que su estado fisiológico las hace particularmente sensible a las influencias del clima; debido a que su mecanismo termorregulador no funciona adecuadamente, por lo que a menudo se hacen hipertérmicos en condiciones de temperaturas elevadas.

La temperatura rectal no se comportó similar al ITH, sino que tuvo sus máximas expresiones en las horas de la tarde, no al mediodía como el ITH para ambas épocas; mostrando un efecto de acumulación de calor en los animales en horas de la tarde. La temperatura rectal se modifica cuando el medio ambiente sobrepasa los 24°C en el ganado de leche (Curtis 1981). Cuando se presenta una diferencia de temperatura entre el animal y su ambiente, tiene lugar un flujo calórico, que de acuerdo con las leyes de la física tiende a igualar ambas temperaturas que constituye el intercambio térmico por medio de radiación, convección y conducción (Parker 1984).

El incremento en la tasa respiratoria sugiere que el animal pone en marcha el proceso de disipación térmica evaporativa como compensación a la reducida eficiencia de pérdida de calor sensible, lo que le permite mantener la temperatura corporal dentro de los límites fisiológicos (Alzina-López *et al.* 2001). Davis *et al.* (2003), demostraron se reduce la temperatura corporal con la aplicación de un sistema de enfriamiento, además reportaron una interacción entre el uso de aspersores y el horario en que el ganado recibe su alimentación; causados por los cambios de la temperatura del cuerpo, que alteran la actividad metabólica del animal.

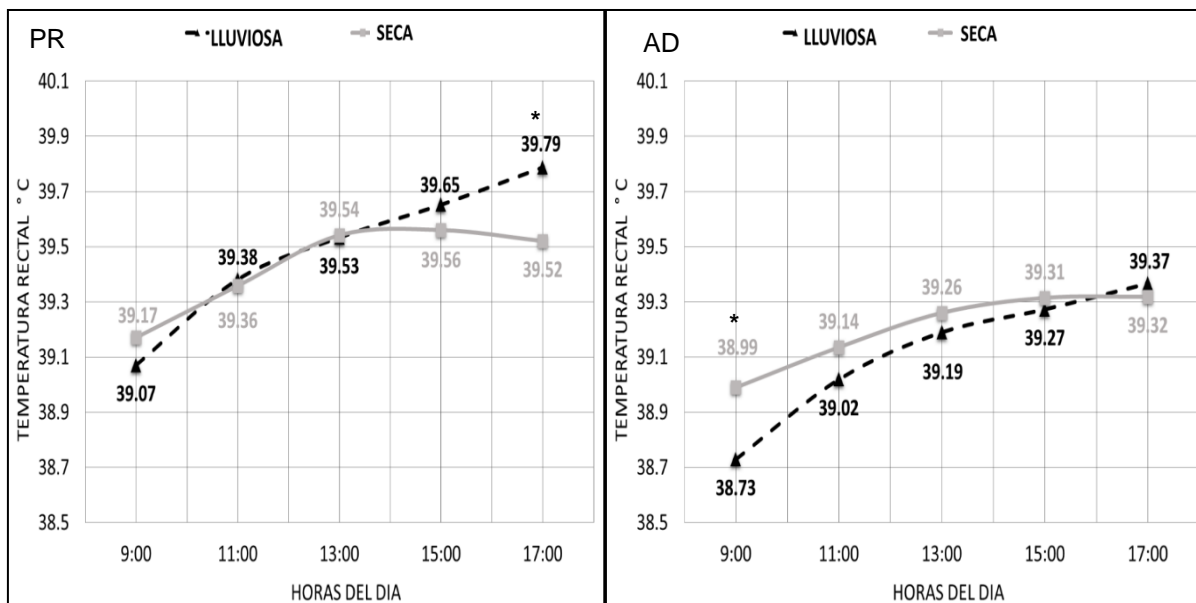


Figura 22. Efecto de la época del año sobre la temperatura rectal (°C) en primerizas (izquierda) y vacas (derecha) lecheras en ordeño sin tratamiento de estrés calórico. \* Diferencias estadísticas significativas a  $P < 0.05$ .

#### 4.2.2.2 Efecto de la edad en primerizas y vacas adultas sobre la Temperatura Rectal °C en la época seca

Al comparar la temperatura rectal de primerizas (PR izquierda) y adultas (AD derecha) en condiciones normales y de tratamiento de estrés de calor durante la ESec, se observó que, durante los periodos sin tratamiento, las primerizas tuvieron temperatura rectal significativamente mayores que las adultas ( $P < 0.05$ ) (Figura 23).

Durante los periodos con tratamiento, las primerizas tuvieron temperaturas rectales promedio superiores a las adultas, pero estas diferencias no fueron significativas, sin embargo, en ambos grupos de vacas hubo una disminución después del primer tratamiento que no se pudo sostener ya que la temperatura rectal llegó para las 17:00 a valores similares a los de las 9:00 horas. Esto podría deberse a la acumulación de calor posterior a las alimentaciones (7:00, 10:00, 14:00 y 16:00) o al movimiento de las vacas al momento del ordeño a las 15:00 horas.

La baja temperatura por la mañana es un mecanismo fisiológico que utilizan los animales para preparar su cuerpo para el incremento del calor durante el día. La producción de calor del cuerpo y la hora de alimentación durante todo el día, se ve afectado principalmente por el tiempo del día en que se alimenta el ganado y no por la temperatura ambiental, cuando la alimentación se proporciona por las tardes se incrementa la temperatura corporal (Brosh *et al.* 1998).

Gaughan (2000) concluyó, en Queensland Australia, que la temperatura rectal se incrementó notablemente en el ganado enfriado en el día tras el cese de la refrigeración, a pesar de que el THI y  $T_a$  estaban cayendo. Sus puntos máximos estuvieron en 40.1°C durante el día y 40.7°C por la noche.

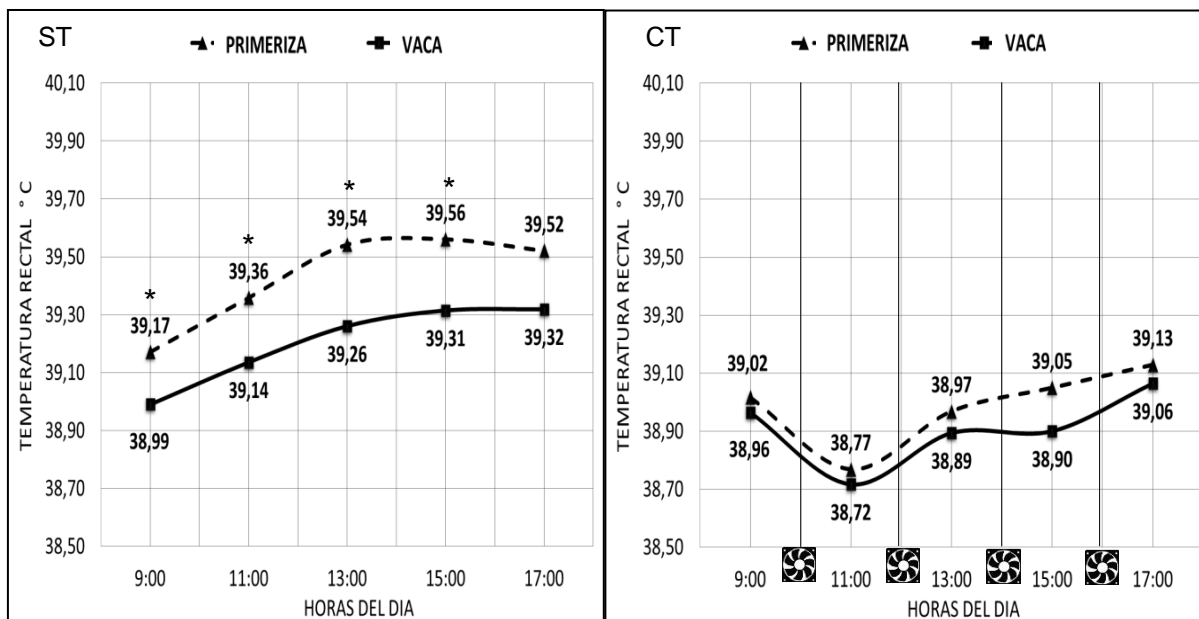


Figura 23. Temperaturas rectales (°C) sin tratamiento (izquierda) y con tratamiento (derecha) durante la época seca. Los tratamientos se realizaron a las 10:00, 12:00, 14:00 y 16:00. \*Diferencias estadísticas significativas a  $P < 0.05$

#### 4.2.2.3 Efecto de la edad en primerizas y vacas adultas en la época lluviosa y seca

En la Figura 24 se compara la temperatura rectal entre primerizas y adultas en época lluviosa (ELlu izquierda) y época seca (ESec derecha) sin tratamiento. Las primerizas mostraron temperatura rectal superior a las adultas en ambas épocas y en todas las horas estudiadas ( $P < 0.05$ ) con la excepción en la época seca a las 17:00 horas. Además, se muestra que a medida que se presentan las horas de calor más intensas en el día, la temperatura rectal aumentó en ambos grupos de vacas y en ambas épocas.

La temperatura rectal adquirió su máximo punto para primerizas y adultas en la época lluviosa a las 17:00 horas con  $39.79^{\circ}\text{C}$  y  $39.37^{\circ}\text{C}$  respectivamente, mientras que para la época seca se manifestó a las 15:00 horas con  $39.56^{\circ}\text{C}$  en primerizas y las adultas con  $39.32^{\circ}\text{C}$  a las 17:00 horas.

La tasa respiratoria y la temperatura rectal se ven afectadas por la radiación solar cuando la temperatura aumenta en el transcurso del día, y con esto un gasto de energía (Brosh 1998). A pesar de que la temperatura corporal es debidamente regulada por varios procesos complejos donde participan el hipotálamo, los sensores térmicos, la unidad termostática corporal, los mecanismos de producción y pérdida calórica (Bianca 1973; Anderson 1984).

Cuando la temperatura corporal aumenta, se produce la hipertermia o estrés térmico (Brosh *et al.* 1998). Para que el animal pueda mantener su equilibrio térmico es necesario que la ganancia de calor sea igual a la pérdida del mismo en un periodo de tiempo no mayor a 24 horas (Ray 1991).

Todos los procesos celulares y bioquímicos dependen en mayor o menor medida de la temperatura (Katschinski 2004). La variación normal de la temperatura corporal durante el día debe ser de 0.6 a 1.2°C, un incremento por encima de 1.2°C es signo de enfermedad o de deficiente adaptación a la elevación térmica. (Jiménez 2005).

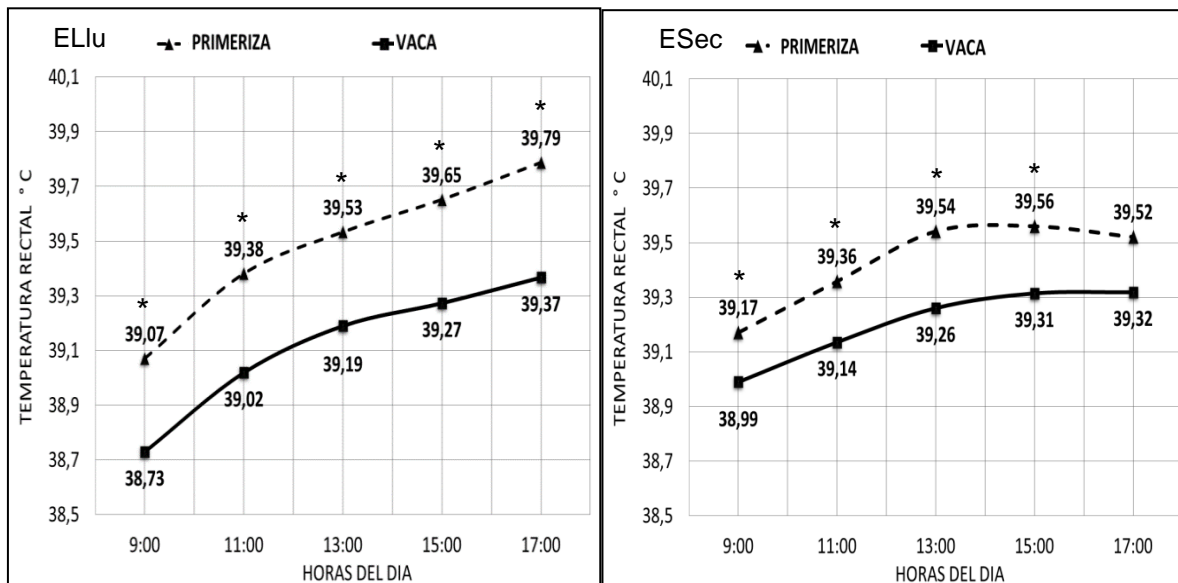


Figura 24. Temperaturas rectales (°C) en primerizas y vacas en ordeño sin tratamiento de estrés calórico durante la época lluviosa (izquierda) y época seca (derecha). \* Diferencias estadísticas significativas a  $P < 0.05$

#### 4.2.2.4 Efecto del tratamiento para estrés calórico en primerizas y vacas adultas sobre la temperatura rectal en la época seca

El tratamiento con ventilación y aspersión de agua en cuatro ciclos de una hora, disminuyó significativamente ( $P < 0.05$ ) la temperatura rectal en comparación con los periodos sin tratamiento en primerizas (PR izquierda) y adultas (AD derecha) en la totalidad de las observaciones realizadas pos tratamiento (Figura 25). Se observó que la temperatura rectal de adultas y primerizas fueron similares a las 9:00 horas y después del tratamiento de las 10:00 horas, disminuyeron (en promedio de 0.5°C y 0.3°C respectivamente) y sin él aumentaron, lo cual evidencia la contribución de éste en mitigar el efecto del ambiente sobre la temperatura rectal. En promedio en primerizas sin tratamiento tuvieron temperaturas rectales de 39.4°C y con tratamiento 38.9°C mientras que en adultas fueron 39.2°C y 38.8°C respectivamente.

Los animales en estudio manifestaron en promedio una temperatura rectal de 39.24°C sin tratamiento por la mañana y 39.41°C por la tarde, mientras que con tratamiento fue de 38.83°C y 39.0°C respectivamente. Avendaño *et al.* (2007), obtuvo resultados de 38.85°C en la mañana y 39.35°C sin tratamiento. Sin embargo, con tratamiento fueron de 38.83°C y 39.12°C en vacas en el periodo seco, siendo evidente que en nuestro estudio el tratamiento igualo la temperatura rectal en la mañana y se disminuyó 0.1°C más por la tarde.



En un estudio realizado en Israel basado en el enfriamiento de vacas lecheras mediante ventilación y aspersión de agua se encontró que a medida que la temperatura ambiental asciende también lo hace la temperatura rectal de las vacas. El mojar a las vacas durante 10 segundos fue menos eficaz en las vacas de enfriamiento de humectación por 20 o 30 segundos, que eran similares. La refrigeración durante 15, 30 y 45 minutos reduce la temperatura rectal de 0.6, 0.7 y 1.0 ° C, respectivamente. Por lo tanto, la duración de tiempo para la humectación y ventilación tiene efectos dramáticos sobre la cantidad de enfriamiento logrado (Flamenbaum *et al.* 1986).

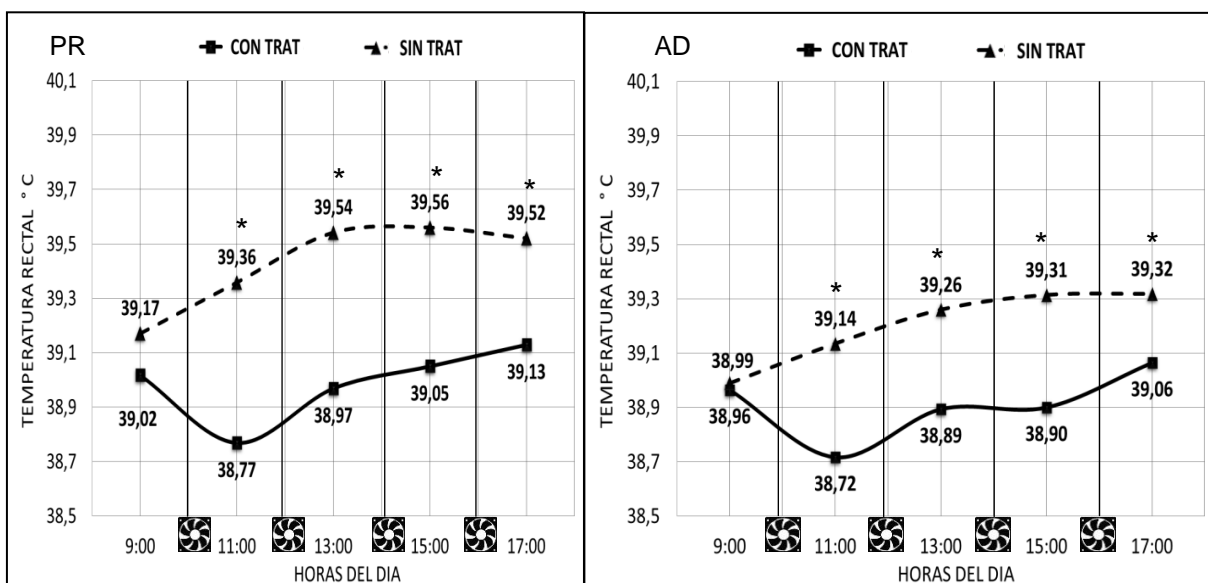


Figura 25. Efecto del sistema de enfriamiento sobre la temperatura rectal (°C) en primerizas (izquierda) y vacas (derecha) durante la época seca. Los tratamientos fueron aplicados a las 10:00, 12:00, 14:00, y 16:00. ST= Sin Tratamiento CT= Con Tratamiento. \* Diferencias estadísticas significativas a  $P < 0.05$

#### 4.2.3 Temperatura Superficial °C

##### 4.2.3.1 Efecto de la edad en primerizas y vacas adultas sobre la temperatura superficial

La figura 26 describe la tendencia de la temperatura superficial ( $T_{sup}$ ) en primerizas y vacas adultas sin tratamiento en la ESec; las cuales no mostraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) durante las tomas de datos registrados (9:00, 11:00, 13:00, 15:00 y 17:00 horas). Tanto primerizas como adultas alcanzaron el punto máximo registrado de  $T_{sup}$  a las 11:00 horas.

Los valores más bajos de TA (32.8 y 31.6 ° C) y más altos de HR (49.4 y 55.7 %) durante las horas de muestreo (9:00 y 17:00 horas respectivamente) corresponden a los valores más bajos de  $T_{sup}$ . Collier *et al.* (2006) describieron que dichas condiciones favorecen al buen funcionamiento de las vías de pérdida de calor no evaporativas (convección, conducción y radiación) dependientes de la gradiente térmica entre la temperatura ambiente y temperatura corporal que indica que entre menor sea más dificultará su funcionamiento. Lundquist (2013), describe que valores de temperatura superficial por

encima de 35° C indican estrés calórico en el ganado, lo que nos demuestra que durante todo el muestreo de la Tsup se registró estrés calórico en la ESec sin tratamiento.

Pusta *et al.* (2012), demostraron en su investigación que la Tsup no muestra diferencias significativas bajo condiciones de sombra (arbóreas o estabuladas) independientemente del color de piel, mientras que las vacas expuestas a radiación solar directa durante el pastoreo si manifiestan diferencias ( $p > 0.05$ ); con dichos resultados elaboraron un mapa térmico en el que describe la Tsup bajo las condiciones previamente descritas (Figura A- 8). En este se observa que la Tsup independientemente de las condiciones climáticas muestra los valores mayores en región dorsal del sacro o grupa (punto anatómico del que se obtuvo el valor en el ensayo).

El sitio en estudio contaba con un área techada que representaba un aproximado de 35 % del área total del establo (distribuidos en zonas de descanso, bebederos y comederos) y la densidad animal permitía que todos los animales pudieran descansar bajo sombra al mismo tiempo, sin embargo estuvieron expuestas a radiación solar directa, presentando promedios diarios de Tsup de 36.17°C en primerizas y 36.02°C en adultas, valores comparables a los obtenidos por Pusta *et al.* (2012) en vacas de manto blanco expuestas a radiación solar directa (36 a 37°C).

A pesar que las vacas en estudio predominantemente eran de color oscuro, probablemente las áreas techadas les permitieron mostrar valores similares, además no se registraron valores entre 37 a 42°C reportados por Pusta *et al.* (2012) en vacas de manto oscuro expuestas a radiación solar (Figura A- 8).

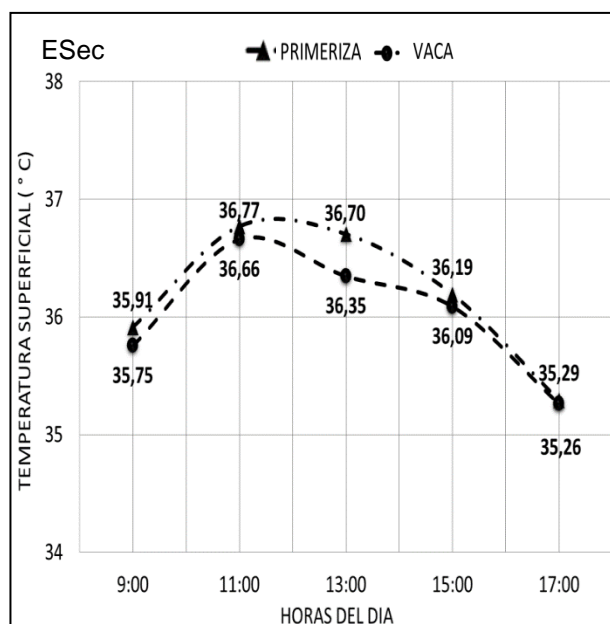


Figura 26. Temperatura superficial °C en primerizas y vacas adultas en ordeño sin tratamiento de estrés calórico durante la época seca

#### 4.2.3.2 Efecto del tratamiento para estrés calórico sobre la temperatura superficial en primerizas y vacas adultas en la época seca

En la Figura 27 se presenta el efecto del tratamiento sobre la  $T_{sup}$  entre primerizas y adultas en la ESec, ambos grupos partieron de condiciones homogéneas (9:00 horas) sin mostrar diferencias significativas, mientras que las tomas de datos en horas posteriores manifiestan una disminución muy notable en la  $T_{sup}$  luego del tratamiento, siendo las diferencias significativas en todas las observaciones para ambas edades ( $P < 0.05$ ).

Los valores promedio de  $T_{sup}$  con tratamiento ( $32.08^{\circ}\text{C}$  y  $31.6^{\circ}\text{C}$  primerizas y adultas respectivamente) son compatibles a los obtenidos por Pusta *et al.* (2012) en vacas bajo condiciones de sombra (Figura A- 8) lo que nos indica que el tratamiento funcionó de manera exitosa debido a que se registraron valores de  $T_{sup}$  a las que se encuentra un bovino sin exposición a radiación solar directa a pesar que si la recibieron, ya que los bovinos estaban expuestos a radiación solar directa en 65% del corral, por otra parte el promedio de TA (8:00 a 17:00 horas) de  $33.73^{\circ}\text{C}$  a pesar que fue mayor que la  $T_{sup}$  (gradiente no menor a  $1.65^{\circ}\text{C}$ ) no logró transferir el calor hacia el animal ya que ha sido descrito que si la TA es superior a la  $T_{sup}$ , el animal ganará calor del medio que lo rodea y todo incremento en la velocidad del aire, solo servirá para aumentar esa ganancia (Villagómez *et al.* 2000).

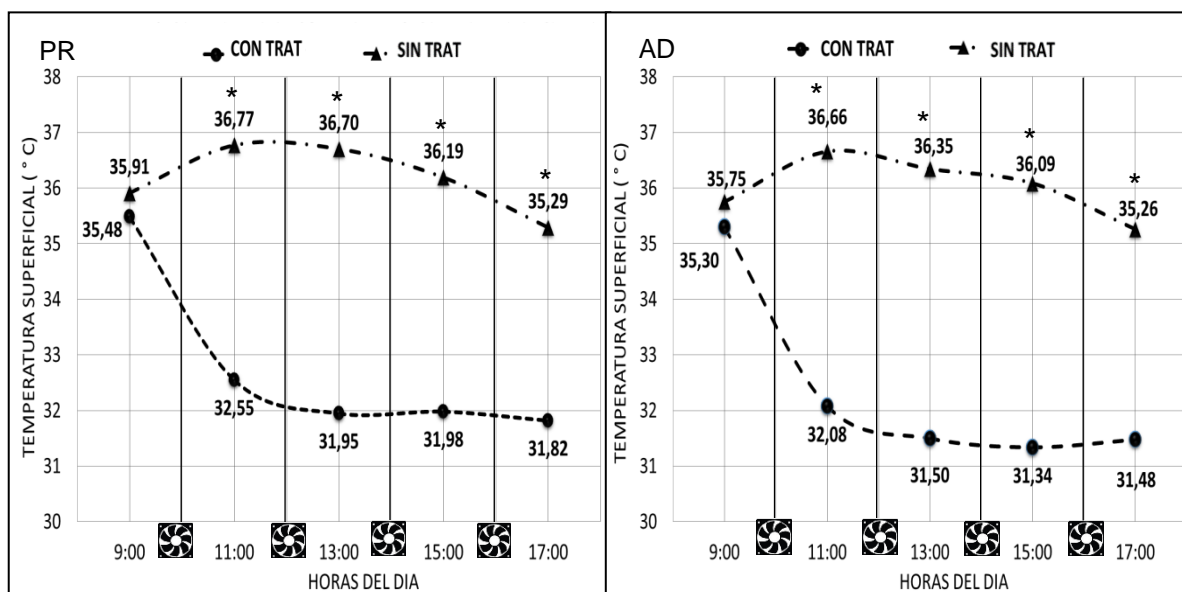


Figura 27. Efecto del sistema de enfriamiento sobre la temperatura superficial en primerizas (izquierda) y vacas (derecha) durante la época seca. Los tratamientos fueron aplicados a las 10:00, 12:00, 14:00, y 16:00.

#### 4.3 Consumo de materia seca

La Figura 28 muestra el consumo de materia seca registrada (oferta menos rechazo) en el corral a las vacas en condiciones normales de estrés de calor ( $17.68 \text{ Kg/vaca/día}$ ) y bajo la influencia de 4 ciclos de tratamiento con el sistema de enfriamiento ( $19.43 \text{ Kg/vaca/día}$ ) en la ESec. Los consumos fueron

significativamente mayores ( $P < 0.05$ ) con el sistema de enfriamiento, el valor del incremento fue 1.75 Kg/vaca/día equivalente al 9.89%. Hansen *et al.* (2012) compararon los consumos de materia seca en vacas lecheras con tratamiento y sin tratamiento, la ingestión fue mayor en las vacas enfriadas durante el periodo seco (14.1 contra 12 kilos por día) y en el periodo post parto (19.3 contra 17.7 kilos por día).

Las vacas tienden a comer 66% del consumo total en las horas más frescas del día (Hall 2000). La ingesta de materia seca es más sensible a la temperatura media de dos días antes (West *et al.* 2003). La temperatura ambiente y la humedad relativa a las horas de alimentación fueron de 33.9 °C; 46.2%(10:00); 36.0 °C; 42%(12:00); 34.5 °C; 48.6% (14:00) y 33.0°C; 52.5% (16:00) respectivamente (Cuadro A- 15), notándose que éstas temperaturas sobrepasan el límite de la zona de termo neutralidad que ha sido considerado a 16°C en *Bos taurus* (Harmer *et al.* 2000). Cuando los animales se alimentan a las horas más calurosas activan sus mecanismos de termorregulación como la anorexia voluntaria. El efecto del medioambiente en el consumo voluntario de alimento ha sido documentado destacando una relación inversa entre temperatura ambiental y consumo voluntario de alimento (Ames 1980; Mader 2003). Según Shearer y Beede (1990), la disminución del consumo pudo ser mayor, ellos sostienen que durante el estrés calórico el consumo de materia seca disminuye cuando la temperatura ambiente comienza a elevarse por encima de 26°C. Por otra parte, Wheeler (1996), afirma que las vacas reducirán la ingesta de materia seca cuando la temperatura ambiente es superior a 24 °C y se encontrarán en estrés severo con 27°C y humedad relativa superior a 80%, reduciendo el consumo de 15 a 20% en los días calurosos de verano.

Hansen (2012), subrayó que “las vacas son pequeños hornos y tienen sólo capacidad limitada de disipar calor”. El alimento es el combustible y la fuente número uno de calor en las vacas (la radiación solar es el número dos), es por eso que comer más da por resultado más calor. Roche (2010), reporta que un bovino consume una cantidad de materia seca de aproximadamente el 2 al 3% de su peso vivo, según su producción lechera. El enfriamiento suplementario con ventiladores y los rociadores, colocados sobre el comedero pueden reducir los efectos del estrés calórico sobre la producción de leche y la ingestión de alimento (Díaz *et al.* 2013). En un estudio realizado en 13 granjas lecheras comerciales en Alabama durante el invierno, se produjeron 1.4 Kg de leche por cada Kg de materia seca consumida, en comparación de 1.32 Kg por cada Kg de materia seca consumida en verano que es 5% de disminución en eficiencia en conversión de alimento (Flamembaum 2011). Vacas enfriadas más tiempo, consumieron 8% más comida e incrementaron la producción en 10% (Flamembaum s.f.). Además de una reducción en el consumo de alimento, también hay una reducción de la eficiencia de la utilización de energía para la producción de leche (McDowell *et al.* 1969). Temperaturas sobre 30°C asociadas a humedades relativas de 80% y ausencia de noches frescas disminuyeron la producción de leche en 11.9 Kg/día en el norte y suroeste de Estados Unidos (Fox y Tylutki 1998). Durante el experimento el promedio de la temperatura ambiente por las noches en la época seca (Cuadro A- 15) oscilo en 29.9°C (noche) a 26.2°C (madrugada) a pesar que no se considera sin estrés (<22°C)

probablemente esta incidencia menor a la del día también influyo en el mayor consumo de materia seca y el poco residuo de alimento previo a la primera hora de alimentación.

En Alabama, un experimento con rociadores sobre los comederos mejoró la ingestión y la producción de alimento en 1 Kg diario. Los rociadores fueron programados en ciclos de 15 minutos (3 rociando y 12 apagados) con ventiladores sobre los comederos y echaderos. Se determinó que los ventiladores por sí solos no mejoraron el confort de las vacas. Ambas estrategias necesitan ser combinadas para enfriar a las vacas bajo estrés calórico severo (Díaz *et al.* 2013). Cuando termina la temporada de calor, la productividad no vuelve a la normalidad porque el déficit de la energía no se puede compensar plenamente en vacas de alta producción. La caída permanente en la lactancia actual es proporcional a la longitud del estrés por calor (Parker 1984). West (2003), estableció que el consumo era más sensible a la temperatura media del aire de dos días antes y reduce su consumo en 0.85 kg por cada grado (°C) que aumento la temperatura ambiente de 24°C, el impacto de las variables climáticas en la producción puede estar relacionado con el consumo de alimento alterado, la demora entre el consumo y la utilización de los nutrientes consumidos o cambios en el estado endocrino de la vaca.

Entre los factores ambientales que pueden afectar el consumo de alimento están los físicos y climáticos. En establos modernos, los factores físicos pueden ser de más preocupación que el clima, debido a los beneficios que ofrecen a la vaca las modernas instalaciones, con la protección de los elementos naturales, pero éstos pueden mejorar o dificultar la ingesta de materia seca (Brouk *et al.* s.f.).

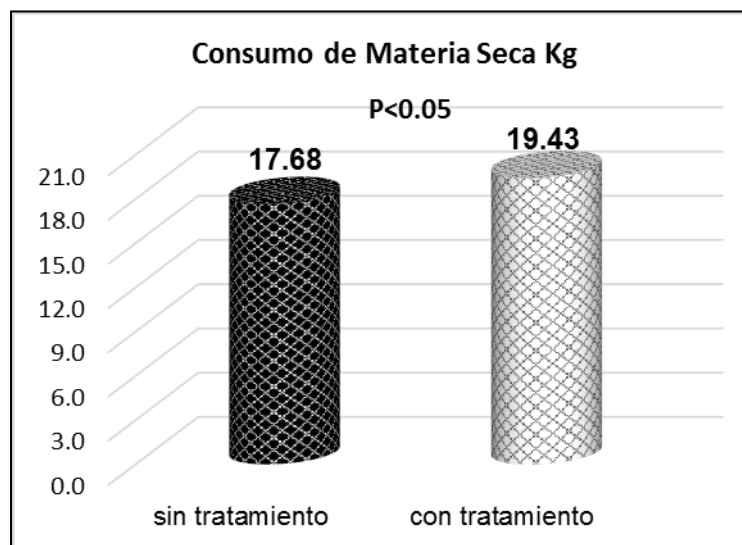


Figura 28. Efecto del tratamiento sobre el consumo de alimento (en materia seca Kg/día) en primerizas y vacas en ordeño, en la época seca

#### 4.4 Producción de leche

##### 4.4.1 Efecto de la edad sobre la producción de leche y su adaptación al medio

Las diferencias en producción entre primerizas y adultas con y sin el efecto del tratamiento de control de estrés calórico se presentan en la Figura 29. Se observa que las producciones de las vacas fueron significativamente mayores ( $P < 0.05$ ) que las de las primerizas en ambas condiciones. La diferencia sin tratamiento fue 2.54 kg/vaca/d (3.38 btl.) y con tratamiento 2.24 kg/vaca/d (2.98 btl.), probablemente el tratamiento provocó una disminución en esta diferencia debido a que las primerizas alcanzan niveles más altos de estrés y el enfriamiento produce un efecto positivo mayor que en adultas.

Las vacas adultas tienen producciones lácteas mayores que las primerizas debido a su mayor masa corporal y capacidad de consumo. West (2003), estableció que la producción de leche de vacas Holstein declinó 0.88 kg por unidad de incremento del THI por encima de 68. La producción de leche disminuye a temperaturas del aire por encima de 25°C en cualquier combinación de temperatura y humedad sobre 10%. Para Ravagnolo *et al.* (2000), la producción de leche y sus proteínas, parece ser constante hasta aproximadamente un ITH de 72. Después de ese punto cae la producción. Con un  $ITH \geq 72$  los promedios de caída son de 0.2 kg en leche por unidad de ITH incrementado y 0.009 kg / unidad de la proteína. Bouraoui *et al.* (2002), reportaron disminuciones de producción diaria por animal de 2.2% cuando el ITH excede el valor 69. Bohmanova (2006), encontró disminuciones de producción de 1.4% y 1% a umbrales de ITH de 74. Se ha sugerido que las vacas de bajo y alto rendimiento en producción de leche (18.5 y 31.6 Kg/d respectivamente), generan entre 27% y 48% más calor, que las no lactantes (West 2003), y que el estrés calórico puede reducir la producción de leche en más de 25% y disminuir las tasas de concepción a menos de 20% (Hansen 2012).

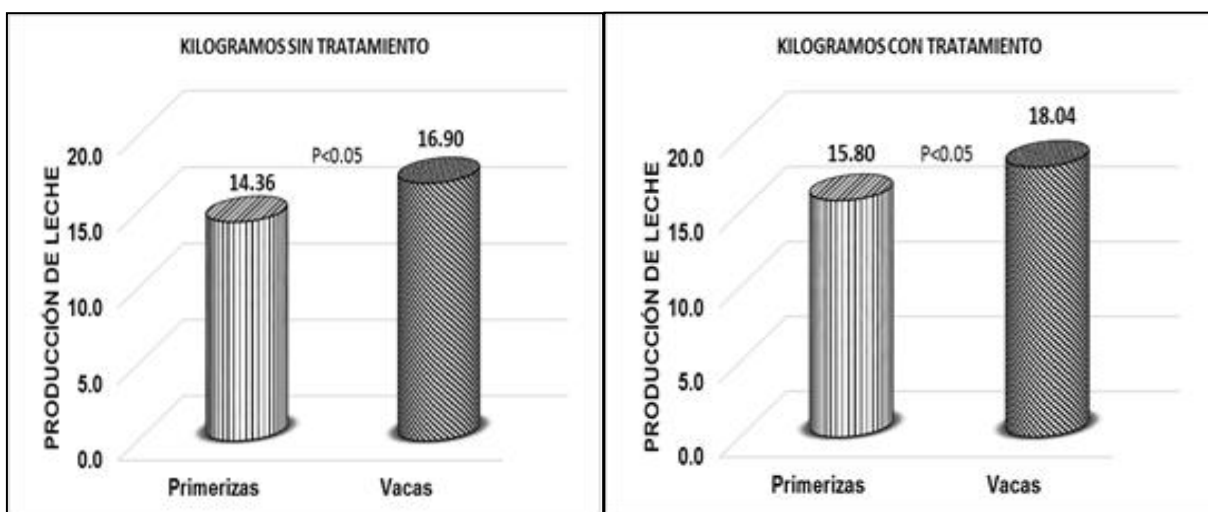


Figura 29. Producción láctea (Kg/día) en primerizas y vacas adultas sin tratamiento (izquierda) y con tratamiento (derecha) durante la época seca.

#### **4.4.2 Efecto del tratamiento para estrés calórico en primerizas y vacas adultas sobre la producción láctea en la época seca**

El tratamiento de cuatro ciclos de una hora con ventilación y agua, incrementó significativamente ( $P < 0.05$ ) la producción láctea en primerizas (de 14.36 a 15.8 kg/d) y en vacas adultas (de 16.9 a 18.04 kg/d) durante su evaluación en la época seca (Figura 30). Estos cambios representaron diferencias de 1.44 kg/d en primerizas y 1.14 en adultas que pueden representar un impacto positivo en las utilidades.

El efecto de las altas temperaturas de un día se puede evidenciar hasta dos días después en la disminución de producción de leche (Harris *et al.* 1960; Collier *et al.* 1981). Díaz (2013), evaluó dos sistemas de enfriamiento, ambos con rociadores y ventiladores sobre el comedero, pero en sólo uno de ellos se colocaron ventiladores sobre los echaderos. Se confirmó que cuando se complementaban los ventiladores sobre el comedero con ventiladores sobre los echaderos, la producción de leche aumenta; en este caso, el incremento fue de 2.6 Kg por vaca por día.

Mitigar el estrés calórico significaría la diferencia entre producir 30 a 45 Kg de leche por día (Martínez 2013). Según un estudio presentado por Hansen *et al.* (2012), el enfriamiento durante el periodo seco aumentó la producción de leche en 7.5 kilos por día en los primeros 210 días de lactancia, en 16 vacas Holstein (26.2 kilos contra 33.7 en vacas no enfriadas y enfriadas respectivamente).

Los daños que produce el estrés de calor en las vacas han sido documentados previamente. Burgos *et al.* 2009 menciona que la producción de leche se redujo cuando las temperaturas rectales alcanzaron 39°C (102.2°F).

La menor producción de leche puede ser de lo que se dan cuenta primero los productores cuando sus vacas sufren estrés calórico, pero ésta puede no ser su mayor pérdida. Mientras que la producción de leche tiende a recuperarse más o menos rápido después de que son enfriadas las vacas, la fertilidad usualmente se mantiene comprometida hasta por dos meses (Hoard's West 2012).

También se puede evaluar las pérdidas de leche por época por medio de calculadoras en línea (Figura A- 9).

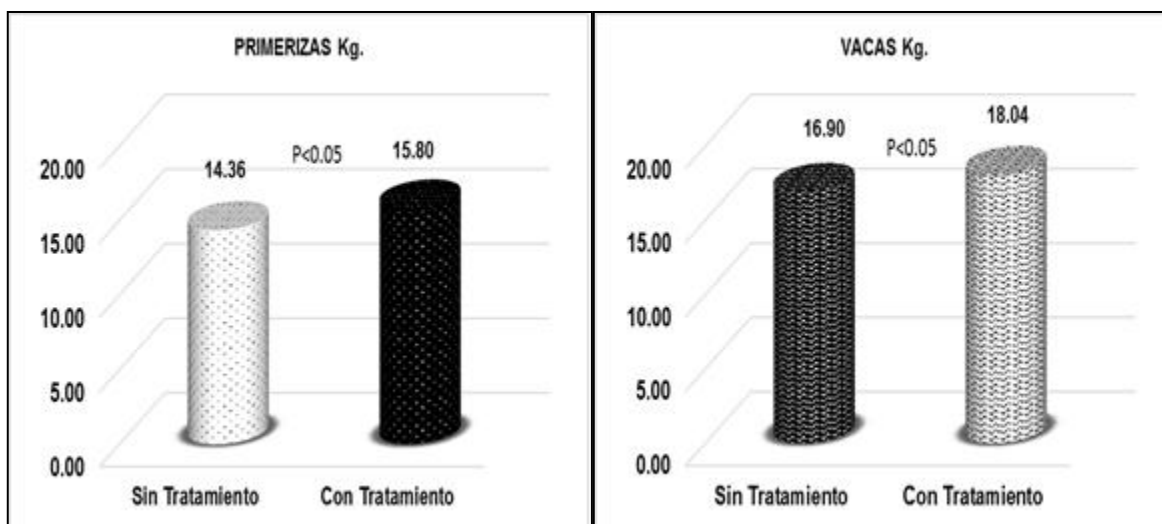


Figura 30. Producción láctea (Kg/día) en primerizas (izquierda) y vacas adultas (derecha) sin tratamiento y con tratamiento durante la época seca

#### 4.4.3 Efecto de tratamiento sobre la producción de leche en la época seca

En el verano (ESec), la producción promedio entre vacas y novillas fue de 15.63 Kg/día (20.84 btl.); la mitigación del estrés calórico con el enfriamiento dio lugar a una producción de 16.92 Kg/día (22.56 btl.); lo cual fue significativamente mayor ( $P < 0.05$ ), la modificación de microclima produjo un incremento de 1.29 kg/d (1.72 btl.).

Diferentes estudios han mostrado el efecto positivo del enfriado sobre la producción y el consumo. Vacas enfriadas por más tiempo, consumieron 8% más comida e incrementaron la producción en 10% (Flamembaum, s.f.). Las vacas Holstein enfriadas 5 veces al día en el área de espera, incrementaron su producción en 2.5 kg/d sobre vacas que no recibieron este beneficio (Wolfenson *et al.* 1984 citado por Correa 2013).

Los resultados del estudio se pueden comparar con los presentados por Bucklin (1991), en Florida (Cuadro 2). Las vacas en Florida tuvieron mejoras más considerables en producción láctea, temperatura rectal y tasa respiratoria que las de El Salvador, con excepción del consumo de materia seca.

Es probable que las condiciones de enfriamiento en Florida se hayan aplicado de forma más eficiente, ya que en nuestro estudio sucedió que en ocasiones las vacas no recibieron la hora completa de tratamiento por deficiencias en el manejo o por el traslado fuera de tiempo al ordeño.



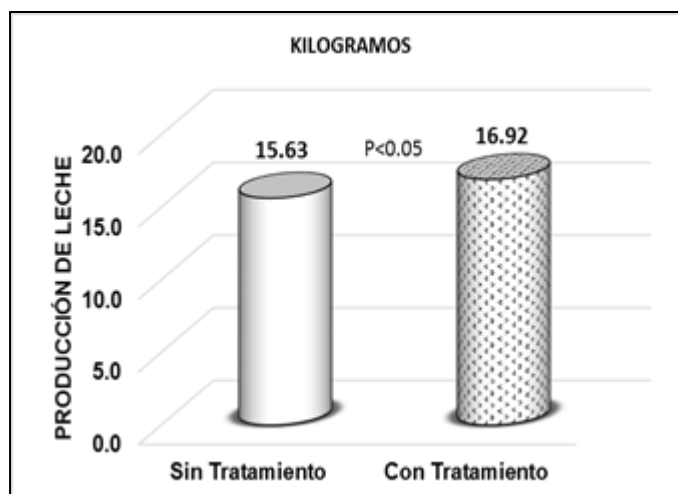


Figura 31. Promedio de producción láctea (Kg/ día) con tratamiento y sin tratamiento durante la época seca

Cuadro 2. Datos comparativos por Bucklin y Cooperativa Astoria

Parámetros analizados	Grupos		Diferencia	
	Control	Refrigerado	Unidades	%
<b>Consumo de alimento en materia seca (Kg/vaca/día)</b>				
Florida	17.64	18.9	1.26	7.1
Astoria	15.14	16.58	1.44	9.5
<b>Producción láctea (Kg/vaca/día)</b>				
Florida	17.91	19.98	2.07	11.6
Astoria	15.63	16.92	1.29	8.25
<b>Temperatura Rectal</b>				
Florida	39.1	38.55	0.55	
Astoria	39.3	38.94	0.36	
<b>Frecuencia Respiratoria</b>				
Florida	96	57	39	40.6
Astoria	68.72	48.08	20.64	30.03

Fuente: Adaptado de Bucklin, R.A *et al.* 1991; Cooperativa Astoria, San Pedro Masahuat, La Paz, El Salvador, 2015.

Pulido (2011), evaluó la producción láctea en vacas tratadas y no tratadas para estrés de calor con sistemas de enfriamiento a base de aspersores y abanicos (17 semanas), encontrándose que la producción láctea fue mayor ( $p < 0.01$ ) en vacas del grupo E (Enfriamiento) comparadas con el grupo S (Testigo) ( $30.5 \pm 0.94$  contra  $26.6 \pm 0.98$  kg/d) (Cuadro A- 25). La diferencia en la producción de leche entre el grupo de animales tratados y el testigo fue de 3.99 kg/vaca/día, es decir, que una vaca tratada durante el periodo experimental (33 días) produjo alrededor de 131.67 kg más que un animal testigo. En total el grupo de animales tratado produjo 13167.00 Kg más de leche.

## 4.5 Comparación económica

Cuadro 3. Comparación económica en vacas bajo estrés calórico y con sistema de enfriamiento

	<b>Categoría</b>	<b>Tipo</b>	<b>CT</b>	<b>ST</b>	<b>DIF</b>	<b>CT (USD\$)</b>	<b>ST (USD\$)</b>	<b>DIF (USD\$)</b>
CV	Energía eléctrica	KW/corral <sup>a</sup>	2524.00	1969.00	555.00	325.27	254.41	70.86
	Alimento de vacas en producción	Kg MS/corral <sup>b</sup>	34479.88	33248.82	1231.06	9211.14	9123.34	87.80
CF	Alimento de reemplazos y horas	Kg MS	-	-	-	2265.72	2265.72	0.00
	Operación	Ordeñadores	-	-	-	312.3	312.3	0.00
		Limpia corrales	-	-	-	584.13	584.13	0.00
		Sueldos	-	-	-	450.95	450.95	0.00
		Honorarios	-	-	-	140.01	140.01	0.00
		Vigilancia	-	-	-	534.4	534.4	0.00
		Alimentación de ganado	-	-	-	586.36	586.36	0.00
	Insumos	Material de limpieza e higiene	-	-	-	33.05	33.05	0.00
		Combustible y lubricantes	-	-	-	120.98	120.98	0.00
		Medicina	-	-	-	65.38	65.38	0.00
Semen		-	-	-	237.96	237.96	0.00	
<b>SUBTOTAL (USD \$)</b>						<b>14867.65</b>	<b>14708.99</b>	<b>158.66</b>
	<b>INGRESOS</b>							
	Leche	Kg / mes / ható	30546	28134	2412	15476.64	14254.56	1222.08
	Descarte	USD \$ / mensual	-	-	-	584.07	584.07	0.00
<b>SUBTOTAL (USD \$)</b>			-	-	-	<b>16060.71</b>	<b>14838.63</b>	<b>1222.08</b>
<b>UTILIDAD (USD \$)</b>			-	-	-	<b>1193.06</b>	<b>129.64</b>	<b>1063.42</b>

<sup>a</sup>Los KW/corral fueron calculados en base a las lectura diaria del medidor durante el experimento y para su costo se estimó el cargo por comercialización, de distribución y el cargo por energía (USD\$/Kw; Cuadro A- 26)

<sup>b</sup>El precio y consumo de Kg MS/corral se calcularon en base al consumo promedio diario/vaca (Cuadro A- 28)

CT = con tratamiento, ST = sin tratamiento, DIF = diferencia

El análisis económico se realizó por medio de un balance general compuesto por costos variables (energía eléctrica y alimento de vacas en producción), costos fijos (alimento de reemplazos y horas, costos de operación e insumos) e ingresos (venta de leche y descartes).

Los costos variables se estimaron en condiciones de estrés calórico y bajo el efecto del sistema de enfriamiento. La energía eléctrica incrementó un 27.85% (USD 70.86) debido a las horas de funcionamiento del sistema, en cambio el consumo de alimento en vacas con tratamiento aumentó un 3.7% (1231 Kg). Los costos fijos afectan de igual forma, independientemente de las condiciones del estudio; mientras que los ingresos incrementaron en un 8.3% debido a la mayor producción de leche en las vacas enfriadas (2412 Kg).

Mostrando un beneficio de USD 1193.06 con tratamiento y 129.64 sin tratamiento, lo que nos indica que al aplicar el tratamiento se obtiene un ingreso adicional de USD 1063.42 sobre el que generan las vacas bajo estrés calórico, recuperando el 98.7% de la inversión (USD 7443.95 Cuadro A- 29) luego de 7 meses.

La producción diaria promedio de vacas enfriadas en el verano se redujo sólo en 0.5 kg por día (98.5% de la producción del invierno). En los establos sin enfriamiento, se obtuvo una disminución en la producción de 3.5 Kg/día (solo 90% de la producción en invierno). La refrigeración intensiva de vacas en las diferentes etapas de la lactancia, durante el verano, puede reducir significativamente la merma que la temporada de calor causa en el nivel de producción de leche y en la tasa de preñez (Flamembaum s.f.).

En diversos estudios se ha encontrado que el estrés de calor perjudica económicamente los establos lecheros, generalmente se indica un 20 o 30%, pero no se ha logrado establecer efectivamente la pérdida total que genera (Jarama 2011).

## 5. CONCLUSIONES

Las mediciones muestran condiciones de estrés leve a moderado (ITH= 72- 80) el 37 % al 54% del tiempo y en estrés moderado-severo (ITH= 80-89) el 63% y 46% en época lluviosa y seca respectivamente.

Se determinó que las condiciones ambientales (ITH) en la época lluviosa son más críticas que en la seca. La diferencia de ITH es de 2 unidades en promedio diario, aunque la temperatura ambiente promedio en época seca fue 0.4°C mayor, la humedad relativa en época lluviosa fue 15% mayor, lo cual es más determinante sobre el ITH, además hubo 16 horas en estrés moderado-severo en la época lluviosa y 12 en la seca.

Existe un efecto del estrés calórico sobre los parámetros fisiológicos conforme transcurre el día y aumenta el ITH en ambas épocas. La tasa respiratoria y temperatura rectal se incrementan desde las 9:00 horas y normalmente alcanzan el punto máximo para las 15:00 o 17:00 horas.

Las vacas presentan mayores signos de estrés calórico en la época lluviosa (ELlu) y la manifestación del estrés de calor es más evidente en la tasa respiratoria que en la temperatura rectal. La tasa respiratoria de las vacas es mayor, en época lluviosa que en época seca (ESec) de las 11:00 a las 17:00 horas en condiciones sin tratamiento; mientras que las diferencias en temperatura rectal entre épocas son menos claras y parecen estar afectadas por otras variables.

El sistema de enfriamiento, contribuyó a disminuir el impacto del ITH en los parámetros fisiológicos, ya que evito el incremento de estos de manera que tasa respiratoria fue (62 contra 44.64 rpm), temperatura rectal (39.31 contra 38.93 °C) y temperatura superficial (32.46 contra 31.83°C) sin tratamiento y con tratamiento respectivamente.

Las vacas primerizas tuvieron mayor afectación en las condiciones de estrés calórico en que se desarrolló el estudio. Lo cual se evidencia en mayor tasa respiratoria, temperatura rectal y temperatura superficial cuando se compararon con adultas expuestas a las mismas condiciones. Mientras que el tratamiento con ventilación y aspersion dio lugar a los parámetros fisiológicos similares entre estos grupos.

La ingesta de alimento obtuvo un incremento de 1.75 Kg/vaca/día equivalente a 9.89% con la aplicación de los ciclos de enfriamiento, mientras más alimento, mejor producción de leche.

La producción de leche con tratamiento fue de 16.92 kg/d, mientras que sin tratamiento fue de 15.63 Kg/d, confirmando que las vacas con mayor confort producen más leche (1.29 Kg/d) a pesar de los efectos negativos provocados por los parámetros ambientales en la época seca.

El ingreso económico incrementó en un 8.3% debido a que las vacas enfriadas produjeron 2412 Kg más que las vacas con estrés calórico, obteniendo un beneficio de USD 1193.06 con tratamiento y

USD 129.64 sin tratamiento, lo que nos indica que al aplicar el tratamiento se obtiene un ingreso adicional de USD 1063.42 sobre el que generan las vacas bajo estrés calórico, recuperando el 98.7% de la inversión (USD 7443.95) luego de 7 meses.

## 6. RECOMENDACIONES

Aplicar medidas de manejo prácticas para mitigar el estrés calórico de manera sinérgica junto al sistema de enfriamiento tales como el uso de sombras, acceso libre al agua, bebederos de acuerdo a la densidad de animales y dentro de la sala de espera, balanceo de nutrientes, horas de alimentación frescas y evitar aglomeración en la sala de ordeño.

Implementar el uso del sistema de enfriamiento a base de ventiladores y aspersion de agua como método de control para el estrés calórico, dependiendo de la zona del país y de la ganadería.

Proporcionar ciclos de tratamiento no menores a 45 minutos para poder provocar un estado de confort más prolongado en el bovino durante horas de la tarde e incluso en horas nocturnas, debido a que en estas horas no se encuentra funcionando el sistema y el animal luego de la ingestión de alimento durante todo el día, acumula la producción de calor endógeno durante el proceso de digestión.

La utilización de encastes proporciona mejor resistencia al estrés calórico.

Se podrían tomar en cuenta otros parámetros ambientales que influyen tales como: radiación solar, punto de rocío, pluviosidad, ondas de calor entre otros. Dentro de variables fisiológicas están: la ingesta de agua, temperatura de la leche, composición de la leche y temperatura del agua. Conjuntamente también se encuentran aspectos reproductivos como: niveles de hormonas, tasa de concepción y peso de cría al nacimiento.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

**Afriga. Sf.** Estrés térmico en explotaciones de Ganado vacuno: detección precoz y posible soluciones. N° 111 Pág. 80-85.

**Alexander, G. 1974.** Heat loss from sheep. Page 187 in Heat loss from animals and man. J. L. Monteith and L. E. Mount, ed., Butterworths, London.

**Álvarez A., S.F.** Fisiología de la termorregulación Temperatura superficial. p. 4 Consultado: 4 set.2015. Disponible en: <http://biblioteca.ihatuey.cu/link/libros/veterinaria/ft.pdf>

**Alzina-López, A.; Farfán-Escalante, J.C.; Valencia-Heredia, E.R.; Yokoyamakano, J. 2001.** Condición ambiental y su efecto en la temperatura rectal y frecuencia respiratoria en bovinos cruzados (Bos taurus x Bos indicus) del estado de Yucatán, México. Revista Biomédica 12, 112-121.

- Ames D. 1980.** Thermal environment affects production efficiency of livestock. *BioScience* 30, 457-460.
- Andersson, B. 1984.** Temperature regulation and environmental physiology. En: *Dukes' Physiology of Domestic Animals*. Cornell University Press, NY, USA Pág.720 - 727.
- Araúz, E. E. 2006.** El estrés calórico y sus efectos negativos sobre la fisiología, metabolismo. Reproducción y eficiencia de la producción en el ganado bovino de leche. Congreso científico agropecuario de la FCA, Departamento de Zootecnia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Panamá.
- Araúz, E. E.2008.** Modificaciones térmicas en los animales domésticos bajo estrés calórico micro ambiental. *Fisiología de la Adaptación y Producción Animal*. Departamento de Zootecnia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Panamá.
- Araúz, E. E. 2008.** Efecto de la sombra artificial sobre el comportamiento de la temperatura rectal, Frecuencia respiratoria y cardíaca en vacas cruzadas (6/8 Bos taurus x 2/8 Bos indicus) en lactación durante la época seca. *Revista científica de Investigación Agropecuaria*, Fac. De Ciencias Agropecuarias, Universidad de Panamá. Pág. 99 - 109
- Araúz, E. E., Fuentes A.; Méndez, N. 2010.**Alteración diurna de la carga calórica corporal e interrelación de las temperaturas rectal y láctea en vacas cruzadas (6/8 Bos Taurus x 2/8 Bos indicus), Pardo Suizo y Holstein bajo estrés calórico diurno durante la época seca en el clima tropical húmedo. *REDVET* Vol. 11. Consultado 8 sep 2015. Disponible: Rev. electrón. vet. <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet>.
- Aréchiga Flores CF, Hansen PJ. 2003.** Efectos climáticos adversos en la función reproductiva de los bovinos. *Veterinaria Zacatecas*. 2: 89-107.
- Arias R.A., Mader T.L., Escobar P.C. 2008.** Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado de carne y leche. *Revisión bibliográfica*. p. 8
- Arkin H, E Kimmel, A Berman, D Broday. 1991.** Heat transfer properties of dry and wet furs of dairy cows. *Trans Am Soc Agric Eng* 34, 2550-2558
- Armstrong D. 1994.** Symposium: nutrition and heat stress, Heat Stress Interaction with Shade and Cooling. Department of Animal Sciences, University of Arizona.
- Ayala, M., Sánchez I., Escalante A., Marroquín W. 2005.** Determinación del potencial solar y eólico en El Salvador. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos naturales (MARN), Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas" (UCA), Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET/MARN). 4-11 p 50

- Baile, C.A., Forbes, J.M. 1994.** Control of feed intake and regulation of energy balance in ruminants. *Physiol. Rev.* 54:160.}
- Bartaburu, D. 2001.** La vaca lechera en el verano: Sombra agua y manejo. *Revista del Plan Agropecuario* N° 94. Instituto Plan Agropecuario. Disponible en: <http://www.produccion-animal.com.ar>
- Bedolla C, C. Bedolla G, EA. García C, E. Domínguez RL. 2012.** Efectos del estrés calórico en la producción y reproducción del ganado lechero. Índice Temperatura-Humedad (ITH). (En línea) Diapositiva 16. Consultado 20 mar 2014. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos93/efectos-del-estres-calorico-produccion-y-reproduccion-del-ganado-lechero/efectos-del-estres-calorico-produccion-y-reproduccion-del-ganado-lechero.shtml>
- Beede, D.K. and R.J. Collier. 1986.** Potential nutritional strategies for intensively managed cattle during thermal stress. *J. Anim. Sci.* 62:543
- Berman, A., Folman, Y. Kaim, M., Mamen, M., Herz, Z. Wolfenson, D. Arieli, A., Graber, Y., 1985.** Upper critical temperatures and forced ventilation effects for high-yielding dairy cows in a subtropical climate.
- Berman, A., Folman, Y. Kaim, M., Mamen, M., Herz, Z. Wolfenson, D. Arieli, A., Graber, Y., Meltzer, A. 1973.** Critical temperatures in lactating dairy cattle: a new approach to an old problem. *International Journal of Biometeorology* 17: 167-176.
- Berman, A., Folman, Y. Kaim, M., Mamen, M., Herz, Z. Wolfenson, D. Arieli, A., Graber, Y., Meltzer. 2005.** Estimates of heat stress relief needs for holstein dairy cows. *J. Anim. Sci. Revista Electrónica de Veterinaria REDVET* ISSN 1695-7504 Disponible en: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet> Vol. 83. P. 1377-1384
- Berman, A., Folman, Y. Kaim, M., Mamen, M., Herz, Z. Wolfenson, D. Arieli, A., Graber, Y., Meltzer . 2006.** Extending the Potential of Evaporative Cooling for Heat-Stress Relief. *J. Dairy Sci.* 89:3817-3825.
- Berman, A., Folman, Y. Kaim, M., Mamen, M., Herz, Z. Wolfenson, D. Arieli, A., Graber, Y., Meltzer. 2008.** Increasing heat stress relief produced by coupled coat wetting and forced ventilation. *J Dairy Sci.* 91: 4571–4578.
- Betancourt, K., M. Ibrahim, C. Harvey, y B. Vargas. 2003.** Efecto de la cobertura arbórea sobre el comportamiento animal en fincas ganaderas de doble propósito en Matiguás, Matagalpa, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* 10(39-40):47-51.
- Bianca, W. 1965.** Reviews of the progress of dairy science. *Dairy Res.* 32:291–345.

- Bianca, W. 1968.** Thermoregulation. In: Hafez ES (ed). Adaptation of Domestic Animals. Lea & Febiger, Philadelphia, USA
- Bianca, W. 1972.** Termorregulación. In Adaptación de los animales de granja. Hafez, E. S. E., ed., México, Herrero. pp 135-162.
- Blanco, R. 2009.** Momento actual del estrés calórico. Docente de la Universidad Comunera. Disponible en: <http://www.Engormix.com/MA-ganaderia-leche/manejo/articulos/estres-en-vacas-t3385/124-p0.htm>
- Blackshaw J, AW Blackshaw. 1994.** Heat stress in cattle and the effect of shade on production and behaviour: a review. Aust J Exp Agric 34, 285-295.
- Black R., Amaral-Phillips D, Heersche G.; Bewley J. 2012.** Effect of Heat Stress on Reproduction. Cooperative Extensión Service, College of Agriculture, University of Kentucky. Consultado: 7 abr. 2014 Disponible en: <http://afsdairy.ca.uky.edu/index.php?q=extension/reproduction/performance/heatstresses/dealingwithheatstress>
- Blackshaw, J., Blackshaw, A. W., 1994.** Heat stress in cattle and the effect of shade on production and behaviour: a review. Aust J Exp Agric 34, 285-295.
- Block, E. 2011.** Ocho consejos para minimizar el estrés calórico. Hoard's Dairyman en español. Oct. 648, 649.
- Blowey, R. 1998.** The In Practice Handbooks. Bovine Practice 2. Ed. Melling, M y M. Alder, pp. 69-89, Saunders Company, England.
- Bodisco, V., Manrique, U., Valle, A., Cevallos, E., 1973.** Tolerancia al calor y humedad atmosférica de vacas Holstein, pardo suizas y Guernesey. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Maracay, Venezuela. Agronomía Tropical 23(3): 241-26
- Bond TE, Garrett, WN. Givens, RL. Morrisson, SR. 1970.** Comparative effects of mud, wind and rain on beef cattle performance. Paper No 70-406. Annual Meeting, American Society of Agricultural Engineers (ASAE).
- Bondi, A. 1988.** Nutrición Animal. Edit. Acribia, Zaragoza.
- Bonilla A. 1999.** El estrés en el Ganado. Revista Acovez, p.18-26.
- Bonsma, J. C. 1973.** Ecología de los animales domésticos. In: Ganadería de los trópicos. Ed. por Sosa, Walker y Salom 1ra. ed. Caracas, Venezuela. Vol. 1. p. 17-35.
- Bohmanova, J. 2006.** Studies on genetics of heat stress in US Holsteins. PhD Tesis. Georgia, USA.



- Bouraoui, R.; Lahamar, M.; Majduob, A; Djemali, M.; Belyea, R. 2002.** The relationship of temperature-humidity index with milk production of dairy cows in a Mediterranean climate. *Anim. Res.* 51 (2002) 479 -491.
- Brasesco, G. 2009.** Biometeorología del calor sobre la producción de leche de vacas Holstein en Uruguay. Tesis. Magister Ciencias Agrarias. Intercambio de calor entre los animales y su ambiente p 14.
- Bravera, G. A.; Beguet, H.A. 2003.** Clima y ambiente, elementos y factores. Humedad Atmosférica. Cursos de Producción Bovina de Carne. FAVUNRC. Consulta 2 sep. 2015. Disponible: [www.producción-animal.com.ar](http://www.producción-animal.com.ar)
- Bray, D.R., and R. Bucklin. 1996.** Recommendations for cooling systems for dairy cattle. Fact Sheet DS-29. University of Florida Cooperative Extension Service, Gainesville.
- Britto-Ferreira, L. 2010.** Respostas fisiológicas e comportamentais de bovinos submetidos a diferentes ofertas de sombra Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, BRA.
- Bryant, J. R. López-Villalobos, N. Pryce, J. E. Holmes C. W. Johnson D. L. 2007** Quantifying the effect of thermal environment on production traits in three breeds of dairy cattle in New Zealand, *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 50:3, 327-338, DOI:10.1080/00288230709510301
- Broucek J, Letkovicova M, Kovalcuj K 1991.** Estimation of cold stress effect on dairy cows. *International Journal of Biometeorology* 35: 29-32.
- Brouk M.J; Smith, J.F; Harner, J.P.s.f. Facility and Climate Effects on Dry Matter Intake of Dairy Cattle. S.f.** Department of Animal Sciences and Industry, Kansas State University
- Brosh A., Aharoni Y., Degen A.A., Wright D. and Young B. A. 1998.** Effects of solar radiation, dietary energy, and time of feeding on thermoregulatory responses and energy balance in cattle in a hot environment. *J. Anim. Sci.* 76: 2671-2677.
- Brown-Brandl TM, Eigenberg, RA Nienaber, JA Hahn. GL 2005.** Dynamic response indicators of heat stress in shaded and nonshaded feedlot cattle, Part 1: Analyses of indicators. *Biosystems Engineering* 90, 451-462.
- Bucklin, R. A., Turner, L. W. Beede, D. K. Bray, D. R. and Hemkem, R. W. 1991.** Methods to relieve heat stress for dairy cows in hot, humid climates. *Appl. Eng. Agric.* 7(2): 241-247.

- Bucklin, R. A., Turner, L. W. Beede, D. K. Bray, D. R. and Hemkem, R. W..1988.** Methods to relieve heat stress for Florida dairies. Florida Cooperative Extension Service Circular 782.
- Bucklin, R. A., Turner, L. W. Beede, D. K. Bray, D. R. and Hemkem, R. W. ; Collier R.J. 2011.**Feeding Strategies for High- Producing Dairy Cows During Periods of Elevated Heat and Humidity Tri-State Dairy Nutrition Conference.
- Burfeind, O., VS Suthar, R. Voigtsberger, S. Bonk, y W. Heuwieser. 2010.** Validez de cambios preparto en la temperatura vaginal y rectal para predecir el parto en las vacas lecheras. J. Dairy Sci. 94: 5.053 hasta 5061.
- Burgos Zimbelman, R., Rhoads R.P., Rhoads M.L., Duff G.C., Baumgard L.H., y 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. Proc. 24<sup>th</sup> Southwest Nutrition and Management Conference, Tempe, AZ, pp. 158-168.
- Carmona M.M. 1980.** Adaptación genético ambiental al trópico húmedo en Bos taurus, Bos Indicus y sus cruzas. Tesis M.C. Especialista en genética animal. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México
- CCA (Central Cooperativa Agropecuaria, SV). 1980.** Centroamérica. (En línea) Consultado 15 mar. 2014. Disponible <http://ccaelsalvador.com/Astoria.html>
- CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal) MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería); PROLECHE (Asociación de Productores de Leche de El Salvador). 2002.** Antecedentes y situación actual del sector ganadero y técnicas israelitas. Convenio de Cooperación Israelita. Nov. Disponible: <http://webquery.ujmd.edu.sv/>
- Cook NB, Mentink RL, Bennett TB, Burgi K. 2007.** The effect of heat stress and lameness on time budgets of lactating dairy cows. J Dairy Sci. 90: 1674–1682.
- Collier RJ. Eley, R. M.; Pereira, R. M. and Buffington, D. E. 1981.** Shade management in subtropical environment for milk yield and composition in Holstein and Jersey cows. J. Dairy Sci. 64: 844-849.
- Collier RJ. Eley, R. M.; Pereira, R. M. and Buffington, D. E.; Dahl GE, VanBaale MJ. 2006.** Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. J Dairy Sci 89, 1244-1253.

- Córdova, A; Lorena A; Castillo Juárez, H.2015.**Efecto de factores climáticos sobre la conducta bovina en los trópicos.Una revisión. Estrés térmico: 2. Consultado 8 sep.15. Disponible [core.ac.uk/download/pdf/25850825.pdf](http://core.ac.uk/download/pdf/25850825.pdf).
- Correa C, A. Avendaño R, L. Rubio V, A. Armstrong, DV. Smith JF. DeNise SK. 2002.** Efecto de un sistema de enfriamiento en la productividad de vacas lecheras bajo estrés calórico. Producción de leche (En línea). Agrociencia Vol. 36. nº 5. Pp. 531-539 Colegio de Postgraduados, México. Consultado 20 mar 2014. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30236504>
- Correa C, A. Avendaño R, L. Rubio V, A. Armstrong, DV. Smith JF. DeNise SK. 2013.** Manejo medioambiental para mejorar el confort del ganado lechero bajo condiciones de estrés calórico. Opciones de enfriamiento en las vacas. Universidad Autónoma de Baja California. 84 Diapositivas.
- Curtis, S. E. 1981.** Environmental heat stress and its effects on body growth rate. En: Environmental management in animal agriculture. Illinois, USA.
- Curtis, S. E. 1983.** Environmental Management in Animal Agriculture. Ames, IA. The Iowa State Univ. Press.Dairy Club. Consulta en línea: 27 oct. 2015. Disponible <http://dairyclub.co.nz/heat-stress/>
- Curtis, S. E. 2006.** Weather and climate and animal production. In: Update of the guide to agricultural meteorological practices. WMO-No.134 published in 1982.
- Da Silva R.G. 2000.** Introdução à Bioclimatologia Animal [Introduction to Animal Bioclimatology]. Nobel-FAPESP, São Paulo, 286pp.
- Davis, M. S.; Mader, T. L.; Holt, S. M.; Parkhurst, A. M. 2003.** Strategies to reduce feedlot cattle heat stress: Effects on tympanic temperature. J Anim Sci 81, 649661
- Díaz F, García A. 2013.** Las vacas frescas no bajan su ingestión de alimento. Hoard's Dairyman en español. Set.562, 563.
- Di Contanzo A., Spain J. A., Spiers. D. E. 1997.** Supplementation of Nicotinic Acid for Lactating Holstein Cows under Heat Stress Conditions, J. Dairy Sci. 80 (6): 1200 – 6.
- Dolah. M., A. Fradhulalah, H. Nordin and C. Ibrahim. 1990.** Alleviation of environmental heat stress for improvement of reproduction of exotic sheep in humid tropics. n: Proc. 1.5th AAAP Animal Science Congress, May 27-June 1, 1990, Taipei,Taiwan, Republic of China, Vol.3. AAAP Organization Committe Chunan, Miaoli, Taiwan. pp. 155.

- Dukes, H. H.; Swenson, M. 1985.** Thermoregulatory mechanisms in mammals. Physiology of Domestic Animals. Cornell University Press, NY, USA
- Echevarría L, Huanca W, Delgado A. 2002.** Identificación de las limitantes del comportamiento reproductivo y la eficiencia de la inseminación artificial en ganado lechero de la zona de Lima. Rev Inv Vet Perú. 13(2): 18-27
- Edwards JL, Bogart AN, Rispoli LA, Saxton AM, Schrick FN. 2009.** Developmental competence of bovine embryos from heat-stressed ova. J Dairy Sci. 92: 563–570.
- Engels, M, Urbina, C, Sloom, P, & Castillo, V. 1998.** El Salvador: estudio climático de datos meteorológicos mensuales para llegar a una zonificación agroclimática [El Salvador: Climate study monthly weather data to reach a agroclimatic zoning] (38 pp). San Andrés: MAG-CENTA-FAO.
- Ellis, W.C., Mattis J.H., Pond, K. R., Lascano, C.E., Telford, J.P. 1984.** Dietary influences on flow rate and digestive capacity. Nutrition in the subtropics. The science press, Graighill South Africa. Pp 269-293.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación), 2008.** Ayudando a desarrollar una ganadería sustentable en Latinoamérica y el caribe: lecciones a partir de casos exitosos. CL. Consulta en línea; 12 nov. 2015. Disponible: <http://www.fao.org/3/a-i0082s.pdf>.
- Flamenbaum, I.; D. Wolfenson; M. Mamen; and A. Berman 1986.** Cooling dairy cattle by a combination of sprinkling and forced ventilation and its implementation in the shelter system. Extension Service Ministry of Agriculture Rehovot and Department of Animal Sciences Faculty of Agriculture Hebrew University Rehovot, 76100 Israel.
- Flamenbaum, I. 2007.** ¿Qué es el “Índice de relación de rendimiento verano / invierno”? Un método para evaluar la eficiencia del uso de los medios para paliar el estrés calórico. Hoard’s Dairyman en español.: 619-621.
- Flamenbaum, I. 2008.** Manejo del estrés calórico del ganado lechero en entorno tropical y subtropical. En: X Congreso Panamericano para la Leche. Costa Rica: FEPALE.
- Flamenbaum, I. 2010.** Alta producción de leche en condiciones de estrés calórico. Mundo Ganadero Perú. 1: 44-50.
- Flamenbaum, I. 2011.** Enfriamiento y eficiencia en conversión de alimento en estrés calórico. Oct.640-641.

- Flamenbaum; s.f.** Alta producción de leche en condiciones de estrés calórico (En línea); Servicio de Extensión; Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural; Dpto. de Ganadería; Estado de Israel. Consultado 14 jun. 2014. Disponible en: [http://cowkool.com/es/\\_Uploads/dbsAttachedFiles/alta.pdf](http://cowkool.com/es/_Uploads/dbsAttachedFiles/alta.pdf).
- Flamenbaum. s.f.** El enfriamiento de vacas lecheras en el verano mejora la eficiencia de la producción, la rentabilidad del establo, el bienestar de las vacas y la conservación del medioambiente. Consulta en línea: 11/10/2015. Disponible en: [www. cool-cows.com](http://www.cool-cows.com)
- Fox, D.G. and T.P. Tylutki. 1998.** Accounting for the effects of environment on the nutrient requirements of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 81:3085-3095.
- Fraser, M. C., J. A. Bergeron, A. Mays A. y S. E. Aiello. 1993.** Algunos valores fisiológicos. En: Manual Merck de Veterinaria. Merck & Co., Inc. Rahway, NJ, USA, Pag. 1113
- García A. 2004.** Dealing with heat stress in dairy cows. Heat stress and the diet. (En línea) South Dakota State University, College of Agriculture & Biological Sciences. Dairy Science Extension Extra. Consultado 20 mar. 2014. Disponible en: <http://igrow.org/up/resources/02-2035-2012.pdf>
- Gaughan, J. B.; Mader, T. L.; Holt, S. M.; Josey, M. J.; Rowan, K. J. 1999.** Heat tolerance of Boran and Tuli crossbred steers. *J. Anim. Sci.* 77 (9): 2398-2405.
- Gaughan, J. B.; Hahn G. L. Eigenberg, R. Mader T. 2000.** Respiration Rate – Is It a Good Measure of Heat Stress in Cattle Eigenberg School of Animal Studies, The University of Queensland, Gatton, Qld. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 13:329–332
- Gaughan, J. B.; Lisle A. 2007.** A new heat load index for feedlot cattle. *J Anim Sci* 2007, [jas.2007-0305v1](http://jas.2007-0305v1).
- Gebremedhin, K. G.; Hillman, P. E., Lee, C. N., Collier, R. J., Willard, S. T. Arthington, J. D and Brown-Brandl. T. M. 2008.** Sweating rates of dairy cows and beef heifers in hot conditions. *Trans. ASABE* 51
- González P. JM. 2008.** El Estrés Calórico en los Bovinos. Efectos del estrés calórico en la producción. (En línea). *Zoociencia Revista Virtual de Zootecnia*. Disponible en: [http://produccionbovina.com/clima\\_y\\_ambientacion/30-stres\\_por\\_calor\\_vaca\\_lechera.pdf](http://produccionbovina.com/clima_y_ambientacion/30-stres_por_calor_vaca_lechera.pdf)
- Guyton, A.C. Hall, J.E. 1996.** "Tratado de Fisiología médica". 9ª Edición. Interamericana-McGraw-Hill. Madrid.

- Gwazdauskas, FC, Thatcher, WW; Wilcox, CJ. 1973.** Fisiológicos, ambientales y hormonales factores en la inseminación que puede afectar a la concepción. *J. Dairy Sci.* 56: 873-877.
- Hall, M. 2000.** Meet the challenges of heat stress feeding. *Howard's Dairyman.* May. 2000. pp 344.
- Hafez, E. S. Dyer, I. A 1972.** Composición del cuerpo animal. En: *Desarrollo y Nutrición Animal.* Editorial Acribia, Zaragoza, España. Pag. 21 – 29.
- Hafez, E. S. Dyer, I. A .1973.** Efecto del medio ambiente sobre la producción de leche. In: *Adaptación de los animales domésticos.* Editorial Labor
- Hafez, E. S. Dyer, I. A. 2000.** *Reproduction in farm animals.* Edición 6ª. Editorial Lea & Febiger pág. 321-322.
- Hahn GL, Nienaber, JA Eigenberg, RA 1993.** Environmental influences on the dynamics of thermoregulation and feeding behavior in cattle and swine. In: Collins E, Boom C (ed), *Livestock Environment IV. 4th Int Symp, University of Warwick, Coventry, England.* Pp 1106-1116.
- Hansen P.J. 1990.** Effects of Coat Cooler on Physiological Responses to Solar Radiation in Holstein, *Vet. Rec.* 127:333-334.
- Hansen P.J; Dahl G, 2012.** No se olvide de enfriar a las vacas secas y a los reemplazos. Jul.
- Hansen P.J; Dikmen S., Sakatani M y Dahl E. 2012.** Cooling Strategies During Heat Stress. American research based learning network.
- Hardesty, M. 2011.** Mis clientes Peter y Luke tenían problemas por el estrés calórico. *Hoard's Dairyman en español.* Jun. 358, 359.
- Hardesty, M. 2012.** ¿Tiene un plan de enfriamiento de verano? *Hoard's Dairyman en español.* Jul. 416, 417.
- Harris, D. L.; Shrode, R. R., Rupel, I. W. and Leighton, R. E. 1960.** A study of solar radiation as related to physiological and production responses of lactating Holstein and Jersey cows. *J. Dairy Sci.* 43: 1255-1262
- Harris B.; Van Horn, H. H. 1991.** Water and its importance to animals. *Dairy Production Guide.* Circular 1017. Florida Cooperative Extension Service.
- Harmer, J., M, Smith; Brouk y P. Murphy. 2000.** Reducing Heat Stress in Holding Pens *Howard's Dairyman.* May. pp. 66.

- Hoard's Dairyman en español.2012.** Observe el ambiente para reconocer el estrés calórico. Septiembre. Pág. 514
- Hoard's West. 2012.** De regreso al salón de clases: Estrés calóricos. NP
- INCAP (Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá) 2011.** Análisis de la situación alimentaria en El Salvador. Consulta en línea: 12 nov. 2015. Disponible: <http://www.mdgfund.org/> P. 17-18.
- Igono, M. O., Bjotvedt, G; Sanford-Crane, H. T. 1992.** Environmental profile and critical temperature effects on milk production of Holstein cows in desert climate. *Int. J. Biometeorol.* 36:77–87.
- Ingraham, R. H.; Johnson, H. D; Blecha, F; Kelley, K. W; Hahn, G.L. 1989.** Acclimatization, chronic and acute exposure and reactions. C. 3. Hot weather stress. In *Animal Health and Production at extremes of weather.* World Meteorological Organization (WMO) N° 685. Technical Note N° 191.
- Jarama, R.R. 2011.** Estrés de calor en bovinos lecheros en el Perú. Fuentes de calor corporal. Tesis. Médico Veterinario. Perú. Pp 7-44
- Jiménez LM. 2005.** Estrés por calor en vacas de leche. Dossier [Internet]. Disponible en: <http://62.174.80.130/articulos/n171/A17105.pdf>.
- Johnson, H. D.; Ragsdale, A. C.; Berry, I. L. and Shanklin, M. D. 1962.** Effect of various temperature humidity combinations on milk production of Holstein cattle. *Missouri Agric. Exp. Sta. Res. Bull.* 791.
- Johnson, H. D.; Ragsdale, A. C.; Berry, I. L. and Shanklin, M. D. 1963.** Temperature-humidity effects including influence of acclimation on feed and water consumption of Holstein cattle. *Univ. Missouri Agric. Exp. Stn. Res. Bull.* 846.
- Johnson, H. D.; Ragsdale, A. C.; Berry, I. L. and Shanklin, M. D.1965.** Environmental temperature and lactation (with special reference to cattle). *Int. J. Biometeorol.* 9 (2): 103-116.
- Johnson, H. D.; Ragsdale, A. C.; Berry, I. L. and Shanklin, M. D. 1986.** The effects of temperature and thermal balance on milk production. In: Moberg GP (ed). *Limiting the effects of stress on cattle.* Western Regional Research Publication #009 and Utah Agricultural Experimental Station Research Bulletin 512, Pp 33-45.
- Johnson, H. D.; Ragsdale, A. C.; Berry, I. L. and Shanklin, M. D.1987.** Bioclimates and livestock. In: Johnson HD (ed). *World Animal Science B5 Bioclimatology and the*

adaptation of Livestock, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, Netherlands, Pp 3-16.

**Jordan, E. R. 2003.** Effects of heat stress on reproduction. *J. Dairy Sci.* 86 (E. Suppl.):E104–E114.

**Kabunga, J. D. 1992.** The influence of thermal conditions on rectal temperature, respiration rate and pulse rate of lactating Holstein-Friesian cows in the humid tropics. *Int.J. Biometeorology.* 36:146-150.

**Kadzere, C. T.; Murphy, M. R.; Silanikove, N.; Maltz, E. 2002.** Heat stress in lactating dairy cows: A review *Livest. Prod. Sci.* 77:59-91

**Khalifa H.H. 2003.** Bioclimatology and adaptation of farm animals in a changing climate. Interactions between climate and animal production. (7):15-29. Procedure Symp, EAAP Technical series.

**Katschinski DM. 2004.** On heat and cells and proteins. *Physiology* 19: 11-15.

**Keister, Z. O., Moss, K. D. Zhang, H. M. Teegerstrom, T. Edling, R. A. Collier, R. J; Ax. R. L. 2002.** Physiological responses in thermal stressed Jersey cows subjected to different management strategies. *J. Dairy Sci.* 85:3217–3224.

**Kennedy, PM.1965.** Comparative adaptability of herbivores to tropical environments. Recent developments in the Nutrition of Herbivores. Porceedings of the Ivth International Symposium on the Nutrition Herbivores. París: INRA editions.

**Kertz, A.F. 2013.**El estrés calórico retrasa a las becerras. *Hoard´s Dairyman en español.*Jul. 434, 435.

**Kopcha, M. 2010.** Atendiendo a la vaca deshidratada. *Hoard´s Dairyman en español.* Feb. 94

**La Manna, A., Román L., Bravo, R., Aguilar, I. 2014.**Estrés Térmico en Vacas Lecheras. INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria) No. 728:9

**Lallemand Animal Nutrition. 2012.** Heat Stress in Dairy Cows: Implications and Nutritional Management. Consultado 20 mar. 2014. Disponible en: <http://www.thecattlesite.com/articles/1053/heat-stress-in-dairy-cows-implications-and-nutritional-management>

**Lallemand Animal Nutrition. 2012.** Heat stress: an underestimated issue for dairy cows. Consultado 06 de jun. 2015. Disponible en:



<http://lallemandanimalnutrition.com/blog/heat-stress-an-underestimated-issue-for-dairy-cows>.

- Lallemand Animal Nutrition. S.F.** Nuevos conocimientos sobre la evolución del estrés de calor y el impacto en las vacas lecheras, su gestión a través de soluciones microbianas. Resumen de señales fisiológicas de estrés por calor y la pérdida asociada de la producción de leche. Lallemand. P: 4 Disponible en: [http://mailing.lallemandanimalnutrition.com/120404/LALLEMAND\\_HeatStress\\_120404.pdf](http://mailing.lallemandanimalnutrition.com/120404/LALLEMAND_HeatStress_120404.pdf)
- Lough, D. S., D. K. Beede, and C. J. Wilcox. 1990.** Effects of feed intake and thermal stress on mammary blood flow and other physiological measurements in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 73:325–332.
- Lucy, M. C. 2002.** Reproductive loss in farm animals during heat stress. Pages 50–53 in Proc. 15th American Meteorological Society Biological Systems and Aero Meeting
- Lundquist R. 2013.** Some like it hot - but they're not cows. *Animal Health & Nutrition*. Cita Collier R.J., Smith J., Heat stress takes its toll on your herd in several ways. Consultado: 4 abril 2015. Disponible en: [http://www.agweb.com/blog/Animal\\_Health\\_\\_Nutrition\\_172/some\\_like\\_it\\_hot\\_but\\_the\\_y\\_not\\_cows/](http://www.agweb.com/blog/Animal_Health__Nutrition_172/some_like_it_hot_but_the_y_not_cows/)
- Mader TL; Dahlquist, JM; Hahn GL; Gaughan, JB. 1999.** Shade and wind barrier effects on summer-time feedlot cattle performance. *J Anim Sci* 77, 2065-2072
- Mader TL; Griffin, L., D. and Hahn, G. L. 2000.** Managing Feedlot Heat Stress. Univ. Nebraska Cooperative Extension Publ. G00- 1409-A. Univ. Nebraska, Lincoln, NE.
- Mader TL; Holt S.M., Hahn G.L., Davis M.S., Spiers D.E. 2002.** Feeding strategies for managing heat load in feedlot cattle. *J Anim Sci* 80, 2373-2382.
- Mader TL; 2003.** Environmental stress in confined beef cattle. *J Anim Sci* 81, E110-E119.
- Mader TL; Kreikemeier, WM 2006.** Growth promoting agents and season effects on blood metabolite and body temperatura. *Nebraska Beef Report MP88-A*, Pp 79-82.
- Mader TL; Brown-Brandl T.M. 2006.** Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *J Anim Sci* 84, 712-719.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 1963.** Almanaque salvadoreño, Centro de Meteorología e Hidrología.
- Mallonee, P. G., D. K. Beede, R. J. Collier, and C. J. Wilcox. 1985.** Production and physiological responses of dairy cows to varying dietary potassium during heat stress. *J.DairySci.*68:1479–1487.

- Managing Feedlot Heat Stress, 2000.** Nebraska Extension NebGuide Aug.G00- 1409- A.
- Martínez M, AL. 2006.** Efectos climáticos sobre la producción del vacuno lechero: estrés por calor. (En línea). Revista Electrónica de Veterinaria REDVET ®. Vol. VII, nº 10. Consultado 20 mar. 2014. Disponible en: [http://produccionbovina.com/clima\\_y\\_ambientacion/30-stres\\_por\\_calor\\_vaca\\_lechera.pdf](http://produccionbovina.com/clima_y_ambientacion/30-stres_por_calor_vaca_lechera.pdf)
- Martínez A. 2013.** ¿Usted tampoco cree en el estrés calórico? Hoard's Dairyman en español Set. 523.
- McDowell, R.E; Douglas H.K. LEE, Fohrman, M.H. 1953.** The Relationship of Surface Area to Heat Tolerance in Jerseys and Sindhi-Jersey (F1) Crossbred Cows. J. Anim Sci. 12: 747-756.
- McDowell, R.E; Moody, E.G. Van Soest, P.J. Lehman R.P ; Ford. G.L. 1969.** Effect of heat stress on energy and water utilization of lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 52:188.
- McDowell, R.E; Hooven, N. W.; Camoens, J. K. 1976.** Effect of climate on performance of Holstein in first lactation. J. Dairy Sci. 59 (5): 965-973
- McDowell, R.E.1981.** Effect of the Environment on Nutrient Requirements of Domestic Animals. WA, USA.
- McGovern RE, Bruce, JM. 2000.** A model of the thermal balance for cattle in hot conditions. J Agric Engng Res 11,81-92
- McGuire, M. A., Beede, D. K. DeLorenzo, M. A. Wilcox, C. J. Huntington, G. B. Reynolds C. K. Collier, R. J. 1989.** Effects of thermal stress and level of feed intake on portal plasma flow and net fluxes of metabolites in lactating Holstein cows. J. Anim. Sci. 67:1050–1060.
- Meat and Livestock Australia. 2002.** Understanding excessive heat load in feedlot cattle. On farm tips & tools. Feedlot FL11, AU.
- Meat and Livestock Australia. 2005.** Wetting cattle to alleviate heat stress on ships. Tips & Tools. Animal Health and Welfare. AU.
- Moody, E. G., P. J. Van Soest, R. E. McDowell, and G. L. Ford. 1971.** Effect of high temperature and dietary fat on milk fatty acids. J. Dairy Sci. 54:1457–1460

- Morais, DAEF, Maia, ASC, Silva, RG, Vasconcelos, AM, Lima, PO, Guilhermino, MM, 2008.** Variação anual de hormônios tireoideanos e características termorreguladoras de vacas leiteiras em ambiente quente. *Rev. Bras. Zoot.* 3: 3.
- Mosby 2004,** Diccionario de Medicina Océano. Editorial Oceano Mosby, versión en español traducida y adaptada de la 4ta edición de la obra original en inglés Mosby's Medical, Nursing and Allied Health Dictionary, Barcelona, España)
- Muller, C. J. C.; Botha, J. A.; Smith, W. A. 1994.** Effect of shade on various parameters of Friesian cows in a Mediterranean climate in South Africa. 1. Feed intake, milk production and milk composition. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 24 (2): 49-55.
- Mundia, C. M. and S. Yamamoto. 1997.** Day-night variation of thermoregulatory responses of heifers exposed to high environmental temperatures. *J. Agric. Sci., Camb.* 129:199-204.
- Nardone, A., B. Ronchi, N. Lacetera, M.S. Ranieri, and U. Bernabucci. 2010.** Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livest. Sci.* 130:57-69
- Nay, T. 1959.** Sweat glands in cattle: histology, morphology, evolutionary trends. *Aust. J. Agric. Res.* 10 (1): 121-131
- Nienaber, J. A.; Hahn, G. L.; Brown-Brandl, T. M. and Eingenberg, R. A. 2003.** Heat stress climatic conditions and the physiological responses of cattle. In *International Dairy Housing Proceeding of the Conference ( 5th., Fort Worth, Tx), Janni, K. (ed).* ASAE Publication Number 701P0203 pp 255-262.
- NRC (National Research Council). 1981.** Effect of environment on nutrient requirement of domestic animals. National Academy Press. Washington DC, USA.
- NRC (National Research Council). 1987.** Predicting Feed Intake of Food Producing Animals. Natl. Acad. Press., Natl. Res. Council., Washington, DC.
- NRC (National Research Council); 1989, 2002.** Nutrient Requirements of Dairy Cattle, Academic of Sciences, Washington, USA.
- NRC (National Research Council) .2001.** Effect of environment on nutrient requirement of domestic animals. National Academy Press. Washington DC, USA
- O' berto, M.F; Reitú, M.A; Pirra, M.A. 2006.** Estrés calórico: ¿Qué podemos hacer? ¿Dietas frías, manejo del ambiente? Consultado 14 ago. 2015. Disponible: [www.produccion-animal.com.ar](http://www.produccion-animal.com.ar)
- O' Brien, M.D., Rhoads, R.P. Sanders, S.R. Duff, G.C. Baumgard, L.H. 2009.** Metabolic adaptations to heat stress in growing cattle.

- Ondarza, M. 2012** ¿Qué es más importante? ¿La nutrición o el confort de las vacas? Hoard's Dairyman en español. Abr. 250, 251.
- Overton MW, Sischo, WM., Moore, DA. 2002.** Comparison of commonly used indices to evaluate dairy cattleling behavior. J Dairy Sci 85, 2407-2413
- Padilla, L. Matsui, T. Kamiya, Y. Kamiya, M, Tanaka, M. Yano, H.2005.** Heat stress decreases plasma vitamin C concentration in lactating cows.
- Parker, DS. 1984.** Limitantes metabolicos para la producción de leche en los trópicos. Prod. Anim. Trop. 9:263-269.
- Pennington, JA, Van Devender, K, 2004.** Heat stress in dairy cattle. UACES Publications.
- Pires, MFA, Campos, AT, 2004.** Modificações ambientais para reduzir o estresse calórico em gado de leite, EMBRAPA, ComunicadoTécnico 42:1-6.
- Poiquiloterma** (en línea), consulta realizada el 15 de octubre 2015. Disponible en:  
<http://es.thefreedictionary.com/poiquiloterma>
- Polipnea térmica** (en línea), consulta realizada el 15 de octubre 2015. Disponible en:  
[http://www.oocities.org/mx/vidianne\\_mx/fisiotermorregulacion.pdf](http://www.oocities.org/mx/vidianne_mx/fisiotermorregulacion.pdf)
- Preston, T.R; Leng, R.A. 1989.** Ajustando los sistemas de producción pecuaria a los recursos disponibles: Aspectos básicos y aplicados del nuevo enfoque sobre la nutrición de rumiantes en el trópico. CONDRIIT, Cali. 312p.
- Pritchard, D. 2009.** Ayude a las vacas a vencer el calor. Hoard's Dairyman en español. Set.569
- Pulido E. 2011.** Efecto del enfriamiento por aspersion y ventilación en la producción de leche en ganado Holstein. (En línea). Michoacán, MX. Consultado: 3 jun.2014. Disponible: [www.vetzoo.umich.mx](http://www.vetzoo.umich.mx)
- Pusta D. 2003.** The Determination of the Cutaneous Temperature in Cows with Infrared Thermometer Comparing with a Thermocouple Thermometer, Bull. USAMV, vol. 60, p. 135-137.
- Pusta D; Sobolu R., Paşca J. 2012.** Determination of the Cutaneous Temperature by Infrared Thermometry in Holstein Cows. UASMV. vol. 69. P. 169

- Ravagnolo, O., and I. Misztal. 2000.** Genetic component of heat stress in dairy cattle, parameter estimation. *J. Dairy Sci.* 83:2126–2130.
- Ravagnolo, O; Hoogenboom, G. 2000.** Genetic Component of Heat Stress in Dairy Cattle, Development of Heat Index Function. *Journal of Dairy Science* Vol. 83, No. 9.
- Ray, D.E. 1991.** Heat stress in feedlot cattle. Southwestern nutrition and management conference. Tempe Arizona.
- Renaudeau, D., 2005.** Effects of short-term exposure to high ambient temperature and relative humidity on thermoregulatory responses of European (Large White) and Caribbean (Creole) restrictively-fed growing pigs. *Anim Res* 54, 81- 93.
- Richards S.A. 1973.** Temperature regulation. Wykeham Publications, London, Great Britain, Pp 212.
- Richardson, C. W.; Johnson, H. D.; Gehrke, C. W. and Goerlitz, D. F. 1961.** Effect of environmental temperature and humidity on the fatty acid composition of milk fat. *J. Dairy Sci.* 44: 1937-1940.
- Roca, AJ. 2011.** Efecto del estrés calórico en el bienestar animal, una revisión en tiempo de cambio climático. Efecto en la producción. *EC.* Vol. 2. p.21
- Roche, J.2010.** Alimentación bovina. Disponible [www.alimentacionbovina.com](http://www.alimentacionbovina.com)
- Rhod, A.O. 1944.** La prueba Iberia de tolerancia al calor para ganado. *Tropical Agriculture,* 21:162-64.
- Rhoads ML, Rhoads RP, Van Baale MJ, Collier RJ, Sanders SR, Weber WJ, Crooker BA, Baumgard LH. 2009.** Effects of heat stress and plane of nutrition on lactating Holstein cows: I. Production, metabolism, and aspects of circulating somatotropin. *J Dairy Sci.* 92: 1986–1997.
- Ruegg, PL. 2001.** Milk secretion and quality standards. Wisconsin University. [Internet], [12 junio 2006]. Disponible en: <http://www.uwex.edu/milkquality/PDF/milksecretionandqualitystandards.pdf>.
- Salvador, A. S.F.** Efecto del estrés calórico en vacas lecheras. Efectos del estrés calórico.
- Salvador, A. 2010.** Documento técnico efecto del estrés calórico en vacas lecheras en (línea). Disponible en: <http://www.dpa.com.ve/documentos/cd1/page12.html>. Consultado el 9 de sep. del 2010.
- Sartori R, Sartor-Bergfelt R, Mertens SA, Guenther JN, Parrish JJ, Wiltbank MC. 2002.** Fertilization and early embryonic development in heifers and lactating cows in summer and lactating and dry cows in winter. *J Dairy Sci.* 85: 2803-2812

- Saravia, C. 2009.** Efecto del estrés calórico sobre las respuestas fisiológicas y productivas de vacas Holando y Jersey. Tesis. Ing. Agr. Uruguay. 15: 134.
- Schultz TA. 1984.** Weather and Shade Effects on Cow Corral Activities. *J Dairy Sci* 67, 868-873.
- Scott, I. M., Johnson, H. D. and G. L. Hahn. 1983.** Effect of programmed diurnal temperature cycles on plasma thyroxine level, body temperature, and feed intake of Holstein dairy cows. *Int. J. Biometeorology.* 27:47-62.
- Schütz, K. E., A. R. Rogers, Y. A. Poulouin, N. R. Cox, and C. B. Tucker. 2010.** The amount of shade influences the behavior and physiology of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 93:125–133.
- Seath, D.M; Miller, G.D 1946.** Effect of warm weather on grazing performance of milking cows. *J.Dairy Sci.* 29: 199-206.
- Seath, D.M. 1947.** Effect of shade and sprinkling with water on summer comfort of Jersey cows. *J. Dairy Sci.* 30:255
- Seguin J., Terry K. 1999.** Neonatal Infrared Axillary Thermometry, *Clin. Ped.,* 38 (1): 35-40.
- Shearer, J.K; Beed, D.K. 1990.** Thermoregulation and physiological of dairy cattle in hot weather. Heat stress, Part 1. *Agri- Practice.* Vol. 11-4.
- Shearer, J.K; Bray D.R. y Bucklin R.A. 1994.** The management of heat stress in dairy cattle: what we have learned in Florida. Department of Large Animal Clinical Sciences. College of Veterinary Medicine University of Florida, Gainesville, FL.
- Shibasaki M., Kondo N., Tominaga H., Aoki K., Hasegawa E., Idota Y., Moriwaki T. 1998.** Continuous Measurement of Tympanic Temperature with a New Infrared Method Using an Optical Fiber, *J. Appl. Physiol.,* 85 (3): 921-926.
- Silanikove, N. 2000.** Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livest Prod Sci* 67, 1-18
- Siqueiros M. A. 2013.** Asociación del gen de la proteína plasmática ligada a la preñez A2 (PAPP-A2) con la producción de leche y fertilidad del ganado Holstein manejado bajo un clima cálido. Tesis. Médica Veterinaria y Zootecnista. MX. Instituto tecnológico de Sonora. Ciencias agronómicas y veterinarias. Mecanismos de pérdidas de calor en la vaca lechera p 15
- Smith, W. A., B. Harris, Jr., H. H. Van Horn, and C. J. Wilcox. 1993.** Effect of forage type on production of dairy cows supplemented with whole cottonseed, tallow, and yeast. *J. Dairy Sci.* 76:205.

- Solano, G. 2010.** Programa de transferencia tecnologica coopertaiva de productores de leche dos pinos. R.L. CR. Disponible en: [www. Ergonomix.com](http://www.Ergonomix.com)
- Souza de Abreu, M.H. 2002.** Contribution of trees to the control of heat stress in dairy cows and the financial viability of livestock farms in humid tropics. PhD. Thesis, CATIE, Turrialba, CRC.
- SMSU (Southeast Missouri State University trad. Universidad Estatal del Noreste de Missouri). 2013.** Las vacas se paran cuando tienen calor 2013. Hoard's Dairyman en español.
- Staples, C.R. 2007.** Nutrient and feeding strategies to enable cows to cope with heat stress conditions. 22nd Annual Southwest Nutrition & Management Conference, 95-96.
- St. Pierre NR, Cobanov B, Schmitkey G. 2003.** Economic losses from heat stress by US livestock industries. J Dairy Sci. 86: (E. Suppl.): E52-E77.
- Stott GH. 1981.** What is animal stress and how is it measured? J Anim Sci 52, 150-153.
- Superintendencia General de electricidad y telecomunicaciones. 2015** Mediana demanda. Media tensión con medición de potencia. Abr. Consulta en línea: 30 may 2015. Disponible en: [http://www.siget.gob.sv/attachments/2375\\_Pliego\\_tarifario\\_a\\_partir\\_del\\_15\\_de\\_abril\\_de\\_2015.pdf](http://www.siget.gob.sv/attachments/2375_Pliego_tarifario_a_partir_del_15_de_abril_de_2015.pdf)
- Tao 2012.** Efecto del estrés calórico durante el periodo seco sobre el desarrollo de la glándula mamaria. Hoard's Dairyman en español.22P
- Thomas, C.K y Pearson, R.A. 1986.** Effects of ambient temperature and head cooling on energy expenditure, food intake and heat tolerance of Brahman and Brahman x Friesian cattle working on treadmills. Anim. Prod. 43: 83-90.
- Thom EC. 1959.** The discomfort index. Weatherwise 12, 57-59.
- Turner, L. W., J. P. Chastain, R. W. Hemken, R. S. Gates, and W. L. Crist. 1992.** Reducing heat stress in dairy cows through sprinkler and fan cooling. Trans. Am. Soc.Agric. Eng. 8(2): 251-256
- UNNE (Universidad Nacional del Nordeste, AR). 2011.** Introducción a la producción animal. 17;18 p. Consultado 30 sep. 2015. Disponible en: <https://ipafcv.files.wordpress.com/2011/06/spa-unidad-2-tema-1-adaptacic3b3n-al-ambiente-y-estrc3a9s.pdf>

- UA (Universidad de Arizona) Escala de estrés calórico. 2011.** El Estrés por Calor: un problema subestimado en las vacas lecheras. Consultado: 8 mayo 2014 Disponible en: <http://www.agrodigital.com/Documentos/lallemandjn12.pdf>
- Verbeck, R., Smith, J.F. y Armstrong, D.V. 1994.** Heat stress in dairy cattle. Management of dairy cattle in hot weather. I-1.
- Villagómez A.M., Castillo RH., Villa-Gody A., Román P.H. y Vázquez P.C. 2000.** Influencia estacional sobre el ciclo estral y el estro en hembras cebú mantenidas en clima tropical. Tec pecu Méx. 38(2): 89-103.
- Warnick, A.C. 1960.** Coments on climatology studies in dairy cattle. Maracay. Fac. Agro. U.C.V. Instituto de Producción Animal. Informe Mecanografiado. 3 p.
- West, J. 1981.** Effect of Environment on Nutrient Requirements of Domestic Animals. National Research Council. National Academy Press, Washington, D.C. USA.
- West, J; 2003.** Effects of Heat-Stress on Production in Dairy Cattle. J. Dairy Sci. 2003; 86:2131–2144
- West, J; Mullinix, B. G. and Bernard, J. K. 2003.** Effects of hot, humid weather on milk temperature, dry matter intake, and milk yield of lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 86:232–242.
- Wheelock, J. B., Rhoads, R. P., VanBaale, M. J. Sanders, S. R. and Baumgard, L. H. 2010.** Effects of heat stress on energetic metabolism in lactating Holstein cows. J. Dairy Sci. 93:644–655.
- Young, BA. 1975.** Some Physiological Costs of Climates. Missiori Agr. Exp. Stn.Spec. P. 75.
- Young, BA. 1985.** Physiological responses and adaptations of cattle. In: Yousef MK (ed). Stress physiology in livestock Volume II Ungulates. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- Yousef, M. K. 1985.** Stress Physiology in Livestock. Volumen II, CRC Press, Florida, USA.Pp 3-8
- Zähner M., L. Schrader, R. Hauser, M. Keck, W. Langhans and B. Wechsler. 2004.** The influence of climatic conditions on physiological and behavioural parameters in dairy cows kept in open stables. Animal Science. 78: 139-147



## 8. ANEXOS

### CUADROS

Cuadro A- 1. Métodos de intercambio de calor entre el ganado y el ambiente

Métodos de intercambio de calor entre el ganado y el ambiente			
<b>Método de pérdida de calor natural</b>	<b>Naturaleza del intercambio de calor</b>	<b>Factores ambientales que determinan la tasa de intercambio de calor</b>	<b>Las modificaciones de instalaciones para aumentar la pérdida de calor de la vaca</b>
<b>Conducción</b>	El calor transferido de una sustancia caliente a una sustancia fría y sin las sustancias en movimiento	Temperatura de bulbo seco, temperatura de la superficie del material utilizado; conductividad de materiales de intercambio de calor	Aire acondicionado, incluyendo por evaporación de agua en el aire; enfriamiento del material de la cama
<b>Convección</b>	El calor transferido de una sustancia caliente a una sustancia fría cuando las sustancias se están moviendo más allá	Temperatura de bulbo seco, la velocidad del viento; conductividad de materiales de intercambio de calor	Aire acondicionado
<b>Radiación</b>	La radiación electromagnética absorbida en la superficie de un objeto	Temperatura de la superficie, la sombra, la nubosidad del cielo nocturno	Sombra y el acceso al aire libre
<b>Evaporación</b>	El calor necesario para convertir el agua líquida a agua gaseosa	Humedad del aire, velocidad del viento, precipitación	Pulverizadores, rociadores, y estanques de enfriamiento

Fuente: Hansen *et al.* 2012.

Cuadro A- 2. Índice de Temperatura y Humedad a diferentes temperaturas y humedad del aire

Temperature		% Relative Humidity																		
°F	°C	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
72	22.0	64	65	65	65	66	66	67	67	67	68	68	69	69	69	70	70	70	71	71
73	23.0	65	65	66	66	66	67	67	68	68	68	69	69	70	70	71	71	71	72	72
74	23.5	65	66	66	67	67	67	68	68	69	69	70	70	70	71	71	72	72	73	73
75	24.0	66	66	67	67	68	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74
76	24.5	66	67	67	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75
77	25.0	67	67	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76
78	25.5	67	68	68	69	69	70	70	71	71	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77
79	26.0	67	68	69	69	70	70	71	71	72	73	73	74	74	75	76	76	77	77	78
80	26.5	68	69	69	70	70	71	72	72	73	73	74	75	75	76	76	77	78	78	79
81	27.0	68	69	70	70	71	72	72	73	73	74	75	75	76	77	77	78	78	79	80
82	28.0	69	69	70	71	71	72	73	73	74	75	75	76	77	77	78	79	79	80	81
83	28.5	69	70	71	71	72	73	73	74	75	75	76	77	78	78	79	80	80	81	82
84	29.0	70	70	71	72	73	73	74	75	75	76	77	78	78	79	80	80	81	82	83
85	29.5	70	71	72	72	73	74	75	75	76	77	78	78	79	80	81	81	82	83	84
86	30.0	71	71	72	73	74	74	75	76	77	78	78	79	80	81	81	82	83	84	84
87	30.5	71	72	73	73	74	75	76	77	77	78	79	80	81	81	82	83	84	85	85
88	31.0	72	72	73	74	75	76	76	77	78	79	80	81	81	82	83	84	85	86	86
89	31.5	72	73	74	75	75	76	77	78	79	80	80	81	82	83	84	85	86	86	87
90	32.0	72	73	74	75	76	77	78	79	79	80	81	82	83	84	85	86	86	87	88
91	33.0	73	74	75	76	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	86	87	88	89
92	33.5	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	85	86	87	88	89	90
93	34.0	74	75	76	77	78	79	80	80	81	82	83	85	85	86	87	88	89	90	91
94	34.5	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	86	86	87	88	89	90	91	92
95	35.0	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93
96	35.5	75	76	77	78	79	80	81	82	83	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94
97	36.0	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	91	92	93	94	95
98	36.5	76	77	78	80	80	82	83	83	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
99	37.0	76	78	79	80	81	82	83	84	85	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
100	38.0	77	78	79	81	82	83	84	85	86	87	88	90	91	92	93	94	95	96	98
101	38.5	77	79	80	81	82	83	84	86	87	88	89	90	92	93	94	95	96	98	99
102	39.0	78	79	80	82	83	84	85	86	87	89	90	91	92	94	95	96	97	98	100
103	39.5	78	79	81	82	83	84	86	87	88	89	91	92	93	94	96	97	98	99	101
104	40.0	79	80	81	83	84	85	86	88	89	90	91	93	94	95	96	98	99	100	101
105	40.5	80	80	82	83	84	86	87	88	89	91	92	93	95	96	97	99	100	101	102
106	41.0	80	81	82	84	85	87	88	89	90	91	93	94	95	97	98	99	101	102	103
107	41.5	80	81	83	84	85	87	88	89	91	92	94	95	96	98	99	100	102	103	104

Escala de estrés calórico revisada por la Universidad de Arizona (2011): para cada pareja de datos de temperatura y humedad corresponde un nivel de estrés calórico para vacas lecheras. Leyenda: amarillo: límite de estrés; anaranjado: estrés leve a moderado; rojo: estrés moderado a severo y morado: estrés severo (Lallemand 2012)

Cuadro A- 3. Valores climáticos de La Paz

Mes/ Parámetro	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Prom.
Precipitación Promedio	2	0	13	31	151	333	213	324	346	244	53	10	1720
Temperatura Promedio	26	25.7	26.9	27.8	27.4	26.5	27	26.6	25.9	26	26.3	25.8	26.5
Humedad Relativa Promedio	69	67	71	72	77	81	78	80	83	82	74	70	76

Fuente: Almanaque salvadoreño, 1993. Centro de Meteorología e Hidrología, MAG. El Salvador.

Cuadro A- 4. Clasificación de la severidad del estrés calórico en la frecuencia respiratoria en ganado lechero

Frecuencia Respiratoria	Categoría de la severidad del estrés
40 a 60 rpm	Bajo
60 a 80 rpm	Medio alto
80 a 120 rpm	Alto
>150 rpm	Muy severo

Fuente: Thomas y Pearson 1986

Cuadro A- 5. Correlación entre indicadores fisiológicos (frecuencia respiratoria y temperatura rectal) y niveles de estrés térmico

Frecuencia Respiratoria (movimiento/minuto)	Temperatura Rectal (°C)	Niveles de estrés
23	38.3	No hay estrés
45 a 65	38.4 a 38.6	Estrés bajo control; el apetito, la reproducción y la producción son normales
70 a 75	39.1	Principio de estrés por calor, disminuye el apetito pero la reproducción y producción se mantienen estables
90	40.1	Estrés agudo, el apetito y la producción disminuyen y los signos de celo casi desaparecen
100 a 120	40.9	Estrés severo pérdidas de producción importantes, disminución de la ingesta en un 50% y la fertilidad puede bajar hasta un 12%
> 120	41.0	Estrés mortal; las vacas muestran la lengua y gran salivación; no pueden alimentarse por sí mismas

Fuente: Pires y Campos 2004

Cuadro A- 6. Clasificación de estrés calórico en ganado de engorde

Frecuencia respiratoria	Categoría de estrés calórico
20 a 60 rpm	Termo neutralidad
80 a 120 rpm	Moderado estrés
>120 rpm	Excesiva carga calórica

Fuente: Gaughan *et al.* 1999

Cuadro A- 7. Descripción del puntaje de la escala de jadeo mediante la observación en el animal

GRADO	JADEO
0	Ausente
1	Jadeo leve, boca cerrada, sin babeo ni espuma
2	Jadeo acelerado, babeo o espuma presente en la boca
2.5	Igual al anterior, pero con la abierta
3	Boca abierta, babeo, nuca extendida, cabeza hacia arriba
3.5	Boca abierta, babeo, nuca extendida, cabeza hacia arriba, pero con la lengua hacia fuera
4	Boca abierta, lengua hacia afuera, babeo, nuca extendida, cabeza hacia arriba
4.5	Boca abierta, lengua hacia afuera, babeo, nuca extendida, cabeza hacia abajo

Fuente: Meat and Livestock Australia 2005

Cuadro A- 8. Descripción del puntaje de la tasa respiratoria como respuesta al estrés calórico como herramienta visual para su evaluación

Puntaje	Descripción
0	Respiración normal, 60 o menos exhalaciones por minuto (epm)
1	Respiración ligeramente elevada 60-90 epm.
2	Jadeo moderado o presencia de pequeña cantidad de saliva 90-120 epm.
3	Jadeo grave con la boca abierta, saliva usualmente presente, 120-150 epm
4	Jadeo severo con la boca abierta acompañado por proyección de la lengua y excesiva salivación, usualmente la cabeza y cuello se encuentran extendidos.

Fuente: Mader *et al.* 2002; Mader *et al.* 2006.

Cuadro A- 9. Frecuencia de baño de las vacas contra el estrés calórico

TA	Frecuencia del rociado
25-30 °C	12 min/ 1 funcionando+11 apagado
>30 °C	8 min/ 1 funcionando+7 apagado

Fuente: Díaz *et al.* 2013.

Cuadro A- 10. Tiempo de baño de las vacas contra el estrés calórico

Tiempo del baño	TA
1 min	15-21°C
1 min de 10 min	27 °C
1 min de 5 min	32°C

Fuente: Hardesty 2012.

Cuadro A- 11. Consumo de Materia Seca (CMS) en diferentes temperaturas ambientes

Temperatura °F (°C)	Cantidades ingeridas esperadas y producción láctea		
	CMS (Lb)	Producción (Lb)	Agua ingerida (Gal)
68 (20°C)	40.1	59.5	18.0
77 (25°C)	39.0	55.1	19.5
86 (30°C)	37.3	50.7	20.9
95 (35°C)	36.8	39.7	31.7
104 (40°C)	22.5	26.5	28.0

Fuente: National Research Council (NRC) 1981.

Cuadro A- 12. Consumo de Materia Seca durante la mitad y final de la lactación

Producción de leche Diaria	Peso Corporal					
	Vaca 450 Kg		Vaca 550 Kg		Vaca 650 Kg	
Kg	%	CMS	%	CMS	%	CMS
10	2.6	11.7	2.3	12.7	2.1	13.7
20	3.4	15.3	3	16.5	2.8	18.2
30	4.2	18.9	3.7	20.4	3.4	22.1
40	5	22.5	4.3	23.7	3.8	24.7
50	5.6	25.2	5	27.5	4.4	28.6

Fuente: Wheel 1996.

Cuadro A- 13. Consumo de agua para diferentes categorías y niveles de producción bajo diferentes temperaturas ambientes

Categoría	Consumo MS/ Kg	10°C	20°C	32°C
		L	L	L
Tenera 90Kg	3	10	11	15
Vaca 270 Kg	8	26	37	45
Vaca Seca 600 Kg	13	45	58	70
Vaca producción 18 L/día	16	66	79	92
Vaca Producción 30 L/día	20	89	100	115

Fuente: Harris y Van Horn 1991.

Cuadro A- 14. Efectos de los cambios ocasionados por el estrés por calor sobre la producción

Reducción del consumo de materia seca	Menor disponibilidad general de nutrientes
Jadeo.	Aumento del gasto energético de mantenimiento. Alcalosis respiratoria y acidosis metabólica compensatoria.
Sudoración y polirrea.	Perdida de minerales.
Vasodilatación periférica y cambios.	Menor flujo de sangre a vísceras.
Cambios hormonales.	Menor productividad.

Fuente: Martinez 2006.

Cuadro A- 15. Resumen de parámetros ambientales

Escala	ITH ARIZONA (2003)	
Categoría	Lev - Mod	Mod - Sev
Rango	74 - 80	80 - 90

1er T	TA °C		HR %		Vv m/s		ITH		
	ELlu	ESec	ELlu	ESec	ELlu	ESec	ELlu	ESec	DIF hr
0:00	27,2	26,7	85,7	74,1	0,1	0,2	79,4	77,1	0,0
1:00	26,7	25,7	84,0	74,2	0,1	0,0	78,4	75,6	-1,4
2:00	26,5	25,5	84,4	78,7	0,1	0,0	78,1	75,8	0,2
3:00	26,2	25,6	84,8	79,5	0,0	0,0	77,7	76,0	0,2
4:00	25,8	25,5	86,0	77,3	0,1	0,0	77,1	75,6	-0,4
5:00	25,8	25,6	86,1	77,3	0,1	0,0	77,2	75,8	0,1
6:00	25,3	25,7	85,0	75,6	0,2	0,0	76,2	75,8	0,0
7:00	26,9	28,9	84,7	60,9	0,3	0,0	78,7	78,7	2,9
X	26,3	26,2	85,1	74,7	0,1	0,0	77,8	76,3	-

2° T	TA °C		HR %		V m/s		ITH		
	ELlu	ESec	ELlu	ESec	ELlu	ESec	ELlu	ESec	DIF hr
8:00	29,1	30,8	79,2	54,0	0,6	0,0	81,5	80,2	1,5
9:00	31,1	32,8	70,9	49,4	0,4	0,0	83,4	82,1	1,9
10:00	32,6	33,9	64,5	46,2	0,5	0,0	84,6	82,9	0,8
11:00	33,4	35,4	60,8	42,8	0,6	0,0	85,0	84,0	1,2
12:00	34,1	36,0	61,0	42,0	0,5	0,0	86,1	84,7	0,6
13:00	34,1	35,3	63,8	46,5	0,8	0,0	86,6	84,6	0,0
14:00	34,2	34,5	62,7	48,6	0,6	0,7	86,6	84,1	-0,6
15:00	33,0	34,0	66,1	49,8	0,5	0,6	85,4	83,7	-0,4
X	32,7	34,1	66,1	47,4	0,5	0,2	84,9	83,3	-

3er T	TA °C		HR %		V m/s		ITH		
	ELlu	ESec	ELlu	ESec	ELlu	ESec	ELlu	ESec	DIF hr
16:00	32,2	33,0	68,2	52,5	0,5	0,6	84,6	82,8	-0,9
17:00	31,3	31,6	72,4	55,7	0,4	0,7	83,9	81,4	-1,3
18:00	30,7	31,0	76,3	57,9	0,1	0,3	83,8	81,0	-0,4
19:00	30,0	29,4	80,2	63,9	0,1	0,4	83,2	80,0	-1,0
20:00	28,9	28,2	82,1	67,6	0,2	0,5	81,6	78,5	-1,5
21:00	28,6	27,7	83,7	69,4	0,1	0,5	81,3	78,0	-0,5
22:00	28,0	27,2	84,4	70,6	0,1	0,2	80,6	77,5	-0,6
23:00	27,4	26,8	86,7	71,9	0,2	0,1	80,0	77,1	-0,4
X	29,6	29,4	79,3	63,7	0,2	0,4	82,4	79,5	-
X DIA	29,5	29,9	76,8	61,9	0,3	0,2	81,7	79,7	-

Fuente: Promedios de temperatura ambiental, humedad relativa, ITH según escala revisada por la Universidad de Arizona e ITH ajustado en base a velocidad del viento y radiación solar (promedio anual en El Salvador (SNET MARN 2005) durante las 24 horas del día, segmentado cada 8 horas con su respectivo promedio de tramo, durante la ELLU y ESEC en la Cooperativa Astoria, San Pedro Masahuat, La Paz, El Salvador.

Cuadro A- 16. Escala de ITH revisada por la Universidad de Arizona adaptada para describir el comportamiento de ITH durante la investigación para la época lluviosa y seca

Temperature		% Relative Humidity																			Temperature		% Relative Humidity																		
°F	°C	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	°F	°C	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
72	22.0	64	65	65	65	66	66	67	67	67	68	68	69	69	69	70	70	70	71	71	72	22.0	64	65	65	65	66	66	67	67	67	68	68	69	69	69	70	70	70	71	71
73	23.0	65	65	66	66	66	67	67	68	68	68	69	69	70	70	71	71	71	72	72	73	23.0	65	65	66	66	66	67	67	68	68	69	69	70	70	71	71	71	72	72	
74	23.5	65	66	66	67	67	67	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	23.5	65	66	66	67	67	67	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73		
75	24.0	66	66	67	67	68	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	24.0	66	66	67	67	68	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74
76	24.5	66	67	67	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	24.5	66	67	67	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75
77	25.0	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	25.0	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77		
78	25.5	69	69	70	70	71	71	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	78	25.5	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77		
79	26.0	69	70	70	71	71	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	79	26.0	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78			
80	26.5	68	69	69	70	70	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	78	80	26.5	68	69	69	70	70	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	78		
81	27.0	68	69	70	70	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	78	81	27.0	68	69	70	70	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	78				
82	28.0	69	69	70	71	71	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	78	79	82	28.0	69	69	70	71	71	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	78					
83	28.5	71	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	78	78	79	80	80	81	83	28.5	71	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	78	78	79	80	81					
84	29.0	72	73	73	74	74	75	75	76	77	77	78	79	80	80	81	82	84	29.0	72	73	73	74	74	75	75	76	77	77	78	79	80	81	82							
85	29.5	72	73	74	74	75	75	76	77	77	78	79	80	81	81	82	83	85	29.5	72	73	74	74	75	75	76	77	77	78	79	80	81	82	83							
86	30.0	71	71	72	73	74	74	75	76	77	78	78	79	80	81	81	82	86	30.0	71	71	72	73	74	74	75	76	77	78	78	79	80	81	82							
87	30.5	71	72	73	73	74	74	75	76	77	78	79	80	81	81	82	83	87	30.5	71	72	73	73	74	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83							
88	31.0	72	72	73	74	75	76	76	77	78	79	80	81	82	83	83	84	88	31.0	72	72	73	74	75	76	76	77	78	79	80	81	82	83	84							
89	31.5	73	73	74	75	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	89	31.5	73	73	74	75	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86						
90	32.0	73	74	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	90	32.0	73	74	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87						
91	33.0	74	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	91	33.0	74	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88						
92	33.5	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	92	33.5	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88						
93	34.0	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	93	34.0	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88							
94	34.5	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	94	34.5	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88							
95	35.0	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	95	35.0	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88								
96	35.5	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	96	35.5	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88								
97	36.0	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	97	36.0	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88									
98	36.5	76	77	78	80	80	82	83	85	86	87	88	89	90	91	92	93	98	36.5	76	77	78	80	80	82	83	85	86	87	88	89										
99	37.0	76	78	79	80	81	82	83	84	85	87	88	89	90	91	92	93	99	37.0	76	78	79	80	81	82	83	84	85	87	88											
100	38.0	77	78	79	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	100	38.0	77	78	79	81	82	83	84	85	86	87	88											
101	38.5	77	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	101	38.5	77	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88											
102	39.0	78	79	80	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	102	39.0	78	79	80	82	83	84	85	86	87	88													
103	39.5	78	79	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	103	39.5	78	79	81	82	83	84	85	86	87	88													
104	40.0	79	80	81	83	84	85	86	88	89	90	91	92	93	94	95	104	40.0	79	80	81	83	84	85	86	88	89														
105	40.5	80	80	82	83	84	86	87	88	89	91	92	93	95	96	105	40.5	80	80	82	83	84	86	87	88																
106	41.0	80	81	82	84	85	87	88	89	91	93	94	95	97	98	106	41.0	80	81	82	84	85	87	88																	
107	41.5	80	81	83	84	85	87	88	89	91	92	94	95	96	98	107	41.5	80	81	83	84	85	87	88																	

Fuente: Promedios de ITH en periodos de 8 horas durante la época lluviosa (izquierda) y época seca (derecha) en la Cooperativa Astoria, San Pedro Masahuat, La Paz, El Salvador.

Cuadro A- 17. Impacto de los diferentes niveles de estrés calórico en la producción de leche con algunos ejemplos prácticos

Nivel de estrés por calor	Ejemplo práctico de Temperatura; Humedad Relativa	Duración de exposición	Perdida de leche bajo estrés de calor
Umbral de estrés	22°C (72°F); 50%	4 horas/ día	-0.283 Kg/h; -1.1 Kg/ vaca /día
Estrés leve moderado	25°C (77°F); 50%	9 horas/ día	-0.303 Kg/h; -2.7/ vaca/ día
Estrés moderado severo	30°C (86°F); 75%	12 horas/ día	-0.322 Kg/h ; -3.9 Kg/ vaca / día
Estrés severo	34°C (93°F); 85%		No medido

Fuente: adaptado de Burgos Zimbelman y Collier 2011.



Cuadro A- 18. Registro de la velocidad del viento dentro del sistema de enfriamiento

Distancia en metros	Velocidad del Viento con Sistema de Enfriamiento en el comedero m/s		
	Ventilador #1 m/s	Ventilador #2 m/s	Ventilador #3 m/s
1	8.5	8.5	9
2	7.5	7.5	7.5
4	5	5	5
5	4.5	4.5	4.5
6	4	4	4
8	2	2.5	2.5
10	2	2	2.3

Fuente: Elaboración propia de la investigación.

Cuadro A- 19. Horas de exposición a diferentes niveles de estrés calórico

TIEMPO DE EXPOSICIÓN				
Escala	ITH ARIZONA (2003)			
Categoría	Lev-Mod	%	Mod-Sev	%
Rango	72 - 80	Día	80 - 90	Día
ELlu	8 hrs	33	16 hrs	67
ESec	12 hrs	50	12 hrs	50

Fuente: Ensayo en la Cooperativa Astoria, San Pedro Masahuat, La Paz, El Salvador; ITH = índice de temperatura y humedad, ELlu = época lluviosa, ESec = época seca

Cuadro A- 20. Datos climáticos durante el período de 1962 – 1992 de estaciones meteorológicas con altitud similar al ensayo

Estación	Nombre	msnm	MAYO				JUNIO				JULIO				AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE				X ELLU			
			TA	HR	ITH	ITHajust	TA	HR	ITH	ITHajust	TA	HR	ITH	ITHajust	TA	HR	ITH	ITHajust	TA	HR	ITH	ITHajust	TA	HR	ITH	ITHajust	TA	HR	ITH	ITHajust
H14	La Hachadura	30,0	28,6	72,0	79,8	82,5	27,5	77,0	78,8	81,5	27,5	75,0	78,5	81,2	27,3	77,0	78,4	81,2	26,6	79,0	77,6	80,3	27,0	76,0	77,8	80,6	27,4	76,0	78,5	81,2
L36	Zacatecoluca	20,0	27,9	80,0	79,8	82,5	27,1	83,0	78,9	81,6	26,9	81,0	78,3	81,0	26,8	82,0	78,3	81,0	26,4	84,0	77,9	80,6	26,3	84,0	77,7	80,4	26,9	82,3	78,5	81,2
N12		60,0	28,7	71,0	79,8	82,5	27,1	78,0	78,3	81,0	27,2	73,0	77,8	80,5	27,1	76,0	78,0	80,7	26,1	82,0	77,1	79,9	26,2	80,0	77,1	79,8	27,1	76,7	78,0	80,8
T6	Acajutla	15,0	28,2	76,9	79,9	82,6	27,5	80,6	79,2	82,0	27,3	78,9	78,7	81,4	27,3	79,6	78,8	81,5	26,7	80,3	77,9	80,6	26,9	80,5	78,3	81,0	27,3	79,5	78,8	81,5
V6	Sta Cruz Porrillo	30,0	27,8	74,6	78,9	81,6	26,9	80,2	78,2	80,9	27,1	76,8	78,1	80,8	26,9	79,5	78,1	80,8	26,3	83,7	77,7	80,4	26,2	82,5	77,4	80,1	26,9	79,6	78,1	80,8
V9	Puente Cuscatlán	20,0	28,0	75,1	79,3	82,0	27,2	80,2	78,7	81,4	27,1	80,0	78,5	81,2	26,9	80,8	78,3	81,0	26,5	83,2	77,9	80,6	26,7	82,5	78,2	80,9	27,1	80,3	78,5	81,2
PROMEDIO MES			28,2	74,9	79,6	82,3	27,2	79,8	78,7	81,4	27,2	77,5	78,3	81,0	27,1	79,2	78,3	81,0	26,4	82,0	77,7	80,4	26,6	80,9	77,7	80,5	27,1	79,1	78,4	81,1

Estación	Nombre	msnm	NOVIEMBRE				DICIEMBRE				ENERO				FEBRERO				MARZO				ABRIL				X ESEC			
			TA	HR	ITH	ITHajust	TA	HR	ITH	ITHajust	TA	HR	ITH	ITHajust	TA	HR	ITH	ITHajust	TA	HR	ITH	ITHajust	TA	HR	ITH	ITHajust	TA	HR	ITH	ITHajust
H14	La Hachadura	30,0	27,4	69,0	77,6	80,3	27,4	66,0	77,2	79,9	27,2	65,0	76,8	79,5	27,3	64,0	76,8	79,5	28,1	66,0	78,2	80,9	29,3	66,0	80,0	82,7	27,8	66,0	77,7	80,5
L36	Zacatecoluca	20,0	26,2	77,0	76,7	79,4	25,6	73,0	75,3	78,0	25,7	69,0	75,0	77,7	26,1	67,0	75,4	78,1	27,0	70,0	77,1	79,8	28,1	72,0	79,0	81,7	26,5	71,3	76,4	79,1
N12		60,0	26,2	71,0	76,0	78,7	26,3	63,0	75,2	77,9	26,9	57,0	75,3	78,0	27,7	54,0	76,0	78,7	28,9	55,0	77,8	80,5	29,7	56,0	79,0	81,7	27,6	59,3	76,6	79,3
T6	Acajutla	15,0	27,0	73,3	77,5	80,2	26,4	69,6	76,1	78,9	26,2	69,1	75,8	78,5	26,8	69,0	76,7	79,4	27,7	70,3	78,2	80,9	28,7	72,2	80,0	82,7	27,1	70,6	77,4	80,1
V6	Sta Cruz Porrillo	30,0	26,2	73,7	76,3	79,0	26,0	66,4	75,2	77,9	26,2	63,4	75,1	77,8	26,6	62,2	75,5	78,3	27,4	64,3	77,0	79,7	28,1	68,0	78,5	81,2	26,8	66,3	76,3	79,0
V9	Puente Cuscatlán	20,0	26,2	77,8	76,8	79,5	26,3	73,5	76,4	79,2	26,6	71,1	76,6	79,3	27,2	69,1	77,3	80,0	28,1	66,7	78,3	81,0	28,6	67,4	79,1	81,9	27,2	70,9	77,5	80,2
PROMEDIO MES			26,5	73,6	76,8	79,5	26,3	68,6	75,9	78,6	26,5	65,8	75,8	78,5	27,0	64,2	76,3	79,0	27,9	65,4	77,8	80,5	28,8	66,9	79,3	82,0	27,2	67,4	77,0	79,7

Fuente: Datos de Temperatura ambiental y humedad relativa (Engels 1998), valores de ITH calculados en base a fórmula

Cuadro A- 21. Comparación del ITH del sitio de estudio con datos de 6 estaciones meteorológicas con altitud similar (msnm) al estudio durante el periodo de 1962 a 1992.

Época	ESec			ELlu		
	14 - 15	62 - 92	DIF	14 - 15	62 - 92	DIF
ITH	79,7	77,0	2,7	81,7	78,4	3,3

Fuente: Ensayo en la Cooperativa Astoria, San Pedro Masahuat, La Paz, El Salvador; datos de 1962 – 1992 (Engels 1998)

Cuadro A- 22. Resumen de parámetros fisiológicos en la ELlu

ÉPOCA LLUVIOSA ST										
	9:00		11:00		13:00		15:00		17:00	
	Tresp rpm	Trec °C	Tresp rpm	Trec °C	Tresp rpm	Trec °C	Tresp rpm	Trec °C	Tresp rpm	Trec °C
PR	66.02	39.07	79.92	39.38	83.63	39.53	82.94	39.65	83.4	39.8
AD	54.25	38.73	69.83	39.02	72.56	39.19	72.04	39.27	73.35	39.4
Prom	60.14	38.9	74.88	39.2	78.09	39.36	77.49	39.46	78.38	39.6

Cuadro A- 23. Resumen de parámetros fisiológicos en la época seca, ST y CT

ÉPOCA SECA																
		9:00			11:00			13:00			15:00			17:00		
		Tresp rpm	Trec °C	Tsup °C	Tresp rpm	Trec °C	Tsup °C	Tresp rpm	Trec °C	Tsup °C	Tresp rpm	Trec °C	Tsup °C	Tresp rpm	Trec °C	Tsup °C
ST	PR	64.83	39.17	35.91	72.52	39.36	36.77	78.33	39.54	36.70	77.69	39.56	36.19	71.15	39.52	35.29
	AD	59.33	38.99	35.75	63.13	39.14	36.66	67.27	39.26	36.35	67.13	39.31	36.09	64.79	39.32	35.26
	Prom	62.08	39.08	35.83	67.83	39.25	36.72	72.80	39.40	36.53	72.41	39.44	36.14	67.97	39.42	35.28
CT	PR	65.85	39.02	35.48	43.69	38.77	32.55	45.04	38.97	31.95	47.33	39.05	31.98	46.46	39.13	31.82
	AD	58.81	38.96	35.30	40.88	38.72	32.08	42.71	38.89	31.50	45.54	38.90	31.34	45.48	39.06	31.48
	Prom	62.33	38.99	35.39	42.29	38.75	32.32	43.88	38.93	31.73	46.44	38.98	31.66	45.97	39.10	31.65

Cuadro A- 24. Indicadores fisiológicos de estrés calórico

Nivel de estrés	Frecuencia Respiratoria (rpm)	Temperatura Rectal °C	Pérdida en leche
Umbral de estrés ITH= (68-71)	>60 RPM	>38.5 °C	-0.283 Kg/h
Medio moderado ITH= (72-79)	>75 RPM	>39°C	-0.303Kg/h
Moderado severo ITH= (80-89)	>85 RPM	>40°C	-0.322Kg/h
Severo ITH= (90-99)	>120 RPM	>41°C	No medido

Fuente: Lallemand Animal Nutrition. s.f.

Cuadro A- 25. Medios mínimos cuadráticos y errores estándar de producción de leche de vacas Holstein con y sin enfriamiento

Semana	Testigo/ Grupo S	Enfriamiento/Grupo E	Diferencia Estadística
1	34.4 ± 0.96	35.3 ± 0.95	NS
3	34.0 ± 0.93	36.5 ± 0.93	NS
5	32.9 ± 0.90	32.9 ± 0.88	NS
7	30.8 ± 1.02	35.8 ± 1.00	**
9	28.2 ± 1.02	34.2 ± 1.01	**
11	23.9 ± 0.89	30.0 ± 0.87	**
13	15.0 ± 0.75	22.4 ± 0.74	**
15	20.5 ± 1.09	25.4 ± 1.07	**
17	19.8 ± 1.98	23.6 ± 1.06	*
Promedio	26.6 ± 0.98	30.5 ± 0.94	*

NS (p=0.05); \* p&lt;0.05; \*\* p&lt;0.01

Fuente: (Pulido, 2011)

Cuadro A- 26. Cargos fijos de electricidad

Cargo por comercialización diario [USD \$/usuario mes]	0.0329106
Cargo por energía [USD \$/Kwh]	0.12768
Cargo por distribución diario [USD \$/Kw mes]	3.007073767

Fuente: Superintendencia General de electricidad y telecomunicaciones, 2015

Cuadro A- 27. Estimación de Costos de electricidad por mes

Costo aproximado por mes	
Sin sistema calculado	USD \$254.41
Con sistema calculado	USD \$325.27
Gasto del sistema	USD \$70.86
Recibo	21 %

Fuente: Ensayo en la Cooperativa Astoria, San Pedro Masahuat, La Paz, El Salvador

Cuadro A- 28. Costo de alimentación individual y por hato

DIARIO	1 vaca	Precio USD \$ /kg <sup>a</sup>	Consumo BH Kg	Costo (USD \$)	%MS	Kg MS
Silo	CT	0,04	47,37	1,88	28,00	13,26
	ST	0,04	44,50	1,76	28,00	12,46
Concentrado	CT	0,48	6,70	3,24	88,00	5,89
	ST	0,48	6,83	3,31	88,00	6,01
TOTAL CT	-	-	54,06	5,12	-	19,16
TOTAL ST	-	-	51,33	5,07	-	18,47
Precio USD \$ Kg MS CT (costo BH-vaca/consumo MS-vaca)						0,267
Precio USD \$ Kg MS ST (costo BH-vaca/consumo MS-vaca)						0,274
MENSUAL	60 vacas	Precio USD \$ /kg	Consumo BH Kg	Costo (USD \$)	%MS	Kg MS
Silo	CT	0,04	85260	3376,62	28,00	23872,72
	ST	0,04	80109	3172,62	28,00	22430,39
Concentrado	CT	0,48	12054	5834,52	88,00	10607,16
	ST	0,48	12294	5950,73	88,00	10818,42
TOTAL CT	-	-	97313,31	9211,14	-	34479,88
TOTAL ST	-	-	92402,22	9123,34	-	33248,82

<sup>a</sup> El precio del kg de alimento base húmeda se estimó tomando en cuenta el quintal de concentrado cuesta \$22 USD y el de silo \$1.80 USD Fuente: Elaboración propia.

Cuadro A- 29. Costo del equipo e instalación del sistema de enfriamiento

PRODUCTOS	Cantidad	Unidad USD	Total USD
Equipo			
Aspersores	37	7	259
Ventiladores 36" 220 volt. 0.5 hp	8	490	3920
Servicio de instalación y puesta en marcha del sistema	1	650	650
Sub Total			4829
IVA 13 %			627,77
Subtotal			5456,77
Materiales para instalación			
Caja eléctrica porta térmicos de 10 circuitos metálica	1	60	60
Dados térmicos de 20 amperios 3 circuitos	3	20	60
Filtro de arena 2"	1	300	300
Filtro de anillos 2"	1	150	150
Timer sencillo para un circuito	1	336	336
Electro válvula	1	114	114
Tubería de pvc, accesorios varios de pvc, reductores adaptadores, pegamento para pvc	1	250	250
Sistema de bomba, tanque de presión y sistema de arranque automático de agua 1 hp, 220 volt.	1	575	575
Sub Total			1845
IVA 13 %			239,85
Subtotal			2084,85
TOTAL			7541.62

Cuadro A- 30. Análisis estadístico a través de la prueba t de student para el efecto de la época (lluviosa y seca) sobre parámetros ambientales (temperatura ambiental, humedad relativa e ITH) durante las horas de muestreo ( $P < 0.05$ )

		EPOCA	
		LLUVIOSA	SECA
		Media	Media
9:00	Temperatura ambiental	31.08 <sub>a</sub>	31.73 <sub>b</sub>
	Humedad relativa	70.87 <sub>a</sub>	45.50 <sub>b</sub>
	ITH	83.40 <sub>a</sub>	79.96 <sub>b</sub>
11:00	Temperatura ambiental	33.39 <sub>a</sub>	33.78 <sub>a</sub>
	Humedad relativa	60.78 <sub>a</sub>	40.13 <sub>b</sub>
	ITH	84.95 <sub>a</sub>	81.57 <sub>b</sub>
13:00	Temperatura ambiental	34.09 <sub>a</sub>	36.37 <sub>b</sub>
	Humedad relativa	63.79 <sub>a</sub>	42.00 <sub>b</sub>
	ITH	86.56 <sub>a</sub>	85.08 <sub>b</sub>
15:00	Temperatura ambiental	32.96 <sub>a</sub>	35.41 <sub>b</sub>
	Humedad relativa	66.09 <sub>a</sub>	45.25 <sub>b</sub>
	ITH	85.32 <sub>a</sub>	84.58 <sub>b</sub>
17:00	Temperatura ambiental	31.25 <sub>a</sub>	33.03 <sub>b</sub>
	Humedad relativa	72.40 <sub>a</sub>	50.00 <sub>b</sub>
	ITH	83.88 <sub>a</sub>	82.39 <sub>b</sub>

Nota: Los valores de la misma fila y sub tabla que no comparten el mismo subíndice son significativamente diferentes en  $p < .05$  en la prueba de igualdad bilateral de medias de las columnas. Las casillas sin subíndices no se incluyen en la prueba. Las pruebas asumen varianzas iguales. 1

1. Utilizando la corrección de Bonferroni, se han ajustado las pruebas para todas las comparaciones por pares dentro de una fila para cada sub tabla situada más al interior.

Cuadro A- 31. Análisis estadístico a través de la prueba t de student para el efecto de la época (lluviosa y seca) sobre la tasa respiratoria y temperatura rectal de primerizas y vacas adultas sin tratamiento de estrés calórico ( $P < 0.05$ )

				EPOCA	
				LLUVIOSA	SECA
				Media	Media
PARTOS	Primeriza	9:00	Tasa respiratoria	66.02 <sub>a</sub>	64.83 <sub>a</sub>
			Temperatura rectal	39.07 <sub>a</sub>	39.17 <sub>a</sub>
		11:00	Tasa respiratoria	79.92 <sub>a</sub>	72.52 <sub>b</sub>
			Temperatura rectal	39.38 <sub>a</sub>	39.36 <sub>a</sub>
		13:00	Tasa respiratoria	83.63 <sub>a</sub>	78.33 <sub>a</sub>
			Temperatura rectal	39.53 <sub>a</sub>	39.54 <sub>a</sub>
	15:00	Tasa respiratoria	82.94 <sub>a</sub>	77.69 <sub>a</sub>	
		Temperatura rectal	39.65 <sub>a</sub>	39.56 <sub>a</sub>	
	17:00	Tasa respiratoria	83.40 <sub>a</sub>	71.15 <sub>b</sub>	
		Temperatura rectal	39.79 <sub>a</sub>	39.52 <sub>b</sub>	
	Vaca	9:00	Tasa respiratoria	54.25 <sub>a</sub>	59.33 <sub>b</sub>
			Temperatura rectal	38.73 <sub>a</sub>	38.99 <sub>b</sub>
11:00		Tasa respiratoria	69.83 <sub>a</sub>	63.12 <sub>b</sub>	
		Temperatura rectal	39.02 <sub>a</sub>	39.14 <sub>a</sub>	
13:00		Tasa respiratoria	72.56 <sub>a</sub>	67.27 <sub>b</sub>	
		Temperatura rectal	39.19 <sub>a</sub>	39.26 <sub>a</sub>	
15:00	Tasa respiratoria	72.04 <sub>a</sub>	67.13 <sub>b</sub>		
	Temperatura rectal	39.27 <sub>a</sub>	39.31 <sub>a</sub>		
17:00	Tasa respiratoria	73.35 <sub>a</sub>	64.79 <sub>b</sub>		
	Temperatura rectal	39.37 <sub>a</sub>	39.32 <sub>a</sub>		

Nota: Los valores de la misma fila y sub tabla que no comparten el mismo subíndice son significativamente diferentes en  $p < .05$  en la prueba de igualdad bilateral de medias de las columnas. Las casillas sin subíndices no se incluyen en la prueba. Las pruebas asumen varianzas iguales.<sup>1</sup>  
 1. Utilizando la corrección de Bonferroni, se han ajustado las pruebas para todas las comparaciones por pares dentro de una fila para cada sub tabla situada más al interior.

Cuadro A- 32. Análisis estadístico a través de la prueba t student para el efecto de la edad (primeriza y vaca) según la época en estudio (lluviosa y seca) en la tasa respiratoria (TR) y temperatura rectal (TC)

			EPOCA			
			LLUVIOSA		SECA	
			PARTOS		PARTOS	
			PRIMERIZA	VACA	PRIMERIZA	VACA
			Media	Media	Media	Media
HORA	09:00:00 a.m.	TC	39,07 <sub>a</sub>	38,73 <sub>b</sub>	39,17 <sub>a</sub>	38,99 <sub>b</sub>
		TR	66,02 <sub>a</sub>	54,25 <sub>b</sub>	64,83 <sub>a</sub>	59,33 <sub>a</sub>
	11:00:00 a.m.	TC	39,38 <sub>a</sub>	39,02 <sub>b</sub>	39,36 <sub>a</sub>	39,14 <sub>b</sub>
		TR	79,92 <sub>a</sub>	69,83 <sub>b</sub>	72,52 <sub>a</sub>	63,12 <sub>b</sub>
	01:00:00 p.m.	TC	39,53 <sub>a</sub>	39,19 <sub>b</sub>	39,54 <sub>a</sub>	39,26 <sub>b</sub>
		TR	83,63 <sub>a</sub>	72,56 <sub>b</sub>	78,33 <sub>a</sub>	67,27 <sub>b</sub>
	03:00:00 p.m.	TC	39,65 <sub>a</sub>	39,27 <sub>b</sub>	39,56 <sub>a</sub>	39,31 <sub>b</sub>
		TR	82,94 <sub>a</sub>	72,04 <sub>b</sub>	77,69 <sub>a</sub>	67,13 <sub>b</sub>
	05:00:00 p.m.	TC	39,79 <sub>a</sub>	39,37 <sub>b</sub>	39,52 <sub>a</sub>	39,32 <sub>a</sub>
		TR	83,40 <sub>a</sub>	73,35 <sub>b</sub>	71,15 <sub>a</sub>	64,79 <sub>b</sub>

Nota: Los valores de la misma fila y sub tabla que no comparten el mismo subíndice son significativamente diferentes en  $p < ,05$  en la prueba de igualdad bilateral de medias de las columnas. Las casillas sin subíndices no se incluyen en la prueba. Las pruebas asumen varianzas iguales.

1. Utilizando la corrección de Bonferroni, se han ajustado las pruebas para todas las comparaciones por pares dentro de una fila para cada sub tabla situada más al interior.



Cuadro A- 33. Análisis estadístico a través de la prueba t de student para el efecto de la edad (primeriza y vaca) en la tasa respiratoria (TR), temperatura rectal (TC) y temperatura superficial (TI) bajo condiciones de tratamiento para estrés calórico y bajo condiciones habituales de la costa

		TRAT				
		CON TRAT		SIN TRAT		
		PARTOS		PARTOS		
		PRIMERIZA	VACA	PRIMERIZA	VACA	
		Media	Media	Media	Media	
HORA	09:00:00 a.m.	TR	65,85 <sub>a</sub>	58,81 <sub>b</sub>	64,83 <sub>a</sub>	59,33 <sub>a</sub>
		TC	39,02 <sub>a</sub>	38,96 <sub>a</sub>	39,17 <sub>a</sub>	38,99 <sub>b</sub>
		TI	35,48 <sub>a</sub>	35,30 <sub>a</sub>	35,91 <sub>a</sub>	35,75 <sub>a</sub>
	11:00:00 a.m.	TR	43,69 <sub>a</sub>	40,87 <sub>a</sub>	72,52 <sub>a</sub>	63,12 <sub>b</sub>
		TC	38,77 <sub>a</sub>	38,72 <sub>a</sub>	39,36 <sub>a</sub>	39,14 <sub>b</sub>
		TI	32,55 <sub>a</sub>	32,08 <sub>a</sub>	36,77 <sub>a</sub>	36,66 <sub>a</sub>
	01:00:00 p.m.	TR	45,04 <sub>a</sub>	42,71 <sub>a</sub>	78,33 <sub>a</sub>	67,27 <sub>b</sub>
		TC	38,97 <sub>a</sub>	38,89 <sub>a</sub>	39,54 <sub>a</sub>	39,26 <sub>b</sub>
		TI	31,95 <sub>a</sub>	31,50 <sub>a</sub>	36,70 <sub>a</sub>	36,35 <sub>a</sub>
	03:00:00 p.m.	TR	47,33 <sub>a</sub>	45,54 <sub>a</sub>	77,69 <sub>a</sub>	67,13 <sub>b</sub>
		TC	39,05 <sub>a</sub>	38,90 <sub>a</sub>	39,56 <sub>a</sub>	39,31 <sub>b</sub>
		TI	31,98 <sub>a</sub>	31,34 <sub>a</sub>	36,19 <sub>a</sub>	36,09 <sub>a</sub>
05:00:00 p.m.	TR	46,46 <sub>a</sub>	45,48 <sub>a</sub>	71,15 <sub>a</sub>	64,79 <sub>b</sub>	
	TC	39,13 <sub>a</sub>	39,06 <sub>a</sub>	39,52 <sub>a</sub>	39,32 <sub>a</sub>	
	TI	31,82 <sub>a</sub>	31,48 <sub>a</sub>	35,29 <sub>a</sub>	35,26 <sub>a</sub>	

Nota: Los valores de la misma fila y sub tabla que no comparten el mismo subíndice son significativamente diferentes en  $p < ,05$  en la prueba de igualdad bilateral de medias de las columnas. Las casillas sin subíndices no se incluyen en la prueba. Las pruebas asumen varianzas iguales.

1. Utilizando la corrección de Bonferroni, se han ajustado las pruebas para todas las comparaciones por pares dentro de una fila para cada sub tabla situada más al interior.

Cuadro A- 34. Análisis estadístico a través de la prueba t de student para el efecto del tratamiento (con y sin sistema de enfriamiento) en la tasa respiratoria (TR), temperatura rectal (TC) y temperatura superficial (TI) por edad (primerizas y vacas)

		PARTOS				
		PRIMERIZA		VACA		
		TRAT		TRAT		
		CON TRAT	SIN TRAT	CON TRAT	SIN TRAT	
		Media	Media	Media	Media	
HORA	09:00:00 a.m.	TR	65,85 <sub>a</sub>	64,83 <sub>a</sub>	58,81 <sub>a</sub>	59,33 <sub>a</sub>
		TC	39,02 <sub>a</sub>	39,17 <sub>a</sub>	38,96 <sub>a</sub>	38,99 <sub>a</sub>
		TI	35,48 <sub>a</sub>	35,91 <sub>a</sub>	35,30 <sub>a</sub>	35,75 <sub>a</sub>
	11:00:00 a.m.	TR	43,69 <sub>a</sub>	72,52 <sub>b</sub>	40,87 <sub>a</sub>	63,12 <sub>b</sub>
		TC	38,77 <sub>a</sub>	39,36 <sub>b</sub>	38,72 <sub>a</sub>	39,14 <sub>b</sub>
		TI	32,55 <sub>a</sub>	36,77 <sub>b</sub>	32,08 <sub>a</sub>	36,66 <sub>b</sub>
	01:00:00 p.m.	TR	45,04 <sub>a</sub>	78,33 <sub>b</sub>	42,71 <sub>a</sub>	67,27 <sub>b</sub>
		TC	38,97 <sub>a</sub>	39,54 <sub>b</sub>	38,89 <sub>a</sub>	39,26 <sub>b</sub>
		TI	31,95 <sub>a</sub>	36,70 <sub>b</sub>	31,50 <sub>a</sub>	36,35 <sub>b</sub>
	03:00:00 p.m.	TR	47,33 <sub>a</sub>	77,69 <sub>b</sub>	45,54 <sub>a</sub>	67,13 <sub>b</sub>
		TC	39,05 <sub>a</sub>	39,56 <sub>b</sub>	38,90 <sub>a</sub>	39,31 <sub>b</sub>
		TI	31,98 <sub>a</sub>	36,19 <sub>b</sub>	31,34 <sub>a</sub>	36,09 <sub>b</sub>
	05:00:00 p.m.	TR	46,46 <sub>a</sub>	71,15 <sub>b</sub>	45,48 <sub>a</sub>	64,79 <sub>b</sub>
		TC	39,13 <sub>a</sub>	39,52 <sub>b</sub>	39,06 <sub>a</sub>	39,32 <sub>b</sub>
		TI	31,82 <sub>a</sub>	35,29 <sub>b</sub>	31,48 <sub>a</sub>	35,26 <sub>b</sub>

Nota: Los valores de la misma fila y sub tabla que no comparten el mismo subíndice son significativamente diferentes en  $p < ,05$  en la prueba de igualdad bilateral de medias de las columnas. Las casillas sin subíndices no se incluyen en la prueba. Las pruebas asumen varianzas iguales.

1. Utilizando la corrección de Bonferroni, se han ajustado las pruebas para todas las comparaciones por pares dentro de una fila para cada sub tabla situada más al interior.

Cuadro A- 35. Análisis estadístico por medio de prueba de Análisis de Varianza (ANOVA) y la Diferencia Significativa Honesta (DSH) de Tukey sobre la producción de leche de la época lluviosa y seca en vacas y primerizas

### PROD

EPOCA	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
LLUVIOSA	PROD	96	0.08	0.07	18.36

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	61.44	1	61.44	7.70	0.0067
TRAT	0.00	0	0.00	sd	sd
PARTOS	61.44	1	61.44	7.70	0.0067
TRAT*PARTOS	0.00	0	0.00	sd	sd
Error	749.96	94	7.98		
Total	811.40	95			

### Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.00000

Error: 7.9783 gl: 94

TRAT	Medias	n	E.E.
SIN TRAT	15.39	96	0.29

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

### Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.14479

Error: 7.9783 gl: 94

PARTOS	Medias	n	E.E.
PRIMERIZA	14.59	48	0.41
VACA	16.19	48	0.41

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

### Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.14479

Error: 7.9783 gl: 94

TRAT	PARTOS	Medias	n	E.E.
SIN TRAT	PRIMERIZA	14.59	48	0.41
SIN TRAT	VACA	16.19	48	0.41

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**EPOCA = LLUVIOSA (No hay datos disponibles)**

### PROD

EPOCA	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
SECA	PROD	192	0.19	0.17	17.62

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	354.47	3	118.16	14.37	<0.0001
TRAT	78.93	1	78.93	9.60	0.0022
PARTOS	274.32	1	274.32	33.36	<0.0001
TRAT*PARTOS	1.22	1	1.22	0.15	0.7006
Error	1545.86	188	8.22		
Total	1900.32	191			

### Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.81219

Error: 8.2226 gl: 188

TRAT	Medias	n	E.E.
SIN TRAT	15.63	96	0.29

CON TRAT 16.91 96 0.29 B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.81219**

*Error: 8.2226 gl: 188*

PARTOS Medias n E.E.

PRIMERIZA 15.08 96 0.29 A

VACA 17.47 96 0.29 B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.50626**

*Error: 8.2226 gl: 188*

TRAT PARTOS Medias n E.E.

SIN TRAT PRIMERIZA 14.36 48 0.41 A

CON TRAT PRIMERIZA 15.80 48 0.41 A B

SIN TRAT VACA 16.91 48 0.41 B C

CON TRAT VACA 18.03 48 0.41 C

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

Cuadro A- 36. Análisis estadístico por medio de prueba de Análisis de Varianza (ANOVA) y la Diferencia Significativa Honesta (DSH) de Tukey sobre el efecto del tratamiento (sin sistema de enfriamiento y con sistema de enfriamiento) en el consumo de materia seca (concentrado y ensilado) en la época seca para primerizas y vacas adultas

## CONS MS

EPOCA Variable N R<sup>2</sup> R<sup>2</sup> Aj CV

SECA CONS MS 192 0.43 0.42 5.45

## Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V. SC gl CM F p-valor

Modelo. 145.95 3 48.65 47.64 <0.0001

TRAT 145.95 1 145.95 142.93 <0.0001

PARTOS 0.00 1 0.00 0.00 >0.9999

TRAT\*PARTOS 0.00 1 0.00 0.00 >0.9999

Error 191.98 188 1.02

Total 337.93 191

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.28622**

*Error: 1.0212 gl: 188*

TRAT Medias n E.E.

SIN TRAT 17.68 96 0.10 A

CON TRAT 19.43 96 0.10 B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.28622**

*Error: 1.0212 gl: 188*

PARTOS Medias n E.E.

PRIMERIZA 18.55 96 0.10 A

VACA 18.55 96 0.10 A

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.53081**

*Error: 1.0212 gl: 188*

TRAT	PARTOS	Medias	n	E.E.
SIN TRAT	VACA	17.68	48	0.15 A
SIN TRAT	PRIMERIZA	17.68	48	0.15 A
CON TRAT	VACA	19.43	48	0.15 B
CON TRAT	PRIMERIZA	19.43	48	0.15 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Cuadro A- 37. Análisis estadístico por medio de la Prueba de Wilcoxon sobre el consumo de materia seca (concentrado y ensilado) en la época seca para primerizas y vacas adultas con tratamiento y sin él

#### Prueba de Wilcoxon para muestras independientes

Clasific	Variable	Grupo 1	Grupo 2	n (1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	DE(1)	DE(2)	W	p(2 colas)
TRAT	CONS	CON TRAT	SIN TRAT	96	96	19,43	17,68	0,80	1,17	12864,00	<0,0001

Cuadro A- 38. Análisis estadístico por medio de la Prueba de Shapiro Wilks sobre la producción láctea en la época seca para primerizas y vacas adultas con tratamiento y sin él

#### Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (Unilateral D)
PRODUCCIÓN	192	16.27	3.15	0.98	0.0500

### FIGURAS

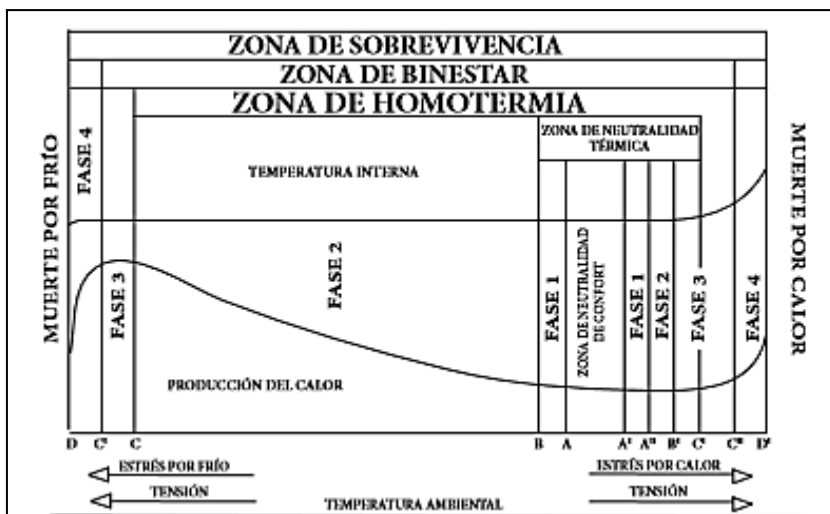


Figura A- 1. Zona de confort del bovino

Fuente: Silanikove 2000

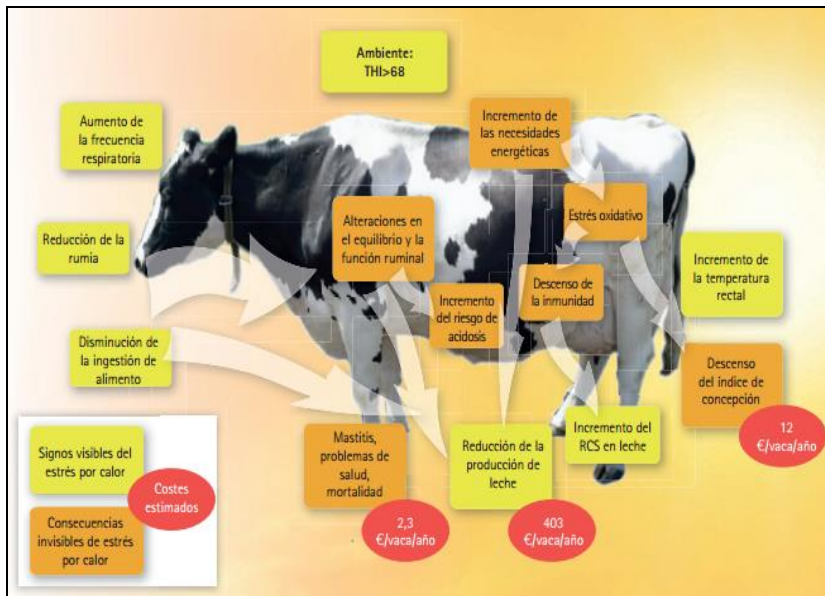


Figura A- 2. Estrés calórico con sus respectivas consecuencias fisiológicas y de comportamiento

Fuente: Lallemand 2012. Heat Stress underestimated issue for dairy cows.

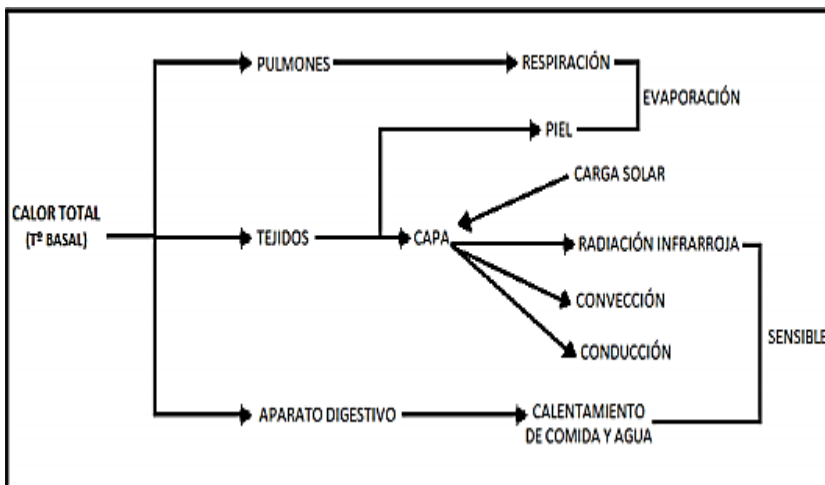


Figura A- 3. Pérdidas de calor

Fuente: Martínez 2006

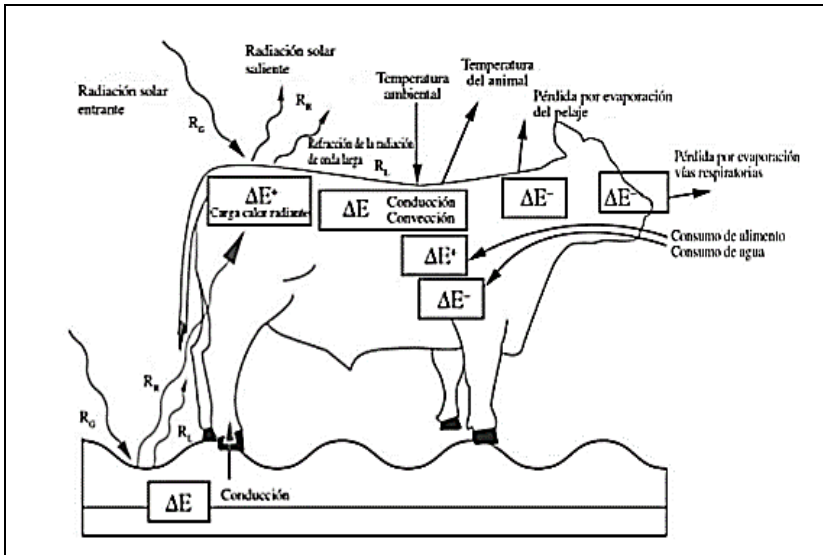


Figura A- 4. Liberación de calor al ambiente. Balance térmico en el ganado bovino de carne

Fuente: Adaptado de Meat & Livestock Australia 2002

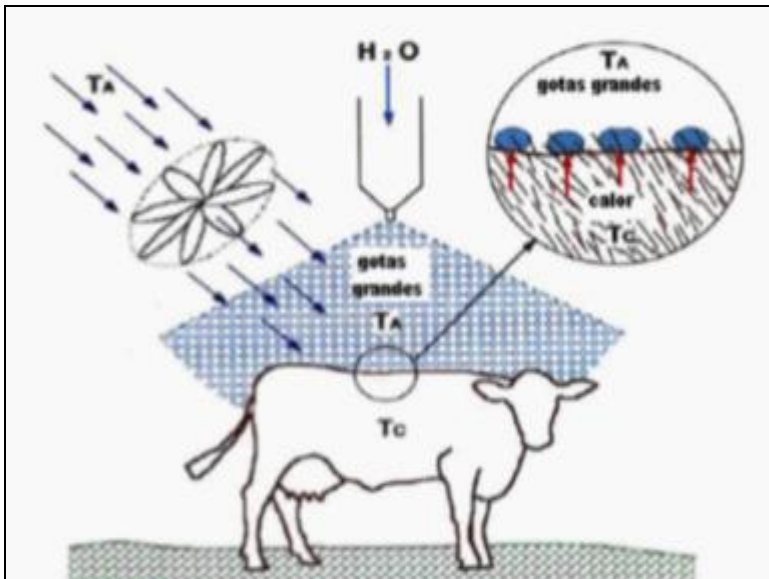


Figura A- 5. Funcionamiento del sistema de mojado y ventilación forzada

Fuente: Flamenbaum 2009

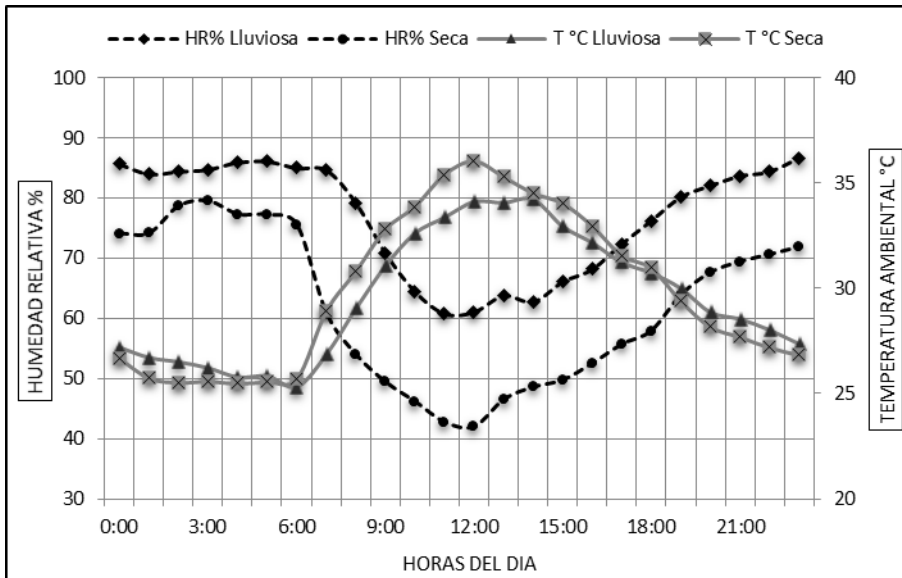


Figura A- 6. Relación inversamente proporcional entre la humedad relativa (%) y la temperatura ambiental (°C)

Fuente: Elaboración propia

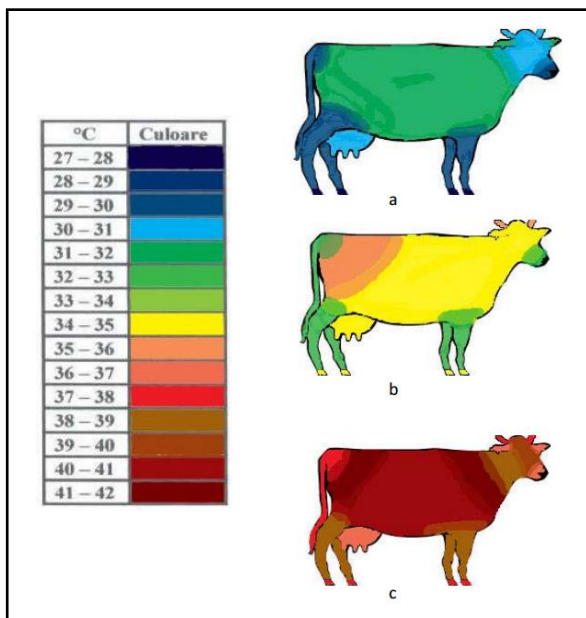


Figura A- 7. Mapa térmico para cada región del cuerpo de la vaca.

Vacas bajo condiciones de sombra (b) Vacas expuestas a radiación solar de manto claro y Vacas expuestas a radiación solar de manto oscuro (c).

Fuente: Pusta 2003.



### Temperature Humidity Index (THI)

Temperature  Humidity

Calculated Value

If >68 then heat stress likely

Likely milk solids lost <input type="text" value="0.14MS"/>	Payout (\$) <input type="text" value="4.60"/>	Number of cows in milk <input type="text" value="75"/>
Possible Milk Value Lost per day <input type="text" value="\$48"/>	Possible Milk Lost Per Week <input type="text" value="74 MS"/>	Possible Milk Value Lost Per Week <input type="text" value="\$336"/>

Calculations derived from  
S. Dikmen and P. J. Hansen J. Dairy Sci. 92:109-116 and Bryant et al., 2007 AgResearch

ELlu 29.5 °C 76.8% ITH 81.7

### Temperature Humidity Index (THI)

Temperature  Humidity

Calculated Value

If >68 then heat stress likely

Likely milk solids lost <input type="text" value="0.12MS"/>	Payout (\$) <input type="text" value="4.60"/>	Number of cows in milk <input type="text" value="75"/>
Possible Milk Value Lost per day <input type="text" value="\$41"/>	Possible Milk Lost Per Week <input type="text" value="63 MS"/>	Possible Milk Value Lost Per Week <input type="text" value="\$287"/>

Calculations derived from  
S. Dikmen and P. J. Hansen J. Dairy Sci. 92:109-116 and Bryant et al., 2007 AgResearch

Esec 29.9 °C 61.9% ITH 79.7

### Temperature Humidity Index (THI)

Temperature  Humidity

Calculated Value

If >68 then heat stress likely

Likely milk solids lost <input type="text" value="0.14MS"/>	Payout (\$) <input type="text" value="4.60"/>	Number of cows in milk <input type="text" value="75"/>
Possible Milk Value Lost per day <input type="text" value="\$48"/>	Possible Milk Lost Per Week <input type="text" value="74 MS"/>	Possible Milk Value Lost Per Week <input type="text" value="\$336"/>

Calculations derived from  
S. Dikmen and P. J. Hansen J. Dairy Sci. 92:109-116 and Bryant et al., 2007 AgResearch

Promedio del año 29.7 °C 69.35% ITH 80.7

Figura A- 8. Calculadoras en línea para establecer el estrés calórico

Fuente: Dairy Club 2015

## GLOSARIO

**Anorexia voluntaria:** mecanismo fisiológico de los bovinos para reducir la carga térmica, lo cual se refleja consecuentemente en su conducta de pastoreo, ya que, al pastar menos, reducen tanto el consumo de alimentos (la fermentación a nivel ruminal y la digestión generan calor) así como la actividad muscular desplegada en la búsqueda de los mismos; por lo general se alimentan más en horas de la noche (temperaturas más frescas). (Roca 2011)

**Estrés:** cualquier amenaza al homeostasis, posee tres componentes que incluye el estímulo (agente estresante), el sistema que lo procesa y la respuesta (cambio de comportamiento) (Van Lier 2003 Brasesco, 2009).

**Etológico:** estudio científico de los patrones de comportamiento de los animales (Mosby 2004).

**Homeostasis:** mantenimiento del medio interno en un estado relativamente constante gracias a un conjunto de respuestas adaptativas que permiten conservar la salud y la vida. Entre las funciones reguladas por mecanismos homeostáticos cabe destacar la frecuencia cardíaca, hematopoyesis, temperatura corporal, equilibrio electrolítico, respiración y secreción glandular (Mosby 2004).

**Homeotermo:** tienen la habilidad de controlar su temperatura corporal dentro de un ajustado margen a través de diferentes procesos fisiológicos (Bianca 1968).

**Poiquilotermo:** se aplica al animal cuya temperatura corporal varía según la del medio ambiente, ya que carece de mecanismos reguladores de la misma (Consulta en línea)

**Temperatura ambiente efectiva de confort:** estado constante de temperatura corporal, la cual puede ser mantenida sin necesidad de ajustes fisiológicos o de comportamiento. (Khalifa 2003).

**Pérdida de calor latente o insensible:** mecanismo animal de liberación de calor por medio de la evaporación, el cual opera a través de una gradiente de presión de vapor. (Collier *et al.* 2006).

**Polipnea térmica (jadeo):** mecanismo de termorregulación activado para elevar la evaporación del tracto respiratorio; el ingurgitamiento vascular de la mucosa respiratoria y oral y el aumento en la salivación incrementan la pérdida de calor, de igual forma previene la alcalosis respiratoria (Consulta en línea).

**Vasodilatación:** distensión de los vasos sanguíneos provocadas por la relajación de músculo liso de los vasos sanguíneos, a través de impulsos nerviosos (Mosby 2004).

**Zona de confort:** representa el rango en el cual la producción de calor del animal se mantiene basal (Arias *et al.* 2008).

**Zona termoneutral:** rango de temperatura del aire dentro del cual la producción de calor interna del animal no es afectada (Van Lier 2003 Brasesco, 2009).