

EFFECTO DE LA TEMPERATURA DEL AIRE, LA RADIACIÓN SOLAR Y EL NIVEL DE CONCENTRADO EN LA DIETA SOBRE LA TEMPERATURA VAGINAL BOVINA MEDIDA CONTINUAMENTE

Por

HÉCTOR L. SÁNCHEZ RODRÍGUEZ

Tesis sometida en cumplimiento parcial de los requisitos para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

en

INDUSTRIA PECUARIA

**UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO
RECINTO DE MAYAGÜEZ**

2008

Aprobada por:

Carmen Santana Nieves, PhD.
Miembro del Comité Graduado

Fecha

José Pantoja López, PhD.
Miembro del Comité Graduado

Fecha

Ángel A. Custodio González, PhD.
Presidente del Comité Graduado

Fecha

Ignacio Pino López-Castro, DVM.
Representante de Estudios Graduados

Fecha

José R. Latorre Acevedo, PhD.
Director del Departamento

Fecha

ABSTRACT

Body temperature is an excellent indicator of the health and well being of the animals, but the methods available for measuring it may pose difficulties and may not suit certain research needs. The objectives of this research were to compare a method used to measure continuously vaginal temperature of cows with other methods under different environmental conditions or diets. The method used to measure vaginal temperature consisted of anchoring a data logger thermometer in the vagina of the cows by means of a CIDR device, originally designed for heat synchronization. In the first trial 39 lactating and dry dairy cows were exposed to sun for three hours and shade for the rest of the day. Vaginal, as well as rectal and skin temperatures of the head, neck, abdomen and thigh were measured for two days periods. In the second trial, 10 dry dairy cows, housed continuously under shade for three days periods, were fed two different diets (high or low concentrate feed level) in a single switch over design. Variables measured were vaginal temperature and temperature and relative humidity of the air.

Exposure of the cows to solar radiation for 3 h increased both vaginal and rectal temperature by about half a degree Celsius ($P<.0001$). Skin temperatures increased more at sun exposure but continue to be lower ($P<.0001$) than rectal and vaginal temperatures. A significant interaction ($P<.0001$) between skin temperature measurements and changes in environmental conditions indicate that the differences among the different sites of skin temperatures differed before and after sun exposure. The differences between vaginal and rectal temperatures during the day were small

($P > .05$) and had a correlation close to 0.80 ($P < .0001$). Lower correlations were observed between core body temperatures (rectal and vaginal) and skin temperatures. In general, skin temperatures were not significantly different among them ($P > .05$) but the correlation values between them fluctuate greatly.

The average vaginal temperature of the cows that received the high concentrate feed diet was higher ($P < .0001$) than those that received the low concentrate diet. The difference in vaginal temperature between diets was $0.09 \pm 0.08^{\circ}\text{C}$ during the period of 1200-1955 h, when the vaginal temperature was increasing, and $0.14 \pm 0.05^{\circ}\text{C}$ in the period of 2000-1155 h, when it was decreasing. The air temperature had a significant effect on the body temperature ($P < .0001$). By each one Celsius degree of increase in the air temperature, the vaginal temperature increased $.23^{\circ}\text{C}$. By each Celsius degree of decrease in the air temperature, the vaginal temperature decreased $.42^{\circ}\text{C}$.

In conclusion, although the method tested of measuring vaginal temperature had 15 % thermometers expelled, it proved to be sensitive and convenient registering vaginal temperature continuously. Vaginal temperature is as good indicator of body temperature as rectal temperature. Skin temperature, although is not as reliable as the vaginal one, can provide different and useful information.

RESUMEN

La temperatura corporal es un indicador excelente de la salud y el bienestar de los animales, pero los métodos actualmente disponibles para medirla presentan dificultades y pueden no adaptarse a ciertas necesidades de investigación. Los objetivos de esta investigación fueron comparar un método de medir temperatura vaginal bovina en forma continua bajo diferentes condiciones ambientales y dietas. El método utilizado para medir temperatura vaginal consistió de un termómetro anclado en la vagina de las vacas mediante un CIDR, originalmente diseñado para la sincronización de celo. En la primera prueba 39 vacas lecheras horras y lactantes fueron expuestas a radiación solar directa por tres horas y a sombra por el resto del día. Por periodos de dos días se midió temperatura vaginal, rectal y superficial de la cabeza, cuello, abdomen y muslo. En la segunda prueba 10 vacas lecheras horras, bajo sombra continuamente por periodos de tres días, fueron alimentadas con dos dietas diferentes (alto o bajo nivel de alimento concentrado) en un diseño de reversión simple. Las variables medidas fueron temperatura vaginal y temperatura y humedad relativa del aire.

La exposición de las vacas a la radiación solar por tres horas aumentó las temperaturas rectal y vaginal por cerca de medio grado Celsius ($P<.0001$). Las temperaturas de la piel fueron las que más aumentaron con la exposición al sol pero continuaron siendo más bajas ($P<.0001$) que la rectal y vaginal. Se encontró una interacción significativa ($P<.0001$) entre el lugar de medición de temperatura de la piel y las condiciones ambientales donde se tomaron las medidas. Esta indica que los

patrones de cambio entre las temperaturas de la piel medidas en diferentes partes del cuerpo varían entre antes y después de la exposición al sol. Las diferencias entre las temperaturas rectal y vaginal durante el día fueron pequeñas ($P > .05$) y tienen correlaciones cercanas a 0.80 ($P < .0001$). Se observaron coeficientes de correlación menores que éstas entre las temperaturas internas del cuerpo (vaginal y rectal) y las temperaturas de la piel. En general, las temperaturas de la piel no fueron significativamente diferentes entre sí ($P > .05$) y los coeficientes de correlación entre ellas fueron variables.

La temperatura vaginal promedio de las vacas que recibieron la dieta alta en alimento concentrado fue mayor ($P < .0001$) que la de las vacas que recibieron la dieta baja en alimento concentrado. La diferencia en temperatura vaginal entre las dietas fue $0.09 \pm 0.08^{\circ}\text{C}$ durante el periodo de 1200-1955 h, cuando la temperatura vaginal estaba aumentando, y $0.14 \pm 0.05^{\circ}\text{C}$ en el periodo de 2000-1155 h, cuando estaba disminuyendo. La temperatura del aire tuvo un efecto significativo sobre la temperatura corporal ($P < .0001$). Por cada grado Celsius de aumento en la temperatura del aire, la temperatura vaginal aumentó $.23^{\circ}\text{C}$. Por cada grado Celsius de disminución en temperatura del aire, la temperatura vaginal disminuyó $.42^{\circ}\text{C}$.

En conclusión, aunque el método evaluado de medir temperatura vaginal tuvo un 15 % de termómetros que se salieron de la vagina, este demostró ser conveniente y suficientemente sensitivo registrando temperatura vaginal continuamente. La temperatura vaginal es tan buen indicador de temperatura corporal como la temperatura rectal. La temperatura de la piel, aunque no es tan confiable como la vaginal, puede proveer información útil y diferente.

DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada a mis padres, Gilberto Sánchez y Eva Rodríguez, por todo su esfuerzo y dedicación por sacarnos adelante. Por enseñarnos con su ejemplo a luchar y esforzarnos aunque la situación no fuese la mejor. Por todo el sacrificio diario para que nosotros llegáramos a alcanzar nuestras metas. A mis hermanos, Gilberto Sánchez y Eva Sánchez, por brindarme su amor y acompañarme en gran parte de este camino. A mis abuelos, por inculcarme el amor por la agricultura y apoyarme a seguir hacia adelante. A mi cuñado Jorge Cole por toda la ayuda brindada y a mi sobrino, David Zadquiel Cole Sánchez. A todos mis familiares y amigos que de una forma u otra me han apoyado durante este proceso. A todos ustedes dedico este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primero y sobretodo a Dios. Gracias por traerme hasta aquí, por hacerme sobrepasar y poder lidiar con las pruebas de la vida. Por cargarme cuando mis fuerzas no fueron suficientes para seguir adelante. Gracias por poner a tantas bellas personas en mi vida durante todo este proceso. Gracias, por que todo lo puedo en Cristo que me fortalece. Gracias al Dr. Custodio, por permitirme ser su estudiante graduado, por su apoyo y su tiempo y por ayudarme a alcanzar esta meta. Gracias a la Dra. Santana y al Dr. Pantoja por ser parte de mi comité graduado, por sus consejos, su tiempo y ayuda. Gracias a mis padres, que se fajaron conmigo durante todo el experimento. Gracias a mis hermanos y cuñado por su enorme ayuda y apoyo. Gracias al Dr. Randel por su enorme ayuda para que este trabajo se llevara a cabo. Gracias al personal de la Vaquería de la EEA en Lajas, por toda su ayuda y cooperación con el manejo de los animales. Gracias a todos los compañeros estudiantes que estuvieron allí dándome la mano. Sin ustedes esto no sería posible, mil gracias.

Gracias al CSREES-USDA que bajo el proyecto T-STAR-90, (Desiccant Dehumidification and Evaporative Cooling for Dairy Cattle) proveyó fondos para esta investigación.

TABLA DE CONTENIDO

ABSTRACT	ii
RESUMEN	iv
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
TABLA DE CONTENIDO	viii
LISTA DE CUADROS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
APÉNDICE	xii
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	4
REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
Efecto de los Factores Ambientales Sobre la Temperatura Corporal	6
Picos diarios en temperatura corporal	8
Amplitud diaria para valores de temperatura corporal	9
Umbral de temperatura del aire	10
Efecto del Nivel de Alimento Concentrado y Fibra en la Dieta Sobre la Temperatura Vaginal	11
Efecto de la Radiación Solar Sobre la Temperatura Corporal.....	15
Comparación Entre Distintas Temperaturas Corporales	21
MATERIALES Y MÉTODOS	26
Vacas Lecheras Horras y Lactantes Expuestas al Sol por Tres Horas al Día	27

VARIABLES MEDIDAS.....	28
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	32
Temperatura Corporal de Vacas Lecheras Horras Alimentadas con Dietas Altas y Bajas en Alimento Concentrado.....	33
Análisis de los resultados.....	36
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
Eficacia de los Instrumentos de Medición de Temperatura Dentro de la Vagina.....	38
Efecto de la Temperatura del Aire Sobre la Temperatura Corporal en Vacas Horras Bajo Sombra.....	42
Tiempo de respuesta a la temperatura del aire.....	47
Nivel de cambio en temperatura vaginal por cambio en temperatura del aire.....	48
Umbral de temperatura del aire.....	49
Efecto del Nivel de Alimento Concentrado en la Dieta Sobre la Temperatura Vaginal de Vacas Horras Bajo Sombra.....	50
Efecto de la Exposición al Sol por Tres Horas sobre la Temperatura Vaginal de las Vacas.....	55
Activación de mecanismos termoregulatorios.....	60
Tiempo de rezago (Lag time).....	60
Comparación entre Diferentes Temperaturas Corporales.....	61
CONCLUSIONES.....	70
BIBLIOGRAFÍA.....	73
APÉNDICE.....	77

LISTA DE CUADROS

Cuadro No.	Título	Página
1	Temperatura de distintas partes de la anatomía bovina	21
2	Registro de temperaturas de la vaca que murió con el instrumento puesto	40
3	Vacas que perdieron sus termómetros vaginales	41
4	Por ciento de tiempo durante los seis días de la prueba en que las vacas estuvieron bajo condiciones de estrés calórico basado en la temperatura del aire	45
5	Porcentaje de tiempo durante los seis días de prueba en que las vacas estuvieron bajo condiciones de estrés calórico basado en el THI.....	46
6	Composición química estimada de las dietas experimentales (Base Seca)	53
7	Análisis de varianza para el efecto del tipo de medida de temperatura y el momento de la medida en el nivel de la temperatura.....	61
8	Correlaciones entre distintas medidas de temperatura corporal en distintos conjuntos de valores: (a) promedio global, (b) en la mañana, (c) al terminar período al sol y (d) tres horas después del regreso del sol	69

LISTA DE FIGURAS

Figura No.	Título	Página
1	Termómetro vaginal unido al CIDR y el dispositivo de inserción.....	28
2	Inserción de un termómetro en la vagina de la vaca.....	29
3	Termómetro rectal.....	30
4	Termómetro infrarrojo usado para medir temperatura Superficial	31
5	Cambio en temperatura y humedad relativa del aire bajo sombra las 24 horas del día.....	42
6	Cambio en las temperaturas vaginal y del aire (LSM) durante el día.....	44
7	Cambio en temperatura vaginal (LSM) durante el día de vacas horas bajo sombra recibiendo dos niveles distintos de alimento concentrado en la dieta.....	50
8	Cambio en temperatura vaginal (LSM) durante el día de vacas horas bajo sombra recibiendo dos niveles distintos de alimento concentrado en la dieta en el Periodo 1 de toma de datos	51
9	Cambio en temperatura vaginal (LSM) durante el día de vacas horas bajo sombra recibiendo dos niveles distintos de alimento concentrado en la dieta en el Periodo 2 de toma de datos	51
10	Cambio en las temperaturas vaginal y del aire (exterior e interior) (LSM) durante el día.	57
11	Cambio en el promedio de distintas temperaturas corporales ocasionados por la exposición a la radiación solar directa.	63

APÉNDICE

Apéndice No.	Título	Página
1	Cuadro 9. Promedio de Temperaturas Corporales Medidas Durante Varios Periodos Experimentales (Least Square Means).....	83

INTRODUCCIÓN

La temperatura interna promedio del cuerpo de una vaca saludable en estado de reposo es de 38.6°C. Esa temperatura debe mantenerse dentro de un límite estrecho (37.8 °C y 40.0 °C) para que los procesos fisiológicos se lleven a cabo normalmente y que la vaca se sienta cómoda. Temperaturas corporales internas con valores más allá de estos límites son indicadores de que la vaca puede tener problemas de salud o que está sufriendo el efecto de condiciones físicas adversas tales como temperatura del aire, radiación solar, actividad física y humedad relativa, entre otras, que pueden afectar negativamente al animal en cuanto a su comodidad, su producción y hasta su salud.

La temperatura corporal es por lo tanto, una herramienta útil que nos ayuda a conocer cómo se encuentra el animal. Sirve para determinar aspectos de gran importancia, como lo son: la presencia y grado del estrés de calor, el estado de producción, reproducción y salud del animal. Esto hace necesario el contar con un método eficiente para medir dicha variable.

La mayor parte de los datos sobre temperatura corporal interna de las vacas que se encuentran en la literatura son de temperatura rectal, por haber demostrado que es un método de medición que produce datos confiables y que es relativamente fácil de ejecutar. La temperatura rectal sólo puede ser medida en momentos específicos del día, es decir, no hay medidas continuas porque la peristalsis del recto no permite dejar allí un termómetro por períodos largos de tiempo. Por otro lado, hay medidas continuas de temperatura peritoneal, ruminal y vaginal, que también son medidas del interior del cuerpo. Contamos con otras medidas de temperatura, que no son propiamente del

interior del cuerpo, como lo son la timpánica, de la leche y de la piel. Cada medida tiene virtudes y defectos, por eso es necesario seguir desarrollando tecnología que permita tomar nuevos tipos de medidas o que facilite, abarate y aumente la confiabilidad de las medidas que se pueden hacer actualmente.

Los valores normales de temperatura corporal varían de acuerdo a la parte anatómica del animal en donde son medidos. Debe hacerse más investigación para entender mejor las diferencias, así como las asociaciones que hay entre los distintos tipos de medidas de temperatura corporal. De esta forma podemos conocer los valores normales de cada parte del cuerpo, su relación entre si y la forma como son afectadas por factores externos. Si contáramos con estos conocimientos, podríamos usarlos en el diagnóstico de problemas y en el control efectivo de las condiciones ambientales que pueden afectar adversamente a las vacas.

Hasta el momento se han usado diversos instrumentos y vías (i.e. rectal, timpánica, ruminal, subdermal, vaginal, superficial, etc.) para determinar los valores de temperatura corporal en los animales. Desgraciadamente, muchos de ellos no se adaptan para usarlos en algunos ambientes de investigación porque no tienen la capacidad de obtener medidas constantes las 24 horas del día y envuelven una marcada interacción de la persona con el animal. Por esta razón, estamos evaluando un método de medir temperatura vaginal las 24 h del día, que requiere un mínimo de contacto entre la persona y el animal y que nos permite medir y almacenar datos por largos periodos de tiempo.

El propósito de esta investigación fue evaluar un método de medir temperatura vaginal continuamente y estudiar el patrón de diferencia en temperatura vaginal, las 24

h del día, de vacas que recibieron dietas con dos niveles diferentes de alimento concentrado. También estudiamos el patrón de cambio de la temperatura vaginal durante las 24 h del día que exhibieron vacas lecheras que se expusieron a radiación solar directa por tres horas cada día en el periodo de mayor radiación solar. Finalmente, los datos obtenidos permitieron comparar medidas de temperatura corporal interna; vaginal y rectal, con medidas de temperatura de la piel.

OBJETIVOS

Esta investigación se realizó con los siguientes objetivos:

- Evaluar un método para medir temperatura vaginal continuamente en vacas.
- Determinar el efecto del nivel de alimento concentrado en la dieta sobre la temperatura vaginal de vacas horras.
- Determinar el efecto de la temperatura del aire sobre la temperatura corporal bovina.
- Determinar el efecto de la radiación solar sobre la temperatura corporal bovina.
- Determinar cuanto tiempo les toma a las vacas ajustar su temperatura corporal en respuesta a cambios en radiación solar y temperatura del aire.
- Determinar la razón de cambio de la temperatura vaginal bovina en respuesta al cambio en la temperatura del aire.
- Determinar si existen diferencias entre medidas de temperatura del interior en comparación con medidas del exterior del cuerpo al ser usadas como indicadores de temperatura corporal.
- Evaluar la consistencia entre dos medidas de temperatura del interior del cuerpo, rectal y vaginal.
- Determinar la relación que existe entre diferentes medidas de temperatura del exterior del cuerpo (cabeza, cuello, abdomen derecho, abdomen izquierdo y muslo).

REVISIÓN DE LITERATURA

La temperatura corporal es un excelente indicador del estado general del animal. Esta sirve para determinar diferencias en aspectos de gran importancia como lo son: los estados productivos (West, 2003), reproductivos (Rajamahendran et al., 1989) y de salud (Vicini et al., 1990) y además, nos ayuda a determinar la presencia y el grado de estrés de calor (West, 2003). Nos permite determinar cuál es el efecto de la temperatura del aire (Beatty et al., 2006 y Settivari et al., 2007), del nivel de alimento concentrado en la dieta (Davis et al., 2003 y Drackley et al., 2003) y de la exposición a la radiación solar (Coleman et al., 1996) y Valtorta et al., 1997) sobre la temperatura corporal de los animales. Sin embargo, gran parte de las investigaciones realizadas sobre estos temas han sido llevadas a cabo bajo condiciones de clima templado o de ambiente controlado y con medidas tomadas de forma no continua. Esto limita grandemente el grado en que los resultados publicados por estos investigadores puedan aplicar a las condiciones en las que se encuentran los animales en Puerto Rico. Además de no ser capaces de tomar medidas de temperatura corporal de forma continua, la mayor parte de los métodos ya existentes envuelven una alta interacción entre el investigador y el animal y pueden envolver procedimientos complicados y/o costosos. Esto limita grandemente su potencial. Es por esto que es necesario evaluar otros métodos que puedan ofrecer ventajas sobre los ya existentes.

Efecto de los Factores Ambientales Sobre la Temperatura Corporal

Ominski et al. (2002) realizaron un experimento bajo condiciones controladas en Canadá. Para esto usaron 2 periodos con 15 días de duración cada uno. Cada periodo se dividió en los subperiodos: a) 5 d termoneutrales , b) 5 d en estrés de calor y c) 5 d termoneutrales de recuperación. Los subperiodos a y c tuvieron una temperatura ambiental de 24°C de 0700 a 1800 h y de 20°C el resto del día y en el c, la temperatura se elevó gradualmente hasta 32°C entre las 0700 y 1000 h, permaneciendo así hasta las 1800 h y fue reducida a 20°C el resto del día. En este estudio se encontró que la exposición a estrés de calor causó un aumento en temperatura vaginal y tasa respiratoria de $0.6 \pm .04^\circ\text{C}$ y 27 ± 1.3 respiraciones/min, respectivamente.

Beatty et al. (2006) realizaron un experimento en novillas *Bos taurus* y *Bos indicus* en condiciones controladas. La temperatura del bulbo húmedo fue aumentada hasta llegar a 32°C en 5 d y se mantuvo así durante los días 7 al 11 del experimento. En este se encontró que para el día 11, la tasa respiratoria y la temperatura corporal de la cavidad peritoneal aumentaron ($P < .001$) en comparación con valores tomados a temperaturas menores en los días 1 y 2. Según aumentaba la temperatura del bulbo húmedo, la temperatura corporal también aumentaba, indicando que los animales almacenaban calor según la temperatura del bulbo húmedo aumentaba.

Settivari et al. (2007) realizaron un experimento bajo condiciones controladas con vacas Holstein lactantes en la Universidad de Missouri, Columbia. Este incluyó un periodo de 5 d de aclimatación a 18°C (termoneutral), seguido de 2 d de aumento en temperatura ambiental hasta alcanzar los 28.5°C. Al tercer día, la temperatura ambiental comenzó a ser alternada: 28.5 durante el día y 25.5°C durante la noche por 4

d. Estos encontraron que el estrés de calor aumentó ($P<.01$) la temperatura corporal basal (intraperitoneal) en las vacas durante los periodos de estrés de calor constante y cíclico en comparación con el periodo de precalentamiento. Una reducción gradual en temperatura ambiental durante el periodo poscalentamiento (4 d de duración) redujo ($P<.01$) la temperatura corporal basal. Durante el periodo poscalentamiento, ambos grupos tuvieron temperaturas corporales menores ($P<.04$) en los días 15, 16 y 17, en comparación con el periodo de precalentamiento (día 3).

Lammoglia et al. (1997) realizaron un experimento con 7 vacas cruzadas de carne con múltiples partos, durante el verano de 1995, en Texas, con una temperatura ambiental promedio de 22.5°C. La temperatura corporal fue medida con monitores electrónicos colocados bajo el músculo "obliquus abdominis" en el flanco izquierdo en contacto directo con el peritoneo. Se encontró que la hora del día tuvo un efecto en la temperatura corporal ($P<.01$).

Knapp y Grummer (1991) evaluaron 8 vacas Holstein lactantes con múltiples partos sometidas a periodos de 15 d bajo condiciones ambientales controladas en las facilidades de la Universidad de Wisconsin. Las temperaturas ambientales y humedades relativas que evaluaron fueron: 20.5°C y 38 % las 24 horas del día (condiciones ambientales termoneutrales) y la combinación de 31.8°C y 56 % por 14 horas y 25.9°C y 56 % por 10 horas al día (estrés de calor). Se midió temperatura rectal y tasa respiratoria aproximadamente a las 1600 h en los días 3, 6, 9 y 11 – 15 de cada periodo. Se encontró que la temperatura rectal y tasa respiratoria fueron aumentadas ($P<.0001$) debido al aumento en temperatura ambiental y humedad relativa.

Berman et al. (1985) examinaron el límite superior de estabilidad térmica y el subsiguiente aumento en las funciones termoregulatorias según fueron afectadas por la ventilación forzada. Para esto midieron temperatura rectal, temperatura de la piel de la oreja, frecuencia respiratoria (en los periodos de 0530-0630, 1130-0230, 1630-1730 y 2200-2300 h, por lo menos 2 horas después de haber comido) y temperatura del aire (1 vez antes y 1 vez después de cada periodo de toma de datos). Las medidas se tomaron cada 2 semanas durante los meses de julio a marzo. El experimento duró 2 años y utilizaron 170 vacas Holstein israelíes en el kibutz Merhavia (temperaturas del aire de 10 a 36°C). Hubo 2 grupos: uno con ventilación forzada (1.5 a 3 m/s de 0500 a 2200 h) a temperaturas del aire mayor de 12°C y el grupo control con ventilación natural (velocidad promedio de .5 m/s). Estos encontraron que entre los 26-36°C de temperatura ambiental, la temperatura rectal aumentaba con la temperatura del aire para ambos grupos.

Picos diarios en temperatura corporal

Ominski et al. (2002) en su estudio con vacas Holstein lactantes encontraron que el THI (medida que combina los efectos de la temperatura y la humedad relativa del aire) estuvo en sus valores máximos desde las 1100 hasta las 1800 h, y la temperatura vaginal continuó aumentando marcadamente durante este periodo. A las 1800 h, la temperatura vaginal comenzó a descender según descendía el THI. Beatty et al. (2006) en su estudio encontraron temperaturas corporales máximas individuales de 41.9 (día 10 a las 2200 h) y 41.2°C (día 11 a las 1430 h) para las novillas *Bos taurus* y *Bos indicus*, respectivamente. Lammoglia et al. (1997) reportaron, en su estudio con vacas de carne, que estas tuvieron sus valores mínimos ($39.7 \pm .06^\circ\text{C}$), máximos (40.2

$\pm .07^{\circ}\text{C}$) e intermedios ($39.9 \pm .07^{\circ}\text{C}$) de temperatura corporal a las 0300, 1900 y 1100 h, respectivamente.

En un estudio realizado por Lefcourt y Adams (1996) en verano, se encontró que las temperaturas corporales promedio, máxima (a las $1836 \pm .73$ h) y mínima (a las $0823 \pm .38$ h) fueron: $39.04 \pm .12$, $39.89 \pm .21$ y $38.33 \pm .29^{\circ}\text{C}$, respectivamente. En todos los animales se observaron picos marcados en temperatura corporal tarde en el atardecer (aproximadamente a las 2200 h) después de que la temperatura ambiental había comenzado a bajar de sus valores máximos.

En otro estudio de Lefcourt y Adams (1998) durante 2 inviernos, las temperaturas corporales diarias máxima (40.09 y 39.66°C), mínima (38.78 y 38.64°C) y promedio (39.29 y 39.06°C) no fueron afectadas por las bajas temperaturas ambientales. La temperatura corporal tuvo ritmos circadianos con la mínima aproximadamente a las 0800 y la máxima aproximadamente las 1900 h. Se observaron picos de temperatura en la tarde para ambos inviernos.

Amplitud diaria para valores de temperatura corporal

En un estudio llevado a cabo por Beatty et al. (2006) en condiciones climáticas controladas y sin variaciones diarias, contrario a lo que ocurre en el ambiente natural, la temperatura corporal profunda de las novillas *Bos taurus* y de las *Bos indicus* continuó demostrando una amplitud circadiana de aproximadamente 1°C durante el periodo caliente. Esta amplitud aumentó (hasta 1.8°C para las *Bos taurus* y hasta 1.6°C para las *Bos indicus*) durante el periodo de recuperación después de que el calor fue removido. En general, el ritmo circadiano de temperatura corporal se mantuvo a través del periodo caliente y aumentó cuando se redujo la temperatura del bulbo húmedo.

Settivari et al. (2007) encontraron en condiciones ambientales controladas con vacas Holstein lactantes que la temperatura corporal basal aumentaba cuando eran expuestas a periodos de estrés de calor constante, registrando valores que fluctuaron entre 39.46 y 39.77 °C para vacas control vs. entre 39.74 y 40.07°C las vacas tratadas con bST. Una reducción en la temperatura ambiental durante la noche, aumenta el gradiente térmico entre el animal y el ambiente, lo cual aumenta las pérdidas de calor por el animal. Al reducir la temperatura ambiental nocturna, se redujo la temperatura corporal basal en ambos grupos (control y bST) en estrés de calor constante de 39.59 a 39.30 °C y de 39.87 a 39.54 °C para los grupos control y tratadas con bST, respectivamente.

En el experimento de Lefcourt y Adams (1996) durante el verano, los picos en temperatura corporal mostraron amplitudes de 0.7 a 3.5°C y duraron 1.5 horas, mientras que en invierno, la diferencia entre el pico máximo y el mínimo de temperatura corporal generalmente excedía 1°C (Lefcourt y Adams, 1998).

Umbral de temperatura del aire

Knapp y Grummer (1991) en un experimento con vacas Holstein lactantes encontraron que el aumento en la temperatura corporal y tasa respiratoria son, frecuentemente, el primer indicio de estrés de calor en ganado lechero.

Lefcourt y Adams (1996) en el verano encontraron que la temperatura corporal máxima varía mínimamente en relación con la temperatura ambiental hasta que esta última alcanza los 25.6°C. Después de que la temperatura ambiental máxima diaria alcanza el umbral de 25.6°C, la temperatura corporal máxima diaria aumentaba linealmente con la temperatura máxima ambiental (0.42°C por cada 5°C; $P < .01$). El

umbral para temperatura ambiental promedio fue 20.6°C. Luego de alcanzar este umbral promedio de 20.6°C, la temperatura corporal aumenta 0.57°C por cada 5°C de aumento en temperatura ambiental ($P < .01$). Berman et al. (1985) encontraron que la temperatura crítica máxima es de 25 a 26°C y no depende de la producción de leche y del estado de aclimatación de la vaca expuesta a secuencias naturales de clima. Aparentemente, la aclimatación cambia la capacidad de disipar calor hasta que se alcanza este umbral de temperatura ambiental. Además, la frecuencia respiratoria comenzó a aumentar a temperaturas ambientales mayores de 25°C lo cual indica también que en este punto el animal ya no es eficiente manteniendo su temperatura corporal.

Efecto del Nivel de Alimento Concentrado y Fibra en la Dieta Sobre la Temperatura Corporal

El efecto que tiene el nivel de concentrado o de fibra en la dieta sobre la temperatura corporal del ganado vacuno ha sido el objeto de varias investigaciones (Magdub et al., 1982; Brosh et al., 1998; West et al., 1999; Davis et al., 2003 y Drackley et al., 2003). En general, dietas altas en concentrado y bajas en fibra tienden a producir un mayor consumo, mejor degradación y mayor producción de calor a nivel ruminal que dietas bajas en concentrado. Esto es debido a su menor volumen, mejor palatabilidad y mayor cantidad de nutrientes disponibles de fácil degradación. Brosh et al. (1998) evaluaron el efecto de: sol vs. sombra, nivel de energía metabolizable (EM) en la dieta y hora de alimentar (en la mañana o en la tarde) en la respuesta termoregulatoria y el balance de energía en diez novillas de carne en engorde. Este experimento fue llevado a cabo durante el verano (enero a marzo) de 1993 en el

suroeste de Australia. Esta es una región subtropical con temperaturas ambientales durante el verano comúnmente sobre los 30°C. Para esto se usaron 2 dietas: alta en EM y baja en EM. Las novillas que consumieron la dieta alta en energía metabolizable tuvieron mayor consumo de: agua (1.38 veces), materia seca (1.76 veces) y energía metabolizable (2.59 veces) y mayor gasto de energía que las novillas que consumieron la dieta baja en energía metabolizable ($P<0.001$). Encontraron que las vacas que consumieron una dieta alta en EM y que estuvieron expuestas al sol durante las tardes tuvieron temperaturas rectales más altas que las que consumieron dietas bajas en EM y estuvieron bajo sombra y se evaluaron en las mañanas. Además, la dieta tuvo una interacción significativa ($P<0.01$) de tres niveles con la hora de alimentación y la hora en que se midió la temperatura rectal; y también tuvo interacción significativa ($P<0.05$) de tres niveles con la radiación solar y la hora en que se midió. La temperatura rectal en las tardes fue más alta que en las mañanas en todos los casos, pero el aumento de la tarde fue mayor para las que consumieron la dieta alta en EM y aún mayor si estaban expuestas a la radiación solar o si fueron alimentadas en las mañanas. Esto quiere decir que la diferencia en temperatura rectal asociada a las dietas fue más pronunciada en las tardes que en las mañanas. Comer causa un aumento en la carga de calor intrínseca. Por esto, cuando se alimenta en la mañana el aumento en temperatura rectal es mayor en el periodo entre la mañana tardía y la tarde temprana, que es cuando ocurre la mayor radiación solar, que si se alimenta en la tarde. Brosh et al. (1998) concluyeron que el consumo de una dieta alta en energía, la cual es necesaria para mantener un alto nivel de producción, es la causa principal de la carga de calor para el ganado en crecimiento, y que la radiación solar tiene un efecto menor.

Drackley et al. (2003) usaron nueve vacas Holstein de partos múltiples y nueve de primer parto para determinar el efecto de la adición de grasa y concentrado en sus dietas sobre la temperatura rectal y tasa respiratoria, entre otras variables. Este experimento se realizó durante el verano en Illinois, en un establo y en un predio al aire libre. La temperatura ambiental promedio fue: 24.4, 22.0 y 23.4°C y la humedad relativa mínima fue: 53.0, 48.4 y 45.5 % para los periodos 1, 2 y 3, respectivamente. Utilizaron 3 dietas: 1) 40 % de concentrado + 60 % de forraje, 2) dieta 1 + 3 % de grasa y 3) 60 % de concentrado + 40 % de forraje. El consumo de materia seca en la dieta 3 fue significativamente mayor que en la dieta 2 y numéricamente mayor que la dieta 1 (21.0, 20.1 y 21.3 kg/d para las dietas 1, 2 y 3, respectivamente). Se midió temperatura rectal a las 0700 y a las 1400 horas por 3 días. Las vacas en la dieta alta en concentrado tuvieron una temperatura rectal más alta que aquellas consumiendo la dieta alta en grasa. West et al. (1999) usaron un grupo de 32 vacas lactantes: 24 Holstein (12 de primer parto y 12 de partos múltiples) y 8 Jersey (de partos múltiples) con un promedio de 60 días en producción. Estas fueron divididas y asignadas a 1 de 4 dietas con distintos niveles de Fibra Detergente Neutro (FDN) (30.2, 33.8, 37.7 y 42.0 % de FDN, para las dietas 1, 2, 3 y 4, respectivamente). Este experimento fue hecho en el sur de Georgia y constó de un periodo fresco (abril 28 a junio 1, $THI \leq 72$) y un periodo caliente (junio 2 a julio 27, $72.1 \leq THI \leq 83.7$). Se encontró que la temperatura de la leche se reducía según aumentaba el nivel de fibra (FDN) en la dieta.

Magdub et al. (1982) utilizaron 2 dietas, alta y baja en fibra, en 6 vacas lecheras lactantes para determinar el efecto del contenido de fibra en la dieta y el calor ambiental en las concentraciones de tiroxina y triiodotiroxina en el plasma, leche, orina

y heces. La temperatura ambiental tuvo un efecto significativo en la temperatura rectal ($P < 0.05$). En la dieta baja en fibra hubo un mayor consumo de energía digerible debido a su mayor contenido de concentrado. Este es el responsable de una mayor producción de calor a nivel del tracto digestivo. No se observó interacción entre el nivel de fibra en la dieta y la temperatura ambiental sobre la temperatura rectal. En este experimento se encontraron valores de temperatura rectal de 39.36 y 39.24°C para las dietas baja y alta en fibra, respectivamente. Esta diferencia no fue significativa, pero tuvo una magnitud de 0.12°C. Probablemente no fue significativa debido a que sólo se utilizaron 6 vacas y 24 medidas por día.

Davis et al. (2003) usaron veinticuatro novillos de carne cruzados, en Nebraska, para determinar el efecto que tiene el momento de la alimentación y el consumo de alimento en la temperatura timpánica de estos animales alimentados en confinamiento. Compararon tres formas de alimentar novillos: 1) alimentación *ad libitum* a las 0800 h, 2) alimentación a las 1600 h con una cantidad ajustada para que no quede nada a las 0800 h y 3) alimentación a las 1600 h al 85 % de su consumo *ad libitum* predicho. La temperatura timpánica de los novillos que consumieron alimento en las tardes restringido al 85 % del consumo *ad libitum* fue más baja que los que consumieron alimento *ad libitum* en la mañana (38.72 vs 39.22 \pm 0.10°C, respectivamente; $P < 0.001$), y que aquellos que consumieron alimento en la tarde ajustado para que no hubiera rechazo (38.72 vs. 39.00 \pm 0.10°C, respectivamente; $P < .10$). En resumen, alimentar en menor cantidad y en la tarde favorece que la temperatura timpánica sea más baja. Los autores concluyeron que de estas dos variables, el alimentar en la tarde tiene mayor efecto en reducir la temperatura timpánica que restringir el consumo de alimento.

Estos resultados fueron obtenidos bajo condiciones de estrés de calor ($74 \leq \text{THI} \leq 77$). También se encontró interacción de la dieta por la hora del día en la temperatura timpánica ($P < .05$). A medida que aumentaba el consumo de materia seca, aumentaba la temperatura corporal, aparentemente debido al proceso digestivo.

La disminución en consumo de materia seca que se observa en dietas con alto contenido de fibra es un mecanismo que usa el animal para ayudar a mantener la homeotermia, debido a que menor consumo redundaría en menor producción de calor metabólico (West, 1994). El reto al manejar ganado expuesto a condiciones ambientales que producen estrés de calor es minimizar la necesidad de reacciones compensatorias que comprometan la productividad del ganado (West, 1994), con gran énfasis desde el punto de vista nutricional. Según aumenta la temperatura ambiental, el consumo de materia seca se reduce, siendo la reducción más marcada en dietas con bajo contenido de fibra que en dietas con alto contenido de fibra (West et al., 1999). Esto se debe a la mayor producción de calor metabólico en dietas bajas en fibra y altas en nutrientes fáciles de metabolizar.

Efecto de la Radiación Solar Sobre la Temperatura Corporal

Hay cuatro factores ambientales que influyen la temperatura efectiva de las vacas lecheras: la temperatura del aire, la humedad relativa, el movimiento del aire y la radiación solar (Armstrong, 1994). Por causa de la radiación solar, en ambientes calientes como en el sur de Estados Unidos, la sombra es considerada esencial para mantener la eficiencia productiva y reproductiva y hasta para garantizar la supervivencia (Armstrong, 1994).

El efecto de la radiación solar directa sobre las vacas fue estudiado por Roman-Ponce et al. (1977) quienes realizaron dos experimentos durante el verano en el clima subtropical de Florida (temperatura promedio de 24.4-27.7°C, humedad relativa de 50-65 % en las tardes y 85-95 % durante la noche y la mañana). Evaluaron dos tratamientos de Sombra o No Sombra en 116 vacas lecheras. Midieron temperatura del bulbo seco, temperatura del bulbo negro ("black globe temperature"), temperatura de "Dew Point" y velocidad del viento. La única de estas temperaturas que resultó ser significativamente diferente entre tratamientos fue la del bulbo negro ("black globe temperature"). Ésta integra el efecto de la radiación solar neta, temperatura del bulbo seco y la velocidad del viento. Por lo tanto, interpretaron que la radiación solar fue el factor más importante en causar diferencias entre los tratamientos. La temperatura promedio del bulbo negro fue de 28.4 y 36.7°C para los tratamientos de Sombra y No Sombra, respectivamente ($P < .05$), que es una diferencia promedio de 8.3°C. Sin embargo, durante el mediodía se registraron diferencias de hasta 12°C. Variables de respuesta tales como tasa respiratoria y temperatura rectal se midieron todos los lunes durante el experimento en las horas de máximo calor: 1300-1500 h. Encontraron que la tasa respiratoria fue de 54 y 82 respiraciones/min, la temperatura rectal fue de 38.9 y 39.4°C, la producción de leche fue de 16.6 y 15.0 kg/d y la tasa de concepción de 44.4 y 25.3 % para los tratamientos de Sombra y No Sombra, respectivamente ($P < .05$). En las vacas bajo el tratamiento de No Sombra, se detectaron dos muertes embrionarias. Esto significa que el proveer sombra causa mejorías en la reproducción y lactancia.

En su segundo experimento, Roman-Ponce et al. (1977) volvieron a comparar entre sombra y no sombra con seis vacas lecheras en una prueba que tuvo dos días de

duración. Midieron tasa respiratoria y temperatura rectal cada dos horas empezando a las 0800 h y terminando a las 2400 h. Encontraron que las vacas en No Sombra tuvieron su pico máximo en temperatura rectal y tasa respiratoria cerca del mediodía, el momento de mayor radiación solar, y las vacas en Sombra, lo tuvieron en la tarde. También encontraron que las vacas en No Sombra tuvieron una mayor frecuencia de mastitis clínica, aparentemente debido a las condiciones ambientales y al estrés.

Collier et al. (1981) realizaron un experimento con 48 vacas lecheras en dos tratamientos: Sombra (15 Holstein y 8 Jerseys) y No Sombra (16 Holstein y 9 Jerseys) con el propósito de examinar el efecto que tiene la carga de calor producida por la radiación solar directa en la producción y composición de la leche. Este experimento duró 102 d comenzando en junio del 1977. Midieron temperatura rectal, tasa respiratoria, contracciones ruminales (1 vez/día entre las 1300-1600 h) y la temperatura del bulbo negro (cada 15 minutos de 1200-1700 h en 20 d aleatorios). Encontraron que la temperatura del bulbo negro tuvo valores promedios diarios de 30.1 y 38.8°C para los tratamientos de Sombra y No Sombra, respectivamente ($P<.05$). En los datos promedios de la tarde solamente, se encontró que bajo Sombra la temperatura del bulbo negro es 8°C menor que en el tratamiento de No Sombra ($P<.05$). La temperatura rectal de las vacas que estaban en la sombra tuvo valores promedios de 38.7°C y las que estaban bajo sol de 39.6°C ($P<.05$). Se observaron 78.5 y 114.8 respiraciones/min para los tratamientos de Sombra y No Sombra, respectivamente ($P<.05$).

Los investigadores Collier et al. (1981) indicaron que la temperatura del bulbo negro está asociada a la producción de leche con un periodo de rezago de 24-48 horas

($P < .05$). A altas temperaturas del bulbo negro, se observa una reducción en producción de leche la cual se debe a una reducción en las contracciones ruminales, el consumo de alimento y, probablemente, a una reducción en la tasa de pasaje del alimento que ocurre a altas temperaturas del bulbo negro. La producción de leche promedio durante el experimento, corregida por etapa de lactación, fue 15.12 y 12.67 kg/d para los tratamientos de Sombra y No Sombra, respectivamente ($P < .05$).

Estos investigadores (Collier et al., 1981) observaron que las vacas bajo la radiación directa del sol sufrieron temperaturas del bulbo negro que eran igual o mayor que la temperatura corporal normal, por lo tanto, las formas sensibles de disipar calor que requieren un gradiente térmico (conducción, convección y radiación), estaban comprometidas. En estas vacas la evaporación (jadeo y sudor) viene a ser la vía más importante para disipar calor, pero como ésta tampoco es suficiente, las vacas se ven forzadas a almacenar calor hasta las horas más frescas durante la noche. El calor almacenado en el cuerpo trae como resultado un incremento en la temperatura corporal y en la tasa respiratoria de las vacas. En este experimento se encontró que cuando la temperatura del bulbo negro es menor de 35°C, las vacas son capaces de mantener su temperatura rectal normal. Si aumenta sobre 35°C, hay un marcado aumento en la temperatura rectal (siendo menor en las vacas Jersey que en las Holstein) y en la tasa respiratoria (sin diferencias entre razas).

Coleman et al. (1996) realizaron un estudio en el que evaluaron el efecto de la sombra suplementaria en becerros lecheros de ambos sexos criados en casitas ("hutches") hechas de plástico translúcido en el ambiente sureño de Estados Unidos (Alabama). Las temperaturas promedio diarias máxima y mínima en los meses de julio

y agosto fueron 32 y 20°C, respectivamente. Basado en el THI, los becerros estuvieron en algún grado de estrés de calor durante el periodo de la tarde. Los becerros estuvieron en el tratamiento desde que nacieron hasta los 42 días de edad. Estos fueron divididos en dos tratamientos: casitas al sol y casitas bajo sombra suplementaria. En el primer año se usaron 12 animales/tratamiento y en el segundo, 9 animales/tratamiento. Encontraron que el tratamiento de sombra suplementaria causó una reducción en temperatura del aire, dentro y fuera (área de ejercicio) de las casitas, en ambos años ($P<.01$). La temperatura rectal fue significativamente menor en el tratamiento de sombra en el primer año ($P<.05$). También se encontró que los animales en sombra tuvieron un menor consumo de concentrado pero una ganancia promedio diaria similar a los que no tenían sombra. Esto significa que los que estaban bajo sombra tuvieron una mejor eficiencia alimenticia. La sombra parece ser el método más costo efectivo para reducir el estrés de calor en vacas. La diferencia en temperatura del bulbo negro entre sobre y bajo la estructura que provee sombra fue de más de 3°C y de cerca de 7°C entre la mañana (0700 h) y la tarde (1500 h), respectivamente ($P<.01$). La temperatura rectal fue 39.7°C y 40.0°C para los tratamientos de sombra y no sombra, respectivamente ($P<.05$).

Williams et al. (1960) estudiaron el efecto del clima en Texas Central en la habilidad de novillas lecheras para regular el calor. Entre otras cosas, estudiaron el efecto de la radiación solar en la temperatura corporal y tasa respiratoria. Encontraron que la radiación solar tiene un efecto directo en la temperatura corporal cuando la temperatura del aire está cerca de la termoneutralidad (por debajo de los 32.22°C)

($P < .01$). La tasa respiratoria fue más afectada por la radiación solar que por las otras influencias ambientales ($P < .01$).

Valtorta et al. (1997) compararon en Argentina el efecto de distintos tipos de sombra (dos sombras naturales provenientes de árboles, una artificial y no sombra) en la fisiología de vacas lactantes. Las temperaturas promedio del bulbo negro fueron $30.2 \pm .58$, $29.0 \pm .70$, $30.2 \pm .74$ y $35.5 \pm 1.12^\circ\text{C}$ para sombra de árboles 1, sombra de árboles 2, sombra artificial y exposición directa al sol (no sombra). Esto es, bajo las distintas sombras la temperatura del bulbo negro fue menor ($P < .01$) que en el exterior sin sombra. La temperatura promedio de los pisos fue $27.8 \pm .68$ y $47.7 \pm 2.13^\circ\text{C}$ para sombra y no sombra, respectivamente ($P < .01$). La temperatura rectal fue significativamente mayor ($P < .01$) en vacas expuestas a la radiación solar que en animales a la sombra ($40.1 \pm .65$ y $39.3 \pm .42^\circ\text{C}$ para sol y sombra, respectivamente). La tasa respiratoria fue de 78.9 ± 18 y 60.7 ± 10.6 respiraciones/min para sol y sombra, respectivamente ($P < .05$). Los autores concluyeron que proveer 80 % de sombra reduce la carga de calor y mejora el bienestar animal en un sistema basado en pastoreo.

El estrés de calor tiene un efecto negativo tanto en la producción (West, 2003) como en la reproducción (Jordan, 2003) (y en variables relacionadas) del ganado bovino. La radiación solar es una de las principales fuentes de estrés de calor y, por lo tanto, afecta negativamente estas y otras variables relacionadas.

Comparación Entre Distintas Temperaturas Corporales

Cada parte del cuerpo de la vaca tiene un promedio de temperatura diferente. En la Cuadro 1 se presentan algunos promedios de temperatura de diferentes partes del cuerpo de las vacas que han sido reportados en la literatura. Las temperaturas de las distintas partes del cuerpo que se presentan en la Cuadro 1 no constituyen una base para una comparación precisa porque muchas de ellas fueron obtenidas en diferentes condiciones ambientales y fisiológicas.

Cuadro 1. Temperatura de distintas partes de la anatomía bovina.

	Temperatura (°C)	Referencia
Temperaturas del interior del cuerpo		
Vaginal	38.81	Bergen y Kennedy (2000)
Timpánica	38.58	Bergen y Kennedy (2000)
Ruminal	39.00	Prendiville et al. (2002)
Rectal	38.1-40.2	Di Costanzo et al. (1997)
Rectal	38.40	Prendiville et al. (2002)
Rectal	37.8-40.7	Johnston et al. (1963)
Peritoneal	39.04	Lefcourt y Adams (1996)
Láctea	38.6-38.8	West et al. (1999)
Temperaturas del exterior del cuerpo		
Piel del escroto	32.6-38.4	Johnston et al. (1963)
Piel del flanco	33.8-39.6	Johnston et al. (1963)
Piel sobre la grupa	31.6-37.2	Di Costanzo et al. (1997)
Rabo	31.2-37.0	Di Costanzo et al. (1997)

En la literatura hay varios reportes de investigaciones en las que se midieron a la vez en los mismos bovinos temperaturas corporales en dos o más partes del cuerpo. Escritos donde se comparan simultáneamente varias temperaturas corporales diferentes son escasos.

Existen investigaciones en las que se compararon diferentes temperaturas del interior del cuerpo tales como la rectal, vaginal, timpánica o láctea. Kriss (1920) utilizó 2 vacas secas durante 16 semanas para evaluar las variaciones en la temperatura corporal del ganado y algunos de los factores que la afectaban. Los termómetros estuvieron insertados en la vagina y en el recto por cerca de 3 minutos. Se encontró que la temperatura rectal fue en promedio $.09^{\circ}\text{C}$ mayor que la vaginal al medir ambas a 18 cm de profundidad. También observó un aumento gradual en temperatura durante la tarde (1430-1700 h). El consumo de alimento aumentó ligeramente la temperatura corporal por cerca de .5 h cuando las vacas recibieron su ración. También encontró que las temperaturas rectal y vaginal fueron marcadamente mayores cuando se midieron a una profundidad de 15-18 cm que a una profundidad de 10-13 cm.

Rajamahendran et al. (1989) estudiaron la relación de la llegada del celo, la temperatura corporal, las concentraciones de LH y de progesterona y la producción de leche con la ovulación en 10 vacas Holstein. Para esto midieron la temperatura corporal (rectal y vaginal) 4 horas antes de haber inyectado prostaglandina $\text{F2}\alpha$ por segunda vez, cada 4 h hasta la ovulación. Encontraron una correlación de 0.95 entre la temperatura rectal y la vaginal. Además, observaron que la temperatura rectal tuvo, constantemente, valores mayores que la vaginal y básicamente el mismo patrón de comportamiento.

West et al. (1999), usaron la temperatura de la leche como una medida de temperatura corporal ya que determinaron una correlación de 0.78 ($P < 0.001$) entre ésta y la temperatura rectal bovina existe y es $.15^{\circ}\text{C}$ mayor que la rectal.

Berman (1971) midió las reacciones termoregulatorias de vacas lactantes (4 Holstein Israelí con 33 kg leche/vaca/d) en verano (25-39°C) y en invierno (9.5-24°C) a intervalos de 3 horas durante 4 ciclos de 24 h cada uno en cada temporada. Este experimento fue realizado en área de desierto al sur del Mar Muerto. La temperatura de la piel fue medida en lugares afeitados y la rectal, a una profundidad de 15 cm. Además, midió temperatura timpánica. Encontró que los cambios entre estaciones del año fueron mayores para la temperatura rectal que para la de la membrana timpánica. Además, encontró correlaciones bajas entre la temperatura rectal y las respuestas termoregulatorias del ganado. Lo cual sugiere que la temperatura rectal de los rumiantes es afectada considerablemente por el metabolismo ruminal. Las temperaturas rectal y timpánica están altamente correlacionadas ($r=0.863$, $p<.01$). Los rumiantes difieren de los monogástricos en que el calor originado por la fermentación bacteriana del alimento es un componente importante de la carga de calor interna.

Hay investigaciones que no tuvieron el objetivo de comparar temperaturas corporales pero que permiten comparar temperaturas del interior del cuerpo con temperaturas de la piel porque ambas fueron medidas simultáneamente en bovinos. Di Costanzo et al. (1997) usaron 26 vacas Holstein lactantes para evaluar si la administración de ácido nicotínico, vitamina del complejo B que tiene un efecto vasodilatador, ayuda a mejorar la transferencia de calor desde el interior del cuerpo hacia la piel bajo condiciones de estrés calórico. Midieron temperatura de la piel del rabo (luego de afeitar) y de la grupa con un termómetro infrarrojo y temperatura rectal usando un termómetro de acero inoxidable diariamente a las 0800, 1600 y 2200 h. Las temperaturas rectales variaron de 38.1 a 40.2, las del rabo variaron de 31.2 a 37.0 y las

de la grupa variaron de 31.6 a 37.2°C. Evidentemente las temperaturas del interior del cuerpo resultaron ser considerablemente más altas que las del exterior del cuerpo.

Umpfrey et al. (2001) usaron 32 vacas Holstein multíparas (130 ± 29 d en leche) en un experimento de 91 d de duración en Alabama (17-39°C de temperatura ambiental y 47-99 % de HR) durante el verano para determinar si las temperaturas rectal y de la piel eran repetibles e interrelacionadas. Midieron temperaturas rectal y de la piel cada tercer día a las 1500 horas. La correlación simple entre la temperatura de la piel y la rectal fue de -0.022. Basado en estas correlaciones tan bajas, concluyeron que la temperatura de la piel es cuestionable como valor de la temperatura basal interior del cuerpo.

Otros han encontrado correlaciones más altas. Johnston et al. (1963) midieron la temperatura de la piel del flanco, la de la piel del escroto y la rectal (a 13 cm de profundidad) en toros de razas lecheras con el propósito de evaluar el efecto de la temperatura ambiental sobre aspectos reproductivos. La temperatura de la piel del escroto (32.6-38.4°C) fue menor que la de la piel del flanco (33.8-39.6°C) y ambas más bajas que la rectal (37.8-40.7°C). Esto es de esperarse, porque el escroto tiene un eficiente mecanismo termorregulador y el flanco tiene una gran proporción de superficie expuesta. Los coeficientes de correlación entre la temperatura rectal y la del flanco fueron 0.59 ($P < .01$); de 0.07 ($P > .05$) entre la rectal y de la piel del escroto y 0.04 ($P < .05$) entre la del flanco y la del escroto.

Finch (1986) en su revisión de literatura reportó valores de 39.1 y 37.6°C de temperatura rectal y de la piel, respectivamente, en ganado de carne expuesto directamente a radiación solar. En el mismo ganado en un cuarto con condiciones

controladas a 44°C, reportó valores de 39.8 y 39.0°C, para temperatura rectal y de la piel, respectivamente. Bajo condiciones extremas de temperatura alta se notó poca diferencia entre la temperatura del interior en comparación con la del exterior del cuerpo, porque la temperatura del exterior del cuerpo aumentó hasta acercarse a la del interior del cuerpo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación realizada permitió evaluar la efectividad de un método en el cual se usaron termómetros electrónicos colocados en la vagina de las vacas para registrar temperatura en forma continua en comparación con otros métodos para evaluar temperatura corporal. Estos termómetros son a prueba de agua y con capacidad electrónica para almacenar datos de temperatura tomados en forma continua que luego se pueden leer en una computadora convencional. Se evaluó tanto la proporción de los termómetros que fueron retenidos en la vagina durante períodos de dos a tres días, así como la sensibilidad de los mismos para detectar cambios en la temperatura vaginal debido a diferentes factores.

Este experimento se realizó en dos pruebas que consistieron de más de un período cada una. La primera prueba se realizó con vacas lecheras horras y lactantes que estaban estabuladas a la sombra la mayor parte de las 24 h y se sacaban al sol por un periodo de 3 h al día. La segunda prueba se realizó con vacas horras estabuladas a la sombra las 24 h del día, en un diseño de reversión simple con dos dietas diferentes, para determinar si era posible detectar diferencias en la temperatura vaginal ocasionada por la diferencia en el nivel de concentrado en la dieta.

Los datos que se obtuvieron en la primera prueba con vacas lecheras horras y lactantes al sol y a la sombra, se usaron para hacer dos tipos de análisis: evaluar el efecto de la exposición a la radiación solar en la temperatura corporal y hacer una comparación entre distintos tipos de temperaturas corporales. Los datos de la segunda prueba, en la que se usaron vacas lecheras horras alimentadas con dos dietas

diferentes, se usaron para evaluar el efecto del nivel de alimento concentrado en la dieta y el de la temperatura del aire sobre la temperatura vaginal.

Vacas Lecheras Horras y Lactantes Expuestas al Sol por Tres Horas al Día

En este experimento se usaron 39 vacas lecheras en total, de las cuales 20 eran lactantes (18 Holstein y 2 cruces de Pardo Suizo x Holstein) con una producción promedio de 17.7 kg de leche/d (10.4-29.8 kg/d) y 19 eran horras (17 Holstein y 2 cruces de Pardo Suizo x Holstein). Este se realizó en las facilidades de la Vaquería de la Estación Experimental Agrícola en Lajas en cuatro periodos. Los periodos 1, 2, 3 y 4 se llevaron a cabo en diciembre 2005, enero, febrero y marzo de 2006, respectivamente. Cada periodo tuvo una duración de 48 horas y se inició con 10 vacas, pero algunas de ellas perdieron su termómetro vaginal y por ende sus datos.

Las vacas lactantes recibieron antes de cada ordeño alimento concentrado comercial con 18 % de proteína de acuerdo a su nivel de producción de leche. Las vacas horras recibieron aproximadamente 1.8 kg del mismo alimento concentrado a las mismas horas que las lactantes. A todas las vacas se les ofreció heno *ad libitum* durante todo el día. Todos los animales pasaron la noche en un establo techado (136.3 m², piso de concreto, techo en 2 aguas con 5.2 m de altura en el centro y paredes abiertas de 3.2 m de alto) con acceso *ad libitum* a agua.

Las vacas lactantes fueron removidas del grupo y ordeñadas 2 veces al día, a las 0400 y a las 1430 horas. Previo a cada ordeño, a las vacas lactantes se les lavaron las ubres y patas con agua a temperatura ambiente.

Variables medidas

En la tarde del día anterior al comienzo de cada periodo, a cada vaca se le insertó en su vagina un termómetro *HOBO Water Temp Pro Logger* (*Onset Computer Corporation, Pocasset, MA*) amarrado a un *CIDR* (dispositivo intravaginal que contiene progesterona, *Eazi-Breed CIDR Cattle Insert*). En la Figura 1 se ilustra un termómetro amarrado a un CIDR listo para ser colocado en la vagina de la vaca. También se ilustra el dispositivo donde se monta el instrumento para insertarlo en la vagina. Los termómetros fueron programados mediante una computadora para comenzar a tomar medidas de temperatura a las 0600 h del día siguiente y continuar tomando y almacenando medidas de temperatura cada 5 minutos hasta que se removieran y sus datos fueran leídos por medio de la computadora.

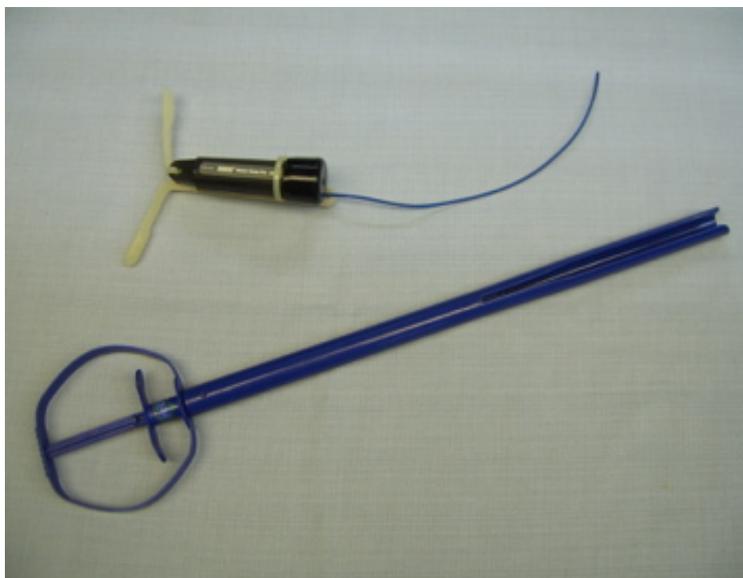


Figura 1. Termómetro vaginal unido al CIDR y el dispositivo de inserción.

La función del CIDR era servir de anclaje para lograr que el termómetro fuera retenido en la vagina sin salirse fácilmente. El exterior de la vulva se lavó y desinfectó con una solución de nolvasán y se secó con toallas desechables individuales antes de insertar el termómetro. Cada termómetro-CIDR fue montado en el dispositivo para insertar los CIDR, desinfectado con una solución de *Nolvasan*, secado con papel toalla y levemente lubricado en la parte frontal con aceite mineral, inmediatamente antes de insertarlo profundo en la vagina usando dicho dispositivo (Figura 2).



Figura 2. Inserción de un termómetro en la vagina de la vaca.

Se tomaron manualmente otras medidas de temperatura corporal en el recto y en la superficie de la piel 3 veces al día (0700-0800, 1100-1200 y 1500-1600 h). A todas las vacas se les midió temperatura rectal (con un termómetro *GLA Agricultural Electronics modelo 525-550* con una sonda de acero inoxidable de 11.43 cm de largo) (Figura 3) que se insertó completamente en el recto de las vacas y se esperó,

aproximadamente, 10 segundos para que la medida se estabilizara. Entre una vaca y otra se utilizó una solución de *Nolvasan* para desinfectar la sonda. Las temperaturas superficiales se midieron con un termómetro infrarrojo (Raytek MX4, Raytek Corporation, Santa Cruz, California) en la cabeza, cuello, abdomen derecho, abdomen izquierdo y muslo (Figura 4). Las temperaturas de la piel se tomaron apuntando al animal a aproximadamente 4 pies de distancia y a un ángulo de 90° con la superficie de interés por aproximadamente 7 segundos hasta que la medida se estabilizara.



Figura 3. Termómetro rectal.



Figura 4. Termómetro infrarrojo usado para medir temperatura superficial.

La primera serie de medidas del día (cabeza, cuello, abdomen derecho, abdomen izquierdo, mulso y rectal) se tomaron manualmente entre las 0700-0800 h a todas las vacas en orden aleatorio. Primero se tomaron las temperaturas superficiales (las cuales no conllevan tanta interacción directa con los animales) y luego las rectales (todo corrido al mismo animal) para reducir el estrés causado en las vacas. A las 0800 h, todas las vacas pasaron a un predio sin sombra de 384 m², con agua y heno disponibles *ad libitum*. En éste estuvieron expuestas directamente a la radiación solar hasta las 1100 h. A esta hora todos los animales regresaron al rancho bajo sombra en donde, en orden aleatorio de vacas se les tomó manualmente la segunda serie de medidas de temperatura (entre las 1100 y 1200 h). A partir de este momento (1100 h), todas las vacas permanecieron bajo sombra hasta el próximo día a las 0800 h. Entre las 1500 y 1600 h se les tomó manualmente y aleatoriamente la tercera serie de

medidas de temperatura corporal a todas las vacas, luego de haber estado aproximadamente tres horas de recuperación bajo sombra.

También se midió la temperatura y humedad relativa del aire que rodeaba las vacas con termómetros hechos por la misma compañía que hizo los termómetros usados para medir la temperatura vaginal (Onset Computer Corporation, Pocasset, MA). Estos dos tipos de termómetros se programan y se leen con el mismo programa de computadora, por lo tanto, se programaron para iniciar la medición de temperatura a la misma hora y al mismo intervalo de tiempo (cinco minutos) que la temperatura vaginal.

Uno de estos termómetros fue suspendido en el aire debajo del cobertizo (bajo sombra) a una altura de 2m sobre el suelo. Otro de estos termómetros se amarró al lado de una estructura pequeña que protegía un comedero de alimento concentrado en el predio donde se pusieron las vacas a recibir la radiación solar. Este termómetro no estaba debajo de la estructura, sino al lado, protegido con una pequeña cubierta de madera de ± 25 cm de largo x 25 cm de ancho, de tal forma que estaba muy cerca de la radiación solar, pero no estaba expuesto directamente al sol.

Análisis de los resultados

Los datos de este experimento se analizaron para evaluar dos aspectos diferentes: el efecto que tiene la exposición a la luz solar directa por tres horas en las distintas medidas de temperatura corporal y la asociación que hay entre las distintas medidas de temperatura corporal. Para poder comparar las temperaturas de la piel y la rectal, que se midieron manualmente tres veces al día, con la temperatura vaginal, que se midió constantemente durante las 24 h del día (cada 5 min), se calculó un promedio

de temperatura vaginal con los datos correspondientes al periodo en que se tomaron las otras temperaturas corporales (0700-0800, 1100-1200 y 1500-1600 h).

En el estudio del efecto de la radiación solar directa y la temperatura del aire sobre las medidas de temperatura corporal se calcularon promedios por hora los cuales fueron graficados. Para evaluar la asociación entre las distintas medidas de temperatura corporal se realizó un GLM (SAS, 1979) con temperatura corporal como variable dependiente (incluidas todas las medidas de temperatura corporal) y las variables independientes fueron: lugar de medida de temperatura corporal (vaginal, rectal, cabeza, cuello, abdomen derecho, abdomen izquierdo, muslo), hora del día en que se tomó la medida de temperatura corporal (0700-0800, 1100-1200, 1500-1600 h), número del periodo (1, 2, 3 y 4), día de la medida anidado dentro de la prueba, raza del animal (Holstein, Pardo Suizo X Holstein), producción de leche de las vacas lactantes, número de días en lactancia de las vacas lactantes, color predominante de la vaca y la interacción entre el lugar de temperatura y la hora en la que se midió la temperatura. También se hizo un análisis de correlación entre todas las medidas de temperatura corporal.

Temperatura Corporal de Vacas Lecheras Horras Alimentadas con Dietas Altas y Bajas en Alimento Concentrado

Esta segunda prueba se realizó para evaluar el efecto que tiene el nivel de concentrado (o de fibra) en la dieta, sobre la temperatura vaginal de vacas horras que estuvieron bajo sombra todo el tiempo que duró la prueba. Esta prueba consistió de un diseño de reversión simple con 4 periodos experimentales de 72 h de duración cada uno. Los períodos uno y tres fueron de adaptación a las dietas, por lo que no se

tomaron datos. Los períodos dos y cuatro fueron períodos experimentales en los que se registraron datos de temperatura vaginal. Al inicio del primer período de adaptación, doce vacas se dividieron aleatoriamente en dos grupos de seis. Un grupo recibió la dieta alta en concentrado y el otro grupo recibió la dieta baja en concentrado. En la tarde del último día del primer período de adaptación a cada vaca se le colocó un termómetro en la vagina, programado para iniciar a registrar la temperatura vaginal a las 0600 h del día siguiente, el inicio del primer período experimental. Los grupos continuaron consumiendo su dieta mientras se registraba la temperatura vaginal en forma consecutiva, cada cinco minutos por 72 h. Al terminar el primer período experimental a las vacas se les removió el termómetro vaginal en la mañana y se les intercambié la dieta, de forma tal que las que estaban consumiendo la dieta alta en concentrado pasaron a consumir la dieta baja en concentrado y viceversa. Durante este período las vacas se adaptaron al cambio de dieta y se recuperaron del leve efecto inflamatorio que causa el termómetro en la vagina. Los grupos continuaron en su nueva dieta hasta que se corrió el segundo período experimental en forma igual al primero.

Debido a que algunos termómetros vaginales se salieron y perdimos sus datos en el primer periodo de toma de datos en esta prueba, obtuvimos datos correspondientes a 10 vacas lecheras horras (5/dieta) (8 Holstein y 2 cruces de Pardo Suizo x Holstein). En el segundo periodo de toma de datos, obtuvimos datos de 9 vacas lecheras horras (4 y 5 en las dietas baja y alta en alimento concentrado, respectivamente) (7 Holstein y 2 cruces de Pardo Suizo x Holstein). Esta prueba fue

llevada a cabo en las facilidades de la Vaquería de la Estación Experimental Agrícola en Lajas entre finales de octubre y principios de noviembre de 2006.

Se usaron 2 dietas (Cuadro 6) en forma totalmente mezclada con dos niveles de concentrado distintos. La dieta alta en concentrado tenía 74 % de concentrado (18 % de proteína para vacas lecheras) y 26 % de heno de gramíneas molido. La dieta baja en concentrado tenía 19 % de concentrado y 81 % de heno de gramíneas molido.

La mezcla de heno y concentrado se preparó en facilidades especialmente diseñadas para preparar dietas experimentales. El heno de gramíneas se molió en partículas pequeñas en un molino y se mezcló con el concentrado en la proporción deseada mediante una mezcladora. Se optó por moler el heno para evitar que las vacas pudieran hacer selección durante el consumo. Como la mezcla contenía sobre 88 % de materia seca, se prepararon dietas una sola vez antes de cada periodo.

Las mezclas resultaron ser sumamente polvorosas, por lo que se decidió añadirle agua inmediatamente antes de alimentar. Se mezcló a mano con una pala mientras se le añadía agua hasta obtener una mezcla uniformemente húmeda. No fue posible medir la cantidad de agua que se requirió para humedecer las mezclas porque no se contaban con las facilidades para tomar esas medidas en el área de alimentación. Tampoco se midió el consumo porque nuestros estimados de consumo (3.0 % de peso vivo) no se lograron y hubo que empezar a reducir la cantidad ofrecida para reducir el rechazo, pero asegurando alimento disponible a toda hora.

Toda la prueba fue llevada a cabo en un rancho bajo techo (el mismo usado en el experimento anterior, pero dividido por la mitad = 68.2 m²/dieta) con acceso *ad libitum* a agua y a la dieta las 24 h del día. Además, las vacas recibieron heno entero a

razón de 6 lb/animal/d para evitar problemas relacionados con la falta de fibra efectiva en las dietas. Aproximadamente, entre las 1100 y las 1200 h el alimento no consumido del día anterior fue removido y se le ofreció alimento fresco. Aunque los animales tuvieron acceso a sus dietas las 24 h del día, el consumo mayor ocurrió inmediatamente después de alimentar.

Se midió simultáneamente la temperatura vaginal de las vacas y la temperatura y humedad relativa del aire que las rodeaba continuamente cada 5 min durante toda la prueba usando el método descrito anteriormente. Para medir la temperatura y la humedad relativa del aire se usó un instrumento producido por el mismo fabricante que hace los termómetros usados para medir temperatura vaginal, a una altura de 2 m. Este instrumento fue el *HOBO H8 Pro Series Loggers de Onset Computer Corporation*. Todos los termómetros se programaron y se leyeron igualmente con el mismo programa y computadora, de tal forma que se realizaron medidas simultáneas, cada 5 minutos, tanto de la temperatura y humedad relativa del aire, como de la temperatura vaginal de las vacas.

Análisis de los resultados

Los datos se analizaron para estudiar el efecto de la dieta sobre la temperatura corporal usando el procedimiento de GLM de SAS (1979) en el que el modelo tuvo la temperatura vaginal como variable dependiente y las variables independientes fueron: hora del día en que se tomaron las medidas, día en que se tomaron las medidas (1, 2 y 3) y nivel de alimento concentrado en la dieta (alto o bajo), entre otras variables de interés.

Los datos también se analizaron para evaluar el efecto de la temperatura del aire en la temperatura vaginal. A esta evaluación contribuyó el modelo ya descrito y la gráfica de los datos, en la que el factor en el eje de X era la hora del día, por su estrecha relación con el patrón de cambio en temperatura del aire en las 24 h del día.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Eficacia de los Instrumentos de Medición de Temperatura Dentro de la Vagina

Había varias interrogantes con respecto al método estudiado para medir temperatura vaginal. Una de las interrogantes era el daño potencial que pudieran hacer estas dos piezas a la salud de la vaca, específicamente al epitelio de la vagina. Esta interrogante fue evaluada en una prueba preliminar antes de hacer el experimento. Se colocaron instrumentos (termómetro y CIDR) dentro de la vagina de 6 vacas, se dividieron en dos grupos de 3 vacas cada uno y se dejaron los instrumentos por 5 días en el primer grupo y por 10 días en el segundo grupo.

Se observó que las vacas mostraron un poco de incomodidad por 15 ó 20 minutos luego de colocados los instrumentos, a juzgar por el movimiento de la cola, más frecuente que antes de colocar los instrumentos dentro de la vagina. Este comportamiento fue desapareciendo luego de los minutos iniciales. Sospechamos que lo más que le molestaba a las vacas era sentir el pedacito de hilo plástico que sobresalía de la vagina por aproximadamente unos 10 centímetros, el cual se usa para halar y sacar el instrumento. Las vacas se colocaron en un cobertizo bajo techo y se observaron varias veces al día. No hubo mucosidad ni inflamación de la vulva que se observara desde el exterior.

Al cabo de cada período se inspeccionaron los instrumentos dentro de la vagina por medio de un espéculo e iluminación. Después se removieron los instrumentos y se volvieron a observar las paredes de la vagina. Había bastante mucosidad (no fue

medida), especialmente en los puntos en los que los apéndices del CIDR estaban en contacto con la vagina. Las áreas donde los apéndices del CIDR tocaron la vagina por 5 días se tornaron en dos puntos claramente distinguibles del resto de la vagina por su color más pálido. En el caso de las vacas que cargaron el instrumento por 10 días, el área alrededor de los puntos de contacto, además, presentó una zona rojiza y mucosidad más abundante. En todos los casos, excepto una vaca que murió, las vacas se recuperaron de esa leve inflamación sin que se observara ningún otro síntoma. La conclusión es que los termómetros implantados por períodos entre 5 a 10 días no causan efectos adversos a la salud, a parte de una inflamación de la cual las vacas se recuperan rápidamente. Desconocemos el efecto de esta inflamación en la temperatura vaginal.

A la vaca que murió se le implantó el instrumento a las 1050 h. El instrumento siguió registrando la temperatura de la vagina hasta que fue removido después de su muerte. Un escogido del registro de sus temperaturas se presenta en la Cuadro 2. Este registro cada 2 minutos reveló que la vaca tuvo todo el tiempo temperaturas normales, incluso cuando entró caminando a la sala de ordeño por última vez, en aparentemente buen estado de salud, cerca de las 1500 h. Dentro de la sala de ordeño sufrió una caída y los ordeñadores no pudieron sacarla de allí por lo incómodo del lugar. Dejaron esa vaca allí toda la noche y al llegar para el próximo ordeño, de madrugada, la encontraron muerta. No se sabe la hora exacta de su muerte. Esta vaca tuvo el termómetro implantado por más de 5 días antes de morir. Su temperatura empezó a subir en la noche de su muerte, alcanzando niveles altos hasta que fue removido por los ordeñadores, cuando llegaron para el ordeño de la madrugada. La

causa de la muerte es desconocida pues murió sola en un lugar muy reducido y no se le practicó una necropsia luego de la muerte, a pesar de nuestras gestiones. Nuestra impresión es que esta vaca murió por causas no relacionadas con el instrumento que llevaba implantado.

Cuadro 2. Registro de temperaturas de la vaca que murió con el instrumento puesto.

Día	Hora	Temperatura
25	1120	38.9
25	1450	39.7
26	0630	38.2
26	1550	39.7
26	1800	39.8
27	0600	38.2
27	1200	39.3
28	0740	38.0
28	1010	38.6
28	2015	37.8
29	0730	37.8
29	1055	37.0
29	1500	38.6
29	2200	39.0
30	0910	38.6
30	1501	39.7
30	1800	39.6
30	2040	40.0
1	1220	41.0
1	0300	42.0
1	0420	42.4
1	0421	37.8
1	0423	30.0
1	0425	27.1

La vaca fue encontrada muerta en el ordeño A.M.

Otra interrogante era si los instrumentos se retenían en la vagina. En la Cuadro 3 se presentan las cantidades y porcentajes de animales a los que el instrumento se les salió antes del tiempo pautado. En general, en todo el experimento se perdieron los

datos correspondientes al 15 % de los animales utilizados. Araki et al. (1984), aunque no usaron exactamente el mismo instrumento que en el presente trabajo, confrontaron el mismo tipo de problema al medir temperatura vaginal en vacas Holstein.

Cuadro 3. Vacas que perdieron sus termómetros vaginales.

Prueba 1*	Periodo	Total vacas al inicio¹	Termómetros perdidos²	% pérdidas³
	1	10	0	0
	2	10	0	0
	3	10	4	40
	4	14	1	7
	Total	44	5	11

Prueba 2**	Periodo	Total vacas al inicio¹	Termómetros perdidos²	% pérdidas³
	1	12	2	17
	2	12	3	25
	Total	24	5	21

*= Prueba con vacas horras y lactantes, 3 h bajo sol y 21 h bajo sombra al día.

**= Prueba con vacas horras bajo sombra recibiendo 2 niveles de concentrado en la dieta.

¹= Total de vacas con las que se comenzó cada corrida.

²= Total de termómetros que se salieron de la vagina y, por lo tanto, se perdieron sus datos.

³= Porcentaje de animales que se perdieron sus datos.

Como los instrumentos fueron lubricados con una pequeña cantidad de aceite mineral para facilitar su inserción en la vagina, sospechamos que tanto la lubricación como la estructura de la vagina de la vaca fueron responsables de la salida de los instrumentos. Es posible la inserción sin lubricar, pero el procedimiento es un poco más laborioso.

Efecto de la Temperatura del Aire Sobre la Temperatura Corporal en Vacas Horras Bajo Sombra

Las curvas que representan los promedios de temperatura del aire y humedad relativa por cada una de las 24 horas del día (bajo sombra) en el período de prueba se presentan en la Figura 5. Cuando la temperatura del aire aumentó, la humedad relativa tendió a disminuir. Esto era de esperarse porque cuando el aire se calienta, aumenta su capacidad de retención de agua, es decir, que el aire tiende a tener un por ciento menor del total de agua que es capaz de retener. En las horas más frescas de la noche la humedad relativa registró valores de 100 % o más. Asumimos que esto se debió a que se condensó agua en el instrumento de medición.

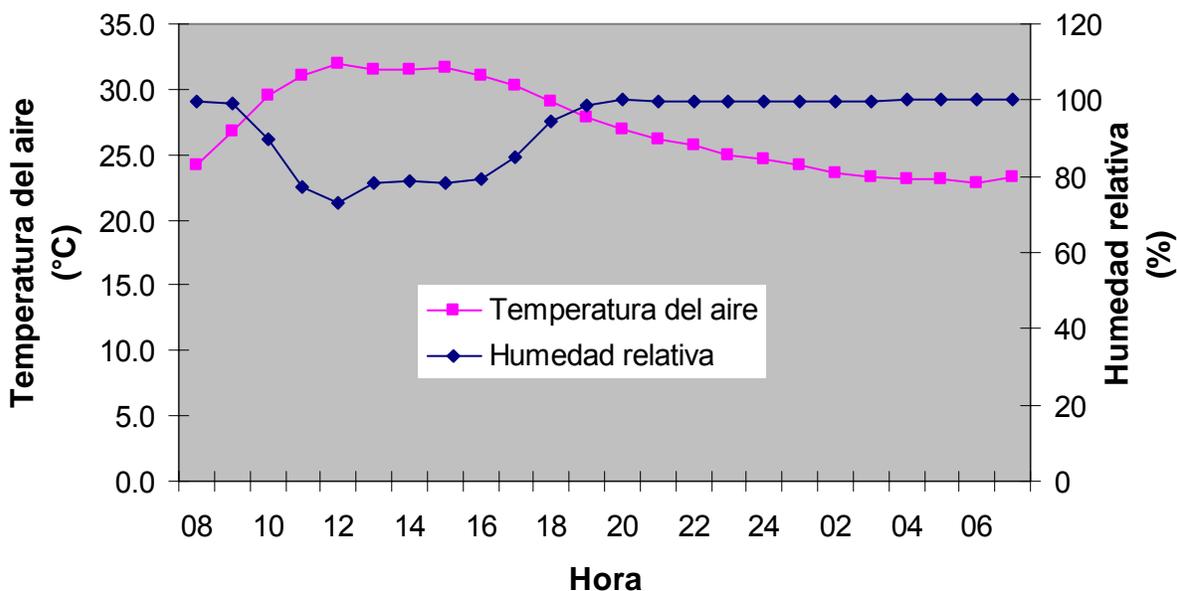


Figura 5. Cambio en temperatura y humedad relativa del aire bajo sombra las 24 horas del día.

A tenor con la evidencia científica que demuestra que la capacidad de la vaca para disipar calor corporal depende del efecto combinado de la temperatura del aire y

la humedad relativa, calculamos el Índice de Temperatura y Humedad (THI) con la intención de evaluar su efecto sobre la temperatura vaginal. Sin embargo, se encontró que la correlación entre la temperatura del aire y el THI fue de 0.85, lo que sugiere que casi toda la variación que se observó en la humedad relativa estaba asociada a la variación en la temperatura del aire. A la luz de esta alta correlación decidimos no usar el THI y trabajar sólo con los valores de la temperatura del aire, tal y como hicieron Lefcourt y Adams (1996), quienes trabajaron solamente con el efecto de la temperatura del aire sobre la temperatura basal de novillos porque encontraron que el THI tenía correlaciones con la temperatura ambiental máxima, promedio y mínima de 0.98, 1.00 y 1.00, respectivamente.

La curva de la temperatura promedio del aire durante las 24 horas del día para las dos pruebas (Figura 6) muestra un valor mínimo de 23.13°C (21.33-24.40°C) que ocurre a las 0625 h y un valor máximo de 31.83°C (30.71-32.76°C) que ocurre a las 1425 h. La temperatura del aire es afectada grandemente por el efecto de la radiación solar, pero la respuesta a la radiación solar no es de inmediato, sino que hay un tiempo de rezago. Durante las horas de la noche el ambiente se va enfriando porque no hay radiación solar directa y los objetos van reduciendo el nivel del calor almacenado y por lo tanto, van reduciendo el nivel de radiación infrarroja que emiten. Por esta razón el nivel más bajo de temperatura ambiental ocurrió a las 0625 h de la mañana, el momento cuando más horas habían pasado sin radiación solar directa sobre la tierra. Por otro lado, la temperatura ambiental más alta ocurrió a las 1425 h, poco tiempo después del punto máximo de radiación solar.

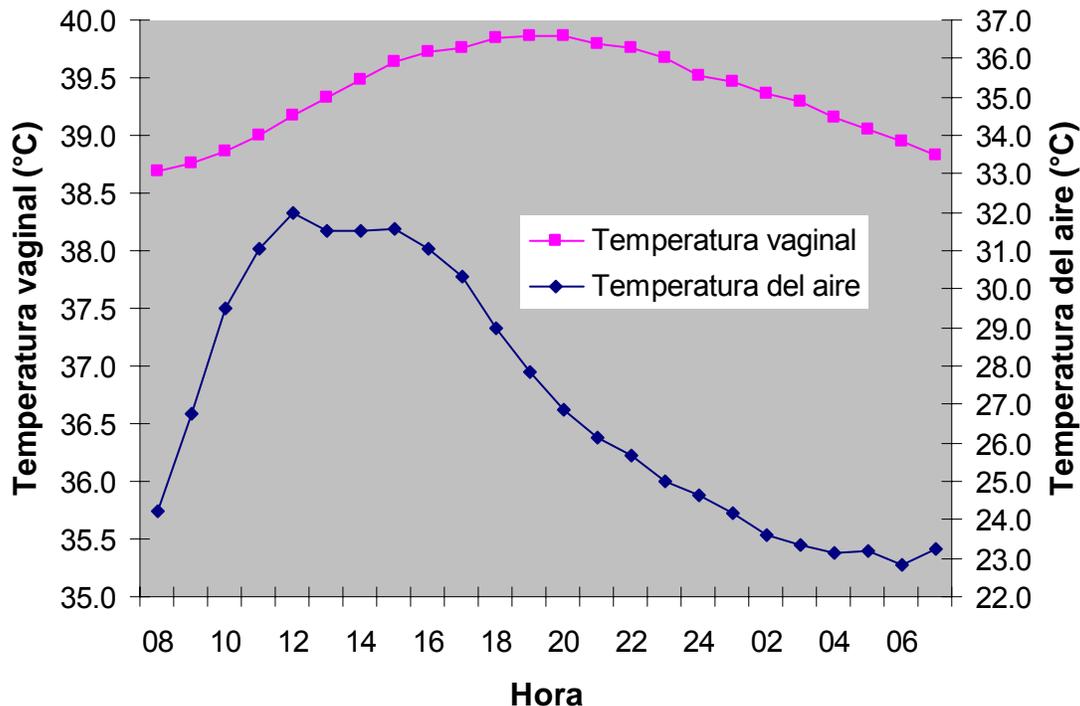


Figura 6. Cambio en las temperaturas vaginal y del aire (LSM) durante el día. Prueba realizada con vacas horas a la sombra consumiendo dos niveles distintos de alimento concentrado en la dieta.

West (2003) ha indicado que vacas expuestas a temperaturas frescas durante las noches por un periodo de tiempo suficiente que les permita recuperarse, pueden tolerar temperaturas relativamente altas durante el día. Este autor citó otros autores que han indicado que la temperatura nocturna debe ser menor de 21°C por un período de 3 a 6 h para lograr la recuperación necesaria de las vacas. En la Cuadro 4 se puede observar que el por ciento del tiempo que las vacas pasaron con temperaturas menores de 21°C fue .19 % (.04 h/d). Esto indica que en nuestra prueba las vacas estuvieron bajo condiciones de estrés de calor durante las horas del día y la mayor

parte de las horas de la noche y no tuvieron tiempo de temperaturas frescas durante las noches que les permitieran recuperarse del estrés calórico del día.

Cuadro 4. Porcentaje de tiempo durante los seis días de la prueba en que las vacas estuvieron bajo condiciones de estrés calórico basado en temperatura del aire.

	No. de periodos de 5 minutos	%
TA >21.00°C	14,894	99.81
TA <21.00°C	28	.19
TA >23.63°C	11,990	80.35
TA <23.63°C	2,932	19.65
TA >24.88°C	9,674	64.83
TA <24.88°C	5,248	35.17
TA >25.56°C	8,547	57.28
TA <25.56°C	6,375	42.72

TA= temperatura ambiental

No. de periodos de 5 minutos durante la prueba- cada 5 minutos se midió TA y HR

Por ciento (%) equivale al porciento de tiempo durante la prueba.

En la Cuadro 5 se presenta el por ciento de tiempo que estuvieron las vacas en combinaciones de temperatura y humedad estresantes. En la preparación de la Cuadro 5 se tomaron en consideración las conclusiones de Davis et al. (2003) y de Mader y Davis (2004) quienes describieron como condiciones termoneutrales cuando el THI <70, como condiciones de estrés de calor moderado cuando $70 \leq \text{THI} \leq 74$, como condiciones de estrés de calor cuando $74.1 \leq \text{THI} \leq 77$ y como condiciones de estrés de calor severo cuando THI >77. Según las condiciones ambientales prevalecientes durante la prueba, entre finales de octubre y principios de noviembre de 2006 en Lajas, Puerto Rico, las vacas estuvieron expuestas a un THI mayor de 72 (estrés de calor moderado) durante el 96 % del tiempo y a un THI mayor de 77 (estrés de calor severo) el 67 % del tiempo de la prueba.

Cuadro 5. Porcentaje de tiempo durante los seis días de prueba en que las vacas estuvieron bajo condiciones de estrés calórico basado en el THI.

	Número de periodos de 5 minutos	%
THI >72	14,356	96.21
THI <72	566	3.79
THI >77	9,981	66.89
THI <77	4941	33.11

No. de periodos de 5 minutos durante la prueba- cada 5 minutos se midió TA y HR.
Por ciento (%) equivale al por ciento de tiempo durante la prueba.

Cuando se dan estas condiciones calóricas (combinaciones de temperatura y humedad relativa) hay necesidad de implantar sistemas para enfriar las vacas, tanto de día como en muchas de las noches. West (2003) ha señalado que en el clima subtropical del suroeste de Estados Unidos, las condiciones de radiación solar intensa y de humedad relativa alta prevalecen por periodos de tiempo tan largos durante el año, que el estrés calórico en las vacas es de naturaleza crónica. Esto es lo que ocurre en Puerto Rico, pero por una proporción mayor de tiempo durante el año que lo que ocurre en el suroeste de Estados Unidos. Como estas condiciones de estrés calórico crónico prevalecen durante gran parte del año, en los hatos de Puerto Rico no suelen observarse cambios drásticos en las condiciones fisiológicas, en el consumo de alimento y en la producción de leche y por lo tanto, los ganaderos no perciben el gran impacto económico que está teniendo el estrés calórico en su operación. Si los ganaderos tomaran mayor conciencia del nivel del estrés calórico que prevalece en Puerto Rico y de su efecto negativo sobre la producción y en la reproducción de sus vacas, quizás invertirían mayores recursos para hacer modificaciones ambientales.

En la Figura 6 se compara la temperatura vaginal promedio por hora del día durante la prueba con la correspondiente temperatura del aire. En nuestro experimento

se encontró que tanto la hora del día como la temperatura del aire tienen efectos significativos ($P < .0001$) sobre la temperatura vaginal. Esto concuerda con los resultados de Lammoglia et al. (1997). En este caso el efecto de la hora del día representa el efecto combinado de la temperatura del aire y la humedad relativa, las cuales cambian con la hora del día, influenciadas en gran medida por la radiación solar. Cambios en la temperatura del aire causan cambios en la temperatura corporal de los animales (Berman et al., 1985; Knapp y Grummer, 1991; Ominski et al., 2002; Beatty et al., 2006 y Settivari et al., 2007).

Tiempo de respuesta a la temperatura del aire

La temperatura corporal de las vacas no cambia de inmediato cuando ocurre un cambio en la temperatura ambiental. El tiempo de respuesta o rezago entre una temperatura y la otra se puede observar comparando las horas en que ocurren los picos mínimos y máximos de temperatura del aire y temperatura vaginal. En nuestro experimento, el promedio de la temperatura vaginal mínima diaria fue 38.8°C ($38.0\text{-}39.5^{\circ}\text{C}$), el cual ocurrió a las 0750 h, mientras que el promedio de la temperatura vaginal máxima diaria fue de 39.8°C ($38.9\text{-}40.7^{\circ}\text{C}$), el cual ocurrió a las 1910 h. Como se indicó anteriormente, la temperatura del aire tuvo su valor mínimo promedio a las 0625 h y su valor máximo promedio a las 1425 h. El tiempo de rezago entre los valores mínimos fue de poco menos de hora y media. El tiempo de rezago entre los valores máximos fue de casi 5 horas, observándose una gran variación entre animales.

Aunque en este experimento el tiempo de respuesta de la vaca a la temperatura ambiental fue más largo entre los picos máximos, debemos concluir que este tiempo no es fijo, sino que es influenciado, principalmente, por el nivel de la temperatura del aire

existente en ese momento (umbral de las condiciones ambientales) y varía entre animales.

Nivel de cambio en temperatura vaginal por cambio en temperatura del aire

El cambio que ocurre en la temperatura vaginal como respuesta a la temperatura del aire es diferente entre el segmento ascendente y el segmento descendente de la temperatura vaginal. La respuesta no es lineal. Sin embargo, cuando observamos cada segmento individualmente (Figura 6) notamos que en gran parte de cada uno de ellos la tendencia se asemeja a una lineal. A tono con esta observación hicimos una regresión lineal simple en cada uno de los dos segmentos. No usamos en este análisis los datos cercanos a los puntos de inflexión de la línea. Encontramos que, en el segmento de 1000-1500 h, por cada 1°C de aumento en temperatura del aire, hay un aumento de .23°C en temperatura vaginal ($P=.1303$) ($R^2 = .47$). En el segmento de 0100-0700 h, por cada 1°C de disminución en temperatura del aire, hay .42°C de disminución en temperatura vaginal ($P=.0393$) ($R\text{-Square} = .60$). Lefcourt y Adams (1996) encontraron que por cada 5°C de aumento en temperatura ambiental, la temperatura corporal de novillos de carne aumentó .57°C ($P<.010$).

Cuando la temperatura del aire baja en dirección hacia la zona de comodidad térmica, la vaca no tiene que invertir energía para ajustar su temperatura corporal y reduce la proporción de energía que ha estado usando para reducir el incremento en temperatura corporal. Según la temperatura corporal disminuye, la vaca disminuye la tasa de sudoración, de respiración y de latidos del corazón, todos los cuales usan energía. Por el contrario, cuando la temperatura del aire aumenta sobre la zona de

comodidad, la vaca activa distintos mecanismos para tratar de mantener la homeotermia, los cuales consumen energía.

Umbral de temperatura del aire

En Puerto Rico se utilizan vacas lecheras de razas provenientes de clima templado. En nuestras condiciones ambientales estos animales se encuentran bajo estrés de calor gran parte del tiempo. Una posible forma de observar cuándo la vaca se encuentra en estas condiciones es determinando hasta qué temperatura ambiental este animal puede resistir sin que su temperatura corporal cambie significativamente.

En nuestro estudio, la temperatura vaginal comenzó a aumentar cuando la temperatura ambiental promedio, mínima y máxima alcanzó los 24.88, 23.63 y 25.56 ± .64°C, respectivamente (Cuadro 4). Nuestras vacas estuvieron a temperaturas ambientales sobre 23.63, 24.88 y 25.56°C el 80.35, 64.83 y 57.28 % del tiempo durante los días de prueba, respectivamente (Cuadro 4). Lefcourt y Adams, en el verano de 1996 en Nebraska y utilizando novillos de carne, encontraron que el umbral para la temperatura ambiental máxima y promedio fue de 25.6 y 20.6°C, respectivamente. Armstrong (1994) reportó que cuando la temperatura ambiental sobrepasa los 27°C, aún con una humedad relativa baja, las vacas lecheras altas productoras se encuentran fuera de su zona de comodidad. Berman et al. (1985) también encontraron que la temperatura máxima crítica para vacas lactantes Holstein en Israel es 26°C independientemente del nivel de producción de leche y el nivel de aclimatación de los animales.

Efecto del Nivel de Alimento Concentrado en la Dieta Sobre la Temperatura Vaginal de Vacas Horras Bajo Sombra

Para evaluar el efecto del nivel de alimento concentrado en la dieta sobre la temperatura vaginal se realizó la Prueba 2, dividida en dos períodos (Período 1 y Período 2). En la Figura 7 se presenta la temperatura vaginal promedio de los dos periodos durante las 24 horas del día de vacas horras que recibieron dos niveles diferentes de concentrado en la dieta. La Figura 8 se construyó con los datos del Periodo 1 y la Figura 9 con los datos del Periodo 2. En el Periodo 1 se usaron las mismas vacas que en el Periodo 2, excepto que las vacas que en el Periodo 1 recibieron la dieta alta en alimento concentrado, en el Periodo 2 pasaron a recibir la dieta baja en alimento concentrado y viceversa.

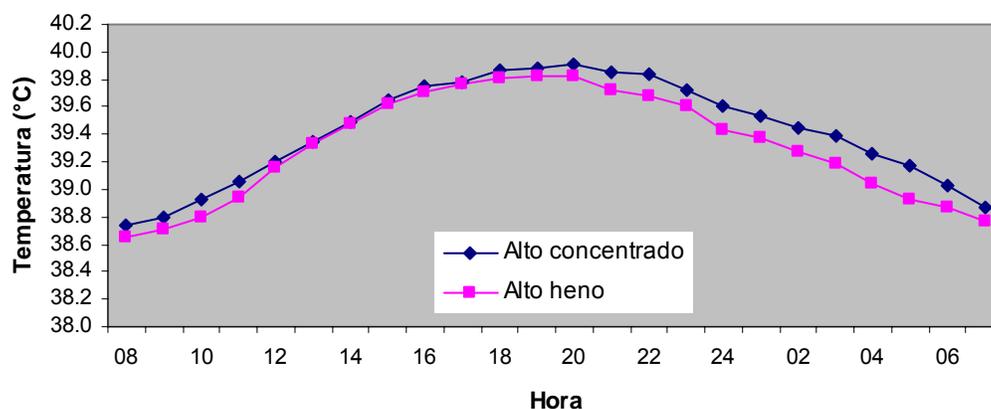


Figura 7. Cambio en temperatura vaginal (LSM) durante el día de vacas horras bajo sombra recibiendo dos niveles distintos de concentrado en la dieta. Promedio de las Pruebas 1 y 2.

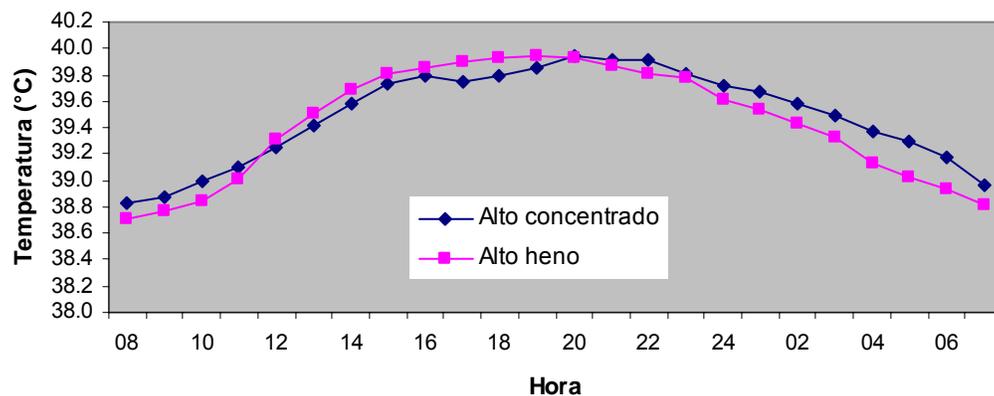


Figura 8. Cambio en temperatura vaginal (LSM) durante el día de vacas horras bajo sombra recibiendo dos niveles distintos de concentrado en la dieta en la Prueba 1.

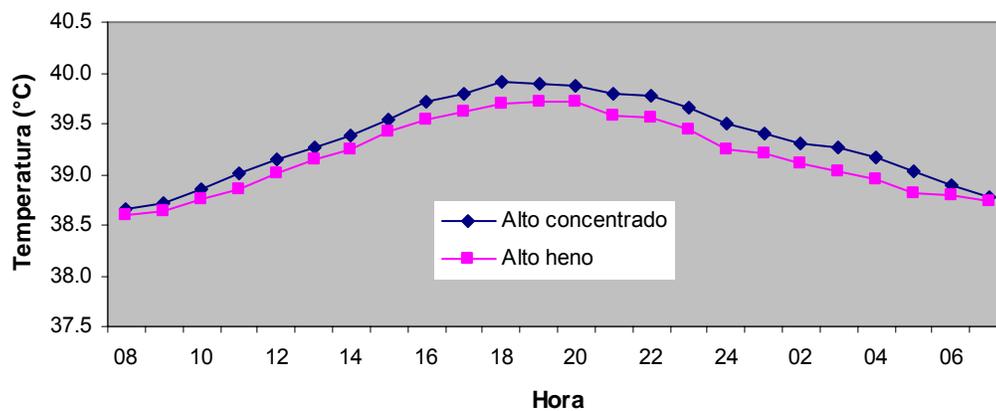


Figura 9. Cambio en temperatura vaginal (LSM) durante el día de vacas horras bajo sombra recibiendo dos niveles distintos de concentrado en la dieta en la Prueba 2.

En general (Figura 7), el efecto de la hora y por ende, de la temperatura del aire, es mucho más marcado en la temperatura vaginal que el efecto de la dieta. Esto es, la diferencia (aumento o disminución) en temperatura vaginal entre horas es mayor que la diferencia entre las vacas que recibieron el nivel alto versus el nivel bajo de alimento concentrado en la dieta. La temperatura vaginal promedio de las vacas en la dieta baja en fibra y alta en concentrado fue mayor ($P<.0001$) que la de las vacas en la dieta alta en fibra y baja en alimento concentrado. Este efecto se mantuvo en gran medida cuando se intercambi6 la dieta entre los grupos.

Resultados similares con temperatura rectal han sido observados en vacas lactantes (Magdub et al., 1982 y Drackley et al., 2003) y en novillas en crecimiento (Brosh et al., 1998). En general, los animales que consumieron dietas altas en alimento concentrado exhibieron temperaturas rectales m6s altas que los animales que consumieron dietas bajas en alimento concentrado. Brosh et al. (1998) encontraron que una dieta alta en EM tuvo un consumo de materia seca 1.76 veces mayor y de energ6a metabolizable 2.59 veces mayor que la dieta baja en EM ($P<.001$). Adem6s del efecto de la energ6a en la dieta, las novillas alimentadas en la ma6ana tuvieron un mayor incremento t6rmico que cuando se alimentaron en las tardes (Brosh et al., 1998). Ellos concluyeron que una dieta alta en energ6a, la cual es requerida para un alto nivel de producci6n, es la principal causa de la carga cal6rica en el ganado en crecimiento. La dieta alta en alimento concentrado es menos voluminosa y promueve un mayor consumo por parte de los animales que la dieta baja en alimento concentrado. Adem6s, la dieta menos fibrosa tiene una mayor concentraci6n de nutrientes

disponibles para la fermentación ruminal en la cual se libera más energía en forma de calor.

El nivel de proteína en la dieta también pudo haber sido un factor que afectara nuestros resultados. Cuando se alimenta proteína en exceso, el grupo amino del exceso de proteína degradable en el rumen es convertido en urea para ser eliminada a través de la orina (NRC, 1989). La energía necesaria para formar urea a partir del exceso de proteína consumida se refleja en producción de calor (NRC, 1989). Esto es debido a la pérdida, en forma de calor, de parte de la energía metabolizable consumida. Nuestra dieta experimental alta en alimento concentrado pudo haber tenido exceso de proteína degradable en el rumen (aunque no la medimos directamente) la cual tendría que ser metabolizada a urea con la subsiguiente producción de calor (Cuadro 6).

Cuadro 6. Composición química estimada de las dietas experimentales (Base Seca).

	Dietas	
	Alto Concentrado	Bajo Concentrado
MS, %	60.51	60.68
ENI, Mcal/día	17.58	13.87
PC, % MS	19	19
PDR, % PC	74.53	62.87
FDN, % de MS	35.03	62.79

Estos estimados se realizaron mediante cálculos usando la composición de los ingredientes según NRC (1989).

West et al. (1999) encontraron que la temperatura de la leche se redujo según aumentó el nivel de FDN en la dieta ($P < .05$), principalmente en la época caliente. La temperatura de la leche es un indicador de temperatura corporal que tiene una correlación de 0.78 con la temperatura rectal y que tiende a ser .15°C más alta que

esta. Mientras más alta es la FDN en la dieta, menor el consumo de materia seca, menor es la fermentación ruminal y por lo tanto, la temperatura de la leche es más baja (West, 1999).

En este experimento hubo una interacción altamente significativa ($P < .0001$) de la dieta por la hora en la temperatura vaginal. Una forma de analizar la interacción es separando las Figuras 7, 8 y 9 en dos segmentos cada una: el segmento de las horas en las que la temperatura vaginal está aumentando y el segmento de las horas en las que la temperatura vaginal está disminuyendo. En las horas del día en las que la temperatura vaginal está descendiendo se observó una temperatura vaginal consistentemente más alta en las vacas con la dieta alta en concentrado, tanto en el Periodo 1 como en el Periodo 2. En el segmento ascendente de la temperatura vaginal, la diferencia entre dietas fue menor y las vacas que consumieron la dieta alta en concentrado no presentaron una temperatura vaginal consistentemente más elevada en ambas pruebas. La interacción indica que las diferencias en temperatura vaginal entre las dietas alta y baja en alimento concentrado dependen de la hora del día en la que se analice tal diferencia. La evidencia en la literatura reportando este tipo de interacción es limitada, quizás por lo escaso de los trabajos previos en los que se haya estudiado el efecto de la dieta y se haya medido la temperatura corporal en forma continua las 24 horas del día.

Las razones para la interacción no están totalmente claras. Sabemos que Brosh et al. (1998), encontraron que la diferencia en temperatura rectal entre dietas fue más pronunciada en las tardes que en las mañanas. Ellos adjudicaron el efecto al momento de la alimentación, en las mañanas, pero como no tomaron temperaturas

continuamente, no sabían con exactitud cuándo la temperatura corporal de las vacas estaba aumentando o disminuyendo. En nuestro caso las vacas fueron alimentadas una sola vez cada 24 horas cerca del mediodía, es decir, en medio del segmento ascendente de la curva de temperatura vaginal. En ningún momento las vacas estuvieron sin alimento porque todos los días los dos grupos de vacas dejaron alimento sin consumir. Al alimento se le añadió agua inmediatamente antes de alimentar porque resultó ser muy polvoriento. La ración con la mayor proporción de heno y menor proporción de concentrado resultó ser más voluminosa y requirió mayor cantidad de agua. Aunque el consumo fue más alto inmediatamente después de alimentar, no podemos precisar si ésta es la causa de la interacción, toda vez que la temperatura vaginal estaba en ascenso a esa hora y el ascenso continuó después de esa hora sin que la tendencia sufriera un cambio observable (Figuras 7, 8 y 9), a menos que el efecto de la alimentación se manifestara con varias horas de rezago.

Efecto de la Exposición al Sol por Tres Horas sobre la Temperatura Vaginal de las Vacas

Se realizó una prueba para observar el efecto de exponer las vacas al sol por un periodo de 3 h sobre la temperatura corporal. En esta prueba cada período duró dos días. Las vacas estuvieron bajo sombra, aproximadamente, desde las 1100 del día anterior hasta las 0800 h del día siguiente (21 horas) y bajo sol, desde las 0800 hasta las 1100 h del mismo día (3 horas). Los valores promedio de temperatura vaginal se presentan en la Figura 10. El patrón de comportamiento de la temperatura vaginal en las horas en que las vacas estuvieron bajo sombra es, básicamente, el mismo que se observó en las pruebas en las que las vacas estuvieron bajo sombra las 24 horas del

día. Por otro lado, se observa que al exponer las vacas al sol en las horas de la mañana, se alteró el patrón de incremento de la temperatura vaginal. Esto se demuestra porque en este experimento (Figura 10, donde las vacas fueron expuestas al sol), se observaron dos picos máximos (uno cerca del mediodía y otro en la tarde) de temperatura vaginal durante el día, en vez de un solo pico, como se observó cuando las vacas permanecieron bajo sombra todo el día (Figura 6). Estos dos picos fueron el resultado de que al exponer las vacas al sol, la temperatura vaginal empezó a subir más rápido que si hubieran estado a la sombra, y al sacarlas del sol y ponerlas bajo el cobertizo, su temperatura vaginal empezó a bajar, aún cuando la temperatura del aire bajo el cobertizo estaba aumentando a esa hora del día (Figura 10). Esto último ocurrió porque la exposición al sol hizo que la temperatura corporal alcanzara un nivel más alto que el que hubiesen tenido si hubieran permanecido bajo la sombra. Al regresar a la sombra, la temperatura vaginal disminuyó hasta que llegó al nivel que correspondía a las condiciones ambientales bajo el cobertizo en ese momento. De ahí en adelante volvió a aumentar en respuesta al incremento que estaba ocurriendo en la temperatura del aire bajo la sombra, hasta llegar al segundo pico máximo de temperatura del día. Esto demuestra que la exposición a la radiación solar adelantó la hora del día en que ocurrió el pico máximo de la temperatura vaginal. Similarmente, Roman-Ponce et al. (1977) encontraron que vacas expuestas al sol durante el día tuvieron su pico máximo en temperatura rectal y tasa respiratoria cerca del mediodía y las vacas bajo sombra, lo tuvieron durante la tarde.

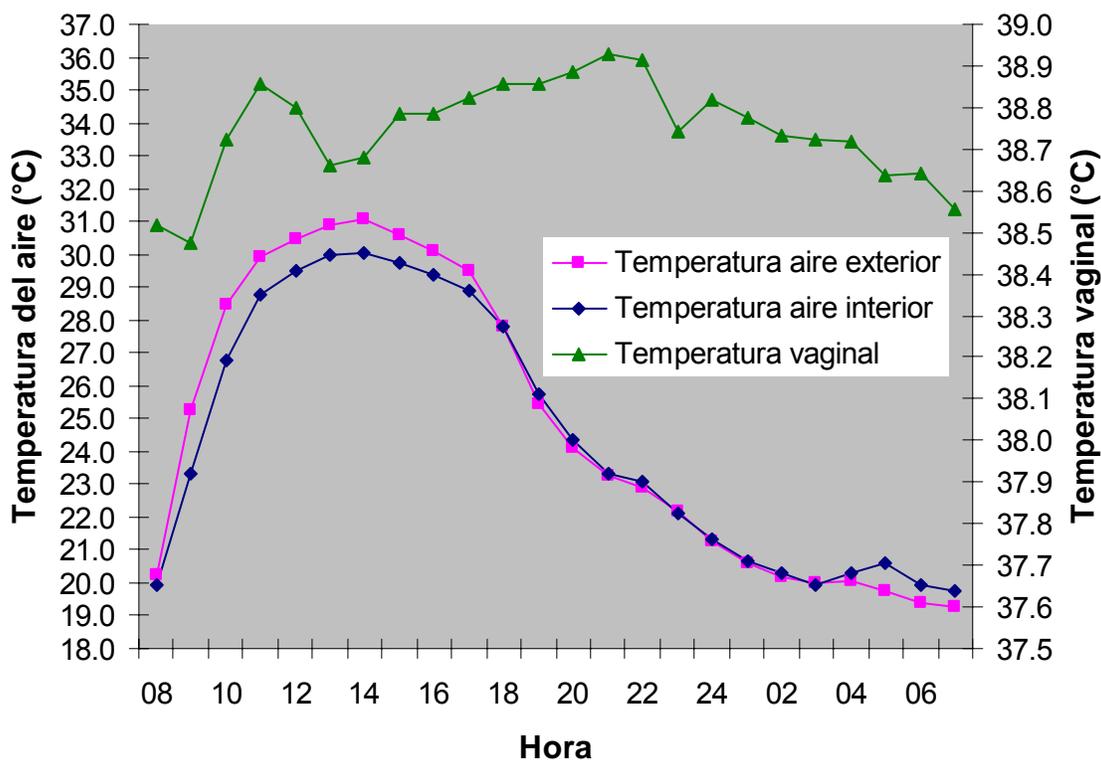


Figura 10. Cambio en las temperaturas vaginal y del aire (exterior e interior) (LSM) durante el día. Prueba realizada con vacas horras y lactantes con 3 h al sol y 21 h a la sombra durante el día.

El termómetro que estaba midiendo las temperaturas del aire fuera del cobertizo no estaba expuesto directamente al sol, sino pegado por debajo a un pedazo de madera de 25 cm de largo por 25 cm de ancho. Esto indica que las temperaturas que registró este termómetro eran las temperaturas del aire sin el efecto de la radiación solar directamente sobre el mismo. Las temperaturas del aire que registró este termómetro fueron bien parecidas a las que registró el termómetro que estaba bajo el cobertizo (Figura 10), con tendencias que fueron casi idénticas. Durante el tiempo que las vacas estuvieron expuestas al sol, la temperatura del aire en el exterior era en promedio 1.59°C más alta que la que registró el termómetro debajo del cobertizo. El

hecho de que no hubo una diferencia apreciable en la temperatura del aire entre la sombra y el sol, sugiere que el mayor aumento en temperatura corporal de las vacas al sol se debió más a la radiación solar directa sobre su cuerpo que a la diferencia en la temperatura del aire. Se ha encontrado que la exposición al sol aumenta significativamente la temperatura corporal de los animales (Williams et al. (1960), Roman-Ponce et al. (1977), Collier et al. (1981), Coleman et al. (1996) y Valtorta et al. (1997)). De hecho, el efecto del sol es tan marcado que algunos investigadores (Roman-Ponce et al. (1977), Collier et al. (1981), Coleman et al. (1996) y Valtorta et al. (1997)) han usado en sus estudios el "black globe temperature", una medida que considera, entre otros factores ambientales, la radiación solar, en lugar de solamente la temperatura del aire. Armstrong (1994), en su revisión de literatura, menciona que la radiación solar es uno de los factores que influyen la temperatura ambiental. El efecto de la radiación solar es tal que Beede y Collier (1986) sugieren la modificación física del ambiente como una de las formas de reducir el estrés térmico en el ganado. La mayor temperatura corporal de las vacas expuestas al sol en nuestro experimento en comparación con los animales bajo sombra, se debió a que el nivel de radiación infrarroja sobre el cuerpo de las vacas fue, obviamente, mucho mayor cuando estaban expuestas al sol.

Cuando las vacas estuvieron expuestas al sol, recibieron temperaturas del aire que eran grado centígrado y medio más alta que cuando estuvieron bajo sombra y en adición recibieron radiación solar directa sobre su pelaje y su piel. La absorción de energía en forma de luz proveniente de la radiación solar aumenta la temperatura corporal de los animales (King et al., 1988 y Becerril et al., 1993). Estos dos efectos

(temperatura del aire y radiación solar) se combinaron para aumentar su temperatura corporal más rápidamente y a un nivel más alto que si hubieran permanecido a la sombra.

Luego de las vacas ser sacadas de la sombra y puestas al sol, transcurrieron de 15 a 20 minutos para que la temperatura vaginal comenzara a aumentar en respuesta a este cambio. Cuando las vacas se sacaron del sol y se retornaron a la sombra, les tomó de 5 a 10 minutos para que la temperatura vaginal comenzase a reducirse. El tiempo de respuesta cuando retornaron a la sombra fue más corto que cuando se sacaron al sol (5-10 vs. 15-20 minutos). Esto indica que al retornar a la sombra, la temperatura corporal empezó a bajar de inmediato y es de esperarse porque las vacas no requirieron ajustes fisiológicos que implicaran uso de energía para empezar a ajustar su temperatura corporal en esta dirección ya que existía un gradiente entre su cuerpo y el ambiente exterior que favorecía este proceso. La temperatura corporal de estas vacas continuó bajando a pesar de que la temperatura del aire bajo el cobertizo donde ellas estaban iba aumentando lentamente. Les tomó a estas vacas aproximadamente 1 hora en lo que su temperatura corporal bajó lo suficiente como para empezar a responder nuevamente al incremento que se iba registrando en temperatura del aire debajo del cobertizo.

Activación de mecanismos termoregulatorios

Al comparar las figuras 6 y 7, observamos que cuando las vacas estuvieron bajo sombra las 24 h del día, su temperatura vaginal alcanzó valores máximos promedios de 39.8°C. Sin embargo, en la prueba en que las vacas tuvieron exposición al sol durante tres horas (0800-1100 h), su temperatura vaginal alcanzó valores promedios máximos de cerca de 38.9°C. Esto indica que la exposición al sol probablemente activó los mecanismos fisiológicos y de comportamiento (aumentar consumo de agua) en estos animales para regular su temperatura corporal. Estos mecanismos permanecieron activos durante el día, aún cuando las vacas ya habían salido del sol, evitando que la temperatura vaginal alcanzara valores diarios máximos mayores.

Tiempo de rezago (Lag time)

Luego de las vacas ser sacadas de la sombra y puestas al sol, transcurren aproximadamente 15 minutos para que la temperatura vaginal comience a aumentar en respuesta a este cambio.

Aproximadamente a los 5 minutos de que las vacas retornaron a la sombra su temperatura vaginal comenzó a reducirse (0.2°C de reducción en promedio). Luego comenzó a aumentar aproximadamente 1 hora con 10 minutos después de salir del sol.

Con solo 15 minutos de las vacas haber sido expuestas al sol, su temperatura vaginal comenzó a aumentar. Sin embargo, al ser regresadas a la sombra, les toma más de una hora comenzar a aumentar su temperatura corporal. Esto se debe a que como la temperatura del aire dentro del rancho es menor que la del exterior y no tenemos exposición directa a la radiación solar, los mecanismos fisiológicos usados por

los animales para regular su temperatura corporal son más eficientes. A pesar de esto, el ambiente alrededor de los animales continúa almacenando y liberando energía en forma de calor la cual limita la eficiencia de estos mecanismos para mantener la homeotermia. Esto ocurre hasta que estos mecanismos ya no son eficientes y la temperatura vaginal de las vacas comienza a aumentar de nuevo.

Comparación entre Diferentes Temperaturas Corporales

En la Cuadro 7 se presentan los resultados del análisis del Modelo Lineal General (SAS, 1979) en el que la variable dependiente fue temperatura (los valores numéricos, incluidas todas las temperaturas) y las variables independientes fueron el tipo lugar corporal donde se midió y la hora en que se tomaron esas temperaturas, entre otras variables de control incluidas en el modelo.

Cuadro 7. Análisis de varianza* para el efecto del tipo de medida de temperatura y el momento de la medida en el nivel de la temperatura.

Fuente de variación	GL	Suma cuadrados (Tipo III)	Valor F	Pr > F
Tipo de temperatura ¹	6	2847.83	399.25	<.0001
Momento medida temp. ²	2	1083.46	455.68	<.0001
Prueba ³	3	8.23	2.31	0.0753
Dia(Prueba) ⁴	4	10.5	2.21	0.0663
Raza de la vaca	1	11.09	9.34	0.0023
Producción de leche (lbs)	1	0.01	0.01	0.9066
Días en producción	1	0.46	0.39	0.5332
Color pelo	2	8.94	3.76	0.0236
Tipo temp.x momento ⁵	12	273.97	19.2	<.0001

1= Tipo de temperatura: vaginal, rectal, cabeza, cuello, abdomen derecho, abdomen izquierdo y muslo.

2= Momento de la medida: en la mañana, al regresar del sol, tres horas luego de regresar a la sombra.

3= Período de prueba. Hubo 4 períodos de prueba de 2 días cada uno.

4= Efecto del día de la prueba anidado dentro del período de prueba.

5= Interacción del tipo de temperatura por el momento de la medida

*SAS, 1979

La hora y el lugar del cuerpo donde se tomaron las temperaturas tuvieron efectos significativos ($P<.0001$) sobre la temperatura corporal y además, hubo una interacción altamente significativa ($P<.0001$) entre el lugar donde se midió la temperatura y la hora. La interacción se debió a que las diferencias entre las distintas temperaturas cambiaron de una hora a la otra.

En la Figura 11 se comparan los promedios de la temperatura corporal medida en distintos lugares del cuerpo durante la mañana (0700-0800 h, antes de la exposición al sol), al regresar del sol (1100-1200 h) y aproximadamente tres horas luego de regresar al cobertizo (1500-1600 h). Las temperaturas vaginal y rectal (38.72 y 38.54°C, respectivamente), que son medidas de temperatura del interior del cuerpo, resultaron tener promedios globales significativamente más altos ($P<.0001$) que las temperaturas superficiales: cabeza (34.69°C), cuello (34.40°C), abdomen derecho (34.58°C), abdomen izquierdo (34.75°C) y muslo (34.12°C), en los tres períodos. Otros autores (Johnston et al., 1963; Finch, 1986 y Di Costanzo et al., 1997) también han observado que la temperatura rectal es mayor que las temperaturas superficiales de distintas partes corporales en ganado bovino.

La tendencia de cambio de la temperatura vaginal fue idéntica a la de la temperatura rectal (Figura 11) y la diferencia entre ellas fue no significativa. Esto concuerda con lo encontrado por Rajamahendran et al. (1989) donde la temperatura rectal medida cada 4 h por un periodo de 96 h tuvo el mismo patrón que la vaginal. En nuestro estudio, la temperatura vaginal promedio fue consistentemente más alta que la temperatura rectal. Era de esperarse que fuera lo contrario, que la que tuviese la temperatura más alta fuera la rectal porque ahí se desarrolla mucha actividad

microbiana que genera calor. De hecho, Kriss (1920) y Rajamahendran et al. (1989) reportaron valores mayores de temperatura rectal que de vaginal. Sospechamos que la razón por la cual observamos una temperatura vaginal más alta, fue que ésta fue tomada cerca de la os cervical, un punto mucho más profundo en el cuerpo que donde tomamos la temperatura rectal. Kriss (1920) concluyó que la profundidad de la toma de la temperatura corporal puede afectar el valor de ésta.

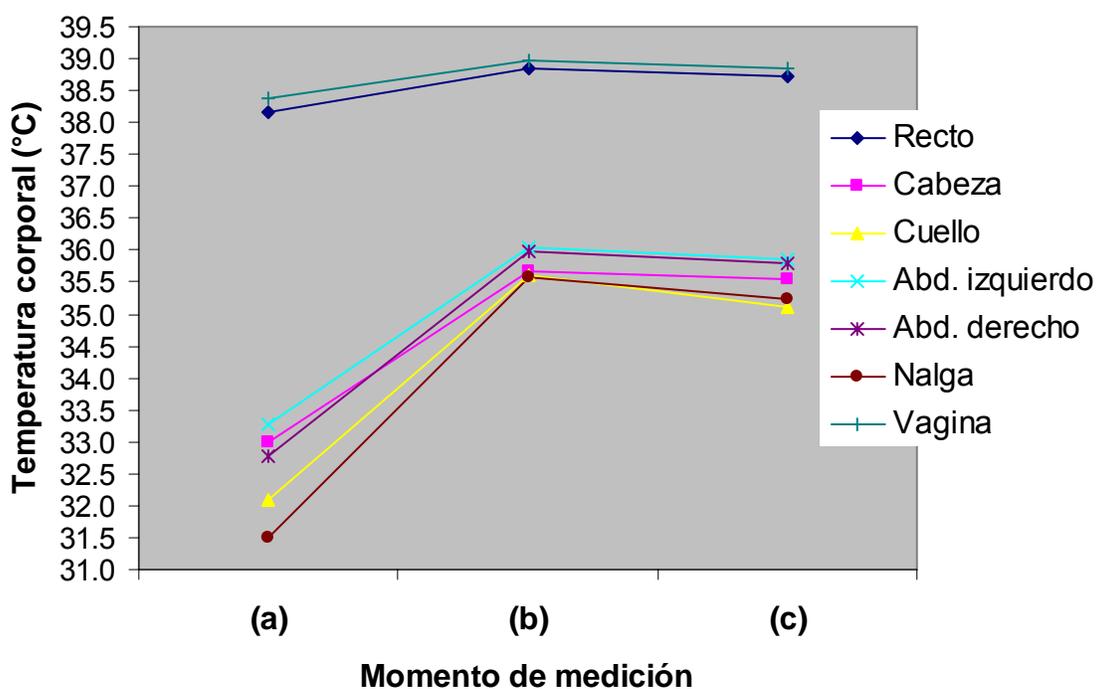


Figura 11. Cambio en el promedio de distintas temperaturas corporales ocasionado por la exposición a la radiación solar directa. (a) antes de, (b) inmediatamente después de y (c) 3 h después de la exposición al sol.

En el conjunto de las temperaturas superficiales (Figura 11) observamos dos aspectos diferentes: el nivel relativo de cada temperatura y los cambios en esos niveles de una hora a la otra. En general, entre las temperaturas superficiales no hubo diferencias significativas ($P > .05$), pero se observaron algunas tendencias generales. La temperatura del abdomen, sobre todo el abdomen izquierdo, mantuvo niveles de temperatura ligeramente más altos que las demás. En su revisión de literatura, Finch (1986), reportó que el consumo de alimento por el animal está directamente relacionado al metabolismo de energía y la liberación de calor. Berman (1971) reportó que el calor producido en el proceso de fermentación ruminal afecta la temperatura corporal del animal. Por otro lado, el cuello y el muslo exhibieron las temperaturas superficiales más bajas.

Las diferencias entre los promedios de las temperaturas superficiales, aunque son relativamente pequeñas dentro de cada hora, fueron mayores en la mañana, cuando las vacas estaban en el aire más fresco y la temperatura corporal era la más baja del día. Cuando las vacas se expusieron al sol exhibieron las temperaturas superficiales más altas y se redujeron las diferencias entre los promedios de estas. En la tarde, después de permanecer aproximadamente 3h bajo sombra, la temperatura superficial disminuyó y las diferencias entre las temperaturas superficiales volvieron a aumentar ligeramente. En su revisión de literatura, Finch (1986), reportó que si el animal está directamente expuesto a la radiación del sol, hay entrada de calor a través del pelaje a la piel. En animales al sol, como el "black globe temperature" es igual o mayor que la temperatura corporal normal, las formas sensibles de disipar calor que requieren un gradiente térmico (conducción, convección y radiación) están

comprometidas (Collier et al., 1981). Por eso, en estos animales, la evaporación (jadeo y sudor) son la vía más importante para disipar calor (Collier et al., 1981). Pero como ésta no es suficiente, las vacas tienden a almacenar calor hasta las horas más frescas del día, lo que resulta en un incremento en la temperatura corporal (Collier et al., 1981). Aparentemente, esta inhabilidad de regular su propia temperatura hace que el cuerpo del animal, en general, aumente su temperatura hasta niveles máximos, reduciendo así la diferencia normal entre las distintas partes del cuerpo hasta que las condiciones ambientales permitan disipar este calor almacenado.

El segundo aspecto que se observa en la Figura 11 son los cambios en temperatura corporal antes y después de la exposición de las vacas al sol. Todas las temperaturas corporales registraron aumentos significativos con respecto a la temperatura que tenían antes de la exposición al sol. El aumento en las temperaturas vaginal y rectal fue pequeño, aproximadamente $.5^{\circ}\text{C}$, comparado con el incremento que se observó en las temperaturas superficiales, de aproximadamente 3°C . Spain y Spiers (1996) también encontraron aumentos mayores en la temperatura superficial que en la rectal de terneros a medida que aumentaba el impacto de la radiación solar. Esto significa que la exposición al sol redujo el gradiente en temperatura que había entre la temperatura del interior del cuerpo y la temperatura de la piel, reduciendo la capacidad de las vacas para disipar su temperatura corporal (Collier et al., 1981 y Finch, 1986).

Debe destacarse que el incremento promedio que se registró en las temperaturas de la piel debido a la exposición al sol pudo haber sido unas décimas más altas que las que estamos reportando porque las temperaturas superficiales y la rectal no pudieron ser medidas mientras las vacas estaban en el sol, por falta de facilidades para darles sujeción, y tuvieron que moverse al cobertizo donde se les empezaron a tomar las temperaturas corporales de inmediato. Las temperaturas superficiales de las últimas vacas pudieron haber descendido un poco con respecto a las temperaturas que tenían mientras estaban expuestas al sol. También es necesario señalar que este es un caso específico en el que la luz solar estuvo impactando el pelaje de las vacas por sólo tres horas, cercanas al mediodía, en un clima tropical caribeño.

La correlación entre temperatura rectal y vaginal fue cercana a 0.80 ($P < .0001$) en tres de los conjuntos de valores (promedio general, regreso del sol y tres horas luego del regreso del sol), pero para el conjunto de los datos de la mañana fue de 0.54 ($P < .05$) (Cuadro 8). Rajamahendran et al. (1989) encontraron que la correlación entre las temperaturas rectal y vaginal era 0.95. Estas correlaciones afirman y aclaran lo que vimos anteriormente en la Figura 11, que ambas medidas proveen la misma información con respecto a la temperatura corporal de las vacas y que una es aproximadamente tan precisa como la otra.

Las correlaciones entre las temperaturas vaginal y rectal (interior del cuerpo) con las distintas temperaturas superficiales fueron más bajas y con mayor amplitud de valores que entre las del interior del cuerpo, fluctuando desde levemente negativas hasta alrededor de 0.50. Umphrey et al. (2001) encontraron que, en vacas Holstein, la

correlación entre las temperaturas de la piel y rectal fue casi 0 (-0.024 y -0.022 la parcial y la simple, respectivamente). Johnston et al. (1963) encontraron, en toros lecheros, un coeficiente de correlación (para todos los toros juntos) de 0.59 ($P < .01$) para temperaturas rectal y de la piel del flanco. Era de esperarse que estas correlaciones fueran más bajas porque las temperaturas superficiales fueron medidas con un instrumento menos preciso que las temperaturas del interior del cuerpo y están expuestas, más directamente, a los efectos ambientales. Entre los efectos ambientales están: la localización de esa parte física con respecto al resto del cuerpo, la radiación solar, la presencia de pelo sobre el área de la medida, el color del pelo, la distancia del termómetro infrarrojo al lugar de la medida, el ángulo del termómetro con la superficie de la piel, el movimiento de las vacas y el tiempo que estuvo el termómetro apuntando hacia el área de la piel. Es notable, sin embargo, lo altas que resultaron las correlaciones de las temperaturas del interior del cuerpo con las temperaturas superficiales, comparadas con las reportadas por Umphrey et al. (2001). Como mencionamos anteriormente, estos autores encontraron correlaciones bien bajas entre las temperaturas de la piel y rectal y concluyeron que las temperaturas de la piel carecían de valor como indicadores de la temperatura corporal del interior del cuerpo.

En la Cuadro 8 también se observan las correlaciones entre las temperaturas superficiales. Estas mostraron gran fluctuación, quizás por los mismos factores ambientales antes mencionados. Es evidente que las temperaturas superficiales, medidas por un termómetro infrarrojo, no son medidas de temperatura corporal tan buenas como la rectal y vaginal. De hecho, Umphrey et al. (2001) concluyeron que el valor de la temperatura de la piel es cuestionable como indicador de la temperatura

interna basal del animal. Sin embargo, los resultados que se observan en el conjunto de la Figura 11 y la Cuadro 8 demuestran que las temperaturas superficiales guardan correlación con la temperatura del interior del cuerpo y a su vez contienen información que es diferente de la que contiene la temperatura del interior del cuerpo. Las temperaturas superficiales reflejan diferencias entre distintas partes del cuerpo y reflejan mejor los efectos de la radiación solar sobre la piel. De hecho, King et al. (1988) y Becerril et al. (1993) reportaron efectos similares de la radiación solar sobre la superficie de los animales.

Cuadro 8. Correlaciones entre distintas medidas de temperatura corporal en distintos conjuntos de valores: (a) promedio global, (b) en la mañana, (c) al terminar período al sol y (d) tres horas después del regreso del sol.

		Vag.	Cab.	Cuello	A. I.	A. D.	Muslo
Rectal	(a)	0.80 *	0.50 *	0.54 *	0.49 *	0.45 *	0.38 *
	(b)	0.54 *	-0.02 **	0.10 **	-0.06 **	-0.19 ***	0.09 **
	(c)	0.83 *	0.46 *	0.54 *	0.48 *	0.54 *	0.46 *
	(d)	0.78 *	0.26 ***	0.19 **	0.32 ***	0.15 **	0.22 **
Vag.	(a)		0.42 *	0.43 *	0.41 *	0.36 *	0.35 *
	(b)		0.42 *	0.43 *	0.41 *	0.36 *	0.35 *
	(c)		0.39 *	0.49 *	0.43 *	0.44 *	0.41 ***
	(d)		0.23 ***	0.06 **	0.28 ***	0.10 **	0.24 ***
Cab.	(a)			0.86 *	0.81 *	0.82 *	0.48 *
	(b)			0.86 *	0.81 *	0.82 *	0.48 *
	(c)			0.87 *	0.68 *	0.83 *	0.61 *
	(d)			0.70 *	0.52 *	0.42 *	0.35 ***
Cuello	(a)				0.81 *	0.80 *	0.51 *
	(b)				0.81 *	0.80 *	0.51 *
	(c)				0.66 *	0.82 *	0.61 *
	(d)				0.55 *	0.56 *	0.45 *
A. I.	(a)					0.88 *	0.56 *
	(b)					0.88 *	0.56 *
	(c)					0.81 *	0.89 *
	(d)					0.65 *	0.74 *
A. D.	(a)						0.54 *
	(b)						0.54 *
	(c)						0.74 *
	(d)						0.67 *

Nota: Rectal= temperatura rectal; Vag.= temperatura vaginal; Cab.= temperatura superficial de la cabeza; Cuello= temperatura superficial del cuello; A.I.= temperatura superficial del abdomen izquierdo; A.D.= temperatura superficial del abdomen derecho; y Muslo= temperatura superficial del muslo.

***= P<.0001

*= P<.05

CONCLUSIONES

Eficacia del método usado para medir temperatura vaginal

1. El método usado para medir temperatura vaginal en vacas demostró ser uno confiable y capaz de detectar cambios en la temperatura corporal causados por distintos factores.

Efecto del nivel de alimento concentrado en la dieta

2. Las vacas que consumen una dieta alta en alimento concentrado mantienen una temperatura vaginal más alta que las vacas que reciben una dieta baja en alimento concentrado. Esta tendencia es más consistente cuando la temperatura vaginal está disminuyendo que cuando la temperatura vaginal está ascendiendo.

Efecto de la temperatura del aire

3. La hora del día (temperatura del aire) tiene efectos significativos sobre la temperatura vaginal. La temperatura vaginal mínima diaria fluctuó entre 38.0 y 39.5°C y ocurrió bajo las condiciones de este experimento entre 0700 a 0800 h; mientras que el promedio de la temperatura vaginal máxima diaria varió entre 38.9 y 40.7°C y ocurrió aproximadamente a las 1900 h.

4. La temperatura del aire durante la época del año en que se realizó el experimento mostró un segmento ascendente con una pendiente mayor que la del segmento descendente. Igualmente, la temperatura vaginal mostró una pendiente más empinada en el segmento ascendente que en el segmento descendente.
5. La exposición a la radiación solar probablemente causa la activación de mecanismos de regulación térmica en las vacas que les permite mantener los valores diarios máximos de temperatura vaginal dentro de los parámetros establecidos de temperatura corporal considerada normal en comparación con las vacas que están bajo sombra todo el día.

Efecto de la radiación solar directa

6. El patrón de cambio diario de la temperatura vaginal se altera cuando las vacas se exponen a la radiación solar por tres horas, en el sentido de que la temperatura vaginal aumenta más rápidamente que en las vacas que no son expuestas al sol.
7. Todas las temperaturas corporales registran aumentos cuando las vacas se expuestas a la radiación solar directa. El aumento en las temperaturas vaginal y rectal es pequeño comparado con el aumento que se observa en las temperaturas superficiales.

8. Con respecto a las temperaturas de la piel de vacas expuestas al sol por tres horas, hay interacción entre la hora del día en que se toma la lectura y el sitio o parte del cuerpo. La interacción se debe a que la exposición al sol no aumenta la temperatura de la piel en el mismo grado en las distintas partes del cuerpo.

Comparación entre distintas temperaturas corporales

9. Las temperaturas vaginal y rectal, medidas de temperatura del interior del cuerpo, exhiben valores mayores que las temperaturas superficiales (de la piel).
10. La temperatura vaginal y la rectal muestran tendencias diarias casi idénticas con una correlación entre ellas de 0.80, lo que indica que ambas proveen la misma información con respecto a la temperatura corporal interna de las vacas y que una es tan precisa como la otra.
11. Las correlaciones de las temperaturas vaginal y rectal (interior del cuerpo) con las distintas temperaturas superficiales fueron relativamente bajas, lo que indica que la información sobre la temperatura corporal contenida en unas es diferente a la contenida en las otras.
12. Las temperaturas superficiales variaron mucho y las correlaciones entre ellas fluctuaron grandemente, probablemente debido a que son afectadas por muchos factores ambientales. Esto demuestra que son medidas de temperatura corporal menos confiables que la rectal y vaginal.

BIBLIOGRAFÍA

- Araki, C.T., Nakamura, L.W.G. Kam, y N. Clarke. 1984. Effect of lactation on diurnal temperature patterns of dairy cattle in hot environments. *J. Dairy Sci.* 67: 1752-1760.
- Armstrong, D. V. 1994. Symposium: nutrition and heat stress. Heat stress interaction with shade and cooling. *J. Dairy Sci.* 77: 2044-2050.
- Beatty, D. T., A. Barnes, A. Taylor, D. Pethick, M. McCarthy, y S. K. Maloney. 2006. Physiological responses of *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle to prolonged, continuous heat and humidity. *J. Anim. Sci.* 84: 972-985.
- Becerril, C. M., C. J. Wilcox, T. J. Lawlor, G. R. Wiggans, y D. W. Webb. 1993. Effect of percentage of white coat color on Holstein production and reproduction in a subtropical environment. *J. Dairy Sci.* 76: 2286-2291.
- Beede, D.K. and R. J. Collier. 1986. Potential nutritional strategies for intensively managed cattle during thermal stress. *J. Anim. Sci.* 62: 543-554.
- Bergen, R. D., and A. D. Kennedy. 2000. Relationship between vaginal and tympanic membrane temperature in beef heifers. *Can. J. Anim. Sci.* 80: 515-518.
- Berman, A. 1971. Thermoregulation in intensively lactating cows in near-natural conditions. *J. Physiol.* 215: 477-489.
- Berman, A., Y. Folman, M. Kaim, M. Mamen, Z. Herz, D. Wolfenson, A. Arieli, y Y. Graber. 1985. Upper critical temperatures and forced ventilation effects for high-yielding dairy cows in a subtropical climate. *J. Dairy Sci.* 68: 1488-1495.
- Brosh, A., Y. Aharoni, A. A. Degen, D. Wright, y B. A. Young. 1998. Effects of solar radiation, dietary energy, and time of feeding on thermoregulatory responses and energy balance in cattle in hot environment. *J. Anim. Sci.* 76: 2671-2677.
- Coleman, D. A., B. R. Moss, y T. A. McCaskey. 1996. Supplemental shade for dairy calves reared in commercial calf hutches in a southern climate. *J. Dairy Sci.* 79: 2038-2043.
- Collier, R. J., R. M. Eley, A. K. Sharma, R. M. Pereira, y D. E. Buffington. 1981. Shade management in subtropical environment for milk yield and composition in Holstein and Jersey cows. *J. Dairy Sci.* 64: 844-849.

- Davis, M. S., T. L. Mader, S. M. Holt, y A. M. Parkhurst. 2003. Strategies to reduce feedlot cattle heat stress: effects on tympanic temperature. *J. Anim. Sci.* 81: 649-661.
- Di Costanzo, A., J. N. Spain, y D. E. Spiers. 1997. Supplementation of nicotinic acid for lactating Holstein cows under heat stress conditions. *J. Dairy Sci.* 80: 1200-1206.
- Drackley, J. K., T. M. Cicela, y D. W. LaCount. 2003. Responses of primiparous and multiparous Holstein cows to additional energy from fat or concentrate during summer. *J. Dairy Sci.* 86: 1306-1314.
- Finch, V. A. 1986. Body temperature in beef cattle: its control and relevance to production in the tropics. *J. Anim. Sci.* 62: 531-542.
- Johnston, J. E., H. Naelapaa, y J. B. Frye, Jr. 1963. Physiological responses of Holstein, Brown Swiss and Red Sindhi crossbred bulls exposed to high temperatures and humidities. *J. Anim. Sci.* 22: 432-436.
- Jordan, E. R. 2003. Effects of heat stress on reproduction. *J. Dairy Sci.* 86: (E. Suppl.): E104-E114.
- King, V. L., S. K. Denise, D. V. Armstrong, M. Torabi, y F. Wiersma. 1988. Effects of hot climate on performance on first lactation Holstein cows grouped by coat color. *J. Dairy Sci.* 71: 1093-1096.
- Knapp, D. M., y R. R. Grummer. 1991. Response of lactating dairy cows to fat supplementation during heat stress. *J. Dairy Sci.* 74: 2573-2579.
- Lammoglia, M. A., R. A. Bellows, R. E. Short, S. E. Bellows, E. G. Bighorn, J. S. Stevenson, y R. D. Randel. 1997. Body temperature and endocrine interactions before and after calving in beef cows. *J. Anim. Sci.* 75: 2526-2534.
- Lefcourt, A. M., y W. R. Adams. 1996. Radiotelemetry measurement of body temperatures of feedlot steers during summer. *J. Anim. Sci.* 74: 2633-2640.
- Lefcourt, A. M., y W. R. Adams. 1998. Radiotelemetry measurement of body temperatures of feedlot steers during winter. *J. Anim. Sci.* 76: 1830-1837.
- Kriss, M., Observations on the body temperature of dry cows proceedings of the national academy of sciences 6: 539-541.
- Magdub, A., H. D. Johnson, y R. L. Belyea. 1982. Effect of environmental heat and dietary fiber on thyroid physiology of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 65: 2323-2331.

- Mader, T. L. y M. S. Davis. 2004. Effect of management strategies on reducing heat stress of feedlot cattle: Feed and water intake¹. *J. Anim. Sci.* 82: 3077–3087.
- National Research Council. 1989. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 6th rev. ed. Natl. Acad. Sci., Washington, DC.
- Ominski, K. H., A. D. Kennedy, y K. M. Wittenberg. 2002. Physiological and production responses to feeding schedule in lactating dairy cows exposed to short-term, moderate heat stress. *J. Dairy Sci.* 85: 730-737.
- Prendiville, D. J., J. Lowe, B. Earley, C. Spahr, and P. Kettlewell. 2002. Radiotelemetry systems for measuring body temperature. *Beef Production Series No. 57*: 1-14.
- Rajamahendran R., J. Robinson, S. Desbottes , y J. S. Walton. 1989. Temporal relationships among estrus, body temperature, milk yield, progesterone and luteinizing hormone levels, and ovulation in dairy cows. *Theriogenology*. 31(6): 1173-1182.
- Roman-Ponce, H., W. W., Thatcher, D. E., Buffington, C. J. Wilcox, y H. H., Van Horn. 1977. Physiological and production responses of dairy cattle to a shade structure in a subtropical environment. *J. Dairy Sci.* 60: 424-430.
- SAS User's Guide: Statistics, Version 5 Edition. 1979. SAS Inst. , Inc., Cary, NC.
- Settivari, R. S., J. N. Spain, M. R. Eilersieck, J. C. Byatt, R. J. Collier, y D. E. Spiers. 2007. Relationship of thermal status to productivity in heat-stressed dairy cows given recombinant bovine somatotropin. *J. Dairy Sci.* 90: 1265-1280.
- Spain, J. N. y D. E. Spiers. 1996. Effects of supplemental shade on thermoregulatory response of calves to heat challenge in a hutch environment. *J. Dairy Sci.* 79: 639-446.
- Umpfrey, J. E., B. R. Moss, y C. J. Wilcox. 2001. Interrelationships in lactating Holsteins of rectal and skin temperatures, milk yield and composition, dry matter intake, body weight, and feed efficiency in summer in Alabama. *J. Dairy Sci.* 84: 2680–2685.
- Valtorta, S. E. , P. E. Leva, y M. R. Gallardo. 1997. Evaluation of different shades to improve dairy cattle well-being in Argentina. *International Journal of Biometeorology*. 41: 65-67. (Abstr.)
- Vicini J. L., S. Hudson, W. J. Cole, M. A. Miller, P. J. Eppard, T. C. White, y R. J. Collier. 1990. Effect of acute challenge with an extreme dose of somatotropin in a prolonged-release formulation on milk production and health of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 73: 2093-2102.

- West, J. W. 1994. Interactions of energy and bovine somatotropin with heat stress. *J. Dairy Sci.* 77: 2091-2102.
- West, J. W. 2003. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 86: 2131-2144.
- West, J. W., G. M. Hill, J. M. Fernández, P. Mandebvu y B. G. Mullinix. 1999. Effects of dietary fiber on intake, milk yield, and digestion by lactating dairy cows during cool or hot, humid weather. *J. Dairy Sci.* 82: 2455-2465.
- Williams, J. S., R. R. Shrode, R. E. Leighton, y I. W. Rupel. 1960. A study of the influence of solar radiation on physiological responses of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 43: 1245-1254.

APÉNDICE

Cuadro 9. Promedio de Temperaturas Corporales Medidas Durante Varios Periodos Experimentales (Least Square Means).

Tipo de temperatura	Mañana (°C)	Regreso del sol (°C)	Luego de regresar del sol (°C)	Promedio diario general (°C)
Vaginal	38.45 ^{a*}	38.90 ^{a**}	38.82 ^{a**}	38.72 ^a
Rectal	38.20 ^{a*}	38.76 ^{a**}	38.66 ^{a**}	38.54 ^a
Abd. izquierdo	32.97 ^{b*}	35.71 ^{b**}	35.57 ^{b**}	34.75 ^b
Cabeza	32.96 ^{b*}	35.68 ^{b**}	35.44 ^{b c**}	34.69 ^b
Abd. derecho	32.41 ^{b*}	35.80 ^{b**}	35.53 ^{b c**}	34.58 ^{b c}
Cuello	32.36 ^{c*}	35.61 ^{b**}	35.22 ^{b c**}	34.40 ^{b c}
Muslo	31.72 ^{c*}	35.47 ^{b**}	35.16 ^{c**}	34.12 ^c

Nota: En los periodos de la mañana, regreso del sol y luego del regreso del sol, n=78. En el promedio diario general, n=234. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, P<.05. Símbolos distintos en la misma fila indican diferencias significativas, P<.05.