

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”  
UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL**



**ADAPTACIÓN, AMBIENTE Y PRODUCCIÓN PECUARIA  
EN LA REGIÓN LAGUNERA**

POR:

**FERNANDO RAFAEL MORALES SOTO**

MONOGRAFIA

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER  
EL TÍTULO DE:

**MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

MARZO DE 2005

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"**  
**UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL**

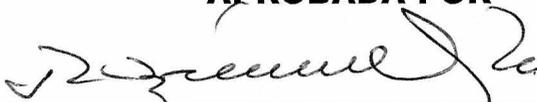


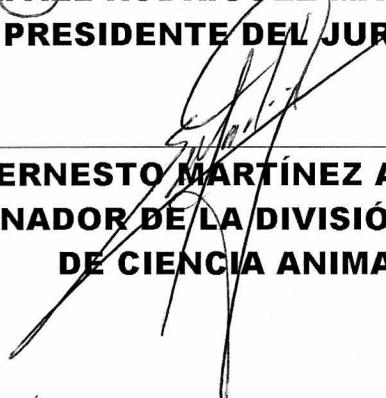
**ADAPTACIÓN, AMBIENTE Y PRODUCCIÓN PECUARIA  
EN LA REGIÓN LAGUNERA**

MONOGRAFÍA QUE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL  
H. JURADO EXAMINADOR COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

**APROBADA POR**

  
\_\_\_\_\_  
**DR. RAFAEL RODRÍGUEZ MARTÍNEZ**  
**PRESIDENTE DEL JURADO**

  
\_\_\_\_\_  
**M.V.Z. ERNESTO MARTÍNEZ ARANDA**  
**COORDINADOR DE LA DIVISIÓN REGIONAL  
DE CIENCIA ANIMAL**



Coordinación de la División  
Regional de Ciencia Animal  
UAAAN - UL

**ADAPTACIÓN, AMBIENTE Y PRODUCCIÓN PECUARIA  
EN LA REGIÓN LAGUNERA**

MONOGRAFÍA QUE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H.  
JURADO EXAMINADOR COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OBTENER EL TÍTULO DE:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

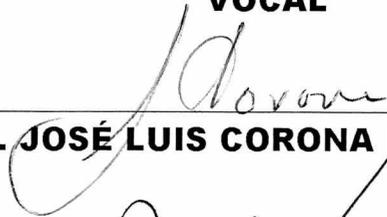
**PRESIDENTE DEL JURADO**



---

**DR. RAFAEL RODRÍGUEZ MARTÍNEZ**

**VOCAL**



---

**M.C. JOSÉ LUIS CORONA MEDINA**

**VOCAL**



---

**M.C. GERARDO ARELLANO RODRÍGUEZ**

**VOCAL**



---

**M.C. ERNESTO MARTÍNEZ ARANDA**

## DEDICATORIA

Dedico esta monografía a mis padres, mis hermanos, a mis amigos, familiares, a mis profesores y sobre todo a una gran persona en especial que siempre ha estado conmigo en los momentos más difíciles: a mi querida esposa Paty.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por haberme dado la oportunidad de terminar este trabajo de investigación, a pesar de todas las adversidades que se cruzaron por mi camino.

Profesor Rafael Rodríguez, gracias por todo su apoyo, su paciencia, su tiempo y su compañerismo, ya que usted fue parte importante para poder concluir este trabajo de investigación en el que usted me guió.

Agradezco a mis padres por todos los años que estuvieron a mi lado, gracias por tanto cariño y paciencia hacia mi persona, gracias por creer en mi siempre y ayudarme a crecer profesionalmente y como ser humano, los quiero mucho.

Agradezco a mis hermanos por estar conmigo siempre y apoyarme.

Agradezco a mis amigos, que estuvieron a mi lado y me ayudaron a salir adelante, gracias por estar siempre conmigo apoyándome en mis proyectos profesionales y personales, en especial a: Ingeniero Pedro Macías, Patricia Gutiérrez, Pedro, Emmanuel, Katya, Luis Fernando, Edmar, MaryFer y Carolina.

Gracias Paty. Por haber estado siempre a mi lado en los momentos más difíciles, por tu apoyo y ayuda para cumplir mis metas y por el simple hecho de ser mi esposa.

# 1 INDICE

1	INDICE .....	1
	INDICE DE CUADROS Y FIGURAS.....	2
2	INTRODUCCIÓN .....	1
3	LA ADAPTACIÓN, LAS ZONAS ÁRIDAS Y LA GANADERÍA.....	5
3.1	EL CONCEPTO DE ADAPTACIÓN. ....	6
3.2	LOS ESFUERZOS POR UNIFICAR LA TERMINOLOGÍA DE ADAPTACIÓN .....	7
4	EL ESTRÉS Y LA ADAPTACIÓN.....	9
4.1	¿QUÉ ES EL ESTRÉS?.....	9
5	EL ESTRÉS COMO FUERZA EXTERNA .....	10
5.1	LA RESPUESTA ORGÁNICA AL ESTRÉS.....	11
6	LOS AJUSTES CORPORALES .....	12
7	EL ESTRÉS Y EL CORTISOL.....	15
8	EL BIENESTAR ANIMAL.....	18
8.1	LOS ÍNDICES CLIMÁTICOS DEL BIENESTAR ANIMAL. ....	20
8.2	LOS INDICADORES AMBIENTALES .....	20
8.2.1	<i>La zona termoneutral y la temperatura crítica superior</i> .....	21
8.3	EL ÍNDICE DE TEMPERATURA - HUMEDAD Y EL ÍNDICE DE GLOBO NEGRO-HUMEDAD.....	23
9	¿CÓMO SE MIDE LA ADAPTACIÓN?.....	25
9.1	EL RENDIMIENTO PRODUCTIVO Y LA ADAPTACIÓN AL MEDIO.....	26
9.2	RESPUESTAS FISIOLÓGICAS DE ADAPTACIÓN AL MEDIO.....	28
10	CONSUMO DE ALIMENTO .....	28
11	RESPUESTAS FISIOLÓGICAS.....	30
12	LOS AJUSTES HORMONALES.....	33
13	LOS EFECTOS SOBRE LA REPRODUCCIÓN .....	37
14	EL METABOLISMO DEL AGUA .....	38
15	RESPUESTAS DEL COMPORTAMIENTO COMO ADAPTACIÓN AL MEDIO. ....	43
16	LOS BIOCLIMAS Y LA PRODUCTIVIDAD.....	44
16.1	LOS RETOS AMBIENTALES DEL DESIERTO. ....	45
16.2	EL DESIERTO CHIHUAHUENSE.....	47
17	LITERATURA CITADA .....	60

# Indice de Cuadros y Figuras

## **CUADROS**

Cuadro 1 Temperaturas y precipitaciones pluviales medias mensuales en cinco municipios del desierto Chihuahuense en Coahuila .....	50
Cuadro 2 Relación de días de temperaturas críticas superiores para cabras (30°C), para vacas Holstein (25°C), temperaturas máximas registradas e índices de temperatura humedad (THI) superiores a 70.5 y THI máximo registrado (Fuente de datos climáticos: Centro de Investigaciones Agrícolas del Noreste (CIANE), Matamoros, Coah.) .....	51

## **FIGURAS**

Figura 1 Ubicación geográfica de los desiertos de Chihuahua y de Sonora en la República Mexicana. Modificado de Schmidt (1989) .....	49
Figura 2 Ubicación geográfica de la Comarca o Región Lagunera, donde se aprecia su localización entre los estados de Durango y Coahuila, así como su colindancia con Chihuahua y Zacatecas .....	50
Figura 3 Precipitaciones pluviales históricas máxima, media y mínima registradas en Matamoros, Coah., durante el período de 1975 a 1994. (Fuente de datos climáticos CIANE, Matamoros, Coah. ....)	52
Figura 4 Temperaturas históricas máximas y mínimas registradas en Matamoros, Coah., durante el período de 1975 a 1994. Se registran para cada una la superior, la promedio y la inferior. (Fuente de datos climáticos: CIANE, Matamoros, Coah.) .....	53
Figura 5 Valores anuales para el THI en Matamoros, Coah., con base en los datos de 1984 a 1993. Se indican los valores máximo, promedio y mínimo históricos registrados durante el período. La flecha señala los 72 THI, punto a partir del cual el ganado bovino Holstein empieza a presentar problemas de salud (Fuente de datos climáticos: CIANE, Matamoros, Coah.) .....	54

## 2 INTRODUCCIÓN

Los animales y su medio ambiente forman un sistema en el cual ambos interactúan y reaccionan (Yousef, 1987), debido a esto, un animal nunca es independiente del medio ambiente en el cual vive, su vida, salud, reproducción y producción dependen del mismo (duPreez et al., 1990).

Las cinco variables climáticas de un microclima son la temperatura ambiental, la humedad relativa, la precipitación, la velocidad de los vientos y la radiación solar, todas ellas están integradas, pero se considera a la temperatura ambiente como el agente estresante individual más importante (Cymbaluk y Christison, 1990), siendo así, el factor físico más importante sobre la tierra que limita la extensión geográfica de la explotación de un hábitat. Esto implica que un animal endotermo debe estar adaptado conductual y fisiológicamente para superar las temperaturas máximas extremas que pueda encontrar temporal y diariamente en este hábitat (Lovegrove et al., 1991), considerándose que la endotermicidad -la selección para una temperatura corporal alta y estable-, ha facilitado la expansión del nicho (Ruben, 1995).

Ninguna área de la fisiología del medio ambiente ha recibido más atención que la del estudio de los animales que viven en medios ambientes calientes y secos. Estos estudios se han centrado principalmente sobre los mecanismos empleados para contrarrestar el estrés impuesto por las altas temperaturas y las atmósferas secas (Goodfriend et al., 1991) y aunque las formas más efectivas para maximizar la productividad en áreas desérticas pueden ser mediante el resguardo de los animales de las condiciones ambientales adversas y, a través de la selección de razas que bajo un conjunto dado de circunstancias puedan presentar una máxima resistencia a la sequía y productividad (Silanikove, 1992), la investigación y el desarrollo de "paquetes tecnológicos" se han basado principalmente en la primera opción, es decir, en sistemas de producción con un alto grado de artificialización.

Un punto de discusión científica, ha sido el que el germoplasma nativo es más adaptable a los medios ambientes con condiciones que limitan la productividad, y por lo tanto, la importancia de su conservación, evaluación y mejoramiento durante los actuales y futuros planes de desarrollo (Carvalho et al., 1995; Carvalho et al., 1995; 1992; 1987; Taneja et al., 1991).

Una de las regiones donde más se han notado los efectos de la práctica de la sustitución de razas locales por razas exóticas son las zonas áridas, lugares con considerables restricciones ambientales para la productividad. Los principales argumentos para la sustitución suelen ser de orden productivo. Johnson (1987), señala que las especies mejor adaptadas al calor o al frío, tales como el cebú o el yak, no han mostrado una mejor producción en términos de un máximo crecimiento o producción de leche, siendo esta la mejor razón para los cruzamientos, o para la importación de razas de clima templado, altas productoras en los bioclimas adversos, mientras que Güney et al. (1992), plantean que debido a que las cabras son pobres productoras, un método de mejoramiento es el adoptar una estrategia de cruzamiento entre razas.

Se ha reportado que la cantidad de radiación absorbida por los animales bajo sombra es de un 30% a un 40% de la cantidad que absorben los animales bajo el sol (Harris et al., 1960), siendo la búsqueda de las sombras una de las formas más notorias del comportamiento adaptativo de los herbívoros, observándose que las ovejas que pastan bajo condiciones de verano en lugares calurosos, evitan hacerlo durante el calor del día y buscan las sombras (Silanikove, 1987).

Por su parte, duPreez et al., (1990) señalan que las vacas lecheras pueden beneficiarse con modificaciones de los microclimas para aumentar su confort y rendimiento, citando como ejemplo, las sombras naturales, las cuales han mostrado tener un efecto altamente significativo en vacas cruzas de Friesian, aumentando la producción de leche en un 18.4%. También Johnson y Strack (1992) comentan respecto al efecto de las sombras, señalando que su uso puede afectar tanto los hábitos de pastoreo como los de bebida. En estudios conducidos en Florida, se ha observado que el bloquear los efectos de la radiación solar mediante el uso de sombras apropiadamente construidas, por sí solas incrementan la producción de leche de un 10 a un 19% (Shearer et al., 1991).

Existen prácticas de manejo sencillas y económicas que favorecen el bienestar de los animales y consecuentemente su productividad. Knapp et al. (1991), señalan que los productores hacen frente al reto de intentar mitigar el estrés calórico mientras mantienen o incrementan la productividad de sus vacas lecheras, mediante estrategias que modifican el medio ambiente, utilizando además de las sombras, rociadores para incrementar el enfriamiento evaporativo, así como la manipulación de ciertos ingredientes de las dietas como el disminuir la fibra y añadir grasa suplementaria.

La asociación de factores ambientales puede incrementar los efectos adversos de éstos. La alta temperatura ambiental junto con una elevada humedad, pueden alcanzar al medio día valores máximos de 32°C y un 98% respectivamente, afectando adversamente el consumo *ad libitum* y la utilización de nutrientes en las ovejas, mientras que existen reportes de que la disminución en la humedad alivia los efectos adversos de la alta temperatura y viceversa (Bhattacharya y Uwayjan, 1975).

Anteriormente a la migración masiva de animales alrededor del mundo como parte de un comercio internacional en aumento y la modernización de la ganadería, la mayoría de los animales nacieron, se criaron y se reprodujeron en el ambiente que sus ancestros habían experimentado por miles de años. Bajo estas circunstancias, la reproducción y particularmente el comportamiento reproductor se afinó para producir con la mayor eficiencia, el máximo número de nacimientos. Además, el desarrollo en un medio ambiente único provocó dentro de las poblaciones animales, que los patrones reproductores fueran estables y mostraran una variación relativamente pequeña. Hoy, un gran número de animales es criado en medios ambientes diferentes a los que sus ancestros experimentaron, debido a que los criadores buscan material genético para características especiales a partir de los recursos mundiales. Esto ha provocado que los patrones del comportamiento se hagan más variables, las diferencias en el comportamiento dentro de las especies sean más notorias y los patrones de conducta menos predecibles. En muchos casos, estos patrones no son necesariamente los que conducen a un rendimiento reproductivo más eficiente (Lindsay, 1996).

La introducción de razas altamente productivas en medios ambientes diferentes a los de su origen, da lugar a la necesidad de realizar acciones tendientes a proporcionarles las condiciones de alimentación, clima, abastecimiento de agua y aislamiento ambiental, requeridos para la óptima expresión de su productividad. Por ejemplo, Mackinnon et al. (1996) señalan que en los trópicos, los rebaños lecheros a menudo consisten de cruza entre razas lecheras europeas y razas nativas o adaptadas, debido a que el estrés del medio ambiente por una pobre nutrición, el calor o el reto de enfermedades, demanda que este tipo de ganado tenga al menos algún grado de tolerancia a estos factores con el objeto de mantener un nivel de producción de leche relativamente alto. También se ha planteado que un incremento de la temperatura ambiental causa una alza de la temperatura corporal, lo que puede ser un estímulo primario para reducir el consumo de alimento durante la producción láctea (Di Costanzo et al., 1997).

Sin embargo, no existe certeza sobre el valor práctico de las modificaciones o manipulaciones del medio ambiente realizadas para aumentar el rendimiento animal. Por otra parte, como argumento para la otra opción de desarrollo de la investigación, de acuerdo con Ferrel y Jenkins (1985), la selección puede dar lugar a una población de animales convenientemente adaptados a un medio ambiente específico, pero que puede rendir menos en medios ambientes diferentes, por lo que los programas de crianza requieren de una adecuada evaluación de los parámetros socioeconómicos y del medio ambiente, así como del germoplasma que pueda ser útil en el contexto (Carvalho et al., 1995), por lo que los recursos del germoplasma deben sincronizarse con la producción y el medio ambiente (Ferrell y Jenkins, 1985).

A pesar de que la mayoría de las especies domésticas producen en ambientes a los cuales su genotipo no está adaptado (Lindsay, 1996) debe reconocerse que se han de conservar la variación genética en los rasgos de respuesta al estrés y la resistencia a los altos niveles de estrés si, las poblaciones se establecen con énfasis en los individuos a partir de los hábitats marginales, y que las características de respuesta al estrés son determinantes importantes en la supervivencia futura de las especies bajo las condiciones climáticas globales cambiantes y la contaminación localizada (Hoffmann y Parsons, 1991), por otra parte, Honaramooz et al., (1999) señalan que los cambios de estación, de fotoperíodos de temperatura, de humedad y de nutrición, pueden contribuir a variaciones temporales en el área de eficiencia reproductiva.

Para incrementar rápidamente su producción, los granjeros están utilizando animales occidentales altamente productivos, abandonando las razas nativas adaptadas por décadas a las condiciones locales. Sin embargo, si las razas locales son obligadas a desaparecer, también se perderán sus características de resistencia a las enfermedades y su habilidad para soportar condiciones desfavorables (Anderson, 1992).

Uno de los grandes problemas es que no sólo se han perdido razas o genotipos a los cuales no se ha dado la oportunidad de demostrar su verdadero valor productivo, sino que como consecuencia de la adopción de políticas agrícolas y por la cruce indiscriminada, también se han perdido razas que se consideran buenas productoras (Dahlin et al., 1995). Así, surge la pregunta de sí el costo de los intentos por aumentar la producción de la ganadería es la sustitución de las poblaciones criollas sin conocer su verdadero valor.

Si se considera que la habilidad de un individuo para adaptarse a los cambios del medio ambiente depende de los extremos medio ambientales a los cuales fueron sometidos los miembros de generaciones anteriores, y que por lo tanto esta influida por la evolución (Black, 1983), es de esperarse que las razas o biotipos que tienen muchos años de explotación en condiciones extensivas en las regiones desérticas, posean más habilidades adaptativas que aquellos que recién han aparecido en el escenario ganadero de estas áreas y que además, por lo general, son explotados en estabulación, donde se enmascara de una u otra forma el estrés que las fluctuaciones del medio ambiente puede imponer sobre ellos.

### **3 La adaptación, las zonas áridas y la ganadería**

El concepto de adaptación, al igual que otros utilizados en la ciencia, carece de claridad. Scheiner (1993), señala que uno de los problemas que dificultan el avance del conocimiento sobre el papel evolutivo de la plasticidad fenotípica, es la confusión sobre la terminología y conceptos, y que resulta crítico usar términos claros, tanto para especificar los rasgos medidos, como para el conjunto de condiciones medio ambientales en las cuales las medidas ocurren.

Las respuestas que permiten el funcionamiento fisiológico y la supervivencia del animal en un medio ambiente estresante se han descrito con una variedad de palabras, tales como adaptación, aclimatación, aclimatización, habituación, etc. Irónicamente, cada uno de estos términos se ha usado por varios investigadores algunas veces del mismo campo, para expresar diferentes significados. Esto ha ocasionado frustraciones en la comunicación entre ellos mismos y entre disciplinas vecinas. Además, el uso de diferentes términos para describir el mismo fenómeno o uno similar así como sus diferentes definiciones, es desafortunado, ya que ocasiona confusión al reunir e integrar los datos disponibles en la literatura (Yousef, 1987).

Un factor importante en la conducción de la selección es la domesticación, la que puede ser definida como los procesos mediante los cuales una población de animales se adapta a los humanos y al medio ambiente del cautiverio por alguna combinación de cambios genéticos que ocurren a través de las generaciones, los cuales inducen a través del medio ambiente eventos del desarrollo que recurren cada generación ya que dirige el

cambio evolutivo. El cambio bajo la domesticación pudo ser al inicio principalmente de comportamiento, y más tarde, en un amplio orden de características dependiendo del propósito de la domesticación, tal como la capacidad de producir carne, leche, fibra o en las habilidades reproductoras (Newman, 1994).

### **3.1 El concepto de adaptación.**

El uso impreciso del término adaptación ha ocasionado muchas confusiones en la literatura sobre fisiología: Los fisiólogos han utilizado el término “adaptación” para describir los cambios compensatorios a corto plazo, por las alteraciones del medio ambiente o de los organismos. Tales sistemas de control son fenotípicos y revelan generalmente la plasticidad de los sistemas fisiológicos. Por otra parte, también han usado el término adaptación en su sentido genético y evolutivo para describir el rasgo o característica que se ha cimentado dentro del genotipo por medio de la presión de la selección natural (Garland y Carter, 1994).

Al preguntarse ¿qué es la adaptación?, Reeve (1993) señala que es evidente tras la lectura de varios artículos de revisión, que existen muchas definiciones, a menudo conflictivas y no consensuales, sobre los criterios operacionales que deben ser usados para identificar un rasgo fenotípico como una adaptación.

Los organismos, en forma individual compiten con los demás, y el ganador es aquel que pasa la mayoría de sus genes a la siguiente generación (Morell, 1996). De esta manera, según Maddox (1991) para los evolucionistas, la adaptación es una medida del ajuste o concordancia de un individuo con su ambiente, relacionado con el número de descendientes vivos que el organismo hubiera producido. También plantea que se ha definido a la adaptación como la probabilidad de que un organismo contribuya genes al banco genético del futuro. Sin embargo la propuesta de Maddox, es que la adaptación es el grado en que los procesos metabólicos se ajustan a las características del ambiente.

Otro concepto señala que la adaptación es la mayor eficiencia ecológico-fisiológica alcanzada por algunos miembros de la población y que para que un carácter sea considerado como una adaptación, debe ser un carácter derivado, desarrollado en respuesta a un agente selectivo específico. También plantea que una adaptación es una variante fenotípica que resulta en una mayor habilidad entre un conjunto especificado de variantes en un medio ambiente definido (Reeve, 1993). Esta definición consta de tres componentes

(1) un conjunto de fenotipos, (2) una medición de la adaptación, y (3) una clara definición del contexto medio ambiental. Aclara que la falla en la apreciación o la adecuada caracterización de uno de estos componentes, puede acarrear problemas de interpretación.

### **3.2 Los esfuerzos por unificar la terminología de adaptación**

Los problemas en la terminología condujeron a los miembros de la Comisión Internacional de Fisiología Térmica (Commission for Thermal Physiology), a publicar un glosario de términos para la fisiología termal, con el fin de aumentar la precisión del significado y uniformidad en el uso de los términos, el cual fue publicado por Bligh y Johnson (1973). Se espera que la adopción de este glosario por los investigadores y estudiantes de fisiología medio ambiental, facilite la integración de los datos publicados, y ocasione una mejor comprensión en este campo (Yousef, 1987).

Los principales términos del glosario publicado por Bligh y Johnson (1973) son los siguientes:

**Adaptación:** Cambio que reduce el esfuerzo fisiológico producido por un componente estresante del medio ambiente total. Este cambio puede ocurrir dentro de la vida de un organismo (fenotípico) o ser el resultado de la selección genética en una especie o subespecies (genotípico).

**Adaptación genética (adaptación genotípica):** Condición genéticamente fijada de unas especies o subespecies, o sus evoluciones, la cual favorece la supervivencia en un medio ambiente total particular.

**Adaptación fenotípica o no genética:** Cambio que reduce el esfuerzo fisiológico producido por un componente estresante del medio ambiente total, y que ocurre dentro de la vida del organismo.

**Aclimatación.** Cambio fisiológico que ocurre durante de la vida de un organismo, mediante el cual, en factores climáticos particulares reduce el esfuerzo ocasionado por cambios estresantes experimentalmente inducidos.

**Aclimatización:** Cambio fisiológico ocurrido durante la vida de un organismo, el cual reduce el esfuerzo ocasionado por cambios estresantes en el clima natural (por ejemplo temporal o geográfico).



Aclimatación y aclimatización, tal como los define el glosario, se refieren a las adaptaciones fenotípicas a los componentes climáticos del medio ambiente total. En otras palabras, el uso de estos dos términos debe limitarse a cambios a corto plazo, por ejemplo durante la vida del animal, mientras que los cambios a largo plazo deben ser etiquetados como adaptación genética.

Habitación: Reducción en las respuestas o en la percepción a una estimulación repetida.

La plasticidad fenotípica se ha definido como la extensión en que el medio ambiente modifica al fenotipo (Via y Lane, 1985) y fue definida en 1965 por Bradshaw como la cantidad en la cual las expresiones de caracteres individuales de un genotipo, son cambiadas por diferentes medios ambientes. En los animales, esta propiedad se presenta en muy bajos niveles con relación a las plantas, sin embargo, muchos de los procesos fisiológicos influenciados por la resistencia al estrés, muestran un alto grado de plasticidad (Hoffmann y Parsons, 1991).

La plasticidad fenotípica altera, en respuesta a cambios en las condiciones del medio ambiente, la fisiología y morfología del organismo (Schlichting, 1986) y se le considera como una propiedad del sistema nervioso que le permite modificar su respuesta para un estímulo alterado, respuesta que sugiere mecanismos moleculares neuronales que pueden unir en el fenotipo, estímulos o alteraciones a largo plazo (Nedivi et al., 1993). Por otra parte, Sultan (1995) define el término plasticidad fenotípica adaptativa, como la capacidad de un genotipo para producir fenotipos diferentes, apropiados funcionalmente en medios ambientes diferentes, y la caracteriza como una propiedad de respuesta individual a corto tiempo, la cual ofrece una "visión alternativa" de la forma en que los organismos se adaptan a su medio ambiente. También señala que posibilita una mejor función del organismo y por lo tanto una mejor aptitud en el medio ambiente.

El medio ambiente juega dos papeles en el proceso evolutivo. En primer lugar, establece las relaciones entre el fenotipo de un individuo y la aptitud de su función. En segundo, el medio ambiente interactúa con los procesos del desarrollo y juega un papel en la determinación del fenotipo. La interacción es llamada plasticidad fenotípica y el cambio es la expresión fenotípica de un genotipo como función del medio ambiente (Scheiner, 1993).

Respecto a la plasticidad fenotípica, surgen varias preguntas que a la fecha no tienen respuesta: ¿Cuáles son las bases mecánicas de una plasticidad

continua y discreta? ¿Cómo están relacionadas las respuestas plásticas de los diferentes rasgos? ¿Cuál es el control genético de la plasticidad y como puede esta ser seleccionada? ¿Qué tanta variabilidad genética para la plasticidad existe en las poblaciones naturales? (Schlichting, 1986) ¿Dados los límites al crecimiento impuestos por los medios ambientes, pueden los individuos responder fenotípicamente de tal forma que eviten o compensen estos límites? (Sultan, 1995).

## **4 El estrés y la adaptación.**

### **4.1 ¿Qué es el estrés?**

El término estrés se ha usado en el campo de la fisiología para denotar lo contrario a bienestar, en un continuo desde lo bueno a lo malo, en donde el bienestar ocupa un extremo y el estrés el otro.

El término estrés denota tanto la magnitud de fuerzas externas al sistema corporal que tienden a desplazarlo de su estado de reposo basal o, como el desplazamiento interno que el organismo sufre a partir de este estado, por causa de la aplicación de estas fuerzas (Lee, 1965).

Se considera que el estrés es el efecto de cualquier fuerza que tienda a extender cualquier proceso homeostático más allá de sus límites normales a cualquier nivel de organización biológica (Spotila et al., 1989), rompiendo la homeostasis y ocasionando nuevas adaptaciones que pueden ser, tanto perjudiciales como ventajosas desde el punto de vista del hombre (Stott, 1981).

Inicialmente se consideraba al estrés como una respuesta inespecífica del cuerpo a cualquier demanda sobre él, además de reconocerse que no se constituye únicamente por la tensión nerviosa, ya que la reacción de estrés ocurre también en los animales inferiores que no tienen sistema nervioso e igualmente en las plantas (Selye, 1973) . En la actualidad, estrés es un término amplio que implica una amenaza ante la cual el cuerpo necesita (von Borell, 1995).

En términos productivos, los ganaderos comúnmente usan el término estrés para indicar una condición medio ambiental que es adversa al bienestar del animal (Stott, 1981). Hicks et al. (1998) señalan que el estrés representa la

reacción del cuerpo a estímulos que alteran el equilibrio fisiológico normal (homeostasis) frecuentemente con efectos nocivos. Por otra parte, Ravagnolo y Misztal (2002), señalan que los animales experimentan estrés cuando su ambiente tiene un cambio perceptible y negativo, pudiendo ser este cambio temporal o permanente.

## **5 El estrés como fuerza externa**

En forma simple, un factor estresante es el que ocasiona el estrés, es decir los agentes o demandas que evocan la respuesta patrón del estrés, los cuales no son exclusivamente de naturaleza física, ya que las emociones como el odio, el enojo, el reto y el temor, también ocasionan fuertemente los cambios característicos del síndrome del estrés. De hecho, la estimulación psicológica es uno de sus más frecuentes activadores. Además, todas las enfermedades causan cierta cantidad de estrés debido a que imponen sobre los organismos demandas para la adaptación (Selye, 1983).

El estrés puede ser climático, tal como un frío o calor intensos; nutritivo, debido a la privación de alimento o de agua; social, a causa de un bajo rango en el orden social; o por patógenos o toxinas (Stott, 1981). Siegel (1995) señala que puede verse al medio ambiente como un compuesto de factores estresantes interactuantes, que en un sentido amplio puede incluir todas las condiciones en las cuales viven los seres vivos (temperatura, luz, ambiente social y ambiente conductual), así como aquellos factores internos (enfermedades, microorganismos, toxinas).

Dentro de los agentes que ocasionan la demanda provocadora de la respuesta de estrés, se incluyen los esfuerzos para acoplarse al desgaste y al sufrimiento corporal a causa del estrés, del síndrome general de adaptación, y de factores como la preñez, la lactación y el estrés común en cualquier momento de la vida (duPreez et al., 1990).

En términos ecológicos, el estrés resulta cuando los factores físicos, químicos y/o bióticos empujan a un organismo más allá de los límites de su nicho fundamental. Así, los animales que viven en hábitats físico/químicamente estresantes, tales como aquellos que viven en el límite de sus rangos geográficos, proporcionan modelos de sistemas mediante los cuales podemos examinar los mecanismos que definen los nichos fundamentales de estas especies (Spotila et al., 1989), como el estrés calórico que se desarrolla

cuando la ganancia de calor excede a la pérdida de calor natural del animal ocasionando temperaturas corporales aumentadas, comportamientos confusos y funciones corporales dañadas (Mitlohner et al., 2002).

## **5.1 La respuesta orgánica al estrés**

El Síndrome General de Adaptación (GAS por sus siglas en inglés) se caracteriza por tres estados consecutivos: 1) el estado de alarma, usualmente conocido como "shock"; en la cual la adaptación aún no se ha adquirido, con un agrandamiento de las adrenales y una oleada inicial de glucocorticosteroides, seguida por su agotamiento en sus depósitos; 2) el estado de resistencia, en el cual la adaptación es óptima y la corteza adrenal vuelve a ser rica en los gránulos secretores de corticoides; y 3) el estado de agotamiento, en el cual la adaptación adquirida se pierde nuevamente y los glucocorticosteroides se agotan (Selye, 1955). Este modelo, se basó en la liberación o secreción de glucocorticoides y no en la concentración de ellos en la sangre (Friend, 1990).

Selye (1955) planteaba que el estrés es la respuesta inespecífica del cuerpo a cualquier demanda sobre él, considerándose inespecífica porque sin importar que tipos de agentes estresantes se manifiesten, todos tienen en común el que hacen que el incremento en la demanda sobre el cuerpo provoque que el mismo se reajuste, siendo esta demanda inespecífica para el reajuste, la esencia del estrés. Este enunciado posteriormente fue modificado por la evidencia empírica, que parece apuntar a una respuesta más específica a las demandas del medio ambiente.

En 1971, Mason propuso que la respuesta pituitaria-corticoadrenal puede ser una reacción específica al estrés fisiológico, más que una reacción inespecífica para todos los agentes estresantes, señalando como ejemplo, que cuando una oveja se expone a una variedad de ellos, por ejemplo el esquileo, el encierro, la administración de estrógenos, la alimentación y el ayuno, que incrementan el cortisol plasmático. Sin embargo, el patrón de liberación de las catecolaminas difiere para cada agente estresante (Carbonaro et al., 1992). A su vez, Boissy (1995), señala que existe amplia evidencia de que la respuesta biológica a una amenaza no es estereotipada, sino que está influenciada por factores psicobiológicos y estrategias de comportamiento que tienen un impacto directo sobre la amenaza.

La resistencia al estrés ambiental puede involucrar mecanismos que son altamente específicos para un tipo de estrés (vías de detoxificación restringidas a un tipo particular de insecticida), o cubrir muchos tipos de agentes estresantes y tener bases fisiológicas y bioquímicas comunes (Hoffmann y Parsons, 1991).

Siegel (1995) plantea que los procesos reguladores que intentan mantener o restablecer el equilibrio o el estado homeostático pueden ser clasificados como específicos o no específicos, siendo los específicos, aquellos en los cuales una condición particular determina respuestas específicas relacionadas con la condición. En las aves, por ejemplo, cuando el medio ambiente ocasiona un aumento en la temperatura corporal, los vasos sanguíneos de la superficie se dilatan para permitir una rápida disipación del calor, mientras que las plumas se reorganizan para reducir su capacidad aislante, mientras que las alas se mantienen alejadas del cuerpo y las aves buscan superficies frescas para las pérdidas de calor por conductividad. Por otra parte, los procesos no específicos ocurren cuando, sin importar el tipo de agente estresante -calor o frío, hipoxia o toxinas-, las aves responden en una forma generalizada, dirigiéndose a un estado de estrés generalizado. Estos procesos reguladores no son mutuamente excluyentes, sino que pueden ocurrir simultáneamente, pudiendo uno de ellos tener un dramático efecto sobre el otro y cada uno observarse o no como respuesta, de acuerdo al potencial genético del animal ya que hay ciertos animales que son más resistentes al nivel celular por ciertos genes responsables de la resistencia corporal (Ravagnolo y Misztal, 2002).

Cooper y Washburn (1998) señalan que en varios estudios realizados en aves, se ha encontrado que un fuerte estrés calórico puede dar como respuesta una baja del consumo del alimento sobre todo cuando es calórico, encontrándose una relación genotípica entre el tamaño del cuerpo y la resistencia hacia las condiciones de estrés en el crecimiento, las cuales se reprimen disminuyéndose el consumo de alimento.

## 6 Los ajustes corporales

El medio ambiente es una serie de factores cambiantes a los cuales el organismo debe adaptarse, para evitar que esas fluctuaciones le produzcan alguna alteración que pueda dañarlos. Según Cannon (1929) las reacciones fisiológicas coordinadas que mantienen a la mayoría de los sistemas estables

en el cuerpo son demasiado complejos, y son tan peculiares para los organismos vivos que el término homeostasis es el que mejor los describe.

El ajuste al estrés induce un amplio rango de cambios neuroendócrinos, psicológicos y de comportamiento, que permiten una rápida recuperación o adaptación al cambio (von Borell, 1995). Boissy (1995), señala al respecto que una respuesta adaptativa a un peligro real o potencial comprende dos facetas complementarias: cambios psicológicos y del comportamiento que neutralizan los efectos del estímulo activador, y ajustes neuroendócrinos, necesarios para mantener la homeostasis interna.

Un reto repentino y agudo para un animal, generalmente resulta en la respuesta de “lucha o huye” (*fight or flight*), la cual involucra una activación de la secreción de catecolaminas, induciendo cambios cardiovasculares y metabólicos. Esta rápida respuesta usualmente es seguida por una reacción más lenta a consecuencia de la activación de los sistemas neuroendócrinos, con liberación de hormona adrenocorticotrópica (ACTH) a partir de la pituitaria anterior, la cual ocasiona que la corteza adrenal secrete hormonas corticosteroides (Diverio et al., 1996). Estas son las que Nwe et al. (1995), denominan fase hipotálamo-corteza adrenal y fase simpático– adrenal, mismas que pueden combinarse como una respuesta mixta.

También se ha demostrado que la habilidad para el ajuste a algunos agentes estresantes parece estar bajo el control de la amígdala, mediante la activación del sistema nervioso simpático y prepara al animal para la reacciones de lucha o huida (von Borell, 1995).

Se ha sugerido que los sistemas endocrino, inmune y nervioso central, interactúan y responden al estímulo agente estresante en una forma coordinada. La presencia de hormonas, neurotransmisores y receptores comunes a los tres sistemas, respalda la idea de que existe comunicación entre ellos. El sistema nervioso interpreta las señales iniciadas por el inminente estrés, y los centros cognitivos del cerebro, tales como la corteza cerebral, perciben las amenazas externas y, en algunos casos, otros tejidos a través del cuerpo detectan cambios adversos internos, que pueden provocar problemas relacionados con el funcionamiento normal de diversos sistemas biológicos (von Borell, 1995).

Los mecanismos que posibilitan a los animales a responder adecuadamente a los cambios en el medio ambiente, dependen de la estrecha interacción entre los sistemas nerviosos y endocrino (Rhodes et al., 1994).

Esto ha sido aparente desde la década de los treinta, cuando Cannon (1935) propuso que las catecolaminas producen la respuesta a corto término de la lucha o la huida y cuando Selye (1936), postuló que la adrenal media las respuestas al estrés crónico.

Desde su aislamiento y caracterización por Vale et al. en 1981, se ha hecho evidente que la hormona liberadora de la corticotropina (CRH), juega un papel importante en la activación de las respuestas fisiológicas, neuroquímicas y de comportamiento, típicamente observadas en situaciones de estrés (von Borell, 1995).

En respuesta al estrés físico y psicológico, el factor liberador de la corticotropina (CRF), un polipéptido de 41 aminoácidos, sintetizado en el hipotálamo, especialmente en el núcleo paraventricular, se libera desde la eminencia media del hipotálamo hacia el interior de los vasos portales hipofisarios. El factor liberador de la corticotropina se transporta hacia la hipófisis anterior donde estimula la síntesis de péptidos, incluyendo la ACTH, un producto de la expresión del gen de la proopiomelanocortina (POMC). Esta hormona se libera al interior de la circulación sanguínea y al ligarse con sus receptores en la corteza adrenal activa la liberación de glucocorticoides (Hendricks et al., 1995; Lightman, 1995; Sire et al., 1995; von Borell, 1995).

El CRF no sólo activa al eje hipotalámico-pituitárico-adrenal (HPA) sino que además tiene funciones como neurotransmisor cerebral. Por ejemplo, la administración intracerebroventricular de CRH, activa al sistema simpático y adrenomedular, provocando elevaciones en las concentraciones plasmáticas de catecolaminas y aumentando la presión arterial y el ritmo cardiaco (von Borell, 1995). Sin embargo, recientemente se ha descubierto que existe una disociación entre los niveles plasmáticos de CRF y los de ACTH, explicados porque existe una proteína ligadora de la CRF en el plasma humano, la cual puede inactivar a la CRF (Lightman, 1995).

Existe evidencia que indica que otros diversos sistemas neuroendócrinos se alteran bajo condiciones estresantes, involucrando esteroides gonadales, un gran grupo de neuropéptidos hipotálamo-hipofisarios -prolactina, corticotropina, CRF, oxitocina, vasopresina), y otro grupo de péptidos localizado en el cerebro, pituitaria y médula adrenal - $\beta$ -endorfinas, encefalinas- (Boissy, 1995).

## 7 El estrés y el cortisol

En respuesta al estrés físico o psicológico, el hipotálamo, la pituitaria y las glándulas adrenales se activan rápidamente; ocasionando un incremento en las hormonas glucocorticoides circulantes, las cuales pueden ser de ayuda en el sostenimiento de la vida, particularmente por sus efectos metabólicos en la elevación de los niveles sanguíneos de glucosa (Lightman, 1995).

Entre las hormonas que median los efectos del estrés, se encuentran las hormonas esteroidales de la glándula adrenal, incluyendo la hidrocortisona (Sapolsky, 1996) reconociéndose que en las ovejas, el cortisol es el primer corticosteroide liberado durante el estrés. (Rhodes et al., 1994).

Los factores que modifican los niveles sanguíneos de cortisol son diversos y la percepción de un evento estresante y el resultante incremento en la producción de cortisol, pueden ser influidos por la experiencia previa, la temporada, la hora del día, el sexo, la edad y las condiciones del animal (Dantzer y Mormede, 1983). También el comportamiento determina el cómo los niveles de cortisol se elevan durante el estrés (Cook, 1996), señala que los niveles basales de los corticosteroides y los relacionados con el estrés, muestran complejos patrones relacionados con la edad, el estado social y el comportamiento agresivo, además de influir también sobre ellos, la complejidad o la familiaridad del agente estresante. También Boissy (1995) ha señalado que las respuestas psicobiológicas a los retos del medio ambiente dependen de las experiencias tempranas o previas del individuo, además de la base genética del mismo.

El papel de las manipulaciones ganaderas como agente estresantes potenciales, reviste un interés significativo tanto para los investigadores como para los productores (Rhodes et al., 1994). Una revisión de la literatura sobre las concentraciones basales de cortisol sanguíneo, durante el descanso, el manejo y el sacrificio, indica que las respuestas del cortisol pueden agruparse en tres categorías: los valores basales; los valores del manejo en granja y; los valores extremos, los cuales pueden ser del doble o del cuádruple de los que se expresan como consecuencia del manejo en granjas (Grandin, 1994). También es evidente el impacto del estrés social sobre el rendimiento productivo (von Borell, 1995) así como las reacciones de miedo y ansiedad, tales como el pánico o el escape violento, los cuales en forma crónica pueden afectar la producción de leche o huevo, la tasa de crecimiento o la resistencia a enfermedades (Boissy, 1995).

Como factor decisivo en la fluctuación diaria de los niveles de corticosteroides en la sangre, se encuentran los ciclos circadianos, los cuales de acuerdo con Janssens *et al.* (1995), han sido reportados en muchas especies, señalando que en las especies diurnas, los niveles plasmáticos de glucocorticoides están elevados temprano por la mañana, declinando posteriormente hasta alcanzar su nadir por la tarde, mientras que en los animales de vida nocturna, se ha observado un patrón inverso en los niveles de glucocorticoides. También señalan que se cree que los patrones circadianos del cortisol circulante, son ocasionados principalmente por los cambios plasmáticos en la ACTH, en respuesta a los cambios circadianos en la liberación de la CRH.

En un estudio realizado en ovejas, éstas mostraron un ritmo ultradiano en el nivel plasmático de cortisol, el cual se sobrepuso a un ritmo diario. El nivel de cortisol comenzó a aumentar más dramáticamente inmediatamente después de la oscuridad, alcanzando el pico después de la medianoche y entonces declinó a sus niveles bajos hacia la tarde (Fulkerson y Tang, 1979).

Aunque la frecuencia de los episodios de secreción de cortisol parecen ser similares en el hombre y en la oveja, la vida media del cortisol es más corta en la oveja -69 a 73 minutos-, que en el hombre -95 minutos- (Fulkerson y Tang, 1979).

Una vez que el estrés se detecta, los organismos intentan evadirlo mediante una respuesta de comportamiento. Si esta respuesta no se presenta, en los procesos metabólicos pueden ocurrir, varios cambios mediados por hormonas. Los más rápidos de éstos involucran cambios en la actividad enzimática seguida por cambios en los sustratos y en los efectores. Cambios metabólicos más lentos involucran la síntesis de enzimas o los procesos degradativos, aunque estos pueden ocurrir sin embargo en pocos minutos. A los organismos que se oponen a los efectos dañinos de un estrés, con recuperación parcial o completa, se les considera que muestran aclimatación, caso en el que el organismo mostró un restablecimiento de la homeostasis y por lo tanto adquirió una resistencia incrementada al estrés (Hoffmann y Parsons, 1991).

Se ha sugerido que los niveles elevados de cortisol pueden explicar las pérdidas de producción y la susceptibilidad aumentada de los animales a las enfermedades durante las situaciones de estrés (Dantzer y Mormede, 1983). Esto tal vez pueda ser explicado por el hecho conocido de que el estrés afecta al sistema inmune de los animales de granja, debido a que la inmunidad se

reduce tanto por el cortisol como por las catecolaminas, y también han sido reportadas las acciones catabólicas de estas hormonas en los elementos corporales (Nwe et al., 1995). Sin embargo, de acuerdo con von Borell (1995), existen circunstancias en que el estrés parece incrementar en forma inespecífica la resistencia a enfermedades. Por ejemplo, señala que en pollos, la resistencia al Newcastle o al Marek se deprime en condiciones de estrés social, mientras que la resistencia al *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* e infestaciones parasitarias se incrementa, explicando este fenómeno debido a que en las enfermedades que involucran una inflamación general o la formación de endotoxinas, el estrés a menudo parece aliviar, lo cual es debido al efecto anti inflamatorio de los glucocorticoides liberados durante el estrés.

Aunque junto con la adrenalina y la noradrenalina, la hidrocortisona es esencial para sobrevivir al estrés físico (por ejemplo para la evasión de un depredador), ésta puede ocasionar efectos adversos cuando su secreción es sostenida, pudiendo afectar al cerebro (tal y como se ha observado en ratones), particularmente al hipocampo, una estructura vital para el aprendizaje y la memoria y poseedora de altas concentraciones de receptores de cortisol. En estos animales, pocos días de estrés o una sobre exposición al cortisol, daña a las neuronas del hipocampo, comprometiendo su habilidad para sobrevivir a isquemias, y después de semanas, el exceso de cortisol causa atrofia irreversible de las dendritas del hipocampo, mientras que la sobre exposición durante meses, puede causar pérdida permanente de neuronas del hipocampo. Evaluándose la probabilidad de un daño similar en otros animales, incluido el hombre (Sapolsky, 1996).

Debido a la complejidad del estrés y a la variedad de perspectivas de trabajo de los científicos en este campo, es improbable una teoría unificadora que pueda ser aceptada en un futuro previsible por los científicos, además de que las definiciones de estrés que excluyen cualquier consideración de los aspectos del comportamiento dominan la literatura (Friend, 1990; Mal et al., 1991).

Las medidas objetivas son cruciales para la evaluación del umbral del estrés y para el desarrollo de relaciones funcionales entre las respuestas y los agentes estresantes. Sin embargo, un indicador total del estrés permanece elusivo, debido a que la respuesta a los agentes causantes de estrés es completamente complicada (Hahn et al., 1992), ya que las adaptaciones de los animales al estrés son numerosas y las condiciones hormonales del animal indudablemente se afectan (Farmer et al., 1991).

## 8 El bienestar animal

La definición de bienestar de Hurnik señala que es un estado de armonía física y fisiológica entre el organismo y su entorno, caracterizado por la falta de privación, de estimulación adversa, de sobreestimulación, o de cualquier otra condición impuesta que afecte adversamente la salud y productividad del organismo. Sin embargo, el bienestar animal es relativo al hombre y no a los animales, y por lo tanto, son los científicos sociales y no los científicos de los animales los que deben centrarse en este debate (Newman, 1994).

Otra definición de bienestar animal lo señala como la forma en que un animal intenta acoplarse a su medio ambiente, refiriéndose a cuánto está haciendo el individuo para acoplarse -por ejemplo cuánto acoplamiento de respuesta fisiológica o de comportamiento está mostrando-, así como qué tanto falla en el acoplamiento, con el daño consecuente a sus habilidades individuales (Broom, 1993).

No existe una definición universal de bienestar animal, debido a que la idea de bienestar puede estar dominada por percepciones humanas y por lo tanto, la evaluación de los estándares de bienestar puede estar basada en lo que los observadores creen que es bueno o malo, por lo que los humanos deciden cuales condiciones son aceptables para el animal y que nivel de incomodidad debe soportar con relación a las necesidades y prioridades humanas (Newman, 1994). Por otra parte, Simm *et al.* (1996), plantean que aunque el bienestar es notoriamente difícil de definir, parece razonable asumir que aquellos animales que se adaptan mejor a un medio ambiente particular, pueden tener un mayor bienestar que aquellos que no lo hacen.

De acuerdo con la apreciación de que el bienestar se caracteriza por la ausencia del sufrimiento y la salud por la ausencia de enfermedades, no podemos esperar un estado de absoluto bienestar o salud (von Borell, 1995), aunque también se suele visualizar al bienestar como un continuo desde lo bueno hasta lo malo, con el bienestar considerado como la parte buena de la escala. Sin embargo, se ha propuesto que existe un nivel intermedio de estrés que es óptimo para el individuo, debido a que el estrés no puede ser evitado totalmente y la completa libertad del estrés sólo ocurre en la muerte (Newman, 1994).

Con base en la premisa de que si el estrés se incrementa, el bienestar disminuye, los cambios fisiológicos y de comportamiento asociados con la

respuesta de un animal al estrés han sido usados ampliamente como indicadores de bienestar, (Diverio et al., 1996).

Para Broom (1993), los mejores indicadores de problemas a largo plazo para un animal, son frecuentemente las medidas del comportamiento. Los cambios en el comportamiento se pueden cuantificar tan precisamente como los cambios fisiológicos y las medidas pueden ser realizadas usualmente con menos molestia para el animal. Las anomalías en la locomoción son los cambios de comportamiento más simples de registrar y pueden indicar dolor localizado. Las modificaciones en el comportamiento de la alimentación, sexuales o sociales, también pueden ser reconocidas si las observaciones se realizan en las condiciones experimentales apropiadas.

Los indicadores de bienestar incluyen la variación en la expectativa de vida (por ejemplo el lapso de vida corta debida a la productividad incrementada), el reducido éxito reproductivo (por ejemplo cuando se estudian bajo esquemas diferentes de hospedaje y manejo), cambios en el peso (no confundir con pérdidas de peso temporales debidas al parto o lactación), incidencia de enfermedades (por ejemplo la susceptibilidad incrementada debida al hacinamiento), medidas anatómicas defectuosas (por ejemplo huesos débiles por falta de ejercicio), tasa cardiaca y medidas de sangre (a corto plazo), medidas de función adrenal (incomodidad localizada; sólo de corto plazo), función del sistema inmune (por ejemplo dificultad para enfrentarse al medio ambiente), opioides (por ejemplo la autonarcotización como un mecanismo de enfrentamiento; -medida a corto plazo-), y el mejor indicador de problemas a largo plazo; El comportamiento (Newman, 1994).

Cuando los animales son incapaces de desarrollar el comportamiento que desean, o están frustrados o en una situación en la cual tienen insuficiente control sobre sus interacciones con el medio ambiente, pueden ocurrir una variedad de respuestas del comportamiento. El animal puede mostrar estereotipos o automutilación, excesiva agresión o inactividad o bien, falta de respuesta. Muchas de las medidas del comportamiento indican que algunos aspectos generales o específicos del medio ambiente con el cual el animal interactúa, son dañinos (Broom, 1993; von Borell, 1995).

El bienestar de los animales domésticos importantes para la agricultura es un tópico de gran interés. Debido a esto, las naciones más industrializadas han promulgado leyes para los animales usados en la agricultura. Sin

embargo, nuestro conocimiento sobre el bienestar, el estrés y la producción animal es incompleto (Rhodes et al., 1994).

En el pasado, la mayoría del interés del público sobre el bienestar de los animales de granja y la mayoría de los esfuerzos en la investigación, se han dirigido al ganado criado en forma intensiva, particularmente a los cerdos y a las aves, enfocándose principalmente sobre los efectos de las prácticas de manejo intensivo sobre el bienestar animal (Simm et al., 1996), sin embargo, hay que considerar que cualquier animal que está cambiando fenotípicamente por procedimientos convencionales de crianza, puede tener más o menos problemas para acoplarse con su medio ambiente que sus padres o sus antecesores remotos (Broom, 1993), aunado a que durante las décadas pasadas se ha realizado una abundante investigación para caracterizar y disminuir los efectos nocivos del estrés calórico sobre la producción de leche, la reproducción y la salud de las vacas lecheras en lactación (Ominski et al., 2002).

## **8.1 Los índices climáticos del bienestar animal.**

En el problema para la definición de un método para obtener un buen indicador que exprese el efecto del medio ambiente sobre una persona o un animal doméstico, se involucran tres conjuntos de variables:

- a) Las condiciones del medio ambiente: temperatura, humedad, movimiento del aire, calor por radiación, precipitación.
- b) Las características individuales: especie, raza y tipo, estado metabólico, cubierta para aislamiento, edad y sexo, aclimatación, nutrición e hidratación, trastornos y enfermedad, variación individual.
- c) Los criterios del efecto: productividad, crecimiento, reproducción, respuestas fisiológicas, patrones fisiológicos (Lee, 1965; Ravagnolo y Misztal, 2002).

## **8.2 Los indicadores ambientales**

Dentro de los esfuerzos por definir un indicador que pueda servir para identificar el efecto que el medio ambiente tiene sobre los animales domésticos, se pueden referir por ser de los más sencillos de obtener y útiles en la ganadería a los siguientes:

### 8.2.1 La zona termoneutral y la temperatura crítica superior

Se ha adoptado como definición internacional de zona termoneutral la de Bligh y Johnson (1973), quienes la definen como *el rango de temperatura ambiental dentro de la cual, la tasa metabólica esta al mínimo, y la regulación de la temperatura se logra únicamente por procesos físicos no evaporativos*. Los mismos autores señalan que los procesos físicos no evaporativos de la regulación de la temperatura consisten de aquellas respuestas autonómicas y de comportamiento que varían la conducción térmica entre el organismo y el medio ambiente, por ejemplo, mediante variaciones en el tono vasomotor periférico y la piloerección, y a través de cambios en la conformación corporal, pero que excluye cambios en la conducción térmica debidos a aislamiento externo adicional (por ejemplo vestiduras). Por otra parte Di Constanzo et al. (1997), aclaran que los niveles de calor en el cuerpo son causados por gradientes térmicos a través de la piel y los sitios ambientales.

Los animales domésticos, dependiendo de las especies y el nivel de productividad, tienen una zona medio ambiental óptima y deben ser mantenidos dentro de esta zona para su óptimo crecimiento y lactación y para el adecuado desarrollo de sus funciones reproductoras. Sin embargo, a pesar de que algunos investigadores han descrito la zona termoneutral para varios mamíferos, el medio ambiente total es complejo y no ha sido bien documentado para determinar el medio ambiente óptimo para la lactación, el crecimiento y la reproducción de todo los tipos de animales domésticos, incluyendo la fisiología normal y las acciones del comportamiento (Johnson, 1987).

Gaughan et al., (1999) señalan que en el subtrópico, los cambios de humedad durante los meses de verano y en el trópico, los cambios de temperatura disminuyen la reproducción y el mejoramiento de la susceptibilidad al calor para las líneas del ganado de carne. Se ha señalado que la hipertermia relacionada con el estrés calórico en vacas puede inhibir directamente la función de los oocitos, pudiendo tener efectos nocivos sobre su crecimiento, sobre su síntesis de proteína o para la formación de los transcritos requeridos para el subsiguiente desarrollo embrionario, y que aunque la división celular no se reduce durante el clima caliente, los cigotos formados durante el verano

tienen una competencia reducida para desarrollarse al estado de blastocito (Al-Katanani et al., 2002).

Respecto a la productividad animal, se considera que cuando los animales se encuentran fuera de la zona termoneutral (en la que tienen su mayor productividad), y cuando la necesaria aclimatación a causa de los climas severos no ocasiona una compensación -reducción- excesiva en el crecimiento o en la producción de leche, entonces los animales son "más adaptables para el clima de la región" (Johnson, 1987), considerándose para vacas, que la zona termoneutral está entre 0°C y 16°C, experimentando éstas un estrés calórico cuando la temperatura está sobre 23.8°C a una humedad relativa del 80% (duPreez et al., 1991).

La temperatura crítica superior se define como la temperatura ambiente arriba de la cual un animal en reposo termorregulatorio, utiliza procesos termorreguladores evaporativos de pérdida de calor (Bligh y Johnson, 1973), y se ha considerado que para vacas en lactación puede estar entre los 24°C y 27 °C. (Ominski et al., 2002).

En varios experimentos se ha encontrado que la producción de calor varía con la temperatura ambiental y el consumo de alimento, y que la temperatura óptima para la eficiencia energética disminuye con el incremento en el consumo de alimento. Es evidente que al incrementarse el consumo de alimento se produce una disminución tanto en la temperatura crítica inferior como en la temperatura a la cual puede ocurrir la hipertermia (Li et al., 1992).

Se ha señalado (Di Costanzo et al., 1997) que bajo estrés calórico, el uso del alimento ocasiona disminuciones en la producción de leche, mencionándose como ejemplo, que las condiciones de verano y las condiciones de humedad pueden disminuir la producción láctea en un 10 a un 35% anual. Esta depresión puede ser atribuida a una reducción del consumo de alimento que ocurre cuando la temperatura rebasa los 27°C para vacas y los 22°C para cerdas (Renaudeau et al., 2003). Para prevenir la hipertermia y aumentar el rendimiento de los animales de engorda, durante el verano se deben de implementar estrategias de manejo diseñadas para alterar el pico y/o el patrón de la temperatura corporal dentro de las cuales se pueden señalar la alteración del consumo de alimento, el tiempo de alimentación, la concentración de la energía en la dieta o proveer una forma de enfriamiento externa en forma de rociadores, controlando el micro clima para proporcionar protección del medio ambiente; Sin embargo, no se requiere eliminar completamente el estrés ambiental sino minimizar el reto ambiental y

ayudarles a adaptarse al mismo (Davis et al., 2003; Mader et al., 2002; Mitlohner et al., 2002), o usar sistemas evaporativos para bajar la temperatura, y alimentar al ganado durante las horas más frescas del día o de la noche y así incrementar tanto la eficiencia productiva como la reproductiva en el ganado lechero. Se ha demostrado que el ganado Jersey es más adaptable que el Holstein a las altas temperaturas y que con el uso de estas técnicas se puede mejorar el rendimiento de la producción láctea. (Keister et al., 2002; Ominski et al., 2002).

Para las cabras, se han reportado como temperaturas críticas superiores para las razas Árabe de Egipto y la Zaraiby, temperaturas de 30 a 25°C y para Beduinas de 28°C. A pesar de que Appleman y Delouche (1958) sugieren que el límite de tolerancia calórica de las cabras se ubica entre los 35°C y los 40°, basados en los datos disponibles es razonable concluir que la temperatura crítica superior de las cabras en mantenimiento está entre los 25°C y los 30°C, y que el estrés calórico ocurre cuando las cabras se exponen a temperaturas ambientes superiores a los 30°C. Este valor es superior que el del ganado bovino para carne y para leche (Lu, 1989).

### **8.3 El Índice de Temperatura - Humedad y el Índice de Globo Negro-Humedad**

También puede utilizarse para una caracterización general de los efectos del clima sobre el rendimiento animal, el Índice de Temperatura-Humedad (THI por sus siglas en inglés), que se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$THI = Tdb + .36 Tdp + 41.2^{\circ}C$$

donde Tdb = a la temperatura (°C) del bulbo seco y, Tdp = la temperatura de punto de rocío (°C). Así, sobre 72 THI, el ganado Holstein desarrollado en clima templado, inicia a ser menos productivo, dependiendo principalmente del período que permanezca sobre 72 THI. Algunas zonas climáticas están sobre 72 THI: durante 12 meses, Malasia; de 7 a 8 meses, Tabasco, México; de 4 a 6 meses, Egipto; de 3 a 4 meses, Arizona. Estas temperaturas críticas superiores e inferiores, varían con la raza de ganado (Johnson, 1987). También se ha reportado un valor para el THI de 70 o menos como normal, considerando a los superiores a 70 como estresantes para el ganado (duPreez et al., 1991; Ravagnolo y Misztal, 2002).

Otro índice climático que se ha utilizado para cuantificar los efectos que las condiciones meteorológicas imponen sobre el bienestar y la producción de

los animales domésticos es el Índice de Globo Negro-Humedad (BGHI por sus siglas en inglés), que integra la temperatura de bulbo seco, la humedad, la radiación neta y el movimiento del aire dentro de un valor único, creado al incluir en la ecuación del THI, la temperatura de globo negro en lugar de la temperatura de bulbo seco (Buffington et al., 1981).

El BGHI es un indicador más preciso del confort y rendimiento animal que el THI cuando los animales están expuestos a un nivel significativo de radiación. Sin embargo, bajo condiciones de niveles bajos o moderados de radiación térmica, tanto el BGHI como el THI son igual de efectivos como indicadores del confort animal. El BGHI se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{BGHI} = \text{Tbg} + .36 * \text{Tdp} + 41.5$$

donde Tbg = temperatura de globo negro (°C) y Tdp = temperatura de bulbo seco (°C) y se ha observado que la temperatura rectal y la tasa respiratoria de las vacas lecheras se relacionan directamente con el BGHI, mientras que con la producción de leche y la eficiencia productiva está inversamente relacionado (Buffington et al., 1981).

Roth *et al.* (1990), cuestionan este sistema de medición de la adaptabilidad, ya que los ajustes adaptativos del sistema termorregulador involucran cambios en la capacidad de los sistemas efectores y cambios en el umbral y en la ganancia de los efectores termorreguladores, ocasionando estas modificaciones una amplitud del rango de las temperaturas medias corporales entre la activación del tiritar y de la disipación de calor, a las cuales se les ha denominado "zona entre los umbrales".

Por último, en Australia se desarrolló un sistema de predicción bioclimática a partir de los siguientes doce parámetros derivados del clima (Hoffmann y Parsons, 1991)

1. Temperatura media anual
2. Temperatura mínima del mes más frío
3. Temperatura máxima del mes más caliente
4. Rango anual de temperatura (3 - 2).
5. Temperatura media del trimestre más húmedo
6. Temperatura media del trimestre más seco
7. Precipitación media anual
8. Precipitación del mes más húmedo

9. Precipitación del mes más seco
10. Rango anual de precipitación (8 - 9).
11. Precipitación del trimestre más húmedo
12. Precipitación del trimestre más seco

## **9 ¿Cómo se mide la adaptación?**

Para determinar si un animal de una especie particular, raza, nivel de producción o estado de aclimatación se encuentra en un medio ambiente estresante o no, se requiere una comparación del rendimiento productivo, la fisiología y el comportamiento en una variedad de medios ambientes precisamente definidos, con indicadores de estrés o no, igualmente bien definidos (Johnson, 1987).

De acuerdo a los anteriores requisitos, para la determinación de un estado de estrés como consecuencia del efecto de los retos ambientales del desierto, es necesario identificar que parámetros en el rendimiento productivo, que tipos de respuestas fisiológicas, así como que aspectos del comportamiento deben ser medidos y comparados para poder definir si existe o no, una diferente respuesta adaptativa entre animales de diferentes especies o razas a los retos ambientales del desierto.

En muchos estudios se incluye la medida de los niveles sanguíneos de los productos adrenales como un indicador de las respuestas de los animales a períodos cortos de estrés (Broom, 1988), existiendo la convención de que los animales que exhiben una concentración plasmática de cortisol más alta que la normal, están en un estado de estrés, (Barnett y Hemsworth, 1990; Dantzer y Mormede, 1983) describiéndose como agente estresantes a las condiciones que producen tales cambios hormonales, (1983), sin embargo, los mecanismos celulares mediante los que tales cambios adrenocorticales ocurren no están completamente definidos (Klemcke, 1994). También se ha utilizado como indicador de la capacidad de adaptación, el mantenimiento de algunos constituyentes plasmáticos -entre ellos el sodio y el potasio- dentro de rangos homeostáticos (Collier et al., 1981; Okab et al., 1992; Olsson et al., 1995). Sin embargo, a la fecha no se ha encontrado un indicador específico para medir la habilidad adaptativa a las condiciones estresantes que imponen las zonas áridas sobre los animales domésticos.

Sin embargo, las diversas interacciones de un individuo con su medio ambiente dependen de un gran conjunto de parámetros, todos los cuales pueden ser considerados simultáneamente en una exacta definición de habilidad y esto puede constituir un problema excesivamente complejo en todos los casos de interés (Torres, 1991).

## **9.1 El rendimiento productivo y la adaptación al medio**

Los animales con alto potencial genético para una elevada productividad, pueden tener menos ventajas o aún, tener desventajas en un medio ambiente restrictivo (Devendra, 1980; Ferrell y Jenkins, 1985; Johnson, 1987), ya que los requerimientos medio ambientales varían para cada especie y para cada individuo dentro de las especies, variación basada en la adaptabilidad genética, a causa de ciertas características fisiológicas, bioquímicas, neuroquímicas y de comportamiento (Alba y Kennedy, 1996). Debido a esto, para el desarrollo de un efectivo programa de crianza, se requiere conocer la forma en que se expresan bajo condiciones de restricción ambiental, los parámetros genéticos de aquellas características de importancia económica los cuales pueden diferir los expresados en medios ambientes templados (Johnson, 1987).

Existen diferentes criterios para la definición de un animal adaptado a un medio. Para la industria ganadera, la cualidad de un animal bien adaptado esta relacionada con su rendimiento productivo (Simm et al., 1996).

La domesticación del ganado es un proceso que comenzó alrededor de hace 9,000 años, y a través de ella los humanos han seleccionado aquellos animales más adecuados para la producción de alimentos u otros propósitos (Newman, 1994; Simm et al., 1996) aunque esto se logra a menudo a expensas del bienestar animal, pudiendo presentarse éxitos contradictorios de un incremento en la producción contra el bienestar. Por ejemplo, existe evidencia de una relación negativa entre el peso corporal y la reproducción (Newman, 1994) (Broom, 1993).

Los efectos positivos de reducir las respuestas de temor hacia el hombre, han sido importantes en la domesticación de los animales. Dentro de los efectos negativos se incluyen aquellos debidos a la necesidad de reproducir características físicas que producen placer estético para los humanos (Broom, 1993).

Las diferencias individuales en la reacción al medio, son relevantes para los estudios de bienestar animal (Manteca y Deag, 1993).

Los efectos combinados de una alta temperatura ambiental del aire, humedad relativa y radiación solar, tienen profundos efectos sobre la producción láctea, el rendimiento reproductivo y la salud del ganado lechero (Shearer y Beede, 1990). El rendimiento reducido bajo condiciones de estrés por calor o frío, es debido entre otros factores a los efectos asociados sobre la regulación térmica, el balance energético, el balance de agua y cambios endocrinos (Johnson, 1987).

Teóricamente, si la temperatura del medio ambiente se incrementa sobre la temperatura crítica superior, el animal se esfuerza por mantener su balance calórico, o la homeotermicidad se vuelve prioritaria sobre los procesos productivos. (Johnson et al., 1991)

El estrés calórico afecta la productividad del ganado (Guerriero y Raynes, 1990; Mohammed y Johnson, 1985) Existe una gran cantidad de estudios que determinan como el efecto de las condiciones térmicas extremas, principalmente el calor y la sequía, determinan una menor capacidad productiva de los animales, manifiesta como reducción en la producción láctea (Abdalla et al., 1993; duPreez et al., 1990; Johnson et al., 1991), en la disminución del peso al nacimiento (Bell et al., 1989; Dreiling et al., 1991; Early et al., 1991), menos fecundidad (duPreez et al., 1991), pobre velocidad de crecimiento (duPreez et al., 1990), disminución en la producción de lana (Mathur et al., 1991), mortalidad periódica (Di Costanzo et al., 1997; Ketelaars y Tolkamp 1992; Schacht et al., 1992).

Es indudable que la productividad de los animales está ligada en forma directa a su alimentación. El consumo de alimento es el primer paso en el proceso que convierte al alimento en productos valiosos para el consumo humano, tales como la leche y la carne, y la cantidad de alimento que los rumiantes consumen voluntariamente, influye profundamente la eficiencia de sus procesos de conversión. Se ha demostrado que el consumo voluntario de alimento de los rumiantes varía como una función de las características del alimento, del animal y de su medio ambiente (Ketelaars y Tolkamp 1992). Finalmente, Di Costanzo (1997) señala que las condiciones de verano y las condiciones de humedad pueden disminuir la producción Láctea de un 10 a un 35% anualmente y que esta depresión puede ser atribuida a una reducción del consumo de alimento que ocurre cuando la temperatura rebasa los 27°C.

## **9.2 Respuestas fisiológicas de adaptación al medio.**

Otros criterios asociados con la adaptación, se relacionan con mecanismos como: el metabolismo hídrico (Downs y Perrin, 1991; Freudenberger y Hume, 1993; Maltz y Shkolnik, 1984; Silanikove, 1992), mecanismos homeostáticos (Sneddon et al., 1993), mecanismos hormonales (Langhans et al., 1991; Okab et al., 1992); eficiencia energética (Maddox, 1991; Reeve, 1993; Silanikove, 1986); ajustes circulatorios (Edwards, 1991; Silanikove, 1992); procesos de ajuste a los ciclos naturales tales como la estacionalidad de los partos (Maltz y Shkolnik, 1984), el rendimiento o éxito reproductivo (Reeve, 1993) y parámetros de calidad seminal (Wildeus y Hammond, 1993). Otros rasgos se relacionan con características morfológicas, como la superficie de la capa de pelo (Dmi'el et al., 1980), la morfología renal (Downs y Perrin, 1991) e intestinal (Alam et al., 1987; Sengupta y Sharma, 1993), tipo y disposición de grasa corporal (Devendra, 1987), densidad y morfología de las glándulas sudoríparas (Bhayani y Vyas, 1990) tamaño corporal (Devendra, 1987) y rasgos que se refieren a características conductuales (Butterworth, 1987).

A pesar de que los factores que participan en la respuesta orgánica al estrés calórico medio ambiental se encuentran tan ligados, con el fin de precisarlos se abordarán por separado algunos de los más importantes.

## **10 Consumo de alimento**

Las respuestas en el consumo de alimento a la temperatura parecen ser adaptativas. El apetito se comporta como si fuera un mecanismo termorregulador. Puesto que el consumo de alimento se asocia con la producción de calor, una disminución en la temperatura debe provocar un incremento en el consumo de alimento, para incrementar la producción de calor y mantener al animal caliente; por el contrario, el consumo de alimento debe disminuir cuando la temperatura se incrementa de tal forma que la producción de calor disminuya y el animal se mantenga fresco (Appleman y Delouche, 1958; Kouba et al., 2001), ya que en condiciones de estrés calórico puede tener una reducción de consumo de alimento, baja ganancia de peso y en casos extremos la muerte (Ravagnolo y Misztal, 2002).

Un ejemplo muy notable de lo señalado en el párrafo anterior es el de las aves, en las que en los meses de verano, las condiciones de temperatura ambiental alta influyen en el crecimiento y el rápido desenvolvimiento de la industria

avícola (Umphrey et al., 2001). En el ganado porcino los animales estresados por altas temperaturas disminuyen el consumo del alimento para reducir su producción de calor metabólico y mantener la homeotermicidad creciendo menos. Sin embargo, este crecimiento reducido provoca cambios en la distribución del tejido adiposo con un incremento en la grasa abdominal, teniendo como consecuencia que los animales tenidos a temperaturas elevadas son mas grasos que los mantenidos a temperaturas mas bajas. El incremento de grasa se dirige a los sitios internos, lo cual reduce el aislamiento térmico, produciéndose un sistema de adaptación al los medios con temperaturas altas. (Aganga, 1992). Por otra parte se ha observado En vacas la caída de la reproducción se debe a una baja considerable del consumo de alimento y como consecuencia un balance energético deteriorado (Abdelatif y Ahmed, 1994; Umphrey et al., 2001).

La primera reacción de un animal a la disminución de su consumo de agua, es una reducción en el consumo voluntario de pienso (Aganga, 1992; Mader et al., 2002), y la evidencia experimental ha demostrado la influencia de la interacción entre el medio ambiente térmico y la composición de la dieta, sobre la tolerancia al calor y la utilización del alimento en los rumiantes, aceptándose que la hipertermia está usualmente asociada con una depresión en el consumo de alimento, en los requerimientos de mantenimiento, y la consecuente reducción en la eficiencia bioenergética (Abdelatif y Ahmed, 1992; Mader et al., 2002; Mousa y Elkalifa, 1992). Se ha señalado que bajo condiciones de estrés calórico se encuentra un decremento de la absorción de proteínas y aminoácidos digestivos en dietas completas, observándose que el intestino delgado Teniendo que La retención de minerales, glucosa y lactosa es menor a temperaturas altas. (Mader et al., 2002)

La susceptibilidad a la carencia de agua varía con la edad, siendo más sensibles a la privación de agua los animales jóvenes (Mousa y Elkalifa, 1992). Por otra parte, se tiene conocimiento que la privación total o parcial de agua -una de las condiciones de las zonas áridas- inhibe la alimentación en el hombre y en las diferentes especies animales, incluyendo a los rumiantes (duPreez et al., 1990; Mohammed y Johnson, 1985; Roth et al., 1990), la cual se puede explicar como una respuesta a la hipertonicidad plasmática o a la hipovolemia y en los rumiantes, por el incremento en la tonicidad del fluido ruminal, (Butterworth, 1987; Edwards, 1991; Freudenberg y Hume, 1993; Langhans et al., 1991). Por otra parte, el abastecimiento escaso de agua, desarrolla la eficiencia en la utilización del alimento por las razas de rumiantes desérticos (Mousa y Elkalifa, 1992).

El exceso de calor impide el consumo de alimento en caballos (Cymbaluk y Christison, 1990) y en rumiantes (Devendra, 1987; duPreez et al., 1990; Mualem et al., 1990; Sengupta y Sharma, 1993), aunque los rumiantes del desierto tienen una mayor habilidad para mantener su apetito (Shkolnik et al., 1980; Silanikove, 1992). La reducción en el consumo de alimento se relaciona con una mayor capacidad en el aprovechamiento de los nutrientes del mismo (Butterworth, 1987; Silanikove, 1987), el cual en condiciones de calor excesivo, está adversamente afectado en su calidad, principalmente por un incremento en los constituyentes fibrosos y un bajo contenido de nitrógeno (Mualem et al., 1990). La reducción alimenticia se explica como un decremento metabólico en la utilización de nutrientes, una disminución de la producción por altas temperaturas aunada a una reducción de la producción de proteínas. (Bonnet et al., 1997). Por otra parte, Silanikove(1992) , reporta una menor velocidad de pasaje de la ingesta en el tracto gastrointestinal y un incremento en la digestibilidad de las dietas de forraje por el estrés calórico a causa de un consumo de agua infrecuente.

Durante la deshidratación, existe un incremento en la digestibilidad la cual no está relacionada con los cambios en el consumo de alimento, sugiriéndose que la tasa de pasaje reducido puede ser causada por cambios hormonales (Silanikove, 1987).

La disminución en el consumo de alimento es la razón principal para una disminución en la producción de leche, sin embargo, se ha encontrado que cuando las vacas lecheras son forzadas a comer a través de fistulas ruminales, la producción de leche a 31°C es de un 10% menor que para las mismas vacas a 18°C, concluyéndose que la declinación en la producción de leche se debe a otros factores distintos al consumo de alimento (McDowell et al., 1969). Así pues, las vacas sujetas a temperaturas ambientales calientes y alimentadas con dietas altas en proteínas de una alta degradabilidad produjeron menos leche, comparada con aquellas con una dieta con proteína alta y una degradabilidad media o, con dietas con proteína media con una alta o baja degradabilidad. La producción de leche no fue afectada por el porcentaje de proteína o por la degradabilidad de la proteína a temperaturas moderadas (Ominski et al., 2002).

## **11 RESPUESTAS FISIOLÓGICAS**

Dentro de las respuestas fisiológicas, la temperatura corporal y la tasa respiratoria indican el grado de eficiencia de los procesos termorreguladores

del cuerpo y por lo tanto, la habilidad de un animal para continuar satisfactoriamente su rendimiento económico bajo el estrés calórico (Harris et al., 1960). Así, el estrés medio ambiental productor de hipertermia en los animales, activa procesos fisiológicos compensatorios (Abdelatif y Ahmed, 1992).

El incremento en la temperatura ambiental a extremos que alcanzan a la temperatura crítica superior, ocasiona una serie de respuestas compensatorias que en el caso de las cabras de raza Alpina (Appleman y Delouche, 1958), provoca al incrementarse la temperatura ambiental a 40°C: a) disminución en el tiempo utilizado para el consumo de forraje, b) incremento en el consumo de agua, en la frecuencia de bebida y el tiempo dedicado a beber, c) disminución en la tasa de rumia, en la agresividad, y en el tiempo utilizado para mantenerse de pie y para moverse, d) incremento en la temperatura rectal, un pequeño cambio en el patrón del pulso, y un tremendo incremento en la tasa respiratoria, e) no se observaron cambios aparentes en la densidad específica ni de la sangre entera ni del plasma sanguíneo, aunque aparentemente disminuyó el hematócrito y, f) disminución en los cloruros y aumento en las proteínas plasmáticas.

Las aves y los mamíferos mantienen constantes por largo tiempo sus temperaturas corporales internas mediante: a) la disminución al mínimo de la conductividad térmica con plumaje o piel, y en algunos casos a través del almacenamiento de cantidades significativas de grasa subcutánea, y b) sosteniendo una producción de calor metabólico equivalente a la velocidad a la cual el calor corporal se pierde al medio ambiente (Ruben, 1995). Sin embargo, en las aves, la elevación de la temperatura corporal ocurre cuando las temperaturas ambientales tienen un incremento significativo mayor a los 41 grados (Cooper y Washburn, 1998)

Otra manera de medir la respuesta de los animales al efecto de las altas temperaturas ambientales es la de determinar como se altera su temperatura corporal a la cual se puede añadir la modificación en la tasa respiratoria (Abdalla et al., 1993; Azab et al., 1992), aunque también se han determinado en ratas y en humanos, aumentos en la temperatura central y en la del colon por estrés psicológico (Briese et al., 1991).

Es bien conocido que la tasa metabólica de los mamíferos en general, se incrementa con los aumentos en la temperatura corporal -p. e. en la fiebre-, y disminuye cuando la temperatura corporal desciende -por ejemplo en la hipotermia y en la hibernación- (Schmidt-Nielsen et al., 1967).

La cantidad de calor requerida para mantener una temperatura dada, es por supuesto exactamente igual a la cantidad de calor perdido al medio ambiente y depende de muchos factores tales como las diferencias de temperaturas, el área superficial y la conductividad de un cuerpo, pero es independiente del calor específico (Dunitz y Benner, 1986).

La habilidad para regular la temperatura permite que ésta sea utilizada como un signo del control de los procesos fisiológicos (Bitman et al., 1984). Se ha determinado que la temperatura rectal es un buen indicador del estrés calórico, sugiriendo utilizar la temperatura corporal como una medida de aclimatación en pollos (Lott, 1991). El mantenimiento de una temperatura particular puede ser determinado primariamente, por el balance entre las capacidades para producir y disipar calor (McArthur y Clark, 1987), pero de las posibles estrategias de adaptación a los medios ambientes calurosos, la baja producción de calor puede ser más decisiva que la habilidad para disiparlo (Gall, 1991).

La homeotermicidad es el resultado de las fluctuaciones mínimas en el contenido de calor corporal de los animales, de tal forma que puede expresarse por la ecuación de balance calórico: Producción de calor (HP) = pérdida de calor (HL)  $\pm$  calor almacenado. La producción de calor es una medida de la suma de la transformación de la energía, la cual tiene lugar en el animal por unidad de tiempo y cuya tasa esta regulada por el tamaño, la especie y la raza del animal, la temperatura medio ambiental, el consumo de alimento y agua, el nivel de productividad y el nivel de actividad física (Yousef, 1987).

En un medio ambiente caliente, los mamíferos pueden defenderse contra la hipertermia por un incremento en la pérdida de calor, por una disminución en la producción de calor o, por una combinación de ambos (Olson et al., 2003; Yousef, 1987). En estudios de pequeños y grandes animales del desierto, se ha revelado que algunas especies tienen menos producción de calor en reposo que las especies no desérticas de tamaño corporal similar, siendo esta menor producción de calor, un mecanismo adaptativo útil, ya que disminuye al mínimo la necesidad de alimento y agua, los cuales son apremiantes en el desierto (Silanikove, 1986).

Existen datos que indican una diferente respuesta racial -medida como temperatura corporal- a la temperatura ambiental (Bell et al., 1989; Gall, 1991). Sin embargo, debe analizarse cuidadosamente si es adecuado caracterizar o no una adaptación, con base en el incremento de la temperatura corporal en respuesta a temperaturas medio ambientales elevadas, debe ser

analizada cuidadosamente debido al fenómeno de la labilidad homeotérmica, considerada esta como un mecanismo adicional, utilizado por algunas especies para incrementar su temperatura corporal durante las partes más calientes del día, provocando así: a) conservación del agua como resultado de almacenar el calor corporal y, b) reducción de la ganancia de calor a partir del medio ambiente circundante, como resultado de la reducción del gradiente entre la temperatura corporal y la ambiental (Yousef, 1987).

El fenómeno de la labilidad homeotérmica ha sido descrito principalmente en el camello (Butterworth, 1987; Roth et al., 1990), mientras que en otras especies tanto pequeñas como grandes, como en la gacela de Grant y otros animales del desierto, se han señalado tendencias similares (Yousef, 1987). En ratas, se ha reportado una tendencia de elasticidad térmica, aunque más hacia la poiquilothermicidad (Bennett et al., 1993).

Aunque en general, las cabras no se consideran mamíferos termolábiles (Devendra, (1987), existen evidencias de que algunas razas adaptadas a temperaturas elevadas, hacen uso de la posibilidad de almacenar calor en exceso al incrementar la temperatura ambiental durante el día y así ahorrar agua bajo condiciones de aridez, por lo que esta posibilidad necesita ser considerada, cuando la temperatura corporal se utiliza como un criterio de tolerancia al calor (Gall, 1991).

Si en un medio ambiente caluroso el consumo de agua se limita, será mayor el incremento de la temperatura corporal (Butterworth, 1987) aunque no se le debe considerar un mecanismo de adaptación, ya que se alteran las funciones fisiológicas necesarias para el crecimiento y la lactación (Gall, 1991). Según Appleman y Delouche (1958), en las cabras de raza Alpina, la falla en el sistema termorregulador ocurre a los 40°C.

## **12 Los ajustes hormonales**

La implicación del eje HPA en la adaptación al estrés ha recibido considerable atención en los cerdos y el ganado vacuno (Abilay et al., 1975), reconociéndose que los cambios en la concentración de cortisol por causa del estrés calórico varían mucho, dependiendo de la temperatura, la humedad relativa y la duración de la exposición, y que su determinación constituye un indicador válido de estrés (Becker et al., 1985; Hahn et al., 1992).

Muchas glándulas endocrinas responden al estrés por el medio ambiente en diversos grados (duPreez et al., 1990), siendo las glándulas pituitaria, adrenal (corteza y médula) y tiroides, las más activas en la adaptación citándose comúnmente como evidencia de estrés crónico el incremento en la producción de glucocorticoides, que ocasiona una hipertrofia e hiperplasia de la adrenal, la cual ocurre cuando un animal está sujeto a un agente estresante por un tiempo suficientemente prolongado -aproximadamente 48 horas- (Mal et al., 1991).

Burden et al. y Niezgodá et al. (Burden et al., 1993; Niezgodá et al., 1993) coinciden en que los ejes simpático-adrenal y pituitaria-corteza adrenal, son los indicadores más sensitivos y específicos del estrés en los animales, considerándose como la respuesta clásica al estrés a los niveles incrementados de catecolaminas y glucocorticoides plasmáticos. Sin embargo, aunque durante muchos años se han buscado índices cuantitativos confiables del estrés o de la ansiedad animal, y a pesar de que se ha observado que en los animales estresados se elevan las concentraciones de hormonas circulantes como el cortisol y la ACTH entre otras, aún es poco conocido el valor adaptativo de los niveles sanguíneos periféricos de las hormonas (Hashizume et al., 1995).

Debido a lo anterior, aunque los corticoides pueden ser considerados las hormonas clásicas del estrés, existen dudas respecto a si el cortisol por sí mismo, puede ser un indicador preliminar confiable del grado de estrés, (Morton et al., 1995) motivo por el cual, aún se hacen experimentos con el fin de encontrar indicadores endocrinos confiables del estrés a causa de procedimientos de manejo, comunes en las granjas, ya que se ha observado que aunque el estrés a causa de la transportación y varios procedimientos veterinarios y de manejo, ocasiona una liberación de cortisol en el ganado adulto y en becerros y ovejas, sin embargo, la respuesta del cortisol al estrés es muy variable (Cooper y Washburn, 1998).

También se han buscado otros indicadores hormonales del estrés, sugiriéndose que la determinación de la secreción de la ACTH, más que la del cortisol, puede revelar el estado de estrés crónico, ya que Elevados índices de ACTH estimulan la síntesis de los glucocorticoides de la corteza renal en la sangre de animales estresados aunado a que La corticotropina realiza una estimulación de la pituitaria anterior para descomponer el ACTH y otros péptidos (Hicks et al., 1998; Munksgaard y Simonsen, 1996)..

Durante el estado de adaptación, la tasa de secreción de glucocorticoides es dependiente del estado de adaptación y de la severidad del

estresante, y se relaciona inversamente con la amplitud del tiempo en que el estresante pueda ser tolerado (Friend, 1990). Por lo anterior, se ha utilizado a la ACTH (Mal et al., 1991)., para determinar la respuesta adrenal a la administración de la ACTH exógena con el objeto de medir la función adrenal y por lo tanto, el estrés. De esta forma, se ha encontrado una mayor liberación de cortisol en vacas hacinadas, después de dos, tres o nueve días del estado de estrés, pero no justo después del primer día, por lo que aparentemente el estado de adaptación en el cual, de acuerdo con Selye, "la corteza adrenal es rica en glucocorticoides almacenados", ocurre después de dos o más días de exposición al estrés.

Sin embargo, cada forma de estrés estimula directamente en el sistema neuroendócrino, un conjunto diverso de incrementos o disminuciones de recambios hormonales, los cuales a su vez afectan la composición y función celular. Así, el calor deprime las concentraciones de hormonas adrenales, tanto corticales como medulares, y las de la prolactina (Roth et al., 1990).

También Okab *et al.* (1992), en un estudio comparativo de dos razas de ovejas, caracterizaron como más susceptible al estrés calórico a la que tuvo niveles plasmáticos de cortisol más elevados durante el verano.

Hicks et al., (1998) señalan que el estrés tiene efectos posibles en los comportamientos, crecimientos y medidas inmunológicas como en los cerdos que el estrés social, la estimulación eléctrica, el estrés calórico, restricción de alimento y agua, pueden incrementar la concentración plasmática de cortisona.

En muchas especies de mamíferos, está bien documentado el papel que sobre la termorregulación tienen las catecolaminas y las prostaglandinas en el sistema nervioso central. Existe poca duda de que la norepinefrina cerebral endógena, la 5-hydroxytriptamina, la acetilcolina y las prostaglandinas, están involucradas en las sinapsis relacionadas con las respuestas termorreguladoras (Yousef, 1987).

Está bien documentada en numerosos estudios tanto *in vitro* como *in vivo*, la estrecha asociación de las hormonas calorigénicas, por ejemplo la tiroxina (T<sub>4</sub>), la triyodotironina (T<sub>3</sub>), la hormona de crecimiento (GH) y los glucocorticoides con la tasa metabólica de los mamíferos (Yousef, 1987). Así, se ha señalado por ejemplo, que la restricción de agua disminuye la tasa de secreción de tiroxina en proporción directa a la reducción en el consumo de energía, encontrándose esta última, relacionada linealmente con el consumo de alimento (Silanikove, 1992).

Existen reportes de que la exposición de los animales al medio ambiente caluroso, deprime la actividad funcional de la glándula tiroidea, provocando una concentración relativamente baja de las hormonas tiroideas (Friend, 1990; Mohammed y Johnson, 1985; Parkash y Rathore, 1991) Sin embargo, May *et al.* (1986)., señalan que aunque el metabolismo de la hormona tiroidea puede ser un factor importante en la respuesta al estrés calórico, los resultados de los experimentos -en aves-, sin embargo, han sido contradictorios. Citan que Rudas y Pethes reportaron en 1984 que la concentración de  $T_4$  se redujo después de la exposición a  $35^{\circ}\text{C}$  por una hora, pero la concentración de  $T_3$  no tuvo cambios. Concluyen que la conversión de  $T_4$  a  $T_3$  jugó un papel más importante en la fase temprana de aclimatación a la temperatura. También citan que Bowen y Washburn en 1985, reportaron un incremento en las concentraciones de  $T_3$  y de  $T_4$  a causa del estrés calórico, mientras que ni la  $T_3$  ni la  $T_4$  se incrementaron significativamente en otro experimento. Por otra parte, se ha reportado que la tiroidectomía disminuye la producción de calor y que la administración de caseína iodizada y la inyección de tiroxina la incrementa en ovejas y ganado.

Los cambios en las concentraciones de hormonas tiroideas también se han utilizado como indicadores de agentes estresantes. El hipertiroidismo tiende a ocurrir después de un estrés psicológico agudo, especialmente en animales jóvenes, mientras que los estresantes físicos son más prometedores para provocar una actividad tiroidea en animales viejos (Mal *et al.*, 1991).

Se han reportado diferencias en la calidad del eyaculado así como de las condiciones morfológicas de los testículos entre los toros de una raza adaptada a las condiciones del trópico semiárido (Senepol), y los de una raza no adaptada (Holstein), aunque sólo tuvo un impacto limitado sobre la función reproductora de los toros (Wildeus y Hammond, 1993).

Otras hormonas que tienen relación con la adaptación a la deshidratación o al estrés calórico son la antidiurética (Dreiling *et al.*, 1991; Epstein *et al.*, 1990; Langhans *et al.*, 1991), estradio plasmático (Alnimer *et al.*, 2002); renina (Silanikove, 1992) , gonadotropinas (Honaramooz *et al.*, 1999) ; y prolactina (Gómez-Brunet y López, 1991), en ovejas gestantes la progesterona y el lactógeno placentario, las cuales disminuyen por efecto del calor y ocasionan retardo en el crecimiento fetal (Bell *et al.*, 1989), la LH y la progesterona lútea, lo cual nos lleva a una fertilidad reducida (Alnimer *et al.*, 2002). así como la  $\text{PGF}_{2\alpha}$  uterina, la cual puede interrumpir la preñez por estrés calórico en el ganado (Malayer *et al.*, 1990).

### 13 Los efectos sobre la reproducción

Las desventajas reproductoras del estrés calórico -muchas de ellas a causa de las disfunciones hormonales señaladas anteriormente- son: efectos en la calidad, selección y eficiencia de los folículos ováricos (Alnimer et al., 2002), disminución en la tasa de concepción, ampliación del ciclo estral, acortamiento del período del estro, retención placentaria, reducción y disminución temporal de la fertilidad. Algo de la infertilidad asociada con el estrés calórico, puede reflejar daño al oocito alterando el desarrollo folicular al reducir la producción de hormonas esteroidales impidiendo el crecimiento del oocito aunado a que reduce el crecimiento del folículo dominante causando una dominancia incompleta causando que los folículos subordinados se incrementen teniendo como consecuencia el crecimiento de un folículo envejecido y estos folículos tienen competencia reducida. (Al-Katanani et al., 2002; duPreez et al., 1990; Roth et al., 2002).

La elevación de la temperatura de los testículos puede producir un efecto deletéreo en la producción de espermatozoides. La optimización de la temperatura local de los testículos es posible sólo a causa de una temperatura corporal interna relativamente constante, teniéndose la máxima producción de espermatozoides en condiciones normales a temperaturas testiculares entre 1 y 8°C menores que la temperatura corporal interna (Al-Katanani et al., 2002; Bitman et al., 1984; Ravagnolo y Misztal, 2002).

En la hembra, existe la posibilidad de que los péptidos opioides endógenos inhiban la secreción de gonadotropinas durante los períodos anovulatorios. La liberación de  $\beta$ -endorfinas de la pituitaria se asocian con la activación del eje HPA por varios estresores (von Borell, 1995).

A la edad de la pubertad el ganado de carne suele ser más sensible que el ganado adulto y se puede saber como se desarrolla su período reproductivo al fotoperíodo (Honaramooz et al., 1999). Teniendo en cuenta que el estrés calórico es el responsable de la baja fertilidad en el ganado en los meses de verano en las áreas calientes del mundo (Alnimer et al., 2002). Aunado a que el estrés calórico durante la preñez ocasiona bajo peso al nacimiento, afectando severamente la supervivencia, independientemente del consumo de alimento (Brown y Harrison, 1984; Holmes et al., 1986) lo que provoca una reducción en la supervivencia embrionaria y puede ser la causa principal de una reducida tasa de preñez en el ganado durante el verano (Malayer et al., 1990). Honaramooz et al. (1999) nos señala que un factor importante que

puede influir en la secreción de gonadotropinas en el cuerpo y el tiempo en el que el animal alcanza su pubertad, es la nutrición.

El retraso en el crecimiento fetal en corderos a causa del estrés calórico puede ser a causa de que se altera el flujo sanguíneo uterino, ya que se ha observado que éste se encuentra comprometido durante el estrés calórico (Brown y Harrison, 1984). El crecimiento placentario se restringe en las ovejas susceptibles al estrés calórico y aparentemente pueden identificarse las ovejas susceptibles al mostrar temperaturas rectales superiores a las del resto del rebaño en el año previo a la gestación (McCrabb y Bortolussi, 1996).

von Borell (1995), señala que el comportamiento sexual depende de la producción de hormonas sexuales y que por lo tanto puede suprimirse cuando los estresores interfieren en la producción de hormonas femeninas y masculinas, ya que los procesos reproductivos están bajo control neuroendócrino y el estrés influye estos procesos. Señala también que el período durante los primeros días de preñez, especialmente hasta la implantación del feto es muy sensible al estrés, ya que el desarrollo y diferenciación del útero durante estos días depende en gran medida de la función de las hormonas pituitáricas, las cuales son producidas en forma local sólo hasta los últimos estadios de la preñez, en los cuales los animales son en forma general, insensibles a los estresores. Por otra parte, se sabe que los glucocorticoides interactúan con las hormonas reproductoras desde un estado de desarrollo muy temprano del sistema neuroendócrino, habiéndose documentado en varios estudios que el estrés perinatal puede desmasculinizar a los machos de la descendencia y retrasar la pubertad en las hembras (von Borell, 1995).

## **14 El metabolismo del agua**

En los climas calientes, se requieren para la supervivencia de los mamíferos la sudación o el jadeo, necesarios para proporcionar enfriamiento evaporativo (Macfarlane et al., 1958). Sin embargo, este mecanismo requiere de un consumo de agua continuo, ya que conforme se incrementa la tasa respiratoria y más agua se vaporiza, una cantidad mayor de agua se consume, mientras que cuando las tasas respiratorias y de vaporización se disminuyen al mínimo, el consumo de agua desciende (Appleman y Delouche, 1958).

En los ungulados, las principales formas de pérdidas de agua son la evaporación, la producción y excreción de heces y orina y, en las hembras

lactantes, la producción de leche. Las pérdidas evaporativas de agua dependen de muchos factores, incluyendo la extensión en que los animales se exponen a altas temperaturas y niveles de radiación solar (Butterworth, 1987), ya que cuando la temperatura ambiental excede a la temperatura corporal, el agua es especialmente necesaria para los propósitos termorreguladores. Bajo tales condiciones, el calor corporal sólo puede disiparse a través de vías evaporativas (Müller y van Aken, 1990).

En las ovejas maduras, los requerimientos de agua, la tasa respiratoria y el egreso de agua evaporativa, son directamente proporcionales a la temperatura ambiente, ya que el enfriamiento evaporativo constituye la principal forma de pérdida de calor durante la exposición de los carneros a una carga calórica solar, lo cual se asocia a un incremento en la tasa de retorno hídrico, constituyendo virtualmente un reflejo del consumo libre de agua (Abdelatif y Ahmed, 1992).

En los humanos deshidratados por estrés calórico, se ha atribuido la falta de habilidad para regular la temperatura corporal a una significativa reducción en el volumen sanguíneo. También se ha demostrado que en el mantenimiento de la temperatura corporal durante el estrés térmico, la disipación eficiente del calor es dependiente del mantenimiento del volumen sanguíneo (Epstein et al., 1990).

La función circulatoria sufre grandes ajustes por la aclimatación, que van desde la disminución del volumen plasmático por la altitud, hasta su expansión -involucrando también la de sus componentes-, a causa del calor la inanición y la preñez (Silanikove, 1992).

La tolerancia a la deshidratación en mamíferos se ha asociado con el grado en el cual un animal mantiene su volumen plasmático. Los animales que conservan su volumen plasmático cuando se enfrentan con pérdidas de agua corporal, toleran mejor la deshidratación que los animales que no lo conservan, ya que la disminución en el volumen plasmático daña la disipación de calor del interior del cuerpo hacia la superficie, lo que ocasiona un aumento en la temperatura corporal (Carmi et al., 1993).

Sneddon *et al.* (1993), reportan que una pequeña población de caballos genéticamente aislados en el desierto de Namibia durante 75 años, pueden haber desarrollado por selección, mecanismos fisiológicos que les aumentan su habilidad para la conservación del agua respecto a las razas de caballos criados en medios ambientes subtropicales.

La mayoría de los homeotermos muestran habilidad para mantener el volumen plasmático a expensas de otros compartimentos fluidos, lo que les permite una efectiva disipación del calor y la prevención de la hipertermia (Arad y Korine, 1993; Edwards, 1991; Sneddon et al., 1993; Zurovsky y Shkolnik, 1993). El fluido suplementario puede ser drenado a partir de los compartimentos intersticial, intracelular y transcelular -principalmente del gastrointestinal en el caballo- (Sneddon et al., 1993) y del rumen los poligástricos (Silanikove, 1992).

Un medio ambiente caliente incrementa la tasa de retorno hídrico al usar grandes cantidades de agua para el enfriamiento evaporativo, reportándose frecuentemente que estos cambios están asociados con un incremento en el contenido de agua corporal y con un incremento en el agua extracelular (Silanikove, 1987).

Se ha reportado que el aumento en el agua corporal total bajo condiciones de calor, se debe al aumento del volumen del fluido extracelular, ya que no puede atribuirse únicamente al aumento en el consumo de agua de bebida, sino probablemente al incremento en la capacidad de retener agua bajo exposición calórica, para subsanar la intensa pérdida de agua evaporativa por el calor (El-Nouty et al., 1988). Se considera que el incremento inducido por el calor en el total del agua corporal puede ser utilizado para calcular un índice de tolerancia calórica (Gall, 1991).

También los elementos sanguíneos pueden sufrir alteraciones a causa del calor del medio ambiente. Así, los cambios en el volumen plasmático reajustan al sistema, provocando modificaciones en la osmolalidad plasmática, los que se asocian a respuestas evocadas por la hormona antidiurética (Blair-West et al., 1979).

Se reconoce que la habilidad de los rumiantes del desierto para mantener su apetito con una pobre capacidad de aislamiento en un medio ambiente caliente, puede relacionarse con su habilidad para mantener el volumen plasmático y los constituyentes electrolíticos dentro de un rango estrecho (Silanikove, 1992). Así, se considera un signo de mayor susceptibilidad al estrés calórico, el que algunas razas tengan constituyentes hemáticos con valores alterados, tal como lo hacen Okab *et al.* (1992), respecto a los valores plasmáticos elevados de potasio y de cortisol.

Las cabras tienen como principal mecanismo adaptativo su metabolismo hídrico, siendo más eficientes en el metabolismo del agua que otros rumiantes

domésticos (Devendra, (1987), debido a que al reducir el contenido de agua de las heces, al concentrar la orina y al reducir la pérdida de agua evaporativa, tienen, cuando el consumo de agua está limitado, una mayor habilidad para limitar el recambio hídrico (Gall, 1991).

### **Los mecanismos celulares**

El conocimiento de cómo los animales responden al calor a nivel celular es relativamente escaso. Entre otros mecanismos relevantes, las células eucariotas responden al estrés por calor con la producción de un conjunto específico de proteínas llamadas de choque calórico o proteínas del estrés. Una variedad de factores incluyendo el calor, metales pesados, análogos de aminoácidos, inhibidores del metabolismo energético, agentes quelantes e infecciones con ciertos virus, son capaces de inducir la síntesis de estas proteínas (Guerreiro y Raynes, (1990), señalándose que mientras que las proteínas de choque calórico representan alrededor del 2 al 3% del total de las proteínas en las células normales, esta proporción puede alcanzar el 20% en las células expuestas al calor (Donati et al., 1990).

Se desconoce una función definida para la síntesis de proteínas del calor, pero se piensa que ellas ayudan a la célula a sobrevivir al estrés calórico (Guerreiro y Raynes, (1990), ya que participan en el desarrollo de la termotolerancia, es decir, la habilidad de las células pre-expuestas a temperaturas no letales, para sobrevivir subsecuentes exposiciones a temperaturas letales bajo condiciones normales (Donati et al., 1990).

La definición original de las proteínas de choque calórico es relativa exclusivamente a aquellas proteínas que se expresan en respuesta al estrés fisiológico, las cuales se clasifican de acuerdo a su peso molecular (Hass, 1991).

El metabolismo celular se altera marcadamente debido al estrés por el choque térmico, siendo dañadas numerosas funciones celulares relacionadas con la expresión genética, entre ellas la traducción de proteínas, el ensamblaje del ácido ribonucleico (ARN) y la "normal" transcripción genética, mientras que, por otra parte, la transcripción de genes del choque calórico se activa o aumenta (Dubois y Bensaude, 1993). Esto permite asumir que los animales más adaptados o preacondicionados al calor pudieran tener una mayor síntesis de producción de proteínas de choque calórico que aquellos no adaptados al choque térmico, ya que como señalan Guerreiro y Raines (1990), se ha demostrado que los animales adquieren termotolerancia por una dosis

acondicionante corporal al calor y que aunque es incierto que la hipertermia en todos los animales induce la síntesis de proteínas. Sin embargo, en todo caso, la adquisición de termotolerancia está relacionada con el incremento en la síntesis de proteínas del estrés.

Las proteínas de choque calórico son mecanismos de resistencia al estrés, y si estos mecanismos son comunes, entonces los individuos pueden tener niveles de resistencia altos o bajos a un rango de estresores y la selección para la resistencia incrementada para un estresor, puede incrementar la resistencia a otros (Hoffmann y Parsons, 1991).

Por otra parte, la respiración mitocondrial y las actividades de las enzimas asociadas a las membranas de la mitocondria, se inactivan por temperaturas que exceden aproximadamente por 10 a 20°C, a las temperaturas más altas de los hábitats de las especies, por lo que los efectos de las temperaturas elevadas sobre la respiración mitocondrial y sobre las actividades de las enzimas mitocondriales difieren entre las especies, en concordancia con las diferencias en su máxima temperatura corporal (O'Brien et al., 1991)

Si, la potencia máxima de producción puede ser probada como un criterio de mérito satisfecho en el estado estable de producción de adenosin trifosfato (ATP) (Torres, 1991), y si la velocidad de producción de ATP y la eficiencia del proceso se consideran simultáneamente como medidas de adaptación, pueden éstos ser utilizados para valorar la adaptación de un organismo a las demandas del ambiente, por lo que la alternativa para medir la adaptación podría ser el aplicar las leyes de la termodinámica del no-equilibrio al cálculo de la adaptación en un sentido mecanístico, de tal manera de encontrar alguna forma de medir la adaptación de un individuo en términos del grado en que sus principales procesos metabólicos satisfacen ciertos criterios termodinámicos (Maddox, 1991).

La inferencia de un medio ambiente enzimático "óptimo" no implica que es una temperatura óptima particular en la cual la función enzimática se optimiza, sino que más bien se trata de señalar que las enzimas pueden funcionar óptimamente si la temperatura medio ambiental no fluctúa por más que pocos grados alrededor del punto de temperatura, sin relación de que punto absoluto de temperatura pueda ser (Lovegrove et al., 1991).

## **15 Respuestas del comportamiento como adaptación al medio.**

Es difícil aislar las respuestas adaptativas de tipo fisiológico de una especie o raza, de las del comportamiento y de su productividad, ya que a corto plazo, la conducta en la alimentación y la productividad de una especie es en parte, una función de su tamaño corporal, su capacidad digestiva y su morfología intestinal.

Los herbívoros se dividen de acuerdo con sus hábitos de búsqueda en seleccionadores de concentrados -ramoneadores- y consumidores de forraje y volumen -pasteadores-, considerando que otras especies de herbívoros son intermedios o consumidores mixtos, y que cambian su comportamiento de alimentación de acuerdo con la disponibilidad y valor nutritivo del forraje (Butterworth, 1987). Nozawa (1991) considera a la cabra como un animal más ramoneador que pasteador.

Se tienen evidencias de que las conductas alimenticias, tales como el mayor uso del ramoneo, tienen una relación anatómica y funcional. La movilidad del labio superior y la habilidad para asumir una posición bípeda, parecen contribuir en el éxito de las cabras para alimentarse de árboles y arbustos durante las temporadas de sequía (Nozawa, 1991).

Existen indicadores de que las adaptaciones del comportamiento pueden ser inducidas por las prácticas de manejo, tales como la frecuencia en la oferta de agua de bebida (Butterworth, 1987; Mousa y Elkalifa, 1992), o el uso de las sombras de los corrales (Johnson y Strack, 1992), y que las pérdidas evaporativas de agua pueden en su momento ser modificadas por adaptaciones del comportamiento (Butterworth, 1987).

También existen diferencias en el comportamiento, no sólo entre especies, sino también entre los individuos de una misma especie, habiéndose documentado en varios estudios que existe considerable variación individual en muchos aspectos del comportamiento, aún cuando los animales son criados bajo las mismas condiciones (Boissy, 1995). También se ha reportado variación genética que es la responsable para una tolerancia de un estrés calórico y la habilidad para controlar el incremento de temperatura del cuerpo (Cooper y Washburn, 1998).

Por otra parte, se han observado de igual forma, diferencias en la respuesta del miedo y las reacciones defensivas entre los sexos, observándose que en

respuesta a las situaciones de reto, los ratones y aves hembras exhiben una menor reacción de comportamiento que los machos (Boissy, 1995).

Se cree que en lo general, el estrés se caracteriza por la ocurrencia de conductas conflictivas (por ejemplo, desplazamiento y cambio de dirección en el comportamiento), conducta destructiva o dañina, comportamiento estereotipado (actividades monótonas, repetitivas y aparentemente sin propósito) y conducta en inactividad (letargia), tal y como sucede con las medidas fisiológicas, la ocurrencia e interpretación de estas conductas no son consistentes en los diferentes estudios (von Borell, 1995).

Un término asociado a las respuestas del comportamiento en animales bajo estudios de campo es el de emocionalidad, utilizado para describir las reacciones de comportamiento (principalmente la reducción de la actividad, y los cambios fisiológicos (por ejemplo altas tasas de defecación) en los animales (Boissy, 1995).

Uno de los grandes retos de la crianza moderna de animales, es el conocer los patrones de comportamiento y su significancia, para ligarlos tan estrechamente como sea posible a las condiciones del medio ambiente para aumentar la productividad (Lindsay, 1996).

## **16 Los bioclimas y la productividad**

Las variables climáticas tienen importancia en la determinación de los límites de la distribución de las especies en ausencia de barreras geográficas abruptas (Hoffmann y Parsons, 1991). Por otra parte, determinar si una zona geográfica particular, o si un país tiene un bioclima limitante, requiere un análisis cuidadoso del bioclima, lo que incluye la evaluación de la meteorología, los forrajes nutritivos, las enfermedades y la medida de adaptabilidad de los animales (Johnson, 1987). Sin dejar de lado las técnicas auxiliares para poder controlar el estrés calórico como lo son uso de ventiladores, aire acondicionado, mejoramiento de instalaciones y nebulizadores (Alnimer et al., 2002)

La influencia de los bioclimas sobre la producción animal ha sido ampliamente reconocida por la industria ganadera, sin embargo, no se ha llevado a cabo una aplicación coherente y sistemática de los principios y la información que sobre ellos existen, para el desarrollo de la producción animal

a través de la modificación del genotipo animal, el manejo meteorológico y nutricional y el control de las enfermedades (Johnson, 1987).

Un macroclima es la meteorología de la región y varía con la estación. Un microclima es más inmediato y se define como el espacio cuatridimensional de la temperatura del aire, la velocidad del aire, la humedad y la radiación solar ocupada por un animal. La precipitación también es considerada por otros como una variable. Los microclimas cambian durante el día, de estación a estación y con las prácticas de manejo (Cymbaluk y Christison, 1990).

## **16.1 Los retos ambientales del desierto.**

Las áreas mundiales de desierto verdadero se localizan en los subtropicos y más allá del ecuador. Sin embargo, pequeñas áreas desérticas se localizan dentro de los trópicos en el sur del Sahara, el suroeste de Arabia y en la costa del Pacífico del norte de Chile (Johnson, 1987).

Los climas calientes-templados tienen grandes fluctuaciones diarias de temperatura entre el templado-frío en la noche y el caliente-tibio en el día, dependiendo de la temporada (verano-invierno) respectivamente (Lovegrove et al., 1991). La variación estacional en la temperatura se incrementa con la distancia a partir del ecuador. La zona cercana al ecuador en los trópicos es una zona con una temperatura estacional cercana a la constante y las variaciones estacionales aumentan de acuerdo al cambio en la posición del sol (Hatfield, 1990).

Las zonas secas semiáridas con baja humedad, se caracterizan por condiciones estacionales extremas, con lluvias relativamente escasas y muy prolongados períodos de sequía. Las fluctuaciones diarias y estacionales en la temperatura son muy amplias, con humedad baja para la mayoría del año y una alta intensidad en la radiación solar por la atmósfera seca y los cielos despejados. Aunque el total de lluvia puede estar dentro del rango de 254 a 508 mm, ésta puede ser muy intensa en su caída y muy irregular en su incidencia (Johnson, 1987), mientras que por otra parte, los recursos naturales, particularmente el agua, están limitados y a menudo en un delicado balance medio ambiental (Sharma, 1991).

La temperatura del aire, la radiación solar directa e indirecta y una pobre nutrición son los principales factores que afectan el balance energético de los animales en las áreas áridas (Silanikove, 1987).

El factor individual que explica las diferencias en la producción de leche y en la tasa reproductora de las vacas en lugares con y sin sombra, puede ser la radiación solar en el caso de los lugares sin sombras (Buffington et al., 1981).

La radiación solar es un factor principal en el estrés calórico e incrementa la ganancia de calor por medio tanto directos como indirectos siendo junto con las elevadas temperaturas ambientales, una de las fuentes primarias de ganancia de calor (Shearer et al., 1991). La radiación solar es el efecto de la energía radiante del sol y la radiación térmica del medio ambiente circundante (Cymbaluk y Christison, 1990).

Además del metabolismo, el calor también puede ganarse a partir del medio ambiente. Durante las horas de luz del día casi todo el calor obtenido del medio ambiente es indirecta o directamente de la radiación solar, y la reducción en la eficiencia productiva en un medio ambiente se debe probablemente a la energía gastada en liberar al cuerpo del exceso de la carga calórica mediante un incremento en la respiración y otras actividades relacionadas (Fuquay, 1981).

El estrés calórico se define como cualquier combinación de condiciones medio ambientales que puedan causar que la temperatura efectiva del medio ambiente sea mayor que el rango de temperatura de la zona termoneutral de los animales y estas condiciones existen casi a todo lo largo del año en las zonas tropicales. Durante los períodos de estrés calórico, un animal sin acceso a las sombras está a menudo expuesto a una carga de calor radiante mayor que su producción de calor metabólico. Sin embargo, es difícil si no imposible especificar cuál es la exacta combinación de condiciones medio ambientales para que se origine el estrés calórico para cualquier tipo de especie animal, ya que existen tremendas diferencias entre los individuos de una especie sobre la base de la raza, el sexo, los estados de lactación y/o de gestación, la exposición climática previa, etc. (Buffington et al., 1981).

La radiación solar es una fuente de calor más opresiva que la temperatura del aire (Macfarlane et al., 1966), y se ha señalado que la importancia de la variación en la radiación solar para producir respuestas fisiológicas es comparable, bajo condiciones de campo, con la de las variaciones en la temperatura del aire y considerablemente mayor que la de la presión de vapor y la velocidad de los vientos (Harris et al., 1960), existiendo escasa información sobre la existencia de una carga calórica extra de la

radiación solar sobre el balance energético, el consumo de alimento y el metabolismo hídrico (Silanikove, 1987).

La lluvia en las regiones semiáridas a menudo significa en la agricultura de subsistencia, la diferencia entre el suministro adecuado y la escasez de alimentos (Hatfield, 1990).

Aunque la productividad se restringe severamente, tanto por el estrés climático como por la escasez de alimento y agua con el consecuente estrés nutricional, las regiones de clima seco semiárido, son más adecuadas para la producción de ganado, -y aún más para el manejo de ovejas, cabras y camellos,- que para cualquier tipo de agricultura (Johnson, 1987).

El forraje de relativa baja calidad, la disponibilidad limitada del agua, las altas temperaturas ambientales y del aire y los altos niveles de radiación solar directa e indirecta, son los factores que más influyen la productividad de los rumiantes en el desierto y en las regiones tropicales (Ghosal y Matur, 1992; Mousa y Elkalifa, 1992; Silanikove, 1992).

Para los rumiantes que pastan en los trópicos semiáridos, el mantenimiento del balance de agua y el metabolismo energético son un reto para la productividad, debido a que existe una estrecha relación entre los requerimientos de agua y el consumo de alimento (Abdelatif y Ahmed, 1994).

## **16.2 El Desierto Chihuahuense.**

En Norte América, el desierto está en una área árida esencialmente continua, la cual se extiende desde el sur de los Estados Unidos (en los estados de Nevada, Nuevo México, Utah, Arizona, Texas y California), hasta México (Sharma, 1991).

El 53% de México es considerado árido y semiárido, y un 40% adicional sufre largas temporadas de sequía. Estos factores climáticos, en conjunto con un terreno muy abrupto (aproximadamente el 59% de la superficie territorial tiene altitudes mayores a los 1,000 m), representan para México problemas substanciales para su desarrollo (Schmidt, 1989).

México tiene dos grandes desiertos llamados igual que sus dos más grandes estados, Chihuahua y Sonora (Figura 1). Ambos desiertos se extienden hacia el norte a través de la frontera dentro de los Estados Unidos y

retienen sus nombres mexicanos. El Desierto Chihuahuense recibe apenas un promedio anual de lluvias de 235 mm con un rango de 150 a 400 mm. Aproximadamente dos tercios de las estaciones meteorológicas registran una precipitación anual total entre 225 y 275 mm. Normalmente la región más seca en este desierto es el sur de Coahuila, particularmente aquellas localidades de tierras bajas localizadas y protegidas por los montañas circundantes. Las condiciones de temperatura son relativamente templadas y consistentes de año a año. Esto es en gran medida, el resultado de la localización latitudinal y del hecho de que el 90% del desierto se localiza a una altitud entre los 1,100 y 1,500 m. La temperatura anual promedia 18.6°C con un rango de 14° a 23°C. Aproximadamente la mitad de las temperaturas medias anuales están dentro de 2°C de promedio. Las temperaturas extremas superiores a los 50°C o menores a los -15°C son muy raras. Las temperaturas mensuales más calientes son muy similares a lo largo de todo el desierto, en un rango de 25° a 30°C. Aunque el Desierto de Sonora es más seco y caliente que el Chihuahuense, las dos más importantes diferencias entre estas zonas áridas son, la distribución de la precipitación durante el año y la longitud de la temporada de cultivo. El inicio y el fin de la temporada de cultivos son mucho más variables en el Desierto Chihuahuense (Schmidt, 1989).

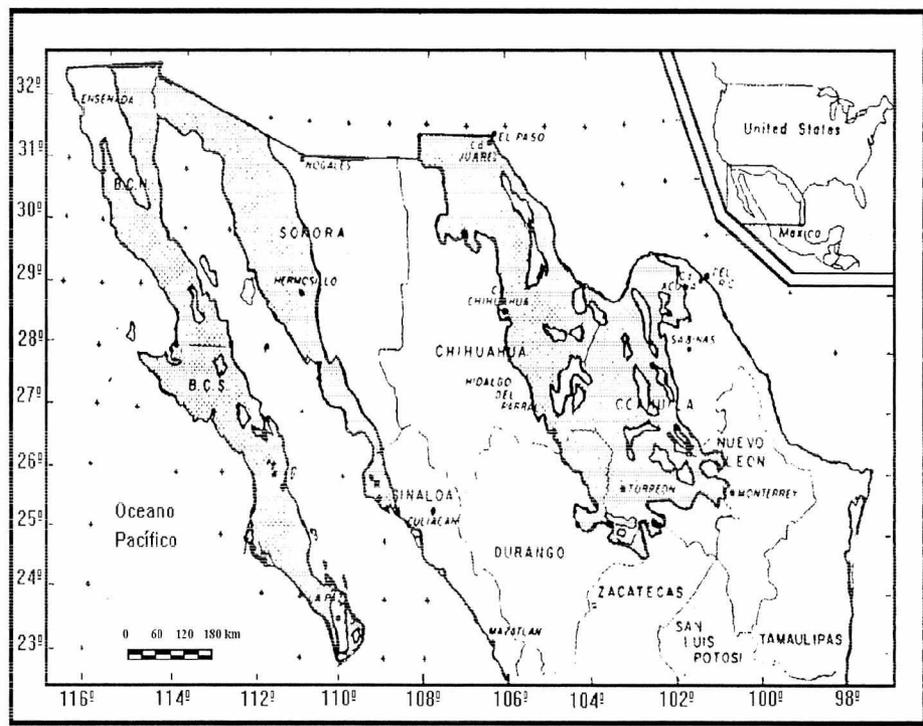


Figura 1 Ubicación geográfica de los desiertos de Chihuahua y de Sonora en la República Mexicana. Modificado de Schmidt (1989).

### 16.2.1.1 La Comarca Lagunera como parte del Desierto Chihuahuense

La Comarca Lagunera (Figura 2), se localiza en la parte sur del desierto Chihuahuense y es una zona árida en donde la confluencia de dos corrientes superficiales de consideración: ríos Nazas y Aguanaval y el aprovechamiento de los acuíferos locales ha permitido el desarrollo de actividades agropecuarias altamente especializadas. La precipitación pluvial es de alrededor de 200 mm anuales, concentrada en 30 días de los meses de junio a octubre, con seis o siete meses de sequía definida con precipitaciones pluviales menores a 7 mm al mes. Las temperaturas medias mensuales fluctúan entre 12.7°C en enero y 28.5°C en junio, con extremas de -5°C y 41.5°C. Debido a la elevada radiación solar la evaporación es diez veces mayor a la precipitación. Estas condiciones dan lugar a una escasa cobertura vegetal. En zonas no irrigadas del poniente de la región la producción anual de materia seca se ha estimado en 136.81 kg por hectárea (Mazcorro et al., 1991).

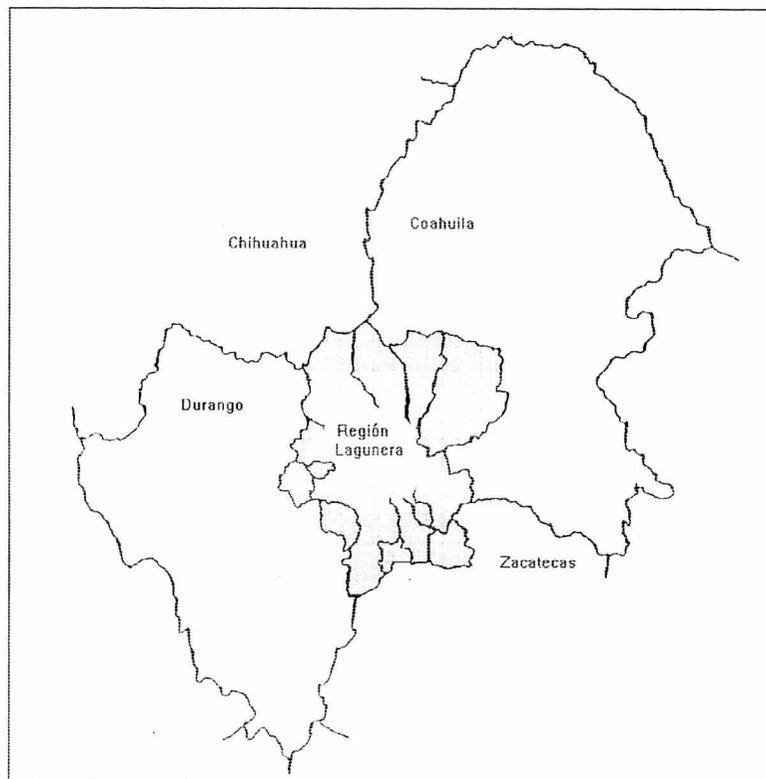


Figura 2 Ubicación geográfica de la Comarca o Región Lagunera, donde se aprecia su localización entre los estados de Durango y Coahuila, así como su colindancia con Chihuahua y Zacatecas.

En el Cuadro 1 se presentan las temperaturas y precipitaciones mensuales promedio para cinco municipios del desierto chihuahuense, los tres primeros, correspondientes a la Comarca Lagunera y los dos últimos a la región norte del Estado de Coahuila.

Cuadro 1 Temperaturas y precipitaciones pluviales medias mensuales en cinco municipios del desierto Chihuahuense en Coahuila

Estación	Años	Ene	Feb	Mar	Abr	Ma	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
						y								
Torreón	T 28	15.3	17.2	21.0	24.7	27.4	28.3	27.7	27.0	25.6	22.4	18.3	15.4	22.5
	P 42	5.9	4.2	2.5	2.1	11.2	20.2	30.1	35.9	38.7	17.9	4.8	6.9	180.3
Matamoros	T 7	12.7	15.6	18.1	23.3	27.0	28.5	26.9	27.6	26.8	23.5	17.3	13.3	21.7
	P 7	7.4	3.3	1.1	4.8	12.2	38.2	54.1	23.9	37.0	25.5	7.4	12.0	226.9
San Pedro	T 15	12.8	14.7	19.1	23.5	26.1	27.7	27.7	26.9	25.3	21.7	17.3	13.7	21.4
	P 15	4.2	4.1	4.1	2.0	19.5	20.9	21.4	38.6	34.3	12.3	4.1	8.8	174.4
Cuatro-Ciénegas	T 39	12.4	15.4	18.9	23.6	26.4	28.8	29.1	29.0	26.5	22.4	17.1	13.5	21.9
	P 46	7.4	8.4	5.3	8.5	18.1	18.8	22.7	25.2	36.2	16.6	8.7	10.4	186.3
Ocampo	T 16	10.9	12.8	16.8	22.0	24.6	26.2	26.2	25.6	23.5	20.3	15.7	11.7	19.7
	P 16	8.8	7.7	5.2	16.6	34.8	35.2	46.9	42.9	56.5	19.8	5.6	10.9	291.1

T= temperatura

P= precipitación

Fuente: México, SPP, INEGI, Carta de Climas, 1980

Los datos anteriores, nos permiten ver que las condiciones medio ambientales al menos en cuanto a temperatura y precipitación pluvial se refiere, son las características de las zonas áridas, es decir temperaturas elevadas y lluvias escasas, aunque el hecho de manejar los datos promedios disminuyen en parte los efectos de los datos de los mínimos y máximos.

Algunas características medio ambientales y de cobertura vegetal de la Comarca Lagunera representan un reto para la explotación ganadera por sus particularidades específicas, ya que el total de su superficie territorial pertenece a climas clasificados de semisecos a muy secos, teniendo también una superficie promedio de casi el 80% con menos de 300 mm de precipitación pluvial promedio anual y más de tres cuartas partes con una

temperatura promedio anual mayor a los 18°C. Además, más de tres cuartas partes de su superficie, -de acuerdo al tipo de vegetación existente-, presentan condiciones de aprovechamiento principalmente para el ganado caprino.

En el Cuadro 2 se aprecia que más de la mitad de los días del año tienen temperaturas superiores a los 30°C, considerada como la temperatura crítica superior para los caprinos (Lu, 1989) y en más del 80% de los días se reportan temperaturas superiores a los 25°C, consideradas a su vez como la temperatura crítica superior para ganado Holstein (Collier et al., 1982). Además, se observa que en promedio existen alrededor de 45 días al año con valores de THI superiores a 70, considerados como estresantes para el ganado (duPreez et al., (1991), y que el promedio de THI máximo para el período es de 74.8, con valores que oscilan de 73.9 a 76.4.

Cuadro 2 Relación de días de temperaturas críticas superiores para cabras (30°C), para vacas Holstein (25°C), temperaturas máximas registradas e índices de temperatura humedad (THI) superiores a 70.5 y THI máximo registrado (Fuente de datos climáticos: Centro de Investigaciones Agrícolas del Noreste (CIANE), Matamoros, Coah.)

Año	30 o más °C	25 o más °C	Temperatura a máxima.	THI días	THI máxima	Días sin datos
1975	217	296	40			
1976	197	265	39			
1977	219	316	38			
1978	230	320	41			
1979	251	315	40			
1980	196	305	39			
1981	212	300	38			
1982	221	308	41.5			
1983	186	281	40			
1984	188	305	38	20	73.916	4 (temp y THI)
1985	185	284	39	38	75.644	30 (THI)
1986	174	275	37	47	76.352	11 (THI)
1987	171	293	39.5	29	73.852	1 (temp)
1988	204	289	38.5	45	73.828	
1989	227	295	41.5	65	74.352	
1990	208	309	39.9	39	74.288	
1991	197	288	39	46	74.88	
1992	205	290	40	49	75.388	
1993	203	314	39.5	70	75.432	
1994	238	305	39			
<b>Promedio</b>	<b>206.45</b>	<b>297.65</b>	<b>39.37</b>	<b>44.80</b>	<b>74.79</b>	

D. E.      20.91      14.71      1.18      14.95      .88

Los datos de temperaturas, son obtenidos directamente de la fuente citada: Los datos relativos al THI, fueron calculados a partir de los datos meteorológicos.

Temp = temperatura, D. E. = desviación estándar

En la Figura 3 se observa que la precipitación en la Comarca Lagunera es además de escasa, impredecible, ya que al considerar los promedios históricos mensuales contra sus máximos y mínimos reportados, existe una gran variabilidad en los datos, los que, como se puede apreciar para el mes de julio, oscilan de alrededor de 5 mm a 150 mm, con una media histórica de menos de 40 mm. Esta situación provoca un alto grado de incertidumbre para la agricultura de temporal y la existencia de mecanismos adaptativos para superar esta variabilidad, tanto en la flora como en la fauna nativas.

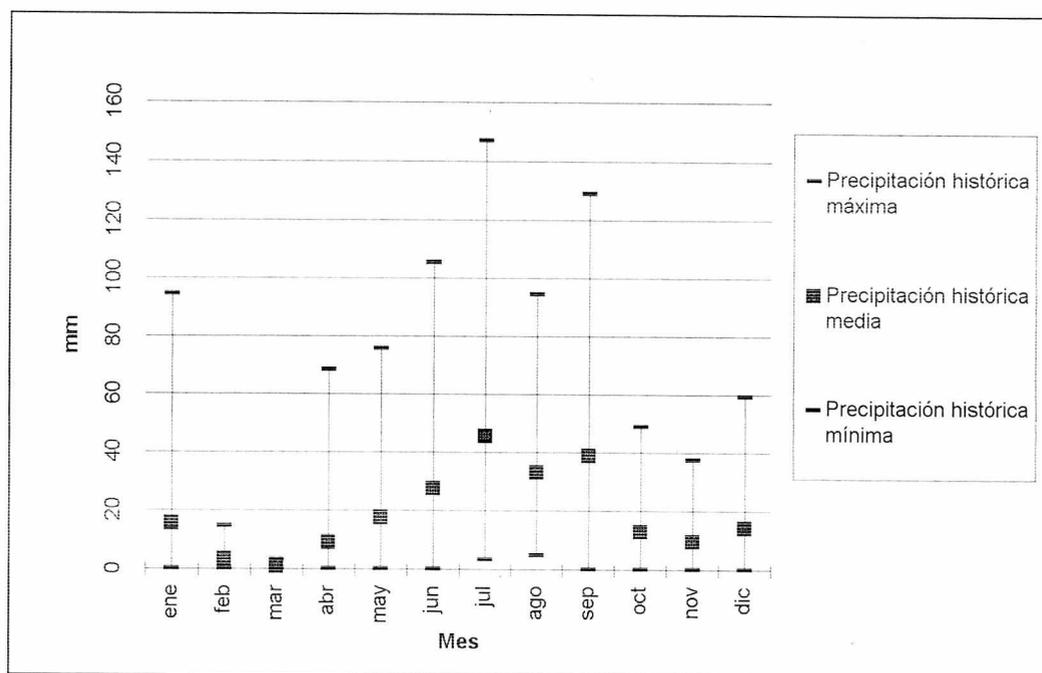


Figura 3 Precipitaciones pluviales históricas máxima, media y mínima registradas en Matamoros, Coah., durante el período de 1975 a 1994. (Fuente de datos climáticos CIANE, Matamoros, Coah.)

La Figura 4, por otra parte, permite observar como aunque no existe la variabilidad que se registra para la precipitación, ni para las temperaturas máximas ni para las temperaturas mínimas, en el caso de las primeras, éstas tienen registros para todos los meses del año que superan a las consideradas

como temperaturas críticas superiores tanto para ganado bovino Holstein como para ganado caprino en general.

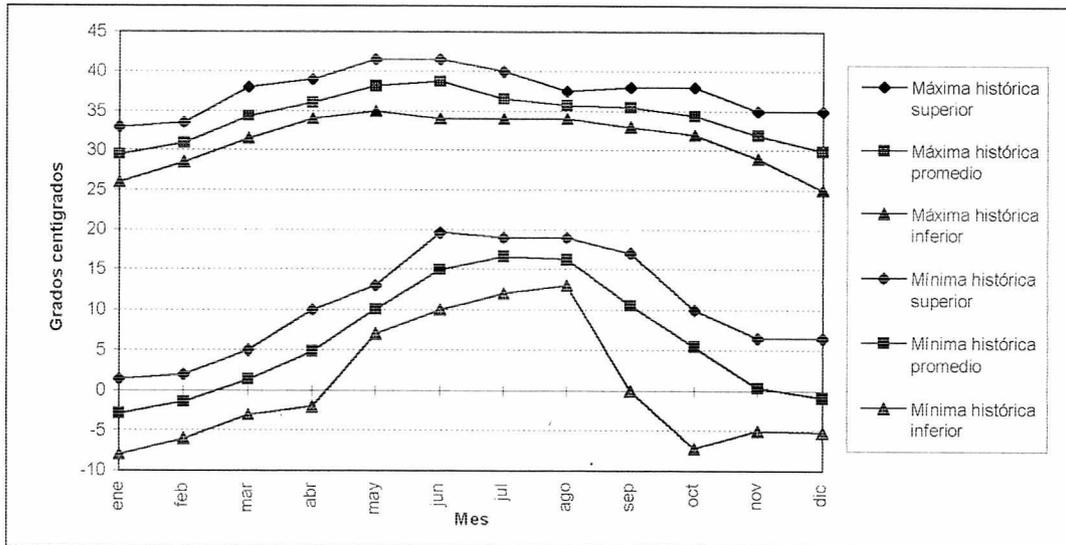


Figura 4 Temperaturas históricas máximas y mínimas registradas en Matamoros, Coah., durante el período de 1975 a 1994. Se registran para cada una la superior, la promedio y la inferior. (Fuente de datos climáticos: CIANE, Matamoros, Coah.)

En la Figura 5 se observan los valores del THI para el período de 1984 a 1993, donde se puede apreciar que si se consideran los valores promedios para este indicador, no representa un problema serio para el ganado bovino lechero, mientras que si se consideran los valores superiores registrados durante el período, se observa que sólo durante el período de mayo a agosto es probable se tengan días en que el indicador se eleve sobre los 72 puntos, que es el nivel en que se comienzan a tener problemas para la salud del ganado bovino lechero (Johnson, 1987). Esto pudiera ser una señal de la falta de relevancia de este indicador al nivel de la Región Lagunera, lo cual puede ser consecuencia de los bajos porcentajes de humedad relativa que se registran en ella. Por otra parte, si se considera que el ganado caprino es más resistente a las condiciones del medio ambiente, este indicador pudiera ser aún menos importante que de lo que es para el ganado bovino lechero.

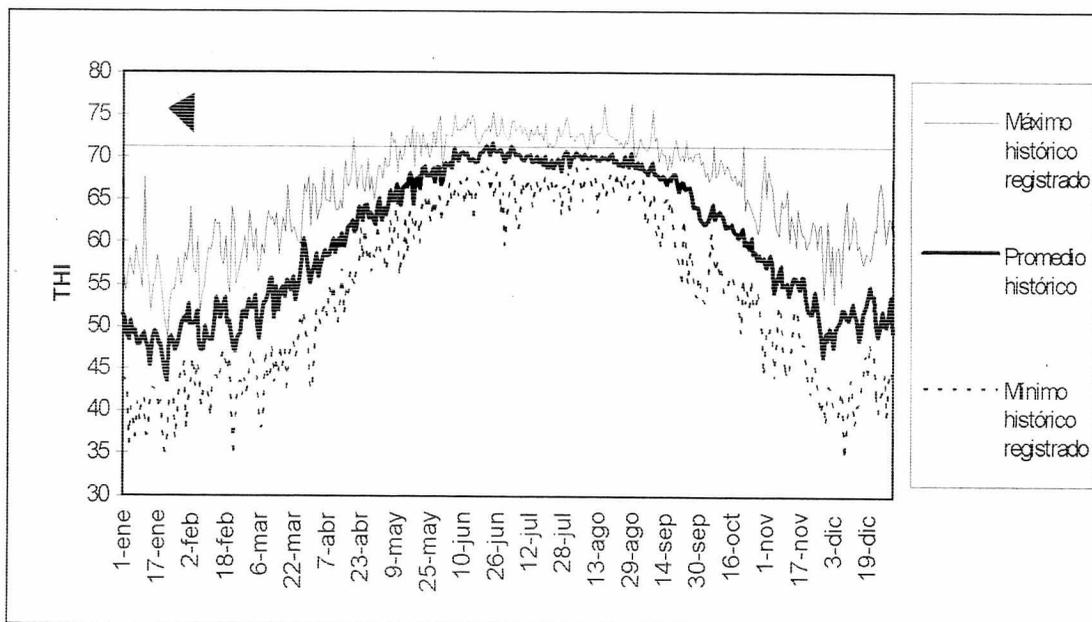


Figura 5 Valores anuales para el THI en Matamoros, Coah., con base en los datos de 1984 a 1993. Se indican los valores máximo, promedio y mínimo históricos registrados durante el período. La flecha señala los 72 THI, punto a partir del cual el ganado bovino Holstein empieza a presentar problemas de salud (Fuente de datos climáticos: CIANE, Matamoros, Coah.).

La Comarca Lagunera es una importante zona agrícola. El Distrito de Riego comprende casi 250,000 Ha, en las que por más de cien años el cultivo principal fue el algodón, al que se le aplicaron insecticidas hasta en 15 ocasiones al año. Por otra parte, esta superficie de riego implica el funcionamiento de casi 3,000 pozos profundos que extraen más de 1,000 millones de m<sup>3</sup> de agua al año, lo que representa el triple de la recarga anual de los acuíferos. Esto origina el abatimiento de los niveles de agua en 1.5 a 1.75 m por año, haciendo cada vez más costosa la extracción del agua y a ésta de menor calidad por su creciente concentración de arsénico y sulfatos. (Mazcorro et al., 1991). Así, la región tiene altos niveles de contaminación, tanto por insecticidas como por sales minerales, además de los residuos industriales.

Conforme a lo anterior, la producción pecuaria en la región, enfrenta los retos de las temperaturas ambientales extremas, con amplia variabilidad diaria, intensa radiación solar la mayor parte del año, escasa y desigual disponibilidad de agua y alimento durante el año y elevados niveles de contaminación. La

ganadería tradicional, intensiva y basada en animales de climas templados, exige destinar más del 30% de la superficie agrícola y más del 50% del agua extraída a la producción de forrajes, instalaciones que permitan aminorar los efectos de las temperaturas ambientales y competir en el mercado con productores con ventajas para la producción. La actividad pecuaria basada en los recursos naturales que ofrece la región requiere de animales con capacidad para sobrevivir a la época de sequía y para aprovechar el periodo de lluvias eficientemente, lo que implica bajos requerimientos energéticos para mantenimiento, capacidad para soportar la privación de agua, eficientes mecanismos de termorregulación y conductas que le permitan lidiar con las inclemencias ambientales.

Existe la necesidad de investigar respecto a las consecuencias de mejorar las poblaciones de ganado locales en México con las razas utilizadas más comúnmente, con el fin de hacer un uso racional de los recursos genéticos para incrementar la eficiencia de los sistemas productivos de esta especie (Montaldo *et al.*, 1995).

La Comarca Lagunera se considera como una importante región ganadera, sobresaliendo por el número de caprinos que en ella se tienen registrados. Con una extensión territorial de 54,789.27 km<sup>2</sup>, lo que representa el 2.8% de la superficie nacional, las 396,987 cabezas de caprinos que en ella se contabilizan representan el 4.4% del total nacional. Por otra parte, con una densidad de cabras de 7.25 animales por km<sup>2</sup> la Comarca Lagunera está muy por encima de la media nacional (4.5/km<sup>2</sup>), lo que denota su relevancia en la ganadería caprina.

Es bien conocido que las economías del agua y la energía son mucho más frugales en las especies y razas adaptadas al desierto, y que los bajos requerimientos de energía de éstas son a causa de su tasa metabólica baja, la cual en el caso de las cabras se ha relacionado recientemente con su menor proporción de órganos viscerales (Silanikove, 1989).

Las diferencias raciales a la adaptación han recibido hasta ahora poca atención en la investigación. Sin embargo, debido al incrementado interés en la crianza de cabras en medios ambientes adversos para incrementar la producción, tanto a través del cruzamiento con razas exóticas o mediante crianza por selección, puede ahora ser más importante conocer los rasgos individuales, responsables o ligados a la adaptación, para asegurar que ésta se mantiene dentro de los programas de crianza (Gall, 1991).

Dobzhansky argumenta que las diferencias interracial e interespecíficas son "causadas en la mayoría de los casos por la cooperación de numerosos genes, cada uno de los cuales tomados separadamente, tiene sólo pocos efectos sobre el fenotipo". Similarmente, Huxley en 1963, concluyó que el "análisis detallado de los últimos diez o cincuenta años... revela un gran número de genes diferentes con efectos extremadamente pequeños, casi bajo el límite de su detectabilidad. No solamente es posible, sino altamente probable que entre éstos está siendo buscado el jefe de los bloques de construcción del cambio evolutivo, y éste se da a través de pequeñas mutaciones, notables en la forma de series de pasos alélicos múltiples, cada uno ajustado para la viabilidad y eficiencia por recombinaciones y pequeñas mutaciones posteriores, en los que la evolución progresiva y adaptativa han ocurrido" (Orr y Coyne, 1992).

Si la opción para la producción de ganado en regiones adversas tales como las zonas áridas es la selección de las razas adaptadas a las condiciones medio ambientales, más que la modificación de éstas, es conveniente considerar que de acuerdo con Ferrel y Jenkins (1985), la selección para incrementar la tasa de crecimiento en medios ambientes estresantes, resulta en una disminución de la rapidez para producir calor y recordar que existen evidencias de que los animales se adaptan en términos de sus requerimientos de mantenimiento, para el medio ambiente nutricional, habilidad que varía entre los animales.

Con la finalidad de asegurar el suministro diario de agua y escoger las especies o las razas que están mejor adaptadas a las condiciones de aridez y semiaridez, se necesitan determinar las tasas de intercambio diario de agua, ya que los animales escogidos deben caracterizarse por su economía de agua al mismo tiempo que mostrar menos problemas a causa de la temperatura. (El-Nouty et al., 1988)

Se ha observado que la magnitud del umbral del complejo estresante temperatura-humedad, la cual puede tener un efecto adverso es racial (Bhattacharya y Uwayjan, 1975), así como que los mecanismos de adaptabilidad al frío o al calor de las cabras domésticas no están bien documentados, mientras que Henken *et al*, (1993) plantean que las razas difieren con respecto a la intercepción y amplitud los ritmos circadianos de la producción de calor. Esto indica que los requerimientos de alimento o calor pueden variar entre las razas y durante el día (Johnson, 1987)

Gall (1991) señala: que... "existen pocas características de adaptación por las cuales determinadas razas sean superiores a otras. Las investigaciones científicas en el pasado se concentraron más sobre las capacidades de las cabras para sobrevivir en condiciones extremas y en subrayar los mecanismos fisiológicos. Las comparaciones directas entre razas son raras, y los pocos casos han sido también pequeños para bosquejar conclusiones definitivas. Debido a esto, actualmente es muy difícil identificar razas particulares que puedan ser un recurso genético para medios ambientes específicos.

"La mayoría de las investigaciones sobre adaptación se han concentrado en cabras adaptadas a las condiciones desérticas, pero mientras que a menudo se ha inferido que las características medidas son específicas de las razas y consideradas como una prueba de adaptación a las condiciones particulares del medio ambiente, las pruebas directas, basadas en las comparaciones raciales no existen, pero sin embargo, los indicadores a partir de los pocos datos disponibles, sugieren fuertemente que las diferencias raciales existen".

Algunas diferencias en los resultados también pueden ser explicadas por deficiencia en la planeación de los experimentos. Manteca y Deag (1993) señalan que aunque la reacción al medio se refiere no solamente al comportamiento, sino también a las respuestas fisiológicas, estas últimas pueden ser usadas para evaluar las diferencias individuales. Tanto los cambios en la tasa cardíaca, como las concentraciones plasmáticas de corticosteroides, han sido utilizados con resultados algo contradictorios. Esto puede ser debido a: 1. Diferencias en el uso de metodología exacta, 2. Uso de animales criados en diferentes medios ambientes en el mismo experimento, 3. Uso de mediciones fisiológicas que pueden ser afectadas por diferentes causas. Esto sugiere que aunque las medidas fisiológicas pueden ser usadas para evaluar las diferencias individuales en la respuesta al medio, debe ponerse especial atención a la metodología usada, y los resultados son de mayor utilidad cuando se usan en el experimento animales criados en el mismo medio ambiente.

Hahn *et al.* (1992) hacen un análisis sobre las diferentes formas de medir la capacidad de respuesta a los agentes estresantes, y enfatizan sobre sus principales deficiencias. Ellos escriben: "la evidencia de alterados niveles circulatorios de cortisol u otras medidas en respuestas a los agentes estresantes es inadecuada, ya que los receptores endocrinos que sirven como puertas para el control de ingreso a partir del conjunto circulatorio, son también influenciados por los estresantes. Las mediciones endocrinas y otras que requieren muestreo sanguíneo tienen más limitaciones relacionadas con la

naturaleza invasiva de la técnica, la cual usualmente rompe la rutina normal de los animales. Si se utiliza la venipuntura en un grupo de animales, éstos están típica e individualmente restringidos, lo cual puede alterar la medida deseada. Alternativamente, la canalización puede ser usada para minimizar la perturbación después de que el proceso de canalización se completa, pero usualmente requiere alojamiento individual y un considerable esfuerzo para mantener en su lugar a las cánulas. También existen riesgos de infección los cuales pueden confundir las mediciones.

"Las respuestas al estrés más directamente relacionadas con la energética del animal, tales como el consumo de alimento y la producción de calor también han sido evaluadas. Sin embargo, el consumo de alimento sólo proporciona un indicador general del estrés, y el medir la producción de calor requiere equipo y procedimientos extremadamente sofisticados para obtener resultados confiables.

"Las alteraciones en la temperatura corporal son otra medida energética, y reflejan las respuestas termorreguladoras a los estresantes medio ambientales. En particular, la temperatura timpánica ha mostrado ser una medida relativamente sensitiva para evaluar las respuestas a los agentes medio ambientales. De tal forma, sirve como un indicador de la temperatura hipotalámica, la cual juega un papel vital en la regulación endocrina y en las funciones inmunológicas, y a la que generalmente se le considera con un papel central en la regulación del consumo de alimento. La temperatura timpánica es por lo tanto, una medida lógica para una posterior evaluación para la caracterización del estrés animal."

Lo anterior tiene relación directa con el hecho del papel preeminente que las estructuras hipotalámicas tienen en el control de la temperatura corporal de los mamíferos, descubierto en 1912 y que puede ser considerado como el paso inicial dentro del análisis estructural y funcional del sistema activo en la termorregulación homeotérmica (Simon et al., 1986).

Las adaptaciones deben ser evaluadas en comparación con fenotipos alternativos específicos, ya que aunque esto pareciera ser un punto bastante obvio, la falta de incorporación de este "principio de relatividad" evolutiva dentro de la definición de adaptación, puede acarrear tanto confusión como una estrecha percepción (Reeve, 1993).

En las pruebas experimentales para medir la diferente adaptación racial a medios ambientes extremos, es importante que a los animales se les

proporcione el tiempo suficiente para ajustarse a las condiciones del tratamiento, de otra forma, las verdaderas diferencias raciales adaptativas, pueden ser confundidas con diferencias debidas a la reacción inmediata a los cambios medio ambientales (Gall, 1991).

## 17 Literatura citada

- Abdalla, E. B., E. A. Kotby, y H. D. Johnson. 1993. Physiological responses to heat-induced hyperthermia of pregnant and lactating ewes. *Small Ruminant Res*: 125
- Abdelatif, A. M., y M. M. M. Ahmed. 1992. Thermoregulation, water balance and plasma constituents in sudanese desert sheep: Responses to diet and solar radiation. *J. Arid Environ* 25: 387
- Abdelatif, A. M., y M. M. M. Ahmed. 1994. Water restriction, thermoregulation, blood constituents and endocrine responses in sudanese desert sheep. *J. Arid Environ* 26: 171.
- Abilay, T. A., R. Mitra, y H. D. Johnson. 1975. Plasma cortisol and total progesterin levels in holstein steers during acute exposure to high environmental temperature (42 C) conditions. *J Anim Sci* 41: 113-117.
- Aganga, A. A. 1992. Water utilization by sheep and goats in northern nigeria. *World Animal Review, FAO* 73: 9.
- Alam, M. R., G. D. Lawson, D. P. Poppi, y A. R. Sykes. 1987. Comparison of the site and extent of digestion of nutrients of a forage in kids and lambs. *J. Agric. Sci. (Camb)* 109: 583.
- Alba, J. D., y B. W. Kennedy. 1996. Genetic parameters of purebred and crossbred milking criollos in tropical mexico. *Anim. Prod* 58: 159.
- Al-Katanani, Y. M., F. F. Paula-Lopes, y P. J. Hansen. 2002. Effect of season and exposure to heat stress on oocyte competence in holstein cows. *J Dairy Sci* 85: 390-396.
- Alnimer, M., G. De Rosa, F. Grasso, F. Napolitano, y A. Bordi. 2002. Effect of climate on the response to three oestrous synchronisation techniques in lactating dairy cows. *Anim.Reprod.Sci* 71: 157-168.
- Anderson, C. 1992. Genetic resources a gene library that goes "moo". *Nature* 355: 382.
- Appleman, R. D., y J. C. Delouche. 1958. Behavioral, physiological and biochemical responses of goats to temperature, 0°C to 40°C. *J. Anim. Sci* 17: 326.
- Arad, A., y C. Korine. 1993. Effect of water restriction on energy and water balance and osmoregulation of the fruit bat *rousettus-aegyptiacus*. *J. Comp. Physiol.* 163: 401.

- Azab, M. E., A. Azizel-Azaway, y M. Mfat-Halla. 1992. Seasonal changes in the activity and morphology of the sweat glands of goats. *Indian J. Anim. Sci* 62: 436.
- Barnett, J. L., y P. H. Hemsworth. 1990. The validity of physiological and behavioural measures of animal welfare. *Appl Anim Behav Sci* 25: 177.
- Becker, B. A. et al. 1985. Peripheral concentrations of cortisol as an indicator of stress in the pig. *Am J. Vet. Res.* 46: 1034-1038.
- Bell, A. W., B. W. McBride, R. Slepatis, R. J. Early, y W. B. Currie. 1989. Chronic heat stress and prenatal development in sheep: I. Conceptus growth and maternal plasma hormones and metabolites. *J. Anim. Sci* 67: 3289-3299.
- Bennett, N. C., J. U. M. Jarvis, y F. P. D. Cotterill. 1993. Poikilothermic traits and thermoregulation in the afro-tropical social subterranean mashaona mole-rat (*cryptomys hottentotus darlingi*) (rodentia, bathyergidae). *J Zool* 321: 179.
- Bhattacharya, A. N., y M. Uwayjan. 1975. Effect of high ambient temperature and low humidity on nutrient utilization and on some physiological responses in awasi sheep fed different levels of roughage. *J Anim Sci* 40: 320-328.
- Bhayani, D. B., y K. N. Vyas. 1990. Regional differences in the sweat gland characteristics in gir cattle with reference to thermoregulation. *Indian J Anim. Sci* 60: 817.
- Bitman, J. A., Lefcourt, D. L. Wood, y B. Stroud. 1984. Circadian and ultradian temperature rhythms of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci* 67: 1014.
- Black, J. L. 1983. Evolutionary adaptations and their significance in animal production. In: L. Peel, d. E. Tribe (eds.). *Domestication, conservation and use of animal resources*. World Animal Science A 1 Elsevier, Amsterdam.
- Blair-West, J. R., A. H. Brook, A. Gibson, M. Morris, y P. T. Pullan. 1979. Renin, antidiuretic hormone and the kidney in water restriction and rehydration. *J. Physiol* 294: 181-193.
- Bligh, J., y K. G. Johnson. 1973. Glossary of terms for thermal physiology. *J Appl Physiol* 35: 941-961.
- Boissy, A. 1995. Fear and fearfulness in animals. *Q Rev Biol* 70: 165-191.
- Bonnet, S., P. A. Geraert, M. Lessire, B. Carre, y S. Guillaumin. 1997. Effect of high ambient temperature on feed digestibility in broilers. *Poult Sci* 76: 857-863.
- Briese, E., H. Hui-Wan, y M. A. Parada. 1991. Stress hyperthermia in mice. *J Therm Biol* 16: 333.

- Broom, D. M. 1988. The scientific assessment of animal welfare. *Appl. Anim. Behav. Sci* 20: 5.
- Broom, M. D. 1993. Assessing the welfare of modified or treated animals. *Livest. Prod. Sci* 36: 39.
- Brown, D. E., y P. C. Harrison. 1984. Lack of peripheral sympathetic control of uterine blood flow during acute heat stress. *J Anim Sci* 59: 182-188.
- Buffington, D. E. et al. 1981. Black globe-humidity index (BGHI), as comfort equation for dairy cows. *T. ASAE* 711.
- Burden, V. R., B. D. White, R. G. Dean, y R. J. Martin. 1993. Activity of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis is elevated in rats with activity-based anorexia. *J. Nutr.* 123: 1217-1225.
- Butterworth, M. H. 1987. Wild and domestic ungulates. In H. D. Johnson, (ed.). *Bioclimatology and adaptation of livestock* Elsevier, Amsterdam.: p 127.
- Cannon, W. B. 1929. Organization for physiological homeostasis. *Physiol Rev* 9(3): 399.
- Cannon, W. B. 1935. Stress and strains of homeostasis. *Am. J. Med. Sci.* 189: 1.
- Carbonaro, D. A., T. H. Friend, G. R. Dellmeier, y L. C. Nuti. 1992. Behavioral and physiological responses of dairy goats to isolation. *Physiol Behav* 51: 297-301.
- Carmi, N. B., Pinshow, M. Horowitz, y M. H. Bernstein. 1993. Birds conserve plasma volume during thermal and fight incurred dehydration. *Physiol. Zool* 66: 829.
- Carvalho, J. G., R. W. Blake, E. J. Pollak, y P. J. Van Soest. 1995. Comparison of landim and africander cattle in southern mozambique: II. Female fertility, reproduction, and beef offtake. *J. Anim. Sci* 73: 3527-3533.
- Carvalho, F. A., M. A. Lammoglia, M. J. Simoes, y R. D. Randel. 1995. Breed affects thermoregulation and epithelial morphology in imported and native cattle subjected to heat stress. *J Anim Sci* 73: 3570-3573.
- Collier, R. J., D. K. Beede, W. W. Thatcher, L. A. Israel, y C. J. Wilcox. 1982. Influences of environment and its modification on dairy animal health and production. *J. Dairy Sci* 65: 2213-2227.
- Collier, R. J., R. M. Eley, A. K. Sharma, R. M. Pareira, y D. E. Buffington. 1981. Shade management in subtropical environment for milk yield and composition in holstein and jersey cows. *J. Dairy Sci.* 64: 844.
- Cook, C. J. 1996. Basal and stress response cortisol levels and stress avoidance learning in sheep (*ovis ovis*). *New Zeal. Vet. J.* 44: 162.

- Cooper, M. A., y K. W. Washburn. 1998. The relationships of body temperature to weight gain, feed consumption, and feed utilization in broilers under heat stress. *Poult Sci* 77: 237-242.
- Cymbaluk, N. F., y I. C. Christison. 1990. Environmental effects on thermoregulation and nutrition of horses. *Vet. Clin. N. Am.-Equine* 6: 355.
- Dahlin, A. et al. 1995. . Population structure of the sahiwal breed in .Pakistan. *Anim. Sci.* 60: :163.
- Dantzer, R., y P. Mormede. 1983. Stress in farm animals: A need for reevaluation. *J. Anim Sci* 57: 6-18.
- Davis, M. S., T. L. Mader, S. M. Holt, y A. M. Parkhurst. 2003. Strategies to reduce feedlot cattle heat stress: Effects on tympanic temperature. *J Anim Sci* 81: 649-661.
- Devendra, C. 1980. Milk pr oduction in goats compared to buffalo and cattle in humid tropics. *J. Dairy Sci.* 63: 1755.
- Devendra, C. 1987. Bioclimatology and adaptation of livestock. H.D. Johnson Elsevier, Amsterdam: 157.
- Di Costanzo, A., J. N. Spain, y D. E. Spiers. 1997. Supplementation of nicotinic acid for lactating holstein cows under heat stress conditions. *J Dairy Sci* 80: 1200-1206.
- Diverio, S. P., J. Goddard, y L. J. Gordon. 1996. Physiological responses of farmed red deer to management and their modulation by long-acting neuroleptics. *J. Agric. Sci.* 126: 211.
- Dmi'el, R. A., Prevulotzky, y A. Shkolnik. 1980. Is a black coat in the desert a means of saving metabolic energy? *Nature* 238: 761.
- Donati, Y. R., D. O. Slosman, y B. S. Polla. 1990. Oxidative injury and the heat shock response. *Biochem Pharmacol* 40: 2571-2577.
- Downs, C. T., y M. R. Perrin. 1991. Urinary concentrating of four gerbillurus species of southern african arid regions. *J. Arid Environ* 20: 71.
- Dreiling, C. E. F. S. Carman, y D. E. Brown. 1991. Maternal endocrine and fetal metabolic responses to heat stress. *J. Dairy Sci.* 74: 312.
- Dubois, M. F., y O. Bensaude. 1993. Map kinase activation during heat shock in quiescent and exponentially growing mammalian cells. *FEBS Lett* 324: 191-195.
- Dunitz, J. D., y S. A. Benner. 1986. Body temperature and the specific heat of water. *Nature* 324: 418.
- DuPreez, J. H., W. H. Giesecke, y P. N. Hattingh. 1990. Heat stress in dairy cattle and other livestock under southern african conditions. I. Temperature-humidity index mean values during the four main seasons. *Onderstepoort J. Vet* 55: 77.

- duPreez, J. H., S. J. Terblanche, W. H. Giesecke, C. Maree, y M. C. Welding. 1991. Effect of heat stress on conception in a dairy herd model under south african conditions. *Theriogenology* 35: 1039.
- Early, R. J., B. W. McBride, I. Vatnick, y A. W. Bell. 1991. Chronic heat stress and prenatal development in sheep: II. Placental cellularity and metabolism. *J. Anim Sci* 69: 3610-3616.
- Edwards, B. A. 1991. The distribution of water in the intracellular and extracellular compartments and the lipid and protein composition of the mongolian gerbil (*meriones unguiculatus*) during water deprivation. *Comp. Biochem. Phys B Vol.* 100A(4): 901.
- El-Nouty, F. D. et al. 1988. Water requirements and metabolism in egyptian barki and rahmani sheep and baladi goats during spring, summer and winter seasons. *J. Agric. Sci.* 111: 27.
- Epstein, M. HorowitzY, y Y. Shapiro. 1990. Hypothalamic an extrahypothalamic-limbic sistem vasopressin concentration under exposure to hyperosmolarity, hypovolemia and heat stress. *J. Therm. Biol.* 15: 177.
- Farmer, C., P. Dubreuil, Y. Couture, P. Brazeau, y C. Petitclerc. 1991. Hormonal changes following an acute stress in control and somatostatin-immunized pigs. *Domest. Anim. Endocrin.* 8: 527.
- Ferrell, C. L., y T. G. Jenkins. 1985. Cow type and the nutritional environment: Nutritional aspects. *J. Anim Sci* 61: 725-741.
- Freudenberger, D. O., y Y. D. Hume. 1993. Effects of water restriction on digestive function in 2 macropodid marsupial from divergent habitats and the feral goat. *J. Comp. Physiol* 163: 247.
- Friend, T. H. 1990. Behavioral aspects of stress. *J Dairy Sci* 74: 292-303.
- Fulkerson, W. J., y B. Y. Tang. 1979. Ultradian and circadian rhythms in the plasma concentration of cortisol in sheep. *J Endocrinol* 81: 135-141.
- Fuquay, J. W. 1981. Heat stress as it affects animal production. *J. Anim. Sci* 52: 164-174.
- Gall, C. F. 1991. Breed diferences in adaptation of goats. En: K. Maijala. (ed.) genetic resources of pig, sheep and goat. *World Animal Science.* Elsevier, Amsterdam: 413-429.
- Garland, T. J., y P. A. Carter. 1994. Evolutionary physiology. *Annu Rev Physiol* 56: 579-621.
- Gaughan, J. B., T. L. Mader, S. M. Holt, M. J. Josey, y K. J. Rowan. 1999. Heat tolerance of boran and tuli crossbred steers. *J. Anim. Sci* 77: 2398-2405.

- Ghosal, A. K., y G. N. Matur. 1992. Zinc, copper and iron contents of blood serum of cattle sheep in semi-arid tract of rajasthan. *Indian J. Anim. Sci.* 62: 441.
- Gómez-Brunet, A., y S. López. 1991. Effect of season on plasma concentrations of prolactin and cortisol in pregnant, non-pregnant and lactating ewes. *Anim. Reprod. Sci* 26: 251.
- Goodfriend, W., D. Ward, y A. Subach. 1991. Standard operative temperatures of two desert rodents, *gerbillus allenbyi* and *gerbillus pyramidum*: The effects of morphology, microhabitat and enviromental factors. *J. Therm. Biol.* 16: 157.
- Grandin, T. 1994. Farm animal welfare during handling, transport, and slaughter. *J Am Vet Med Assoc* 204: 372-377.
- Guerriero, v. J., y D. A. Raynes. 1990. Synthesis of heat stress proteins in lymphocytes from livestock. *J Anim Sci* 68: 2779-2783.
- Güney, O., O. Biçer, y O. Torum. 1992. Fertility, prolificacy and milk production in çukuvorva and taurus dairy goats under subtropical conditions in turkey. *Small Ruminant Res.* 7: 265.
- Hahn, G. L., Y. R. Chen, J. A. Nienaber, R. A. Eigenberg, y A. M. Parkhurst. 1992. Characterizing animal stress through fractal analysis of thermoregulatory responses. *J. Therm. Biol.* 17: 115.
- Harris, D. L., R. R. Shrode, W. Rupell, y R. E. Leighton. 1960. A study of solar radiation as related to physiological and production responses of lactating holstein and jersey cows. *J. Dairy Sci* 43: 1255.
- Hashizume, T., S. A. Haglof, y P. V. Malven. 1995. Intracerebral methionine-enkephalin, serum cortisol, and serum beta-endorphin during acute exposure of sheep to physical or isolation stress. *J. Anim Sci* 72: 700-708.
- Hass, Y. G. 1991. Bip-a heat shock protein involved in immunoglobulin chain assembly. *Curr. Top. Microbiol. Immunol* 167: 71.
- Hatfield, J. L. 1990. Agroclimatology of semiarid lands. *Advances in Soil Science* 13: 9.
- Hendricks, G. L., M. M. Mashaly, y H. S. Siegel. 1995. Validation of an assay to measure adrenocorticotropin in plasma and from chicken leukocytes. *Poult Sci* 74: 337-342.
- Hicks, T. A., J. J. McGlone, C. S. Whisnant, H. G. Kattesh, y R. L. Norman. 1998. Behavioral, endocrine, immune, and performance measures for pigs exposed to acute stress. *J. Anim Sci* 76: 474-483.
- Hoffmann, A. A., y P. A. Parsons. 1991. Evolutionary genetics and environmental stress. Oxford University Press, New York.

- Holmes, J. H. G., S. Prasetyo, H. M. Miller, y E. A. Scheurmann. 1986. Effect of chronic heat load during pregnancy on birth weight, behaviour and body composition of australian feral goat kids. *Trop. Anim. Health Pro* 18: 185.
- Honaramooz, A., R. K. Chandolia, A. P. Beard, y N. C. Rawlings. 1999. Effects of season of birth on the prepubertal pattern of gonadotropin secretion and age at puberty in beef heifers. *Theriogenology* 52: 67-79.
- Janssens, C. J. J. G., F. A. Helmond, y V. M. Wiegant. 1995. The effect of chronic stress on plasma cortisol concentrations in cyclic female pigs depends on the time of day. *Domest. Anim. Endocrin* 12: 167.
- Johnson, y K. G. R. Strack. 1992. Effects of shade use on grazing, drinking, ruminating and postural patterns of merino sheep. *Aust. J. Agr. Res* 43: 261.
- Johnson, H. D. 1987. Bioclimates and livestock. *Bioclimatology and adaptation of livestock* Elsevier, Amsterdam: 127.
- Johnson, H. D. et al. 1991. Effects of somatotropin on milk yield and physiological responses during summer farm and hot laboratory conditions. *J. Dairy Sci* 74: 1250-1262.
- Keister, Z. O. et al. 2002. Physiological responses in thermal stressed jersey cows subjected to different management strategies. *J. Dairy Sci* 85: 3217-3224.
- Ketelaars, J. J. M. H., y B. J. Tolkamp 1992. Toward a new theory of feed intake regulation in ruminants I. Causes of differences in voluntary feed intake: Critique of current views. *Livest. Prod. Sci.* 30: 269.
- Klemcke, H. G. 1994. Responses of the porcine pituitary-adrenal axis to chronic intermittent stressor. *Domest. Anim. Endocrin* 11: 133.
- Knapp, D. M., R. R. Grummer, y M. R. Dentine. 1991. The response of lactating dairy cows to increasing levels of whole roasted soybeans. *J Dairy Sci* 74: 2563-2572.
- Kouba, M., D. Hermier, y J. Le Dividich. 2001. Influence of a high ambient temperature on lipid metabolism in the growing pig. *J. Anim Sci* 79: 81-87.
- Langhans, W., E. Scharrer, y A. H. Meyer. 1991. Changes in feeding behavior and plasma vasopressin concentration during water deprivation in goats. *J. Vet. Med. A* 38: 11.
- Lee, D. H. K. 1965. Climatic stress indices for domestic animals. *Int. J. Biometeorol* 9(1): 29.
- Li, Y., T. Ito, M. Nishibori, y S. Yamamoto. 1992. Effects of environmental temperature on heat production associated with food intake and on abdominal temperature in laying hens. *Br Poult Sci* 33: 113-122.

- Lightman, S. L. 1995. Corticotropin-releasing factor. From stress to cognition. *Nature* 378: 233-234.
- Lindsay, D. R. 1996. Environment and reproductive behaviour. *Anim. Reprod. Sci* 29: 1.
- Lott, B. D. 1991. The effect of feed intake on body temperature and water consumption of male broilers during heat exposure. *Poult Sci* 70: 756-759.
- Lovegrove, B. G., G. Heldmaier, y T. Ruf. 1991. Perspectives of endothermy revisited: The endothermic temperature range. *J. Therm. Biol* 16: 185.
- Lu, C. D. 1989. Effects of heat stress on goat production. *Small Ruminant Res* 2: 151-162.
- Macfarlane, W. V., B. Howard, y R. J. H. Morris. 1966. Water metabolism of merino sheep shorn during summer. *Aust. J. Agr. Res* 17: 219.
- Macfarlane, W. V., K. Robinson, B. Howard, y R. Kinne. 1958. Heat, salt and hormones in panting and sweating animals. *Nature* 182: 672-673.
- Mackinnon, M. J., W. Thorpe, y R. L. Baker. 1996. Sources of genetic variation for milk production in a crossebred herd in the tropics. *Anim. Sci* 61: 5.
- Maddox, J. 1991. Is darwinism a thermodynamic necessity? *Nature* 350: 653.
- Mader, T. L., S. M. Holt, G. L. Hahn, M. S. Davis, y D. E. Spiers. 2002. Feeding strategies for managing heat load in feedlot cattle. *J. Anim Sci* 80: 2373-2382.
- Mal , M. E., T. H. Friend, D. C. Lay, S. G. Vogeslang, y O. C. Jenkins. 1991. Physiological responses of mares to short term confinement and social isolation. *Equine Vet. Sci* 11: 96.
- Malayer, J. R., P. J. Hansen, T. S. Gross, y W. W. Tatcher. 1990. Regulation of heat shock-induced alterations in the release of prostaglandins by the uterin endometrium of cows. *Theriogenology* 34: 219.
- Maltz, E., y A. Shkolnik. 1984. Lactational strategies of desert ruminants: The bedouin goat, ibex and desert gazelle. *Symp. Zool. Soc. Lond* 51: 193.
- Manteca, X., y J. M. Deag. 1993. Use of physiological measures to assess individual differences in reactivity. *Appl. Anim. Behav. Sci* 37: 265.
- Mathur, B. K., J. P. Mittal, A. C. Mathur, y M. C. Bhandari. 1991. Effect of drought on wool production in chokla and nali sheep maintained on desert rangeland. *Indian J. Anim. Sci* 61: 80.
- May, J. D., J. W. Deaton, F. N. Reece, y S. L. Branton. 1986. Effect of acclimation and heat stress on thyroid hormone concentration. *Poult Sci* 65: 1211-1213.
- Mazcorro, V. E., H. J. De la Fuente, E. M. L. Jiménez, y H. M. González. 1991. La producción agropecuaria en la comarca lagunera. UACH.

- McArthur, A. J., y J. A. Clark. 1987. Body temperature and heat and water balance. *Nature* 326: 647-648.
- McCraib, G. J., y G. Bortolussi. 1996. Placental growth and the ability of sheep to thermoregulate in hot environment. *Small Ruminant Res.* 20: 121.
- McDowell, R. E., E. G. Moody, P. J. Van Soest, R. P. Lehmann, y G. L. Ford. 1969. Effect of heat stress on energy and water utilization of lactating cows. *J. Dairy Sci* 52: 188-194.
- Mitlohner, F. M., M. L. Galyean, y J. J. McGlone. 2002. Shade effects on performance, carcass traits, physiology, and behavior of heat-stressed feedlot heifers. *J. Anim Sci* 80: 2043-2050.
- Mohammed, M. E., y H. D. Johnson. 1985. Effect of growth hormone on milk yields and related physiological functions of holstein cows exposed to heat stress. *J Dairy Sci* 68: 1123-1133.
- Morell, V. 1996. Genes vs. Teams: Weighing group tactics in evolution. *Science* 273: 739.
- Morton, D. J., E. Anderson, C. M. Foggin, M. D. Kock, y E. P. Tiran. 1995. Plasma cortisol as an indicator of stress due to capture and translocation in wildlife species. *Vet. Rec* 136: 60-63.
- Mousa, H. H., y M. Y. Elkalifa. 1992. Effects of water deprivation on dry matter intake, dry matter digestibility, and nitrogen retention in sudan desert lambs and kids. *Small Ruminant Res* 61: 311.
- Mualem, R., I. Choshniak, y A. Shkolnik. 1990. Environmental heat load, bioenergetics and water economy in two breed of goats. *World Review of Animal Prod* 25.
- Müller, E. F., y R. van Aken. 1990. Thermoregulation and evaporative water loss in spiny mice (*acomys cahirinus desmarest, 1819*). *Z. Säugetierkd* 55: 244.
- Munksgaard, L., y H. B. Simonsen. 1996. Behavioral and pituitary adrenal-axis responses of dairy cows to social isolation and deprivation of lying down. *J. Anim Sci* 74: 769-778.
- Nedivi, E., D. Hevroni, D. Naot, D. Israeli, y Y. Citri. 1993. Numerous candidate plasticity-related genes revealed by differential cDNA cloning. *Nature* 363: 718-722.
- Newman, S. 1994. Quantitative- and molecular-genetic effects on animal well-being: Adaptive mechanisms. *J Anim Sci* 72: 1641-1653.
- Niezgoda, J., S. Bobek, D. Wronskafortuna, y E. Wierzchos. 1993. Response of sympatho-adrenal axis and adrenal cortex to short-term restraint stress in sheep. *J. Vet. Med* 40: 631.

- Nozawa, K. 1991. Domestication and history of goats. En: K. Majjala (ed.) genetic resources of pig, sheep and goat. World Animal Science Elsevier, Amsterdam,; 391.
- Nwe, T. M., E. Hori, M. Manda, y S. Watanabe. 1995. Significance of catecholamines and cortisol levels in blood during transportation stress in goats. *Small Ruminant Res* 20: 129.
- O'Brien, J., E. Dahlhoff, y G. N. Somero. 1991. Thermal resistance of mitochondrial respiration: Hydrophobic interactions of membrane proteins may limit thermal resistance. *Physiol. Zool* 64: 1509.
- Okab, A. B. et al. 1992. Seasonal changes in plasma volume, adrenocortical hormones, osmolality and electrolytes during pregnancy and at parturition in barki and rahmani ewes. *Indian J. Anim. Sci* 62: 302.
- Olson, T. A., C. Lucena, C. C. Chase, Jr., y A. C. Hammond. 2003. Evidence of a major gene influencing hair length and heat tolerance in bos taurus cattle. *J. Anim. Sci* 81: 80-90.
- Olsson, K., M. Josäter-Hermelin, J. Hossaini-Hilali, E. Hydbring, y K. Dahlborn. 1995. Heat stress causes excessive drinking in fed and food deprived pregnant goats. *Comp. Biochem. Phys* 110: 309.
- Ominski, K. H., A. D. Kennedy, K. M. Wittenberg, y S. A. Moshtaghi Nia. 2002. Physiological and production responses to feeding schedule in lactating dairy cows exposed to short-term, moderate heat stress. *J Dairy Sci* 85: 730-737.
- Orr, H. A., y J. A. Coyne. 1992. The genetics of adaptation. A reassessment. *Am. Nat* 140: 725.
- Parkash, y P. V. S. Rathore. 1991. Seasonal variations in blood serum profiles of triiodothyronins and thiroxine in goat. *Indian J. Anim. Sci* 61: 1311.
- Ravagnolo, O., y I. Misztal. 2002. Effect of heat stress on nonreturn rate in holstein cows: Genetic analyses. *J. Dairy Sci* 85: 3092-3100.
- Reeve, H. K. 1993. Adaptation and the goals of evolutionary research. *Q. Rev. Biol* 68: 1.
- Renaudeau, D., J. Noblet, y J. Y. Dourmad. 2003. Effect of ambient temperature on mammary gland metabolism in lactating sows. *J Anim Sci* 81: 217-231.
- Rhodes, I., R. C. , M. M. Nippo, y W. A. Gross. 1994. Stess in lambs (*ovis aries*) during a routine management procedure: Evaluation of acute and chronic responses. *Comp. Biochem. Phys* 107: 181.
- Roth, J., G. Merker, F. Nürnberger, B. Pauly, y E. Zeisberger. 1990. Changes in physiological and neuroendocrine properties during thermal adaptation of golden hamsters (*mesocricetus auratus*). *J. Comp. Physiol* 160: 153.

- Roth, Z., A. Arav, R. Braw-Tai, A. Bor, y D. Wolfenson. 2002. Effect of treatment with follicle-stimulating hormone or bovine somatotropin on the quality of oocytes aspirated in the autumn from previously heat-stressed cows. *J. Dairy Sci* 85: 1398-1405.
- Ruben, J. 1995. The evolution of endothermy in mammals and birds: From physiology to fossils. *Annu Rev Physiol* 57: 69-95.
- Sapolsky, R. M. 1996. Why stress is bad for your brain. *Nature* 273: 749.
- Schacht, W. H., J. R. Kawas, y J. C. k. Maleche. 1992. Effects of supplemental urea and molases on dry season weighth gains of goats in semiarid tropical woodland, brazil. *Small Ruminant Res* 7: 235.
- Scheiner, S. M. 1993. Genetics and evolution of phenotypic plasticity. *Annu. Rev. Ecol. Syst* 24: 35.
- Schlichting, C. D. 1986. The evolution of phenotypic plasticity in plants. *Annu. Rev. Ecol. Syst* 17: 667.
- Schmidt, J. R. H. 1989. The arid zones of Mexico: Climate extremes and conceptualization of the sonoran desert. *J. Arid Environ* 16: 241.
- Schmidt-Nielsen, K., E. C. Crawford, A. E. Newsome, K. S. Rawson, y I. H. T. Hamme. 1967. Metabolic rate of camels: Effect of body temperature and dehydration. *Am. J. Physiol-London* 212: 341.
- Selye, H. 1936. A syndrome produced by diverse nocuous agents. *Nature* 138: 32.
- Selye, H. 1955. The evolution of the stress concept. *Am. Sci* 6: 692.
- Selye, H. 1973. The evolution of the stress concept. *Am. Sci* 6: 692.
- Selye, H. 1983. The stress concept: Past, present and future. En: C. L. Cooper (ed.) stress research. John Wiley & Sons, Ltd : 1.
- Sengupta, A., y R. K. Sharma. 1993. Acute heat stress in growing rats - effect on small intestinal morphometry and in vivo absorption. *J. Therm. Biol* 18: 145.
- Sharma, K. D. 1991. Water resources -an overview of the world deserts. *Ann. Arid Zone* 30: 283.
- Shearer, J. K., y D. K. Beede. 1990. Heat stress, part 2. Effects of high environmental temperature on production, reproduction, and health of dairy cattle. *Agri-Practice* 11.
- Shearer, J. K., D. K. Beede, R. A. Bucklin, y D. R. Bray 1991. Heat stress, part 3. Environmental modifications to reduce heat stress in dairy cattle. *Agri-Practice* 12.
- Shkolnik, A., E. Maltz, y S. Gordin. 1980. Desert conditions and goat milk production. *J. Dairy Sci* 63: 1749.
- Siegel, H. S. 1995. Stress, strains and resistance. *Brit. Poultry Sci* 36: 3.

- Silanikove, N. 1986. Interrelationships between feed quality, digestibility, feed consumption, and energy requirements in desert (*Bedouin*) and temperate (*Saanen*) goats. *J. Dairy Sci* 69: 2157.
- Silanikove, N. 1987. Impact of shelter in hot mediterranean climate on feed intake, feed utilization and body fluid distribution in sheep. *Appetite* 9: 207-215.
- Silanikove, N. 1989. Interrelationships between water, food and digestible energy intake in desert and temperate goats. *Appetite* 12: 163-170.
- Silanikove, N. 1992. Effects of water scarcity and hot environments on appetit and digestion in ruminants: A review. *Livest. Prod. Sci* 30: 175.
- Simm, G., J. Conington, S. C. Bishop, C. M. Dwyer, y S. Pattison. 1996. Genetic selection for extensive conditions. *Appl. Anim. Behav. Sci* 49: 47.
- Simon, E., F. K. Pierau, y D. C. Taylor. 1986. Central and peripheral thermal control of effectors in homeothermic temperature regulation. *Physiol Rev* 66: 235-300.
- Sire, J. E. et al. 1995. The effect of blood sampling on plasma cortisol in female reindeer (*Rangifer tarandus tarandus* L). *Acta Vet Scand* 36: 583-587.
- Sneddon, J. C., J. Van der Walt, y G. Mitchell. 1993. Effect of dehydration of the volumes of body fluid compartments in horses. *J. Arid Environ* 24: 397.
- Spotila, J. R., E. A. Standora, D. P. Easton, y P. S. Rutledge. 1989. . Bionergetics, behavior, and resource partitioning in stressed habitats: Biophysical and molecular approaches. *Physiol. Zool* 62: 253.
- Stott, G. H. 1981. What is animal stress and how is it measured? *J. Anim. Sci* 52: 150-153.
- Sultan, S. E. 1995. Phenotypic plasticity and plant adaptation. *Acta Bot. Neerl* 44(4): 363.
- Taneja, A. D., S. B. S. Yadav , y K. Pant. 1991. Morbidity and mortality rates in magra sheep of arid region. *Indian J. Anim. Sci* 61: 1338.
- Torres, J.-L. 1991. Natural selection and thermodynamic optimality. *nuovo cimento* 13D: 177.
- Umphrey, J. E., B. R. Moss, C. J. Wilcox, y H. H. Van Horn. 2001. Interrelationships in lactating holsteins of rectal and skin temperatures, milk yield and composition, dry matter intake, body weight, and feed efficiency in summer in alabama. *J. Dairy Sci* 84: 2680-2685.
- Via, S., y R. Lane. 1985. Genotype-environment interaction and the evolution of phenotypic plasticity. *Evolution* 39: 505.

- von Borell, E. 1995. Neuroendocrine integration of stress and significance of stress for the performance of farm animals. *Appl. Anim. Behav. Sci* 44: 219.
- Wildeus, S., y A. C. Hammond. 1993. Testicular, semen and blood parameters in adapted and nonadapted *bos taurus* bulls in the semi-arid tropics. *Theriogenology* 40(2): 345.
- Yousef, M. K. 1987. Principles of bioclimatology and adaptation. En: H. D. Johnson (ed). *Bioclimatology and adaptation of livestock*. Elsevier, Amsterdam: 127.
- Zurovsky, Y., y A. Shkolnik. 1993. Water economy and fluid distribution in the hamadryas baboon (*Papio hamadryas*). *J. Therm. Biol* 18: 153.