

Ing. Alejandro  
Martinez  
Badillo

**Estrés calórico en el ganado lechero (*Bos taurus*) de la raza Holstein**

2011



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ingeniería

Estrés calórico en el ganado lechero (*Bos taurus*) de la  
raza Holstein

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de  
Maestro en Ciencias  
Línea terminal Ingeniería en Biosistemas

Presenta

Ing. Alejandro Martinez Badillo

Querétaro, Qro. A Enero del 2011



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ingeniería  
Maestría en Ciencia línea terminal Biosistemas

**Estrés calórico en el ganado lechero (*Bos taurus*) de la raza Holstein**

**TESIS**

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de  
Maestro en Ciencia Línea terminal Biosistemas

**Presenta:**

Ing. Alejandro Martínez Badillo

**Dirigido por:**

Dr. Genaro Martín Soto Zarazúa

**SINODALES**

Dr. Genaro Martín Soto Zarazúa  
Presidente

Dr. Enrique Rico García  
Secretario

Dra. Guadalupe Bernal Santos  
Vocal

Dr. Rosalía Virginia Ocampo Velázquez  
Suplente

M en C. Adán Mercado Luna  
Suplente

Dr. Gilberto Herrera Ruiz  
Director de la Facultad de Ingeniería

Firma

Firma

Firma

Firma

Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval  
Director de Investigación y  
Posgrado

Centro Universitario  
Querétaro, Qro.  
Enero del 2011  
México

## RESUMEN

Las condiciones ambientales son uno de los problemas a los que nos enfrentamos los seres humanos, en muchas ocasiones son causa de daños materiales y económicos para los países que las padecen, de igual forma, las tienen que enfrentar de alguna manera los animales poniendo en juego su habilidad para mantener su estado de homeostasis, tratando de que su cuerpo pueda sobrevivir a las nuevas condiciones ambientales. El estrés por calor o calórico es uno de los problemas que afecta a los animales, hay diferentes formas para contrarrestar estos efectos tales como: La automatización de su medio ambiente, como ventilación y humificación; otra forma, es el cambio de su medio ambiente como zonas de descanso. En el presente estudio se evaluó un echadero para el ganado lechero y su efecto en las variables de frecuencia cardíaca (FC), temperatura corporal (TC), consumo voluntario (CV), consumo de agua (IA), horas de descanso (HD) y producción de leche (PL). El experimento se realizó en el campus Amazcala de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), ubicado en el Marqués, Querétaro. Se utilizaron cuatro vacas lecheras en un diseño experimental cruzado, evaluando la FC y TC cada hora y las demás variables cada 24 horas. En este estudio se encontró que los echaderos tiene un efecto de confort en los animales disminuyendo el estrés calórico, teniendo una relación entre el ITH (Índice de Temperatura Humedad) con la FC y TC con una *r-Pearson* de 0.69 y 0.58 respectivamente, encontrando un valor de ITH de 74 como máximo en el día. El CV disminuye al incrementar el ITH tanto en control como en tratamiento, la IA fue mayor en control que en tratamiento, las HD fueron mayores en el tratamiento que en control; por lo que indica que el confort y disminución del estrés calórico se da por el efecto del echadero. No hubo diferencia significativa en la producción de leche evaluada en una prueba de *Tukey* de  $P < 0.05$  por lo que se concluyó que el efecto del echadero ayuda al confort del animal pero no a la producción de leche.

**Palabras clave:** (Estrés calórico, Echadero, Holstein, Ganado lechero, Frecuencia cardíaca, Temperatura rectal).

## SUMMARY

The environmental conditions are one of the problems which we faced the human beings, in many occasions are cause of material damages and economic for the countries suffer who them, similarly they must, them face somehow the animal putting into play its ability to maintain its state of homeostasis, trying of which its body can survive the new environmental conditions. Stress by heat or caloric is one of the problems that affect the animal, are different forms to resist these effects such as: The automatization of its environment, like ventilation and humificación; another form, is the change of its environment as rest areas. In the present study a echadero for the milk cattle and its effect in the variables was evaluated cardiac frequency (FC), corporal temperature (TC), voluntary consumption (CB), water consumption (IA), hours of rest (HD) and milk production (PL). The experiment was realised in the Amazcala campus of the Independent University of Querétaro (UAQ), located in El Marquez, Querétaro. Four milk cows in an experimental design were used hourly crossover, evaluating the FC and TC and the other variables every 24 hours. In this study one was that the echaderos caloric stress has an effect of comfort in the animal falling, having a relation between the ITH (Index of Temperature Humidity) with FC and TC with one *r-Pearson* of 0,69 and 0,58 respectively, finding a value of ITH of 74 at the most in the day. The CV as much diminishes when increasing the ITH in control as in treatment, the IA was greater in control than in treatment, the HD were majors in the treatment that in control; reason why it indicates that comfort and diminution of caloric stress occur by the effect of the echadero. There was no significant difference in the milk production evaluated in a test of *Tukey* de  $P < 0.05$ , reason why one concluded that the effect of the echadero aid to comfort of the animal but not to the milk production

**Key words:** (Caloric stress, Echadero, Holstein, Milk cattle, Cardiac frequency, Rectal temperature).

A todos los Doctores, M.C., Ing. Administrativos, Trabajadores de la UAQ,  
Campus Amazcala, CU, Juriquilla, por el apoyo que recibí de ellos,  
Por sus esfuerzos por sacar adelante, no solo por mí, también por mis  
compañeros,  
Por soportarnos, tolerarnos y enseñarnos a ser lo que ahora somos.  
A *Conacyt* por el apoyo económico,  
La Universidad Autónoma de Querétaro  
Por abrir sus brazos para con nosotros,  
Gracias

Es dedicada a la memoria de mi papa, quien decía, aquí solo gente capacitada,  
GRACIAS POR TODO PAPA, Cesáreo Martínez López.

A Mí mama, Amalia Badillo Martínez, quien nos ha hecho, ser hombres de bien.

A mis Hermanos, TSU. Adriana, Tec. Maricela, Ing. Cesar, TSU. José, gracias por  
sus apoyos, sus regaños, los quiero y siempre serán mi ejemplo, para seguir  
adelante en esta vida, llena de cosas buenas.

Mis amigos Adán Mercado, Reynaldo Maldonado, José Guadalupe Sánchez por  
su apoyo y sus sabios consejos, de todo corazón, GRACIAS.

A Florecita Gracias por estar ahí, apoyándome, dándome porras y por ser el amor  
de mi vida.

Solo me resta decir, Gracias Dios, por dejarme vivir esto.

# INDICE

	<b>Página</b>
Resumen	I
<i>Summary</i>	ii
Dedicatorias	iii
Agradecimientos	iv
Índice	v
Índice de tablas	vii
Índice de figuras	viii
<b>1. CAPITULO</b>	
1.1 Introducción	1
1.2 Descripción del problema	3
1.3 Justificación	8
1.4 Objetivos e hipótesis	11
<b>2. CAPITULO</b>	
2.1 Introducción	12
2.2 Sistemas de producción	12
2.2.1 Ganadería intensiva	12
2.2.2 Ganadería extensiva	13
2.2.3 Ganadería trashumante	14
2.3 Alimentación	14
2.4 Energía	16
2.5 Efectos sobre la producción	17
2.6 Medio ambiente	17
2.6.1 Introducción	17
2.6.2 Clima	18
2.6.3 Ambiente	19
2.6.3.1 Temperatura	20
2.6.3.2 Viento	22
2.6.3.3 Humedad	22
2.6.3.4 Precipitación	23

2.6.3.5 Radiación Solar	24
2.6.3.6 Luz	24
2.6.3.7 Presión Atmosférica	25
2.6.4 Índice de temperatura-Humedad	26
2.7 Estrés térmico	28
2.7.1 Variables indicativas de estrés calórico	29
2.7.2 Estrategias para minimizar el efecto del estrés calórico	30
<b>3. CAPITULO</b>	
3.1 Ubicación geográfica.	34
3.2 Especificación del establo	35
3.3 Ganado lechero	36
3.4 Variables y mediciones	38
3.5 Metodología	40
3.6 Análisis de los datos	41
<b>4. CAPITULO</b>	
4.1 Resultados y discusión	42
4.2 Relación entre variables	49
4.3 Conclusiones	51
<b>Referencias</b>	52
<b>Anexos</b>	58

## INDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1.1 Clasificación de los productores de leche en el Estado de Querétaro	5
2.1 Relación entre temperatura y humedad.	27
2.2 Porcentaje de radiaciones que detienen los diferentes tipos de techo.	31
2.3 Efecto de la refrigeración de vacas preparto en la producción de leche (kg/día) en la lactancia siguiente.	32
3.1 Dieta alimenticia del ganado lechero.	37
3.2 Diseño experimental.	40
4.1 Análisis estadístico de la frecuencia cardíaca para una $P < 0.05$	43
4.2 Análisis estadístico de la temperatura corporal para una $P < 0.05$	45
4.3 Analisis estadistico de la produccion de leche para una $P < 0.05$	47
4.4 Análisis estadístico de CV, IA y HD para una $P < 0.05$	48
4.5 Relación entre variables <i>r-Pearson</i> en días.	50
4.6 Relación entre frecuencia cardíaca, temperatura corporal e ITH con la <i>r-Pearson</i> en horas	50

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
1.1 Producción lechera en miles de litros durante el año 2008.	4
1.2 Porcentaje de producción lechera por municipio.	4
2.1 Energía de los alimentos.	16
3.1 Ubicación del UAQ, Campus Amazcala.	34
3.2 U.A.Q. Campus Amazcala	34
3.3 Establo de ganado lechero	35
3.4 Echaderos	36
3.5 Ganado lechero	36
3.6 Dieta del ganado lechero	37
3.7 Sensor polar-electro RS3C	39
3.8 Sensor infra-rojo de temperatura	39
3.9 <i>Data logger</i> 450	40
4.1 Comportamiento de la frecuencia cardiaca	42
4.2 Comportamiento de la temperatura corporal	44
4.3 Comportamiento de la producción de leche	46
4.4 Comportamiento de CV, HD e IA	47
4.5 Gráfica del comportamiento del ITH, a) días y b) horas.	49

# CAPITULO 1

## Introducción

### 1.1 Introducción

Un serio problema que se presenta en las regiones áridas y semiáridas de México es la baja eficiencia del ganado lechero debido a las condiciones climáticas, las cuales disminuyen la producción de leche por una alta temperatura en el medio ambiente y un mal manejo nutricional. (Álvarez, 2006, Córdova-Izquierdo et al., 2007, Correa-Calderón et al., 2002).

Se realizó un estudio en nuevas razas que soportan las condiciones climáticas de la región, así como la rentabilidad económica que proporcionó en determinado tiempo donde se evaluó la producción de leche, mejoramiento genético y la alimentación (Bayat et al., 2006).

Se analizaron aspectos sobre el manejo nutricional del ganado lechero en: Tipos de alimento, calidad de alimento, mezclas de forraje concentrado, tamaño de partícula, tiempo de paso y costos de producción del alimento (Krause et al. 2002, Bayat et al., 2010).

Durante el metabolismo de los nutrientes se genera calor el cual contribuye al mantenimiento de la temperatura corporal, condición favorable en regiones donde el clima es frío (Lagger et al., 2007, Córdova-Izquierdo et al., 2007). Esta generación de calor se ha asociado con el peso vivo de las vacas lecheras, de esta forma, en vacas de mayor tamaño tienen un aparato digestivo mas grande, lo que permite consumir y digerir mas alimento, esto coincide con el incremento en la producción de leche y al mismo tiempo eleva también la generación de calor metabólico, sin embargo, en climas cálidos, el calor metabólico se debe eliminar para mantener la temperatura corporal dentro de los rangos normales (Bayat et al., 2010, Bruno et al., 2009).

La capacidad de termorregulación de la vaca en condiciones calurosamente altas es insuficiente, lo cual ocasiona un incremento en su temperatura corporal (Córdova-Izquierdo et al., 2007, O'brien et al., 2009), provocando de esta manera estrés calórico. Esto se refiere a que el animal hace frente a las condiciones ambientales del lugar utilizando sus capacidades fisiológicas de adaptación a su medio ambiente.

Algunos investigadores sostienen que los factores de estrés llegan a tener un efecto perjudicial sobre el organismo de las vacas lecheras si ocurre a menudo. (Borell 2010, Stewar et al., 2007).

Decimos pues, que el estrés es la condición de un animal al resultado de la acción de uno o más factores de ansiedad que pueden ser de origen externo o interno. Un factor de ansiedad se puede considerar como dañino, dependiendo de la manera en que el organismo puede hacerle frente en la recuperación de su estado de homeostasis. Las alteraciones del comportamiento fisiológico sirven como indicadores para medir y supervisar el grado de estrés en el que se encuentra el ganado. Sin embargo, el estrés calórico, por sí mismo puede afectar su confort, incluso cuando las muestras de este no son obviamente visibles.

El sistema adrenocortical hipotalámico-pituitario (HPA) da una respuesta una reacción fisiológica, la activación de este depende en gran medida de aspectos emocionales, los cuales determinan la implicación del animal a los factores de estrés calórico.

El término “estrés” se utiliza hoy en un sentido mucho más amplio para la aplicación del bienestar animal (Borell 2010, Padilla et al., 2005, Stewar et al., 2007).

## 1.2 Descripción del problema

México según Álvarez (2006), tiene un déficit de producción de leche que se ve reflejado principalmente por las importaciones de productos lácteos, donde el 14% de esas importaciones es de leche en polvo, el 8% son quesos y el 21% es leche fluida.

En el país existen diferentes cuencas de producción láctea, el sector especializado es integrado y controlado por empresas de los segmentos de distribución y comercialización. En el estado de Querétaro la más importante es la Asociación de Productores de Leche Pura (Alpura), segunda cooperativa del país, que regionalmente aplica el modelo intensivo de producción y controla el sistema de transacciones agroindustriales.

La cadena de lácteos en México y en el estado de Querétaro como comenta Álvarez (2006), depende cada vez mas de productos del exterior en cuanto a insumos básicos, como vaquillas de reemplazo, semen, lacto sueros, medicamentos, maquinaria y equipo tecnológico para sostener un modelo intensivo y especializado y que responden a un modelo de consumo masivo, que ha sido fomentado por la dirección de las políticas agropecuarias del país.

El principal factor de riesgo es la dependencia de tecnología extranjera es su disponibilidad en el momento oportuno y la factibilidad para que la mayoría de los productores puedan acceder a ella.

El estado de Querétaro tiene una producción de leche de 550 233 litros diarios. Sin embargo un 70% es vendido directamente a las empresas lácteas o envasadoras como Alpura, dejando solamente 165 069 litros de leche diarios para la población en general, cabe mencionar que la leche de los pequeños productores de la región, es consumida generalmente en las zonas cercanas a los establos.

La producción en Querétaro durante el año se puede ver en la Figura 1. Donde el Marqués produce 66 098.8 lts., Pedro Escobedo 27 709.4 lts., Corregidora 26 400.8 lts., San Juan del Río 22 353lts., Querétaro 21 264.4 lts., Colón 20 160.4 lts. y el resto de los municipios 16 847.9 litros de leche.

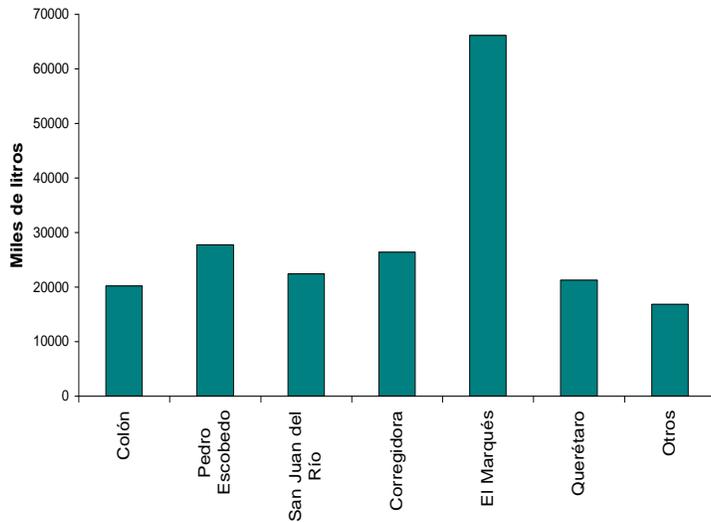


Figura 1.1 Producción lechera en miles de litros durante el año 2008.

(Fuente. SEDESU b, 2008)

En la producción de leche bovina resaltan los municipios de El Marqués con el 32.91%, Pedro Escobedo con el 13.80%, Corregidora con el 13.15%, San Juan del Río con el 11.13%, Querétaro con el 10.59%, Colón con el 10.04% y el resto de los municipios comparten el 8.39% de la producción estatal (Figura 2).

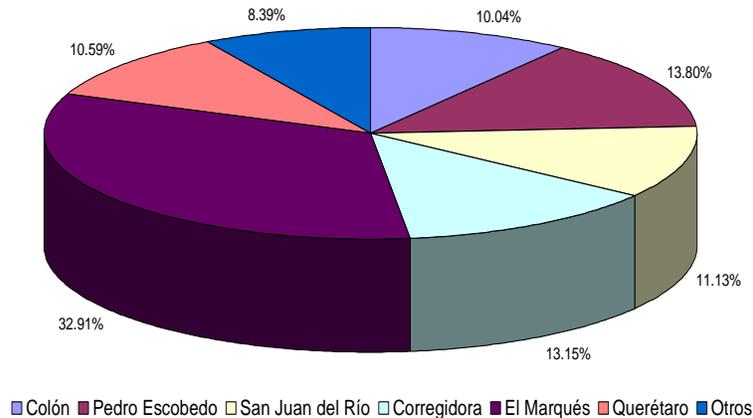


Figura 1.2 Porcentaje de producción lechera por municipio.

(Fuente. SEDESU b, 2008)

Las dos figuras precedentes nos dan una idea clara de la importancia que tiene el municipio del Marqués en la producción lechera.

La población total del estado de Querétaro hoy en día es de 1 651 431 habitantes, de los cuales en el municipio de Querétaro se concentran 761 525, en San Juan del Río hay 217 036, en Corregidora 113 452 y en el Marqués 82 848 habitantes, que representan el 46.11%, 13.14%, 6.87 % y 5.02 % de la población del estado respectivamente (SEDESU a, 2008).

En la Tabla 1, se muestra la distribución de los productores de leche en cuanto al número de cabezas de ganado que se tienen. Por clasificación, los pequeños cuentan con un número de cabezas de ganado que van de 1-20, los medianos de 21 a 50, los grandes de 51 a 200 y los muy grandes de más de 200 cabezas de ganado, en porcentaje representan el 64%, 15%, 12% y 9%, respectivamente.

Clasificación	Cabezas de ganado	%
Pequeños	Ene-20	64
Medianos	21-50	15
Grandes	51-200	12
Muy grandes	200	9

Tabla 1.1 Clasificación de los productores de leche en el Estado de Querétaro.

Fuente: Álvarez, 2006.

La eficiencia del animal para aprovechar su alimentación tiene como factores principales las condiciones ambientales y la variabilidad individual entre el un número de cabezas en el establo. Cada vez que el ambiente está fuera del rango de confort, el animal debe poner en juego mecanismos fisiológicos y de comportamiento para contrarrestar los efectos adversos. Estos mecanismos de termorregulación representan gastos extra de energía que se refleja en la disminución de la producción de leche y de sólidos como son grasa y proteínas, además de la reproducción (Borell 2010, Padilla et al., 2005, Stewar et al., 2007).

Cuanto mayor es el nivel de producción, más sensible es el animal al estrés calórico y por lo tanto, más marcada será la disminución de su rendimiento.

Resulta interesante indicar que cada raza presenta diferentes límites de la zona de confort. Por ejemplo La raza Jersey, Guersney, Pardo suiza y sus cruas son más resistentes que las Holslein (Lagger et al., 2006, Lorenz et al., 2007). Este aspecto puede ser relevante para los productores de leche en zonas cálidas.

Una de las principales causas de la disminución de leche, se presenta cuando existen condiciones de estrés calórico ya que la vaca tiende a reducir su consumo voluntario de materia seca (MS) en un 6% cuando la temperatura ambiente (TA) sobrepasa los 30 °C (García, 2004).

Junto a un significativo aumento de los requerimientos energéticos de mantenimiento, debido a los mecanismos de termorregulación, la activación del hipotalámico-pituitario-suprarrenal (HPA), es el eje de la respuesta fisiológica primaria al estrés en mamíferos. La precaución debe ser tomada al interpretar la actividad del HPA donde se tienen que considerar para la interpretación del estrés calórico.

La red compleja que existe entre el sistema nervioso central, el sistema endocrino y el sistema inmune según Borel (2010) y el HPA, desempeña un papel significativo en la comunicación entre el sistema neuro-endocrino y el sistema inmune. Este control se ejerce en los varios niveles reguladores y es de importancia vital para prevenir reacciones a los mecanismos de defensa del estrés calórico. Estas variaciones se relacionan con diferencias en comportamiento, en la activación comprensiva y en la actividad del eje suprarrenal del HPA.

Cuando el sistema nervioso es activado debido al estrés calórico, aumenta el ritmo cardíaco y se lanza la adrenalina (epinefrina). A la activación de los receptores del  $\beta$ , aumenta la disponibilidad de combustibles metabólicos, tales como glucosa y ácidos grasos, el flujo de sangre se redistribuye a los músculos esqueléticos y el corazón para preparar al animal a dar una respuesta al estrés calórico ejercido por las condiciones ambientales.

Los requerimientos de agua aumentan en forma paralela con el incremento de la temperatura ambiente. A medida que esta asciende de 86 a 95 °F, el

consumo de agua se eleva de 21 a 32 galones (García, 2004). Las vacas lecheras de alta producción tienen en general una mayor susceptibilidad a sufrir estrés calórico ya que generan más calor como resultado de su mayor ingesta de alimento y por lo tanto van a requerir más agua (García, 2004, Padilla et al., 2005). El calor se produce como resultado de la fermentación microbiana en el rumen. En términos nutricionales esto se conoce como incremento térmico. Las proteínas (aminoácidos) tienen un gran incremento térmico, asociado con su metabolismo (Borel 2010, Padilla et al., 2005). Por ejemplo los forrajes fibrosos de baja calidad generan más calor de fermentación dentro del animal, el cual puede ser usado para mantener la temperatura corporal cuando las condiciones ambientales son bajas (por debajo de 40° F). Por otra parte cuando son altas, la vaca necesita mantener su temperatura corporal dentro de límites biológicos compatibles con la vida. Las opciones que tiene el animal se limitan a consumir más agua (la evaporación de agua disipa calor), buscar lugares frescos como lagunas, sombra y espacios con buena circulación de aire o disminuir el consumo de alimento. La situación puede mejorarse por una combinación de movimiento del aire (ventiladores) y agua o sombra, si es al aire libre, también es muy importante suministrar sombra que proteja de la incidencia directa de la luz solar y que permita un medio ambiente más confortable. La sombra permanente puede ser a veces un problema ya que concentra la humedad y el estiércol, aumentando la incidencia de la mastitis (García, 2004, Lager, 2007, Aguilar et al., 2007).

### 1.3 Justificación

Los efectos de las altas temperaturas ambientales tienen como consecuencia la reducción de la producción de leche, en vacas Holstein, puede disminuir hasta un 20% (Correa-Calderón et al., 2002, Álvarez 2006) en respuesta al estrés por calor. El rango de las temperaturas ambientales más cómodas para el ganado lechero oscila entre 5 y 25 °C con un índice de la temperatura-humedad (THI) menor a 72, donde se relacionan mediante una ecuación la humedad y temperatura del aire en el lugar según Pegorer et al., (2007).

Las temperaturas elevadas hacen de la producción lechera un desafío. Las vacas sufren de estrés calórico, cuando sus cuerpos generan más calor del que ellas pueden liberar mediante el jadeo y el sudor, si esto no es suficiente para disminuirlo, la temperatura de su cuerpo subirá provocando que haya un requerimiento más alto de energía. En situaciones como esta se ha demostrado que el jadeo o frecuencia respiratoria aumenta hasta en un 25% (Córdova-Izquierdo et al., 2007).

Del mismo modo, las vacas se ven afectadas por el calor externo producido por la radiación solar, la temperatura del aire ambiental y la humedad relativa alta (O'brien et al., 2009, Padilla et al., 2005).

El calor generado por el propio cuerpo de la vaca empeora esta situación, ya que generalmente a mayor producción de leche, mayor es la temperatura del cuerpo del animal como consecuencia de su digestión y metabolismo (Bruno et al., 2009, Pegorer et al., 2007).

Existen algunos problemas a los que se puede enfrentar el animal que reducen el consumo diario de forraje y la producción de leche, entre ellos se encuentran las lesiones pódalas, los trastornos reproductivos y la mastitis, estos se deben a una mala nutrición, al maltrato a los animales, al mal estado de los corrales y condiciones ambientales adversas, según lagger (2007).

El consumo voluntario (CV) disminuye cuando la temperatura ambiente excede los 25 °C. La disminución del CV frecuentemente reduce la producción de leche, hasta en un 30%, además, la producción de los componentes de leche

pueden cambiar, la eficiencia reproductiva se reduce y el sistema inmune de la vaca se altera, provocando pérdida de habilidad protectora para el animal (O'Brien et al., 2009, Bruno et al., 2009, Padilla et al., 2005).

Hay muchas razones por las cuales es importante reducir el estrés por calor en el ganado bovino de producción lechera. De acuerdo con Córdova-Izquierdo y otros, (2007) uno de los problemas que se presentan derivado, con mayor frecuencia en vacas lecheras es el aborto, que va desde un 0.5 hasta 10%, las causas físicas suelen asociarse habitualmente con traumatismos, pero también deben incluirse en éste grupo los efectos derivados del estrés y de las condiciones ambientales (aspectos climáticos).

Los efectos del estrés calórico en la reproducción del ganado lechero se han incrementado en los últimos años, lo que ha coincidido con el aumento en la producción de leche. En vacas con estrés calórico es común que la temperatura alcance valores entre 39.5 a 41 °C, lo cual afecta la función celular la reproducción (Krause et al. 2002).

En México hay regiones en donde es evidente el efecto negativo del estrés calórico en la fertilidad, en las cuencas lecheras de Aguascalientes, Torreón, Chihuahua y Mexicali, se observa una reducción del porcentaje de concepción en los meses cálidos de mayo a septiembre (Domínguez et al., 2005). En otras regiones del centro del país como Querétaro, San Luis Potosí o Guanajuato, todavía no se observa claramente este problema, sin embargo, dado que las vacas llevan una tendencia ascendente en la producción de leche y en consecuencia, en la generación de calor, es posible que en los próximos años comience a ser más evidente este fenómeno (Correa-Calderón et al., 2002).

Se ha demostrado que el CV de la materia seca (DM), el pH del rumen del animal y el alimento, son factores importantes en la digestibilidad y en la producción de calor del animal por el metabolismo. Las vacas lecheras expuestas a las altas temperaturas ambiente tuvieron respuestas de estrés calórico, tales como incremento de la temperatura rectal, de la frecuencia de respiración, de la frecuencia cardíaca y disminución en la producción de leche (Bruno et al., 2009, O'Brien et al., 2009).

Un serio problema que se presenta en las regiones áridas y semiáridas de México, es la baja eficiencia productiva del ganado lechero debida a las condiciones climáticas, las cuales disminuyen la producción 25% (Schneider et al., 1984) y permitir tan sólo 10% de concepciones (Cavestany et al., 1985; Ingraham et al., 1974). Citados por Correa-Calderón et al., (2002).

Entonces el estrés se define como la condición de un animal al resultado de la acción de uno o más factores de ansiedad que pueden ser de origen externo o interno, un factor de ansiedad se puede considerar como dañino, dependiendo de la manera en que el organismo puede hacer frente a el, en la recuperación de su estado de homeostasis. De esa manera, el estrés se puede medir y supervisar en términos de las alteraciones del comportamiento fisiológico que pueden ser indicativas para el estado de estrés calórico en el animal. Sin embargo, este por sí mismo puede afectar el comfort del animal, incluso cuando las muestras no son obviamente visibles.

El término “estrés” se utiliza hoy en un sentido mucho más amplio para la aplicación del bienestar animal (Borell 2010, Padilla et al., 2005, Stewar et al., 2007).

## **1.4 Objetivos e hipótesis**

### **Objetivos General**

Evaluar el efecto del echadero en función de la frecuencia cardíaca, temperatura corporal, consumo voluntario, consumo de agua y horas de descanso del ganado bovino lechero.

### **Objetivos Particulares**

Aplicar un método no invasivo para el monitoreo del efecto del estrés calórico sobre algunas constantes fisiológicas del ganado lechero.

Determinar la relación entre frecuencia cardíaca, temperatura corporal y el índice de temperatura-humedad (ITH) en condiciones de estrés calórico.

### **Hipótesis general**

La frecuencia cardíaca, temperatura corporal, consumo voluntario, consumo de agua y horas de descanso en el ganado lechero se modifica al utilizar un echadero como medio de descanso.

### **Hipótesis específicas**

El empleo de un método no invasivo para determinar el efecto del estrés calórico no interfiere con las respuestas fisiológicas que se evalúan.

Es factible identificar condiciones de estrés calórico en los animales mediante la medición de su frecuencia cardíaca y de su temperatura corporal.

# **CAPITULO 2**

## **Antecedentes**

### **2.1 Introducción**

Los sistemas de producción del ganado lechero son afectados por diferentes formas de estrés. Uno de los más importantes y en el que incide directamente a la producción es el estrés térmico o más conocido como estrés calórico.

En el presente documento se hablará de como este tipo de estrés afecta directamente a los animales y a su producción. Muestra también las soluciones propuestas e investigadas para disminuir el estrés calórico en el ganado lechero.

### **2.2 Sistemas de producción**

#### **2.2.1 Ganadería intensiva**

En la ganadería intensiva, el animal se encuentra estabulado generalmente bajo condiciones de temperatura, luz y humedad que han sido creadas en forma artificial con el objetivo de incrementar la producción en el menor lapso de tiempo posible. Los animales consumen principalmente alimentos enriquecidos y procesados, es por esto que requiere grandes inversiones en aspectos de instalaciones, tecnología, mano de obra y alimento, entre otros.

Entre sus ventajas se destaca una elevada productividad, pero tiene como contraparte la gran contaminación que genera.

La ganadería intensiva se practica principalmente en el centro y oeste de los Estados Unidos, en Canadá y en Europa occidental (Álvarez 2006, Lager et al., 2007), con el correr de los años se han instalado en las cercanías de las ciudades algunas granjas las cuales se encuentran muy industrializadas. En ellas se crían principalmente porcinos, aves y conejos con el objetivo de abastecer a las ciudades de su carne.

Los principios de la ganadería intensiva son obtener el máximo beneficio, en el menor tiempo posible, concentrando los medios de producción, mecanizando y racionalizando los procesos, para incrementar constantemente el rendimiento productivo.

- Ventajas de la ganadería intensiva:
  1. Eficiencia: La ganadería intensiva obtiene la máxima producción con el dinero invertido en el menor tiempo posible.
  2. Adaptación a la demanda del mercado: Se ajusta a la demanda de los consumidores.
  3. Homogeneidad: Es la obtención de productos homogéneos o de características iguales, para satisfacer las necesidades de distribución y comercialización a gran escala.

### **2.2.2 Ganadería extensiva**

Los sistemas extensivos, tradicionales o convencionales de producción animal se caracterizan esencialmente por formar parte de un ecosistema natural modificado por el hombre, es decir, un agro ecosistema y tienen como objetivo la utilización del territorio de una manera perdurable, están sometidos a los ciclos naturales, mantienen siempre una relación amplia con la producción vegetal del agro ecosistema de que forman parte y tienen como ley no escrita, la necesidad de legar a la generación siguiente los elementos del sistema tanto animados como inanimados e incluso los construidos por el mismo hombre, en un estado igual o superior que los que se recibieron de la generación precedente.

Dentro de la ganadería extensiva podríamos incluir a la sostenible, que es la que perdura en el tiempo y que mantiene un nivel de producción sin perjudicar al medio ambiente o al ecosistema. Esta se incluye dentro del concepto de desarrollo sostenible.

- Ventajas de la ganadería extensiva:

1. Contribuyen a preservar los agroecosistemas de los que forman una parte esencial, manteniendo los estados naturales del entorno, como la biodiversidad.
2. En climas áridos o semiáridos, contribuyen al mantenimiento de la cubierta vegetal, es decir, evita la erosión.
3. Previene los incendios forestales mediante el control arbustivo, la reducción de biomasa combustible, etc.

### **2.2.3 Ganadería trashumante**

La trashumancia se define como un tipo de ganadería móvil, adaptándose a zonas de productividad cambiante. La diferencia con el nomadismo radica en que los lugares de pastoreo son fijos en cada estación. Se calcula que esta actividad, sumada a la de la ganadería nómada, ocupa a unos 100-200 millones de personas en el mundo, los terrenos explotados bajo estos sistemas representan aproximadamente 30 millones de km<sup>2</sup>, el doble de las tierras dedicadas a la agricultura (FAO, 2008).

Este tipo de ganadería tiene grandes ventajas, como el aumento de la fertilidad de los suelos, que se benefician con la incorporación de estiércol y otros vegetales.

## **2.3 Alimentación**

Las principales causas de la merma de producción de leche se deben a una marcada disminución del consumo voluntario de materia seca y un aumento significativo de los requerimientos de energía de mantenimiento. Al disminuir el consumo voluntario se afecta la disponibilidad de nutrientes (energía proteínas, minerales, etc.) indispensables para los procesos de síntesis de la leche (Shimada, 2005).

- Para proveer una mínima cantidad de fibra que mantenga una adecuada fermentación ruminal, la dieta debería tener un mínimo de 28 % de FDN. La

fibra de los forrajes debe ser de alta digestibilidad, por ejemplo praderas, silajes o henos.

- Los Alimentos concentrados deben de brindar un buen aporte energético, pero hay tener cuidado con el exceso de almidón, ya que podría traer problemas rúmiales (acidosis, laminitis, etc.). Es recomendable no rebasar un 27-28% de almidón y un 40% de carbohidratos no estructurales en el total de la dieta.
- Las fuentes de grasa son útiles como aporte energético que no producen calor de fermentación, algunos ingredientes como la semilla de algodón o la semilla de soja pueden cumplir esta función. La cantidad de grasa sobre la dieta total no debe ser mayor al 5 a 5.5 % de la materia seca.
- En vacas de alta producción es aconsejable incrementar el porcentaje de proteína by-pass y formular raciones que tengan al menos 40% de esta, no excediendo los requerimientos a mas de 100 grs. de nitrógeno por vaca al día.
- Incrementar las concentraciones dietarias de Sodio (Na), Potasio (K) y Magnesio (Mg). Existen pruebas de que el incremento en los aportes diarios de sodio y potasio en la dieta pueden contribuir a mejorar la producción de leche en climas calurosos. La recomendación es aumentar el sodio al 0.50%, potasio 1,30-1,50% y magnesio 0,30% de la materia seca.
- Uso de aditivos. Los buffers se pueden usar para prevenir caídas del porcentaje de grasa en la leche. Hay otro tipo de aditivos como cultivos de levaduras que pueden ayudar a aumentar la producción en vacas con estrés calórico, pero hay que analizar la conveniencia económica.
- Alimentar frecuentemente para mantener la comida siempre fresca y limpiar los comederos cuantas veces sea necesario. Especialmente, si se dan alimentos húmedos en comederos externos hay que evitar que se fermenten y sean rechazados por los animales.
- Adecuar los horarios de pastoreo. En épocas de calor, las vacas tienden a pastorear más durante los momentos frescos del día (en la noche y en la mañana muy temprano).

- Proveer de ración suplementaria en las horas de más calor cuando lo animales comen menos. Se puede lograr que los animales coman mas si en esos horario se lleva a las vacas a espacios con sombra y se aprovecha para suplementar en ese momento (silajes, concentrados, verde picado, etc.). Los comederos y las aguadas deben estar cerca de las sombras.

## 2.4 Energía

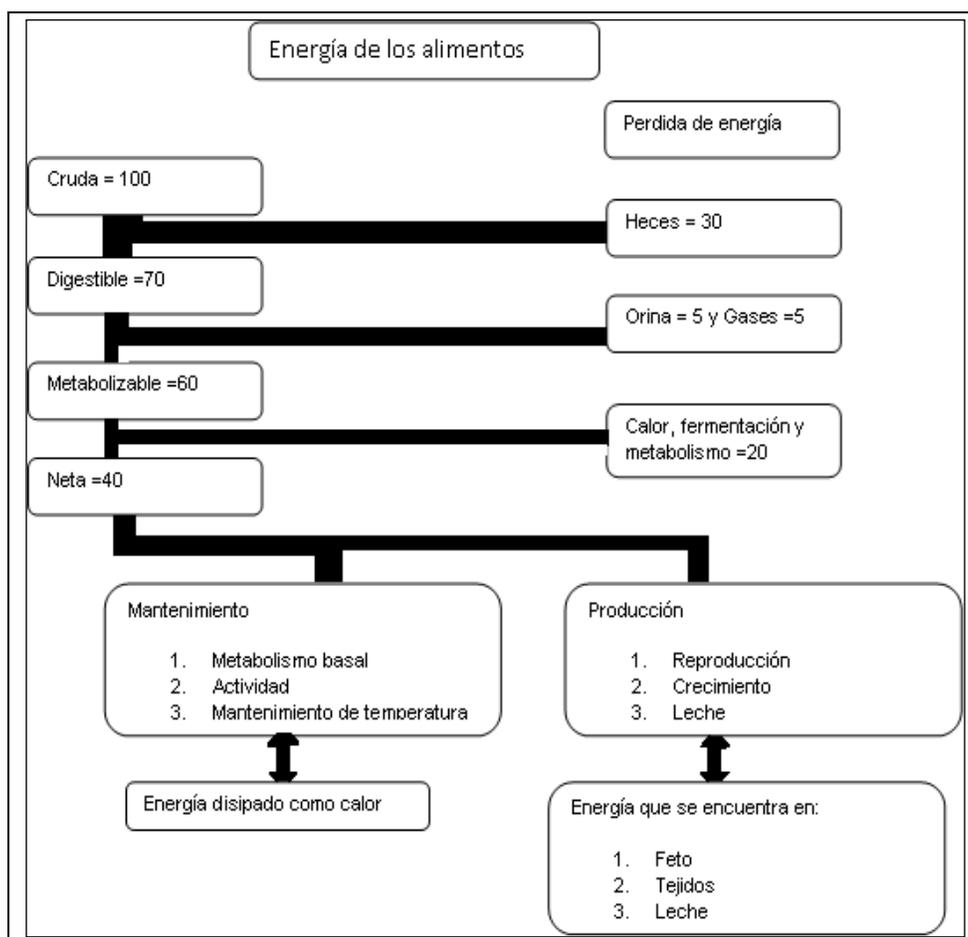


Figura 2.1 Energía de los alimentos modificada de Van Soet 1985.

La industria láctea, es uno de los sectores económicos de importancia en el país, uno de los problemas mas importantes a lo que se enfrentan no solo los grandes ganaderos, es la calidad de los alimentos, muchos de ellos son de mala

calidad por lo tanto si digestibilidad del alimento se ve disminuida por el metabolismo del animal, en la Figura 2.1 se observa el comportamiento de la energía que el ganado consume y su distribución hasta llegar a la etapa de producción.

## **2.5 Efectos sobre la producción**

Como resultado del descenso del consumo de alimento, se afecta la producción y composición de la leche. La temperatura crítica para el descenso en la producción láctea radica entre 21 y 26,5°C para las vacas Holstein y Jersey, para las Pardo Suizo entre 29,5 y 32°C. Estos resultados fijan la temperatura óptima para el rendimiento lácteo de las razas templadas de bovinos entre 10 y 15,5°C.

Temperaturas tan bajas como 0°C, apenas tienen efectos sobre la producción láctea, en tanto que temperaturas superiores a 15,5°C afectan significativamente el rendimiento. Además de la disminución en la producción de leche, también varía la composición de la misma ya que disminuye la proporción de los ácidos grasos de cadena corta y los sólidos no grasos. (Lagger et al., 2000).

## **2.6 Medio ambiente**

### **2.6.1 Introducción**

La máxima productividad de un animal depende tanto de su potencial productivo como de la adaptación a las limitantes ambientales. Si bien es cierto que existen prácticas zoonosanitarias y estructuras que pueden aliviar el efecto nocivo de los estos último, los aspectos de tipo económico, ecológico y práctico señalan la conveniencia de utilizar la resistencia genética de los bovinos, como componente importante para contrarrestar la reducción de la productividad debido al clima.

Los animales criados en diferentes climas, tienen que adaptar su potencial productivo a la necesidad de mantener su homeostasis térmica, dentro de estrechos límites de variación, considerando que las condiciones climáticas

adversas afectan la cantidad de ingestión de agua y alimentos, la cantidad de energía potencial del forraje ingerido, su sistema termorregulador, la energía neta disponible para la producción y para el ajuste del cuerpo de los animales en crecimiento, demostrando así que el clima es el factor ambiental más importante, llegando a ser limitador en la mayoría de las veces (Santos, 1999). La productividad de los animales se ve frecuentemente afectada por el medio ambiente. Factores como la temperatura, la humedad, el desplazamiento del aire, la radiación solar, la presión barométrica y la precipitación pluvial, interfieren de manera indirecta en aspectos como la nutrición de los animales a través de los cultivos y pasturas (Hafez, 1968, Henshall, 2004). En la reproducción tienen también una especial importancia pues a mayor lluvia, temperatura y humedad hay menor fertilidad y viceversa (Martín y García, 1985).

### **2.6.2 Clima**

Cuando los elementos del clima determinan el grado de confort en el medio en que se encuentran los animales se dice que el efecto es directo, permitiendo así un buen aprovechamiento de la alimentación (la cantidad de energía potencial del forraje ingerido), de la ingestión de agua, su sistema termorregulador, el crecimiento (la energía neta disponible para la producción y para el ajuste del cuerpo) y la reproducción. El efecto es indirecto, cuando esos mismos elementos climáticos determinan el nivel de producción de alimentos naturales, que los deben sustentar limitando enfermedades mayormente en las regiones húmedas. (Hafez, 1972, Henshall, 2004).

Entre los elementos del clima que son de importancia directa en la adaptación animal al calor y al frío se encuentran: La temperatura ambiente, humedad atmosférica, radiación solar y movimiento del aire. Existen también factores indirectos tales como pluviosidad, luz, nubosidad y presión atmosférica (Henshall, 2004).

La aclimatación es una consecuencia del ajuste adaptativo fisiológico a largo plazo, que da como resultado un aumento en la tolerancia a la exposición

continua o repetida a condiciones climáticas, que normalmente se producen en el medio ambiente, por ejemplo, el clima actúa reduciendo el tiempo de pastoreo por la alta insolación, de esta forma se ve afectada la productividad y se convierte en un importante criterio de adaptación en su interacción con el medio ambiente (Hafez, 1972).

Se ha documentado que varios componentes climáticos inciden sobre la reproducción de los bovinos, manifestando que en el ganado *Bos indicus*, la eficiencia reproductiva está asociada con la temperatura ambiental, las precipitaciones pluviales, o el fotoperiodo. Los conflictos encontrados en la literatura pueden deberse a interacciones de los factores ambientales o a diferencias en el estado fisiológico de los animales estudiados. A pesar de que se desconocen, los efectos precisos de los componentes ambientales sobre la reproducción, se sabe que hay meses que favorecen la fertilidad del ganado *Bos indicus* y sus cruzas con el *Bos taurus*, en el sureste de México se ha observado que la fertilidad es elevada durante la primavera y el verano, mientras que durante el otoño y el invierno se registran las tasas de fertilidad más bajas (Villagómez *et al.*, 2000).

### **2.6.3 Ambiente**

La reacción de cualquier animal a un estímulo ambiental externo particular, está íntimamente correlacionada con su eficiencia productiva.

Entendamos como ambiente la combinación temporaria de ciertos factores meteorológicos como la temperatura del aire, viento, radiación, humedad relativa, presión atmosférica y precipitación.

Algunos animales domésticos expuestos a ambientes cálidos, reaccionan en forma adversa al impacto de las temperaturas uniformemente elevadas y al aire saturado, que dificulta la secreción de más líquidos que le refresquen.

Cuando la duración de la luz solar es constante durante el día, se activa la glándula endocrina de los animales que produce el cambio del pelaje, esto se da con mayor frecuencia en las zonas de clima templado. Los ciclos reproductores o

el metabolismo han sido vinculados a normas de la luz estacional (Hafez, 1972, Henshall, 2004).

Las altas temperaturas atmosféricas diarias se desarrollan principalmente debido a la falta de protección por nubes, el calor radiante de la tierra se pierde después de la puesta del sol, de manera que con frecuencia las noches son frías, especialmente en el invierno (Hafez, 1972).

### **2.6.3.1 Temperatura**

Es el elemento más importante que da la pauta para determinar el tipo de animal que puede criarse en una región determinada.

El comfort y el funcionamiento normal de los procesos fisiológicos del animal dependen del aire que rodea su cuerpo. Si la temperatura del aire es superior al rango de comfort, disminuye la pérdida de calor y si aumenta por encima de la temperatura de la piel, el calor fluirá en dirección inversa.

Todos los bovinos son homeotérmicos, generan su propio calor. Es por eso que al modificarse la temperatura ambiente, disminuye la productividad o se presenta el adelgazamiento del ganado, ya que el animal tiene que gastar energía para mantener la temperatura corporal dentro de la normalidad (Santos, 1999).

Los mamíferos tienen la facultad de mantener una temperatura constante, con variaciones insignificantes durante toda su vida que oscilan generalmente entre 37.5°C a 39°C (Santos, 1999).

Cuando la temperatura del aire es baja, el calor procedente del cuerpo del animal fluirá hacia el exterior, hasta provocar falta de comfort y reducir la eficiencia productiva. No obstante, si el animal dispone de suficiente alimento, puede mantener su temperatura corporal en magnitudes compatibles con la vida.

Entonces podemos decir que las altas temperaturas son un grave problema para la producción animal y que además afecta significativamente la reproducción (Villagómez et al., 2000).

Además del calor procedente de la atmósfera, el organismo animal puede calentarse o enfriarse por la temperatura de los objetos que le rodean. En este

sentido, la fuente más importante de calor es el suelo, también influyen la velocidad, dirección y origen del viento además de la altitud.

La temperatura corporal es determinada mediante el enfriamiento por evaporación y la carga calórica, que se debe por un lado al incremento del metabolismo energético en función del alimento disponible y por otro, al intercambio neto de energía entre el ambiente y el animal (Finch, 1986).

La temperatura que se presenta por las mañanas, es un mecanismo fisiológico que usan los animales para preparar la carga de calor que se va desarrollando durante el transcurso del día. La frecuencia respiratoria y la temperatura rectal, son afectas cuando la temperatura aumenta y con esto se produce un gasto de energía mayor.

La radiación solar afecta al ganado principalmente en dos áreas, una de ellas es el incremento en la producción de calor en cuerpo y la reducción de horarios de alimentación, es decir, que cuando hay una temperatura ambiental elevada, aumenta también el calor corporal del animal y disminuyen sus tiempos de alimentación limitándolos solo a las mañanas y las tardes dejando el resto del día para reposo en zonas frescas. (Brosh et al., 1998).

Las altas temperaturas del medio pueden impedir el crecimiento de los animales después del destete, el grado difiere según la raza, la edad, condición corporal, el plano de nutrición y la humedad relativa.

Cuando los animales homeotermos, están sujetos a una temperatura ambiente superior a su zona termoneutral, se producen cambios fisiológicos y bioquímicos, como una estrategia adaptable para tolerar el estrés calórico (Hafez, 1972 y Brosh et al., 1998). Cuando el animal no consigue transferir el calor al medio ambiente, repercute en un aumento en calor corporal (Brosh, 1998).

La temperatura del medio tiene efectos negativos en los líquidos del cuerpo y los electrolitos, alterando la cantidad del alimento consumido (Hafez, 1972).

### **2.6.3.2 Viento**

Se ha señalado, que el ganado *Bos indicus*, el mecanismo de disipación del calor más importante, es la sudoración, sugiriendo que la marcada actividad de las glándulas sudoríparas y su pelaje corto son responsables de dicho fenómeno. Podemos decir entonces, que un incremento en la velocidad del viento aumenta el comfort de esta raza (Villagómez et al., 2000).

Los vientos dominantes en cada región son un factor, que indican al ganado los periodos de apareamiento y reproducción, además, la combinación de estos con la temperatura, la humedad, régimen de lluvias, etc., puede determinar la disminución de defensas y ser causas predisponentes de enfermedades en general y del área genital en particular (Martín, 1985).

La velocidad del aire sobre la piel del animal influye en la pérdida de calor a través de la superficie corporal por medio de la convección y cuando la piel contiene humedad, esta perdida se da mediante el mecanismo de la evaporación, este proceso es relativamente simple cuando la piel es con pelaje corto.

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

### **2.6.3.3 Humedad**

La humedad relativa, es posible que actué en combinación con la precipitación pluvial y afecte individualmente al ganado (Villagómez et al., 2000). Cuando la temperatura media diaria cae fuera del rango comfort, otros elementos climáticos como la humedad adquieren importancia para la homeostasis del animal reduciendo notablemente la pérdida de calor del animal.

El enfriamiento por evaporación a través de la piel y del tracto respiratorio depende de la humedad del aire. Si la humedad es baja (zonas cálidas y secas), la evaporación es rápida. Por otro lado, si la humedad resulta elevada (zonas cálidas y húmedas), la evaporación es lenta reduciéndose la pérdida de calor y por consiguiente, alterando el equilibrio térmico del animal (Hafez, 1972).

Este elemento climático resulta muy importante en la producción ganadera, pues una humedad elevada desfavorece las condiciones nutritivas del alimento, produciendo deficiencias de minerales, reduciendo la calidad de los alimentos.

Bajo condiciones de temperatura y humedad elevadas los forrajes crecen aceleradamente y su escases nutritivo y bajo valor proteico se debe al alto contenido de fibra cruda y lignina, al contenido de pocos hidratos de carbono fácilmente disponibles y baja digestibilidad (Hafez, 1972).

#### **2.6.3.4 Precipitación**

En los bovinos, cuando se presenta una mayor precipitación pluvial y humedad relativa, afecta indirectamente través de la producción de forrajes y por su incidencia, en la aparición de enfermedades y parásitos (Villagómez et al., 2000).

En zonas húmedas y cálidas, con precipitaciones abundantes, el pH del suelo es generalmente bajo, resultado de la lixiviación del calcio y fósforo, provocando un crecimiento excesivo y acelerado de las pasturas y por consecuencia un valor nutritivo bajo. Los animales de estas áreas son generalmente de tamaño reducido, debido a estas deficiencias que detienen el crecimiento de los animales, con un atraso considerable de la madurez y una modificación de la estructura corporal (Hafez, 1972, Villagómez et al., 2000).

Sin embargo, los efectos indirectos del clima son más evidentes en regiones semiáridas, en donde la marcada estacionalidad de las lluvias trae aparejada una escasez o falta total de alimentos en determinadas épocas. Asimismo, la lluvia ejerce efectos directos sobre el animal al favorecer la disipación de calor mediante la evaporación. En un ambiente cálido, la humedad

retenida en la cobertura pilosa del animal, disminuirá el estrés térmico al evaporarse (Hafez, 1972).

#### **2.6.3.5 Radiación Solar**

La radiación solar está íntimamente relacionada con la temperatura atmosférica, con el grado de nubosidad y por consiguiente, con las precipitaciones. Sus efectos son de interés, dado que su intensidad es frecuentemente uno de los principales factores limitantes de la distribución del ganado en las áreas subtropicales.

La radiación procedente del sol y de los objetos que rodean al animal, suele añadirse a su carga de calor corporal.

Un animal que pastorea a campo abierto se ve expuesto a las siguientes fuentes de radiación:

- Radiación solar directa (ondas visibles e infrarrojas cortas).
- Radiación solar reflejada en las nubes y otras partículas de la atmósfera.
- Radiación solar reflejada por el suelo y otros objetos que rodean al animal

(Shell et al., 1995).

Del calor radiante total que recibe del sol, un 50 % procede de las dos primeras fuentes y el resto de la tercera. La totalidad de la energía del espectro solar no aparece distribuida uniformemente ya que la ultravioleta aporta aproximadamente solo el 1 %, las radiaciones visibles contribuyen con el 40-45 % y las infrarrojas proporcionan el 50-60 % restante, el calor absorbido por el cuerpo del animal depende también de la postura, forma, tamaño, longitud de su pelo, el ángulo del sol, etc. (Shell et al., 1995).

#### **2.6.3.6 Luz**

El mecanismo del fotoperiodo controla el ciclo sexual en algunos animales domésticos. Sin embargo, no tiene un efecto notable sobre el comportamiento reproductivo del ganado (Hafez, 1972), pero se ha comprobado que existe una

mayor asociación entre fotoperiodo, la temperatura y la insolación, en la presentación de estros (Villagómez et al., 2000).

Indirectamente, la duración del fotoperiodo puede afectar a los animales al aumentar los estados de vigilia y la actividad metabólica, lo que modifica los niveles de consumo de alimentos (Hafez, 1972). Existe una mayor proporción de estros en vacas lactantes a medida que se incrementa el fotoperiodo y se reduce la precipitación pluvial (Villagómez et al., 2000).

Los rayos de la luz estimulan la glándula pituitaria y como consecuencia provocan una reacción mediante la cual los animales mudan su pelo. A medida que los días se vuelven más cortos y las noches más largas, el ganado comienza a desarrollar el pelo más largo de invierno. Por el contrario, cuando los días se alargan, los animales mudan su pelaje y el mismo se vuelve más corto y suave. Si el vacuno de zonas templadas se traslada a los trópicos, la escasa variación del fotoperiodo suele fracasar en la estimulación de la muda del pelo, determinando una degeneración progresiva y eventualmente la muerte (Hafez, 1972). En los bovinos se ha observado que hembras expuestas a una mayor cantidad de horas luz al día, alcanzan la pubertad a una edad más temprana que aquellas expuestas a menos horas luz (Villagómez et al., 2000).

Si bien el aprovechamiento de la sombra permite generalmente aumentar los niveles de rendimientos reproductivos de los animales, no así, cuando son expuestas a la radiación solar ya que estos niveles son bastante inferiores a los que se consideran económicamente rentables. Conviene entonces emplear otras técnicas que favorecen la regulación térmica. Por ejemplo, los baños por aspersión en intervalos regulares, asociados eventualmente a ventilación forzada durante las horas más calurosas del día, mejoran considerablemente la fertilidad de las hembras.

### **2.6.3.7 Presión Atmosférica**

La modificación de la presión que tiene lugar entre las distintas alturas influye directamente sobre los animales. A causa de la disminución de la presión,

los animales muestran dificultades para cubrir sus necesidades de oxígeno. Ante esta situación, deben aumentar el índice de hemoglobina, la adaptación del organismo a la disminución de oxígeno se realiza también mediante un aumento de las frecuencias cardíaca y respiratoria (Hafez, 1972 y Brosh et al., 1998).

#### 2.6.4 Índice de temperatura-Humedad

A partir de 25 °C se pueden apreciar los efectos del estrés calórico en la producción lechera de las vacas. No obstante hay que tener en cuenta también la humedad relativa del aire, con una temperatura y humedad relativa alta, incrementa el estrés calórico en el ganado y dificulta la evaporación del sudor generando un estado de incomodidad.

Existe un índice compuesto que relaciona la temperatura ambiental y la humedad relativa del aire, denominado ITH, que indica los valores de estrés calórico en función de los parámetros ya mencionados.

$$ITH = 0,81 * T^a + HR * (TA - 14,4) + 46,4. \dots\dots\dots \text{Ecuación 1}$$

Utilizada en Avendaño (2009 a y b)

$$ITH = 0,81 * TA + (TA - 14,4) * HR / 100 + 46,4. \dots\dots\dots \text{Ecuación 2}$$

Utilizada por Eigenberg y otros (2005), García y otros (2007), Kendall y otros (2006).

Para el presente estudio se utilizó la ecuación 2, para el cálculo del ITH. Donde la temperatura se mide en °C y la humedad relativa en valor decimal, y sus medidores se deben de colocar a una altura de 1,20 metros en la nave donde se aloja el ganado. En la Tabla 2.1 se presentan los valores de ITH en función de la temperatura y la humedad relativa del ambiente, donde el color representa las diferentes zonas de estrés calórico.

		HUMEDAD RELATIVA (%)																						
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100		
T E M P E R A T U R A	22,0																				72	72		
	23,0																				72	72	73	73
	23,5																				72	72	73	74
	24,0																72	72	73	73	74	74	75	75
	24,5																					72	75	76
	25,0																					72	76	77
	25,5																					72	77	78
	26,0																					72	78	79
	26,5																					72	79	80
	27,0																					72	80	81
	28,0																					72	81	82
	28,5																					72	82	83
	29,0																					72	83	84
	29,5																					72	84	85
	30,0																					72	85	86
	30,5																					72	86	87
	31,0																					72	87	88
	31,5																					72	88	89
	32,0																					72	89	90
	33,0																					72	90	91
33,5																					72	91	92	
34,0																					72	92	93	
34,5																					72	93	94	
35,0																					72	94	95	
35,5																					72	95	96	
36,0																					72	96	97	
36,5																					72	97	98	
37,0																					72	98	99	
38,0																					72	99		
38,5																					72			
39,0																					72			
39,5																					72			
40,0																					72			

Tabla 2.1 Relación entre temperatura y humedad

Fuente: <http://www.nutrefeed.com.ar>

En la medida que la temperatura sube, se hace más difícil para una vaca refrescarse, resultando el estrés por calor, la gravedad de este no depende solamente de la temperatura, sino también de la humedad ya que los ambientes saturados de esta, dificultan la eliminación de calor. Para evaluar el impacto que se produce sobre las vacas lecheras, se ha desarrollado el Índice de Temperatura y Humedad (ITH), donde el valor considerado como límite en la zona de confort varía según los autores. Sin embargo existen evidencias que muestra que si el ITH se encuentra por encima de 72 comenzarán a presentar estrés. Otro aspecto importante es el número de horas diarias de estrés, es decir, si en el día, aumenta el número de horas con valores de ITH mayores a 72 se ve limitada la capacidad del animal para llegar a un estado de confort durante el período nocturno.

## 2.7 Estrés térmico

El estrés térmico, es cuando el animal ya no puede eliminar de manera natural el calor de su cuerpo, teniendo por consecuencia una baja productividad. Existen diferentes mecanismos fisiológicos para regular la temperatura corporal bovino, tales como la vasodilatación periférica y la evaporación de los líquidos corporales que permiten al animal tener una zona de confort. Una vez alcanzada la vasodilatación máxima, la evaporación cutánea y respiratoria aumenta de manera lineal en relación a la temperatura ambiente, permitiendo un equilibrio de los cambios térmicos. La eficiencia de la evaporación, se debe a la importante cantidad de energía necesaria para permitir el paso del agua del estado líquido al gaseoso, esto se obtiene por la emisión de sudor a nivel de las glándulas sudoríparas y el incremento de la frecuencia respiratoria (Hafez, 1972), ninguna de estas, pueden aumentar indefinidamente, por lo tanto la cantidad de líquido que puede evaporarse está limitada por la humedad del aire. Cuando se rebasan estos mecanismos la temperatura corporal aumenta, produciéndose la hipertermia o estrés calórico (Brosh et al., 1998).

Sin embargo, en condiciones reales la situación no es tan simple ya existen muchos otros factores que afectan la disipación del calor corporal tales como: temperatura ambiente, la radiación solar y la humedad y circulación del aire. No todos los animales no responden de igual manera a un mismo medio térmico, las razas locales son generalmente más resistentes o están mejor equipadas para la termólisis, mientras que los animales productores de leche o de carne tienen que eliminar más calor metabólico.

El ganado bovino de carne mantiene la temperatura corporal dentro de un margen limitado, aparentemente esto permite la producción máxima. El organismo consigue este resultado, por medio de dos sistemas:

- El sistema térmico, que reduce el calor interno.
- El sistema termorregulador, que controla la producción metabólica (Hafez, 1972).

Los dos sistemas funcionan armónicamente para evitar que el calor orgánico se disipe demasiado, provocando el descenso de la temperatura para evitar que el exceso de calor permanezca en el cuerpo causando fiebres y otras anormalidades (Hafez, 1972).

El efecto del clima puede manifestarse en el animal por medio de:

1. Receptores cutáneos, en conjunción con el sistema nervioso central, canalizando los estímulos para estimular el sistema neuroendocrino vía hipotálamo-hipófisis.
2. Cambios en la temperatura del cuerpo, que resulten en alteraciones de la temperatura de la sangre que irriga las regiones hipotalámicas.
3. Cambios de la temperatura del cuerpo, que alteran la actividad metabólica del animal (Carmona, 1980).

### **2.7.1 Variables indicativas de estrés calórico**

Los efectos más importantes del estrés calórico en los animales son:

1. Crecimiento del ritmo respiratorio (>80 pulsaciones/minuto), provocando pérdida de saliva y como consecuencia acidosis. Lo normal son 50 pulsaciones/minuto.
2. La temperatura corporal se eleva por encima de los 39 °C.
3. Incremento de las necesidades de agua, incluso pueden llegar a duplicarse en situación de estrés severo.
4. El ganado suda más con objeto de refrigerarse.
5. Decece la ingestión de alimentos, limitándose la actividad del rumen con objeto de no producir más calor endógeno.
6. Decece el riego sanguíneo de los órganos del animal, dirigiéndose éste hacia la piel para paliar los efectos el calor.
7. Disminuye la producción de leche.
8. Distorsión de los parámetros reproductivos.

## 2.7.2 Estrategias para minimizar el efecto del estrés calórico

Hay zona de confort donde los animales no tienen que activar sus mecanismos de termorregulación, pero en áreas cálidas donde la temperatura rebasa los de 25°C, el animal tiene que disipar calor por medio de:

1- Radiación: Está en relación con el tamaño del animal y depende su postura, si está encogido, pierde menos calor que si está estirado. (Aguilar et al, 2000).

2- Convección: Consiste en transmitir el calor a otro cuerpo distante sin necesidad de calentar el medio que los separa, también depende de la postura del animal y la velocidad del aire. (Padilla et al, 2005, Lager et al, 2002).

3- Conducción: Existe intercambio de calor entre el animal y la superficies que lo rodean, donde la temperatura y el tiempo que están en contacto es proporcional a dicho intercambio (Rushen et al, 2008).

4- Evaporación: Potencialmente, la evaporación del agua es el medio más importante de disipación térmica. A 33°C un gramo de agua, gasta al evaporarse aproximadamente 580 calorías. La evaporación del agua desde la piel y la superficie respiratoria da cuenta de la mayor parte del calor perdido por el animal. (Correa-Calderón et al 2002).

Los principales mecanismos usados por los bovinos para mantener un balance térmico en condiciones de estrés calórico son: la polypnea, mediante la cual la disipación térmica aumenta al incrementar de la vaporización de la humedad en las vías respiratorias, la trasudación a través de la piel y la reducción de calor mediante la anorexia voluntaria (Borell 2010, Correa- Calderón et al, 2002).

Para tener un manejo eficiente en condiciones de áreas cálidas, se debe garantizar a los animales instalaciones adecuadas que faciliten el funcionamiento de los mecanismos de disipación térmica (Correa- Calderón et al, 2002).

Si se les asegurar sombra a los animales, recibe 663 kcal/hora de los cuales 50% proviene directamente del sol, 43% provienen del reflejo del suelo y

7% provienen del horizonte (calor que recibe el animal del medio ambiente que lo rodea). Cuando se les proporcionamos techo estamos controlando las radiaciones que provienen directamente del sol y las que reflejan el suelo.

La tabla 2.2 muestra la proporción de radiaciones que detienen los diferentes tipos de techo.

	RADIACIONES ULTRA VIOLETA	RAYOS CALÓRICOS
ALUMINIO PULIDO	85%	92%
PINTURA BLANCA	75%	5%
PINTURA NEGRA	3%	5%
PINTURA VERDE	50%	5%
MADERA	40%	5%

Tabla 2.2 % de radiaciones que detienen los diferentes tipos de techo

Fuente: McDowell, 1972.

Es importante que el techo tenga una altura considerable (4 m en su parte más baja y con caballete) para permitir el movimiento del aire, sobre todo en las instalaciones donde se agrupan a los animales, como son las vaqueras de ordeño.

Si el movimiento del aire es menor de 10 km/hora no se remueve alrededor del animal y se produce la crisis térmica, lo ideal está entre 10-30 km/hora.

Uno de los métodos más eficaces para disminuir la temperatura corporal de los bovinos es el de utilizar baños en combinación con ventilación forzada. El baño debe ser de gota gruesa para mojar completamente la piel del bovino, pues cuando se utiliza la nebulización con micro gotas estas forman una capa alrededor del pelo del animal y dificulta la evaporación y disminución de calor, produciendo entonces un efecto contrario al esperado. La ventilación no "refresca" al animal sino que lo seca, por lo cual favorece la evapotranspiración a través de la piel. (Tabla 2.3).

	Días en Lactancia	Control	Tratamiento	Diferencia
Sombra	0 – 100	25.5	26.7	10.0 %
Baño+ Ventilación	0 – 150	37.2	40.7	9.4 %
Neblina	Cúspide	39.7	41.3	4.0 %

Tabla 2.3. Efecto de la refrigeración de vacas parto en la producción de leche (kg/día) en la lactancia siguiente. Fuente: Flemenbaum, 1998.

El número de ventiladores a colocar dependerá del tamaño del mismo (capacidad de extracción de aire) el cual es medido en mcpm (metros cúbicos por minuto) y el número de vacas por m<sup>2</sup>. Si se usan ventiladores de 30 – 36” se necesitara 1 por cada 10 vacas, si son de 48” se necesita 1 por cada 20 vacas (Harmer *et al.*, 2000).

En el caso de animales estabulados donde hay que suministrarles su alimentación es preferible dividir la ración total en el mayor numero de veces al día, lógicamente esto aumenta el manejo de tiempo y personal que se necesita para esta tarea, pero da como resultado un mejor aprovechamiento de la ración, además de que el animal no desperdicia tanto ya que cuando se le suministra de una sola vez una gran cantidad de pasto picado o ensilaje su temperatura aumenta a medida que se llega al fondo del montón y el animal lo rechaza.

Por otra parte una fuente adecuada de agua fresca y limpia es necesaria. Todos los potreros y corrales deben tener bebederos con tamaño y agua suficiente para que el 20% de los animales del rebaño beban al mismo tiempo. Además es conveniente aumentar a 1.5% el potasio, 0.4% el sodio, 0.5% el magnesio y 0.75% de bicarbonato de sodio en la ración total de agua ya que estos minerales se pierden con mayor facilidad en caso de estrés calórico (Hall, 2000). La alta producción de leche o ganancia diaria de peso es inferior en animales *Bos taurus* ya que tienen una zona de confort con temperaturas más bajas y por lo tanto, tienen que activar sus mecanismos de termorregulación para disipar calor, por lo cual se ven afectados por la anorexia voluntaria, disminución del pastoreo,

problemas de fertilidad y baja en la producción. Por el contrario los animales de origen *Bos Indicus* son más resistentes a nuestro medio ambiente y su zona de confort es más elevada y no tendrán que activar sus mecanismos de disipación de calor o si los activan serán suficientes para que el animal se desarrolle y produzca en forma normal.

# CAPITULO 3

## Materiales y métodos

### 3.1 Ubicación geográfica.

El experimento se ubicó en la Universidad Autónoma de Querétaro, campus Amazcala, Querétaro, México a una longitud de 100° 16' W; latitud, 20° 42' N; altitud de 1920 m sobre el nivel del mar.

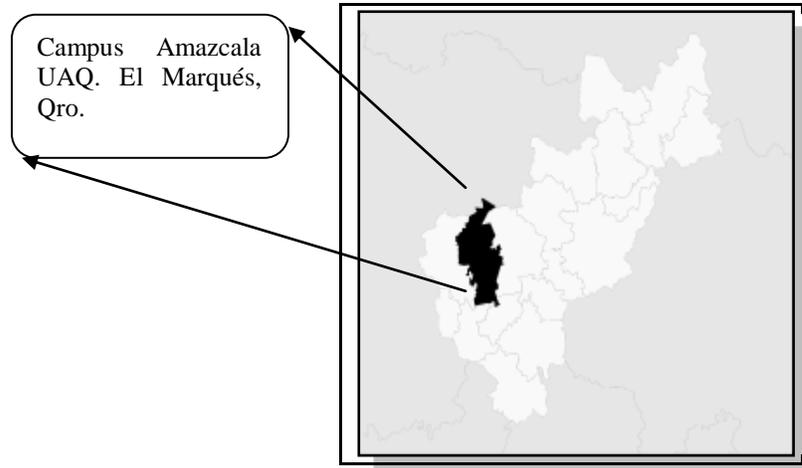


Figura 3.1. Ubicación del UAQ, Campus Amazcala.

Fuente INEGI, 2005.

La UAQ Campus Amazcala (Figura 3.2), cuenta con casi 20 mil m<sup>2</sup> de invernaderos donde se encuentran las áreas: Horticultura, Acuícola y Pecuaria especialmente en ganado bovino lechero.



Figura 3.2. U.A.Q. Campus Amazcala

### 3.2 Especificación del establo.

El establo cuenta con un área de 120 m<sup>2</sup> circulado con PTR 2", techado al 50% con lámina galvanizada con una altura promedio de 3 m., el piso es de cemento de 7 cm de grosor, con comederos y bebederos tanto individuales (zona experimental) y generales para el ganado lechero, contando con una densidad de población de 4 animales que se describen más adelante. Una sala de ordeña de 4 m<sup>2</sup> para dos vacas, con una ordeñadora de la marca Ordemex, Mex. Para 14 vacas de ordeña por hora (figura 3.3).



Figura 3.3 Establo de ganado lechero

Los echaderos tienen un área de 1.2 m<sup>2</sup> de forma rectangular separados por una estructura metálica hecha con PTR de 2" para la separación de cada uno de ellos, cuenta además con un sustrato de arenilla para el comfort del animal (Figura 3.4).



Figura 3.4 Echaderos

### 3.3 Ganado lechero.

En el experimento se utilizaron 4 vacas lecheras de 3 años de edad, 3 de ellas preñadas con un avance de entre 4 a 6 meses, tres de las vacas utilizadas en el experimento son de la raza Holstein y una cruce (CZ) Holstein-Jersey, con un peso corporal que oscila entre los 450 y 600 kg. Y una producción de leche promedio de 11.5 litros/día por animal (Figura 3.5).



Figura 3.5 Ganado lechero

Su alimentación consta en su totalidad de alfalfa y alimento balanceado, mezclado homogéneamente mediante un carro mezclador, utilizando como aglutinante la melaza. Las proporciones de cada uno describen en la Tabla 3.1, teniendo así una mezcla del 29-71 % concentrado-forraje respectivamente, dando a libre acceso el 4% del peso vivo de cada animal teniendo un promedio de 20 kg. De materia seca por cada animal para su alimentación. El agua es a libre acceso teniendo un promedio de temperatura de 12 °C. (Figura 3.6).



Figura 3.6 Dieta del ganado lechero

Ingredientes	g/Kg de MS
Alfalfa	710
Alimento balanceado	290
Composición química	
Proteína Cruda (PC)	161.8
Extractos Etéreos (EE)	224.3
Fibra Detergente Neutro (FDN)	393.3
Fibra Detergente Acida	335.3
Energía Metabolizable	11.03 MJ/Kg

Tabla 3.1 Dieta alimenticia del agnado lechero

### 3.4 Variables y mediciones

En los capítulos anteriores se mencionaron las principales variables que presentan cambios significativos en la medición del estrés calórico según algunos autores (Padilla et al, 2005, Borell 2010).

- FC: Frecuencia Cardiaca (ppm).
- TC: Temperatura Corporal (°C).
- CV: Consumo Voluntario de alimento (Kg/Día).
- IA: Consumo de Agua (Litros/Día).
- HD: Horas de Descanso (Horas/Día).
- PL: Producción de Leche (Litro /Día).
- TA: Temperatura Ambiente (°C).
- HR: Humedad Relativa (%HR).
- ITH: Índice de Temperatura-Humedad, calculado con la ecuación 2 antes mostrada.

El registro el CV de alimento determina la estabilidad del animal a el cambio de su habitad y aclimatación de las nuevas condiciones de su ambiente y alimentación, el consumo de agua (IA) (O'brien et al., 2009), las horas de descanso de cada animal (HD) se midieron igual que las otras dos variables, que corresponde cada 24 horas y FC cada hora ya que su fisiología de este tipo de ganado cambia rápidamente, debido a que es el principal transporte de energía y oxigeno para realizar su funcionamiento, tanto de mantenimiento como de producción, se lleva acabo por la sangre la cual transporta los nutrientes a los diferentes órganos del animal (Stewar et al., 2007, O'brien et al., 2009, Padilla et al., 2005), para la medición de la FC, se utilizó los sensores polar-electro U.S. modelo RS3C, ya que cuenta con intervalos de muestras cada 15 seg., se usó el dispositivo WEAR-LINK o banda pectoral puesta en el lado izquierdo del pecho de cada animal, para el monitoreo de la frecuencia cardiaca transmitida al reloj

polar-electro (Hosper et al., 1998, Wenzel et al., 2003), detallado en la validación hecha por Hopster y Blokhuis, 1994 (Figura 3.7).



Figura 3.7 Sensor polar-electro RS3C

En la medición de la temperatura rectal se utiliza un sensor infrarrojo HER-425 marca STEREN, México (Figura 3.8), para constatar el valor de la temperatura rectal de cada animal según Stewar y otros (2007), se tomo temperatura rectal de cada animal con intervalos de cada hora.



Figura 3.8 Sensor infra-rojo de temperatura

Para la medición de la temperatura ambiente y humedad relativa, se utilizó un Data Logger marca Watchdog 450 U.S. ubicado en la zona de los echaderos a

una altura de 1.2 m, con toma de muestra de 1 hora en ambas variables, utilizando el software de este dispositivo para la transferencia de datos a la computadora (Figura 3.9). Para la medición del medio ambiente de la región, se utilizó la estación meteorológica Davis Instruments U.S. colocada a 50 m del establo con toma de muestra de 5 min, para cada una de las variables ambientales interesando solo velocidad de viento (VV).



Figura 3.9 Data Logger 450

### 3.5 Metodología

El experimento fue realizado con un diseño cruzado con un tratamiento y control, cada uno de ellos con dos periodos (Bernal et al, 1997, Padilla et al 2005) Tabla 3.2.

Periodo	Tratamiento		Control	
1	V1	V2	V3	V4
2	V4	V3	V2	V1

Tabla 3.2 Diseño experimental

Las vacas fueron seleccionadas aleatoriamente en grupos de 2, que permanecieron en el echadero, para medir el consumo voluntario de alimento

para cada animal teniendo así a cada vaca puesta en un echadero con un comedero y bebedero individual. La nueva dieta alimenticia fue dada por 7 días antes para adaptar a los animales a sus nuevas condiciones de alimentación para el experimento. El Primer período del experimento abarco del día 11 al 20 de agosto de 2010. Durante los 10 días de este período se midieron las variables FC, TC, CV, IA, TA, HR y HD para los cuatro animales, se observó que el CV se mantiene constante, lo que indica que ya se ha adaptado al lugar y se eliminó el estrés por cambio de habitad del animal, el valor, se estabilizó al tercer día de las mediciones, lo que da como resultado 7 días para evaluar el estrés calórico en el ganado. El segundo periodo del experimento abarcó del 23 agosto al 1 de septiembre del 2010. Durante los 10 días, se midieron las mismas variables que en el primer periodo, observando que el consumo voluntario se estabilizó al segundo día. Para evaluar el segundo periodo se cambió a los animales, del grupo de control, al de tratamiento.

### **3.6 Análisis de los datos**

El análisis estadístico se realizó en Originlap 8, bajo la plataforma de Windows XP, analizando las diferencias significativas entre los datos que fueron medidos, las ANOVAS de los datos se analizaron con un nivel de significancia  $P < 0.05$ . La influencia de los datos de las variables medidas fue identificada con la *r-Pearson* de cada una, para observar la relación entre ellos.

## CAPITULO 4

### Resultados y discusión.

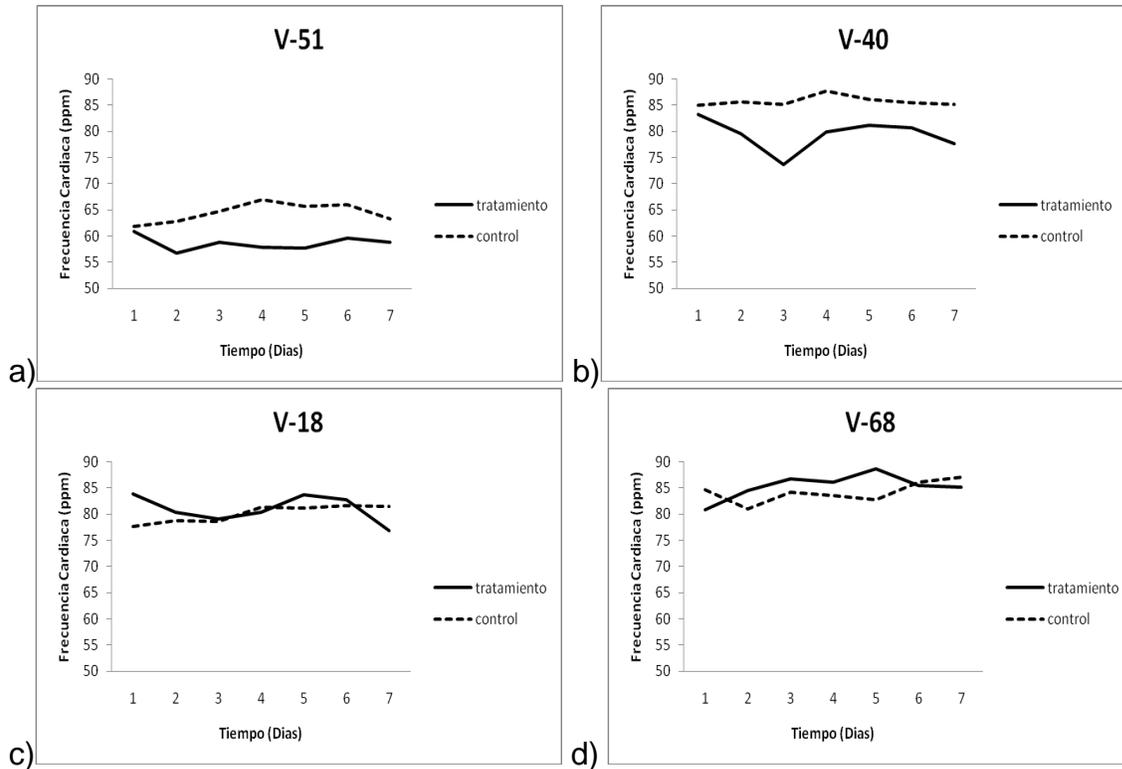


Figura 4.1 Comportamiento de la frecuencia cardiaca

En la Figura 4.1 a, se observa que la frecuencia cardiaca es menor en el tratamiento, a diferencia del control con la vaca 51, estadísticamente se demuestra que si hay diferencia significativa con una  $P < 0.05$  en una prueba de *Tukey* (Tabla 4.1). Teniendo un promedio de la frecuencia cardiaca de 58,64 para el tratamiento y de 64,43 en control con una desviación estándar en los datos similar.

La frecuencia cardiaca de la vaca 40, donde, si hubo diferencia significativa en la prueba de *Tukey* con una  $P < 0.05$  (tabla 4.1), el comportamiento de la frecuencia cardiaca de la vaca 40, se muestra en la figura 4.1 b. en la figura 4.1 c, muestra el comportamiento de la frecuencia cardiaca de la vaca 18, donde no hubo diferencia significativa en una prueba de *Tukey* con un valor de  $p < 0.05$  (tabla 4.1).

La frecuencia cardíaca de la vaca 68, se comportó estadísticamente con diferencia significativa para una  $P < 0.05$ , en la prueba de *Tukey*, el comportamiento promedio día se muestra en la figura 4.1 d, el tratamiento y control se muestran en la tabla 4.1 con los valores 85,35 y 84,17 respectivamente para la vaca 68.

En las vacas 40 y 51 la frecuencia fue mas baja en tratamiento que en control, mientras que las vacas 68 y 18 su frecuencia cardíaca fue la misma en tratamiento y control, por lo tanto, la raza y el tamaño, si afecta la frecuencia cardíaca de los animales, utilizando un echadero como medio de descanso.

	Frecuencia Cardíaca	
	Tratamiento	Control
V-51	58,64 ± 5.71 b	64,43 ± 5.96 a
V-40	79,41 ± 8,66 b	85,75 ± 7,83 a
V-18	80,08 ± 4,77 a	80,99 ± 6,94 a
V-68	84,17 ± 4,51 a	85,35 ± 8,13 a

Tabla 4.1 Análisis estadístico de la frecuencia cardíaca para una  $P < 0.05$

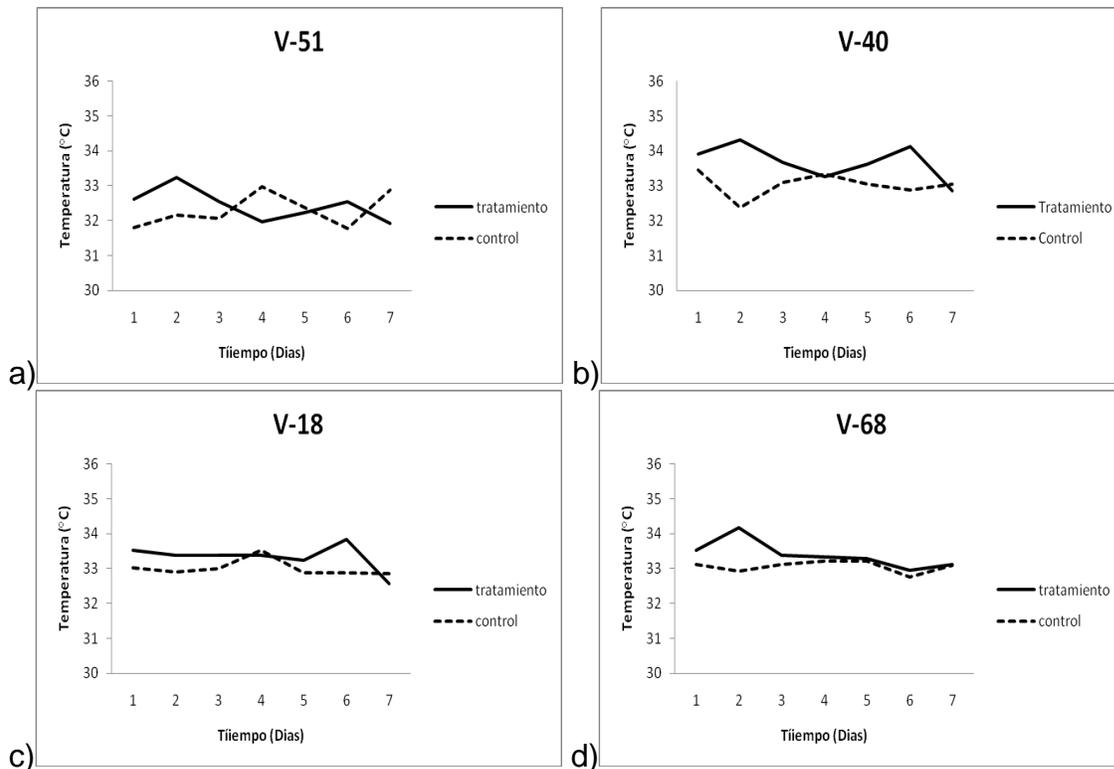


Figura 4.2 Comportamiento de la temperatura corporal

En la temperatura corporal, estadísticamente no hubo diferencia significativa, como se muestra en la tabla 4.2, en la figura 4.2 se muestra las variaciones de la temperatura corporal de cada vaca, en la figura 4.2 la temperatura mas alta de la vaca 51 en el tratamiento fue de un valor de 32,43, en el control fue de 32,29 °C. Con respecto a la temperatura corporal de la vaca 51 no hubo diferencias significativas con la prueba de *Tukey* a una  $P < 0.05$  (Tabla 4.2). La temperatura de la vaca 40 se comporto como se muestra en la figura 4.2 b, según la tabla 4.2 donde su promedio fue de 33,74 y 33,03, tratamiento y control respectivamente.

En la temperatura corporal de la vaca 40, estadísticamente no se encontró diferencia significativa con una prueba de *Tukey* con un valor de  $P < 0.05$ . Para la vaca 18, tampoco no hubo diferencias entre tratamiento y control como se muestra en la tabla 4.2. Los valores de la temperatura corporal oscilan entre 33,32 y 33,01 para tratamiento y control, como se mencionó, no se encontró diferencia entre ambos.

La temperatura corporal de la vaca 68, no se encontró diferencia significativa, mediante el análisis estadístico realizado con la prueba de *Tukey* con una  $P < 0.05$  como se muestra en la tabla 4.2, el comportamiento promedio día se muestra en la figura 4.2 d, donde el tratamiento y control son 33,39 y 33,06 respectivamente.

	Temperatura Corporal	
	Tratamiento	Control
V-51	32,43 ± 2,08 a	32,29 ± 2.11 a
V-40	33,74 ± 1,84 a	33,03 ± 1,85 a
V-18	33,32 ± 1,64 a	33,01 ± 1,77 a
V-68	33,39 ± 1,82 a	33,06 ± 2,20 a

Tabla 4.2 Análisis estadístico de la temperatura corporal para una  $P < 0.05$

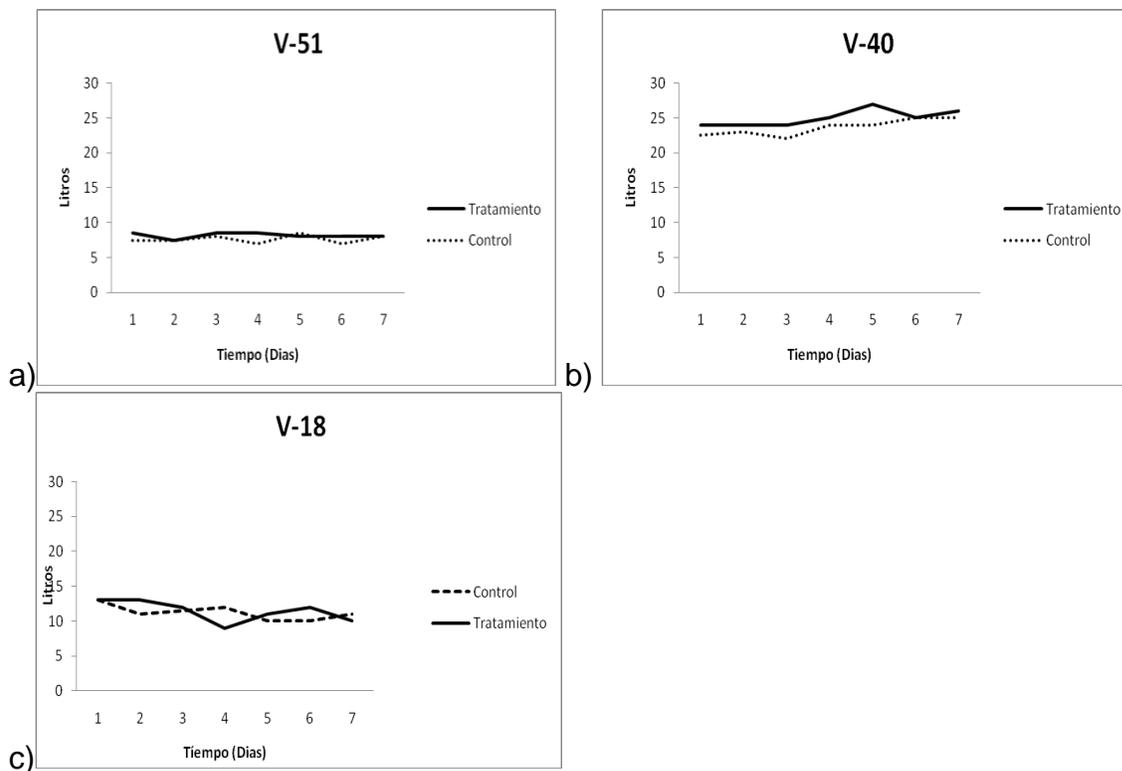


Figura 4.3 Comportamiento de la producción de leche

La producción de leche no se vio afectada por el efecto del echadero en la vaca numero 51, esto se analizó mediante una prueba de *Tukey* con una  $P < 0.05$ , en donde no se encontraron diferencias significativas. Los promedios de producción para esta vaca fueron 8,14 y 7,14 en tratamiento y control respectivamente como se muestra en la Tabla 4.3 a.

En la gráfica 4.3 c, se muestra el comportamiento de la producción de leche, con un promedio de producción de 11,21 y 11,42 en control y tratamiento respectivamente en al análisis estadístico no se encontró diferencia significativa con una  $P < 0.05$  en esta variable de la vaca 18.

La figura 4.3 b, muestra la producción de leche en las dos etapas de la vaca 40, donde el análisis estadístico no mostro diferencias significativas con una  $P < 0.05$ , de igual manera las tres vacas anteriores 51,18 y 68 no muestran diferencias entre tratamiento y control, los promedios de producción de la vaca 40 se muestra en la tabla 4.3 donde los valores promedio son de 25 y 23,64 litros/día, tratamiento y control respectivamente.

	Producción de leche (L/Día)	
	Tratamiento	Control
V-51	8,14 ± 0,37 a	7,64 ± 0,55 a
V-40	25 ± 1,15 a	23,64 ± 1,18 a
V-18	11,21 ± 1,07 a	11,42 ± 1,51 a

Tabla 4.3 Analisis estadístico de la producción de leche para una P<0.05

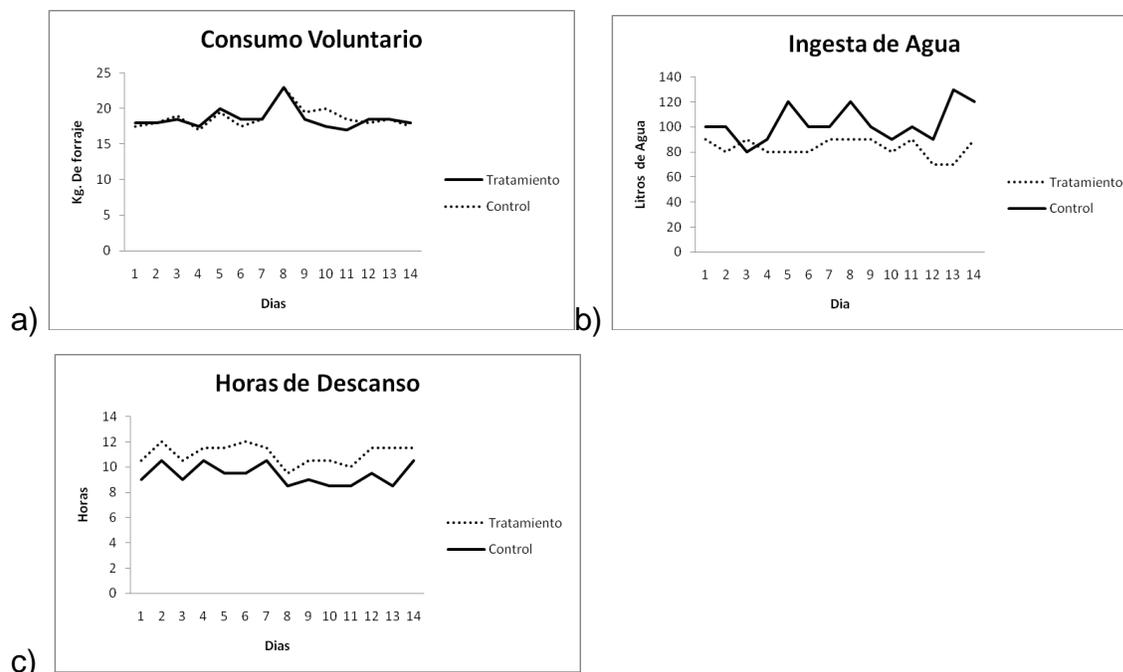


Figura 4.4 Comportamiento de CV, HD e IA

La figura 4.4 a, muestra el consumo promedio de los animales en los 14 días evaluados del periodo, donde no hubo diferencia significativa entre tratamiento y control, evaluado en la prueba de *Tukey* con un valor de  $P < 0.05$ , y un promedio de consumo que osciló en los 18 kg de materia seca para cada animal para su consumo individual, una de las principales variables para medir el estrés por calor como lo dicen diferentes autores citados en los capítulos anteriores. La figura 4.4 b, muestra el consumo promedio de agua la cual fue a libre acceso para cada animal, teniendo un promedio de consumo en tratamiento y control de 83,89 y 101,67 litros/día respectivamente. Se encontró en esta variable diferencias significativa en el análisis estadístico con la prueba de *Tukey* con un

valor de  $P < 0.05$  (ver tabla 4.4), donde el consumo ayuda los animales para amortiguar el estrés calórico ocasionado por el medio ambiente, una de las razones es la baja humedad que hubo, por consecuencia los animales utilizan el mecanismo de evaporación de agua por medio de la respiración para disminuir el calor generado por su metabolismo, segunda forma de disminuir su temperatura, después de la transferencia de calor por medio del aire ya que la temperatura ambiente en el transcurso del día se mantuvo alta. En la figura 4.4 c, se observa el comportamiento de horas de descanso de las vacas en el establo, sus horas de descanso fueron mayores, ya que se utilizó un sustrato que mantenía un promedio de temperatura de  $22^{\circ} \text{C}$ , la cual amortiguaba a su vez el calor del ambiente, contaba además con un área suave para el descanso de sus pesuñas. Se encontraron diferencias significativas en la prueba de Tukey con un valor de  $P < 0.05$  como se muestra en la tabla 4.4, con un promedio de horas de descanso de 8,92 y 11,03 para control y tratamiento respectivamente.

	CV		IA		HD	
	Promedio	Desviación	Promedio	Desviación	Promedio	Desviación
Control	18,28 a	2,29	101,67 b	12,95	8,92 a	2,06
Tratamiento	18,25 a	2,2	83,89 a	6,98	11,03 b	1,21

Tabla 4.4 Análisis estadístico de CV, IA y HD para una  $P < 0.05$

## 4.2 Relación entre variables

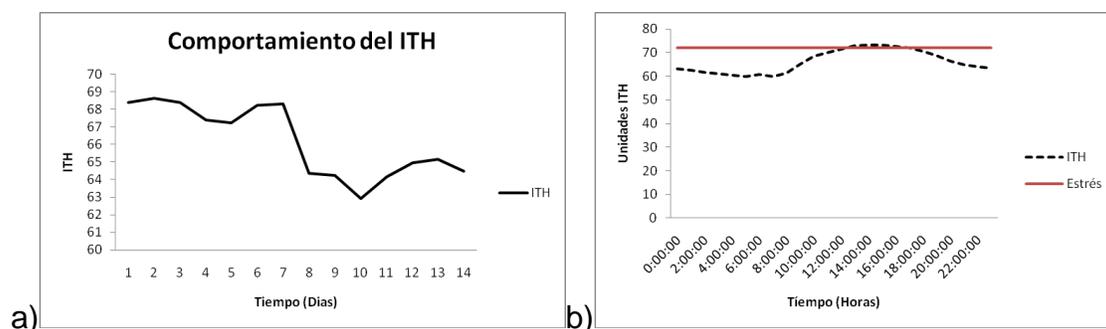


Figura 4.5 Gráfica del comportamiento del ITH, a) días y b) horas

En la figura 4.5 a, muestra el comportamiento del ITH promedio en días. Se observa que el valor máximo oscila entre 68 y 70 el cual no sobrepasa el valor de confort que es  $< 72$ , observando.

En la figura 4.4 b, donde se muestran los valores promedio por hora de ITH que se observa que a partir de las 12:00 del día, este sobrepasa el valor mínimo de 72 llegando a un pico de 74 a las 13:00 hrs., disminuyendo hasta las 17:00 hrs. donde entra de nuevo al rango de confort del animal. Mediante la tecnología se puede reducir el valor de ITH en estas horas, ya sea con ventiladores o humidificadores.

La relación entre las variables medidas y el ITH, tanto en tratamiento como en control se muestra en la siguiente Tabla 4.5 donde el ITH tiene una relación alta en la producción de leche en tratamiento más que en control, en las demás variables se hayo una relación mas alta en tratamiento que en el control observando que el estrés calórico afecta directamente al control, así como el echadero ayuda a disminuir el estrés teniendo una forma mas para disipar el calor de su metabolismo haciéndolo de forma que transfiere al sustrato en esta caso arenilla para tener mas confort a comparación del que lo hace por medio de la respiración y del cambio de estado liquido a gaseoso del agua ingestada.

	ITH	Consumo voluntario		Consumo de Agua		Horas de Descanso		Producción de Leche	
		Tratamiento	Control	Tratamiento	Control	Tratamiento	Control	Tratamiento	Control
Max	68,64	23	23	90	130	12	10,5	17,5	16,5
Min	62,94	17	17	70	80	9,5	8,5	11	9
Promedio	66,21	18,57	18,71	83,57	102,86	11,04	9,39	14,14	13,54
Desviación	2,05	1,45	1,52	7,45	14,37	0,77	0,81	2,61	2,45
r- Pearson		-0,08	-0,45	0,06	0,24	0,48	0,51	0,90	-0,77

Tabla 4.5 Relación entre variables *r-Pearson* en días.

En la tabla 4.6, se observa la relación del ITH con las variables de frecuencia cardiaca y temperatura corporal teniendo la misma relación entre tratamiento y control, estos valores se realizaron para observar la relación que hay en el transcurso del día donde los valores medidos corresponden al promedio de 14 mediciones de cada hora durante las 24 horas del día obteniendo los valores descritos en la tabla siguiente:

	ITH	Frecuencia cardiaca		Temperatura corporal	
		Tratamiento	Control	Tratamiento	Control
Max	73,33	80,20	80,95	35,31	34,69
Min	60,00	69,80	70,17	30,46	30,81
Promedio	66,18	74,66	75,28	33,07	33,01
Desviación	4,89	2,42	2,49	1,51	1,31
r-Pearson		0,69	0,68	0,57	0,56

Tabla 4.6 Relación entre frecuencia cardiaca, temperatura corporal y ITH con la *r-Pearson* en horas

### 4.3 Conclusiones

En el estudio realizado se encontró que efectivamente el echadero si es una forma de disminuir el estrés calórico, además de proveer una zona de confort para el descanso al ganado lechero de esta región, se observo que el estrés calórico en la región de Querétaro si sobrepasa el nivel de confort que es un valor de 72 como lo muestra la literatura, ubicándonos en un estrés leve a moderado, por lo tanto es necesario implementar medidas para disminuir el estrés calórico, aplicando tecnología o implementando algún método sustentable como el echadero, que sea fácil de construir, económicamente barato y que no contamine.

Las modificaciones en las variables indican que definitivamente el echadero es una forma de disipar el calor por medio de la conducción del animal al sustrato del mismo, además de proporcionarle un lugar confortable donde pueda descansar tranquilamente, evitando así daños en las pesuñas, al ofrecerles lugar de descanso fresco y seco, también se ayuda a reducir uno de los mas grandes problemas en los establos ganaderos; la mastitis.

En este estudio el echadero no modifico la producción de leche, cabe la posibilidad que en investigaciones futuras se ratifique los resultados del presente estudio.

La relación entre ITH y la frecuencia cardiaca es baja, por lo cual no se puede determinar el estrés calórico, dicho resultado se sustenta y confirma la literatura consultada.

## Referencias

1. Aguilar, C., R. Allende, D. Ocampos, F. García. 2000. Producción de leche a pastoreo en el subtrópico con ganado cruza Holando Cebú: desarrollo y validación de un modelo de simulación. Arch. Zootec. 49: 457-468. 2000.
2. Álvarez, A. 2006. Análisis regional de la cadena de lácteos en Querétaro. VII Congreso Latino-Americano de sociología rural. Noviembre 2006. Quito. Ecuador.
3. Bayat A.R., M. Rinne, K. Kuoppala, S. Ahvenjärvi, A. Vanhatalo, P. Huhtanen, 2010. Ruminant large and small particle kinetics in dairy cows fed red clover and grass silages harvested at two stages of growth. animal Feed Science and Technology 155 (2010) 86–98
4. Bernal, S.G., P.J. Van Soest, C.J. Sniffen and M.L. Thonney. 1996. Evaluation of praseodymium as a liquid marker in rumen turnover studies. Animal Feed Science and Technology 63:201-209.
5. Borell Von E. H. 2010. The biology of stress and its application to livestock housing and transportation assessment.
6. Brosh A., Aharoni Y., Degen A.A., Wright D. and Young B. A. 1998. Effects of solar radiation, dietary energy, and time of feeding on thermoregulatory responses and energy balance in cattle in a hot environment. J. Anim. Sci. 76: 2671-2677.

7. Bruno R.G.S., H.M. Rutigliano, R.L. Cerri, P.H. Robinson, J.E.P. Santos, 2009. Effect of feeding *Saccharomyces Cerevisiae* on performance of dairy cows during summer heat stress. *Animal Feed Science and Technology* 150 (2009) 175–186
8. Carmona M.M.A. 1980. Adaptación genético ambiental al trópico húmedo en *Bos taurus*, *Bos Indicus* y sus cruzas. Tesis M.C. Especialista en genética animal. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
9. Córdova-Izquierdo Alejandro, Víctor Manuel Xolalpa Campos, Mary Silvia Córdova Jiménez, Crisitian Alejandro Córdova Jiménez y Juan Eologio Guerra Liera. Factores que predisponen a enfermedades causantes de abortos en vacas lecheras.
10. Correa-Calderón Abelardo, Leonel Avendaño-Reyes, Aurelio Rubio-Villanueva, Dennis V. Armstrong, John F. Smith y Sue K. DeNise. 2002. Efecto de un sistema de enfriamiento en la productividad de vacas lecheras bajo estrés calórico. *Agrociencia* volumen 36, número 5, septiembre 2002.
11. Domínguez Renato Raúl, Carlos Gustavo Vásquez Peláez, Everardo González Padilla. 2005. Efecto del estrés calorico y su interacción con otras variables de manejo y productivas sobre la tasa de gestación de vacas lecheras en Aguascalientes, México. *Vet. Méx.*, 36 (3) 2005

12. Eigenberg, R. A., Hahn, G. L., Nienaber, J. A., Brown-Brandl, T. M., y Spiers, D. E. (2000). Development of a new respiration rate monitor for cattle. *American Society of Agricultural Engineers*. 43, 723–728.
13. Eigenberg R.A. ,Brown-Brandl T.M., Nienaber J.A. ,Hahn G.L., 2005. Dynamic Response Indicators of Heat Stress in Shaded and Non-shaded Feedlot Cattle, Part 2: Predictive Relationships.
14. Finch V.A. 1986 Body temperature in beef cattle: Its control and relevance to production in the tropics. *J. Amin. Sci.* 62:531-542.
15. Flemenbaum, I. 1998. Manejo de ganado lechero en climas cálidos. Curso Internacional de Ganadería Lechera intensiva en diferentes condiciones de producción. CINADCO. Israel.
16. Garcia. Alvaro D. 2004. Combatiendo el estrés calórico en la vaca lechera. August 2004. *Dairy Science*. College of & Biological Sciences / South Dakota State University /usda.
17. García-Ispuerto, F. López-Gatius, G. Bech-Sabat, P. Santolaria, J.L. Yàñiz, C. Nogareda, F. De Rensis, M. López-Bèjar. 2007. Climate factors affecting conception rate of high producing dairy cows in northeastern Spain. *Theriogenology* 67 (2007) 1379–1385
18. Hafez E.S.E. 1993. *Reproduction in farm animals*. Edición 6ª. Editorial Lea & Febiger pág. 321-322.
19. Hahn, G. L. (1999). Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *Journal of Animal Science*, 77, 10–20.

20. Hall, M. 2000. Meet the challenges of heat stress feeding. Howard's Dairyman. May. 2000. pp 344.
21. Harmer, J., J. Smith, M. Brouk y P. Murphy. 2000. Reducing heat stress in holding pens. Howard's Dairyman. May. 2000. pp 66.
22. Henshall J.M. 2004. A genetic análisis of parasite resistente traits in a tropically adapted line of Bos taurus. Australian journal of Agricultural Research 55 (11): 1109-1116.
23. Hopster, H., Blokhuis, H.J., 1994. Validation of a heart rate monitor for measuring a stress response in dairy cows. Can. J. Anim. Sci. 74, 465±474.
24. Hopster Hans, Joop T.N. van der Werf, Harry J. Blokhuis. 1998. Stress enhanced reduction in peripheral blood lymphocyte numbers in dairy cows during endotoxin-induced mastitis. Veterinary Immunology and Immunopathology 66 (1998) 83±97
25. <http://www.nutrefeed.com.ar>
26. Kendall P.E., P.P. Nielsen, J.R. Webster, G.A. Verkerk, R.P. Littlejohn, L.R. Matthews. 2006. The effects of providing shade to lactating dairy cows in a temperate climate. Livestock Science 103 (2006) 148–157
27. Krause K.M, D.K. Combs, K.A. Beauchemin, 2002. Effects of forage particle size and grain fermentability in midlactation cows. I. milk production and diet digestibility. February 2002

28. Lagger, José Rodolfo 2007. Estrategias de bienestar animal para prevenir lesiones pódales en vacas lecheras. *Veterinaria Argentina*, 24(238):588-602.
29. Lorenz Gyax, Isabelle Neuffer, Christine Kaufmann, Rudolf Hauser, Beat Wechsler 2007. Restlessness behaviour, heart rate and heart-rate variability of dairy cows milked in two types of automatic milking systems and auto-tandem milking parlours. *Applied Animal Behaviour Science* 109 (2008) 167–179
30. Mader, T. L. (2003). Environmental stress in confined beef cattle. *Journal of Animal Science*, 81, 110–119.
31. Martín M.E., García A.C. 1985. Fisiopatología de la reproducción con sus bases sinópticas. Edita Instituto experimental de cirugía y reproducción de la Universidad de Zaragoza.
32. McDowell, R. 1972. *Improvement of Livestock Production in Warm Climates*. W. H. Freeman and Company. San Francisco. U.E. pp.711.
33. O'Brien M.D., R.P. Rhoads, S.R. Sanders, G.C. Duff, L.H. Baumgard 2009. Metabolic adaptations to heat stress in growing cattle.
34. Padilla, L. Matsui, T. Kamiya, Y. Kamiya, M. Tanaka, M. Yano, H. 2005. Heat stress decreases plasma vitamin C concentration in lactating cows. *Livestock Science*, 101 (1-3), p.300, May 2006
35. Pegorer Marcelo F, José L.M. Vasconcelos, Luzia A. Trinca, Peter J. Hansen, Ciro M. Barros. 2007. Influence of sire and sire breed (Gyr versus Holstein) on establishment of pregnancy and embryonic loss in

- lactating. Holstein cows during summer heat stress. *Theriogenology* 67 (2007) 692–697
36. Santos R. Dos 1999. Os Cruzamentos na pecuária tropical. Ed. Agropecuaria Tropical.
37. Shell M.T., Early R.J., Carpenter J.R., Vicent DI. and Buckley. 1995. Partum nutrition and solar radiation in beef cattle: I relationships of body fluid compartments, packed cell volume, plasma urea nitrogen and estrogens to prenatal development. *J. Anim. Sci.* 73: 1289-1302.
38. SEDESU a. Anuario económico 2008. Capítulo IV. Perfil sociodemográfico.
39. SEDESU b. Anuario económico 2008. Capítulo VII. Agropecuario, forestal y pesca.
40. Stewart, M. Webster, J.R. Verkerk, G.A. Schaefer, A.L. Colyn, J.J. Stafford, K.J. 2007. Non-invasive measurement of stress in dairy cows using infrared thermography. *Physiology & Behavior*, 92 (3), p.520, Oct 2007
41. Villagómez A.M.E., Castillo RH., Villa-Godoy A., Román P.H. y Vázquez P.C. 2000. Influencia estacional sobre el ciclo estral y el estro en hembras cebú mantenidas en clima tropical. *Tec Pecu Méx* 38 (2): 89-103.
42. Wenzel C., S. Schönnreiter-Fischer, J. Unshelm. 2003. Studies on step-kick behavior and stress of cows during milking in an automatic milking system. *Livestock Production Science* 83 (2003) 237–246.

# Anexos