

INFLUENCIA DEL AMBIENTE ATMOSFÉRICO EN LA ADAPTACIÓN Y PRODUCCIÓN ANIMAL

**Ing.Agr. Celmira Saravia
Ing.Agr. Gabriela Cruz**

1. INTRODUCCIÓN

La productividad de los animales es afectada directa e indirectamente por el medio ambiente. La temperatura y humedad del aire, la radiación solar, el desplazamiento de aire, la presión y la precipitación tienen un efecto directo sobre los animales y afectan indirectamente el plano de nutrición variando la cantidad y calidad de los cultivos y pasturas que son los principales componentes de la alimentación (Hafez, 1972).

Ha sido demostrado que la producción de leche está muy influenciada por elementos del

1.-Ing. Agr. Facultad de Agronomía. Unidad de Sistemas Ambientales. Estación Experimental Salto. E-mail:
celric@montevideo.com.uy, tsara@unorte.edu.uy

2. Ing. Agr. Facultad de Agronomía. Unidad de Sistemas Ambientales. Montevideo.E-mail:
gacruz@montevideo.com.uy

clima. En particular la acción combinada de alta radiación solar, temperatura y humedad del aire durante los meses cálidos del año deprimen la productividad de los rodeos lecheros. El efecto de estos elementos se verifica en forma directa, a través de la disminución en la producción de leche (Hahn, 1995; Leva *et al*, 1996) y en la eficiencia reproductiva del rodeo (Hahn, 1993; Flamenbaum, 1996).

También los ovinos que se encuentran en pastoreo sufren la exposición al viento, precipitación y variaciones de la temperatura ambiente, determinando diferentes respuestas fisiológicas ante la ganancia o pérdida de calor. Condiciones ambientales adversas debido al efecto combinado de baja temperatura, precipitación y viento en la época de parición y en el momento de la esquila son unas de las principales causas anuales de mortalidad de corderos (como componente del complejo inanición-exposición) y de animales recién esquilados.

En los animales en crecimiento de todas las especies domésticas se puede afirmar que las ganancias de peso se reducen cuando la temperatura del aire está por encima de la zona termoneutral de la especie y raza en particular. Esto es debido principalmente a que las altas temperaturas del aire y la alta temperatura corporal deprimen el consumo de alimento (Johnson, 1987).

Dada la reconocida influencia de los elementos del clima en la producción animal es importante la cuantificación de las condiciones en que ocurre estrés térmico medido a través de la evolución de índices que consideran por ejemplo la temperatura del aire y humedad (ITH) (Thom, 1959; Johnson, 1961). Existen evidencias que indican que la zona norte de nuestro país durante la época estival no se encuentra dentro de los rangos óptimos para la producción lechera (Flamenbaum, 1994; Cruz y Saravia, 2001). El ITH es un índice que ha sido utilizado en países como Argentina, Brasil, Estados Unidos, Israel, Sudáfrica-Namibia para caracterizar el ambiente térmico para la producción lechera en el período estival logrando utilizarse con éxito como base tanto en la elaboración de sistemas de advertencia para el ganado (Hugh-Jones, 1994), como para la evaluación de las consecuencias económicas del estrés térmico en ambientes naturales y/o modificados en dicho período (Hahn, 1995).

En el presente trabajo se realiza una revisión sobre la adaptación y los mecanismos de defensa de los animales domésticos al medio ambiente, el efecto de éste sobre la producción animal y algunas técnicas para reducir sus efectos detrimentales. Asimismo, se exponen algunos índices utilizados para describir el efecto del ambiente sobre la producción animal y se presentan los resultados de una caracterización de nuestro país a través del ITH en el período estival (Cruz y Saravia, 2001).

2. PRINCIPIOS DE LA ADAPTACIÓN ANIMAL

2.1. Adaptación

La productividad biológica de un sistema, no depende únicamente del flujo de energía, alimento y agua en el mismo, sino también de la adaptabilidad de los organismos al medio, y de sus interacciones.

Adaptación en los animales se refiere a los cambios genéticos y biológicos que ocurren en respuesta a estímulos internos y externos. La adaptación genética comprende la selección natural y la artificial. La adaptación biológica se refiere a los cambios que se producen dentro del individuo en períodos cortos o largos en las características morfológicas, anatómicas, fisiológicas, bioquímicas y de conducta del animal, que le proporcionan bienestar y favorecen la supervivencia en un medio específico.

La adaptación comprende dos conceptos: 1) *resistencia*, la cual se relaciona con la tolerancia hacia ambientes extremos que tienen los organismos, tejidos o enzimas, y se correlaciona con los límites naturales de las especies, y 2) *capacidad adaptativa*, que permite la actividad normal en una escala ambiental alterada, pero tolerable. Ambos fenómenos permiten la supervivencia y reproducción en un medio alterado y se pueden estimar mediante pruebas de *estrés*.

Entre las diferentes especies, e incluso entre los diferentes individuos de una especie, se presenta una considerable variación en su capacidad de ajuste al estrés ambiental. Los animales bien adaptados se caracterizan por a) pérdida mínima de peso durante, la exposición a un estrés tal como la deficiencia nutritiva, alta producción de leche o al ser transportados; b) alto índice reproductor; c) gran resistencia a enfermedades, y d) longevidad y bajo índice de mortalidad.

2.2. Aclimatación y Homeostasis

La aclimatación es un ajuste fisiológico adaptativo, a largo plazo, que es el resultado de una mayor tolerancia a la exposición continua y repetida al *estrés climático* (Kamal *et al.*, 1962 y Johnson *et al.*, 1963, citados por Hafez, 1972).

Los animales homeotermos (mamíferos y aves) son los que tienen la capacidad de controlar dentro de un estrecho margen la temperatura del cuerpo en un medio donde la temperatura puede variar ampliamente. Toleran pérdidas o ganancias de energía del medio que los rodea para mantener una condición constante de todo el cuerpo denominada homeostasis. Cannon en 1932 (citado por Hafez, 1972) definió la capacidad del cuerpo para mantener una condición constante o *status* de todo el cuerpo (peso corporal, presión sanguínea, temperatura interna, etc.) que se opone a las influencias externas que alteran constantemente el medio ambiente.

Las funciones corporales, incluyendo aquellas que implican los procesos que llevan a productos finales que el hombre explota por razones económicas, dependen del mantenimiento de la condición de homeostasis. Los animales homeotermos son capaces de mantener las funciones del organismo a una intensidad relativamente alta aún en tiempo frío o cálido.

La homeotermia impone limitaciones, por ejemplo en el frío los animales necesitan ingerir grandes cantidades de alimento para producir calor y en el tiempo cálido necesitan grandes cantidades de agua para enfriar el cuerpo por evaporación. En condiciones limitadas de agua y alimentos, puede resultar imposible mantener estable la temperatura del cuerpo.

El concepto de **homeostasis** (o equilibrio interno) comprende: *balance calórico* y termorregulación, *balance químico* del agua, compuestos carbonados y electrolitos; y *balance circulatorio* de las actividades cardiovasculares. Se previene la desviación de la condición normal o correcta mediante varios mecanismos homeostáticos. Si no se restablece el equilibrio, el animal muestra síntomas característicos de una enfermedad.

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

Para mantener su balance térmico, los animales que viven en lugares fríos o calientes sufren algunos ajustes funcionales; estos pueden afectar la velocidad del metabolismo, la respiración, la circulación sanguínea, el transporte de fluidos y electrolitos y el engrosamiento de la piel. Los cambios cardiovasculares y el transporte de sales y agua son mecanismos que ajustan el volumen del fluido extracelular y la sangre circulante a necesidades específicas. Aunque por cortos períodos el animal puede tolerar alguna disminución de los líquidos corporales, a la larga deben mantener su equilibrio hídrico (Manery, 1954, citado por Hafez, 1972). Esto significa que toda pérdida de líquidos debe compensarse con una ingestión similar.

Los animales domésticos comprenden aves y mamíferos (rumiantes y monogástricos, que difieren enormemente en el tamaño. Esta diversidad en el tamaño y la estructura se refleja en algunas diferencias en los mecanismos homeostáticos (Hafez, 1972) y en los umbrales críticos de las temperaturas características.

La temperatura normal del cuerpo de los mamíferos va de 36 °C a 40 °C aproximadamente, variando según la especie y edad del animal y sin variaciones por efectos del tamaño corporal, raza y sexo. Respecto a la edad, el feto que tiene metabolismo propio, presenta mayor temperatura que la madre, después del nacimiento la capacidad termorreguladora está poco desarrollada y la temperatura interna es muy lábil. La temperatura disminuye con

la edad hasta alcanzar el nivel característico de la especie, por ejemplo en bovinos pasa de 39,1 °C a 38,3 °C y en ovinos de 39,9 °C a 39,1 °C.

La temperatura del cuerpo se eleva con la ingestión de alimento, el ejercicio muscular, el estro, y al final de la preñez, disminuye en ayunas, después de la esquila y con la ingestión de grandes cantidades de agua fría (Bianca, 1972). También varía con la hora del día (es mínima a primera hora de la mañana y máxima al atardecer), y tiende a seguir las fluctuaciones estacionales de la temperatura del medio ambiente (Schindler, 1958, citado por Bianca, 1972).

Presenta cambios característicos a lo largo del ciclo reproductivo, por ejemplo, en vacas es baja antes del estro, alta el día de manifestación de celo; baja de nuevo en la ovulación y se eleva en la fase luteínica del ciclo (Wrenn *et al.*, 1958, citados por Bianca, 1972).

2.3. Medio Físico

Los factores meteorológicos influyen en el organismo mediante el flujo de energía que aquél absorbe o emite. Debido a sus diferentes tolerancias a la temperatura, los animales y plantas de las diversas especies ocupan muy diferentes medios.

Un animal intercambia energía con su medio a través de los siguientes procesos: *radiación, convección, conducción, evaporación y metabolismo*. Las corrientes de energía que llegan o salen de un organismo son muchas y caracterizan la interacción directa del animal con su medio (figura 1). Durante cortos períodos de tiempo, mientras el animal se calienta o se enfría, puede haber ganancia o pérdida de energía neta. El animal puede tolerar dentro de ciertos límites pérdidas o ganancias de energía de su medio inmediato, pero para que sobreviva las ganancias deben ser iguales a las pérdidas en un lapso más o menos largo de tiempo. El balance energético de un animal se expresa con la siguiente ecuación:

$$\text{Radiación Absorbida} - \text{Radiación Emitida} \pm \text{Convección} \pm \text{Conducción} - \text{Evaporación} + \text{Calor metabólico} = 0$$

Los símbolos positivos representan la ganancia de energía y los negativos la pérdida.

La ecuación también puede representarse de la siguiente manera:

$$\text{Radiación absorbida} + \text{Calor Metabólico} = \text{Radiación Emitida} \pm \text{Convección} \pm \text{Conducción} + \text{Evaporación}$$

La transferencia de calor desde el cuerpo del animal hacia el medio se da a través de las denominadas pérdidas de calor sensible, mediante los procesos de *radiación, conducción y convección*, sobre las cuales el animal tiene poco control y mediante *evaporación*, sobre la cual existe un marcado control por parte del animal.

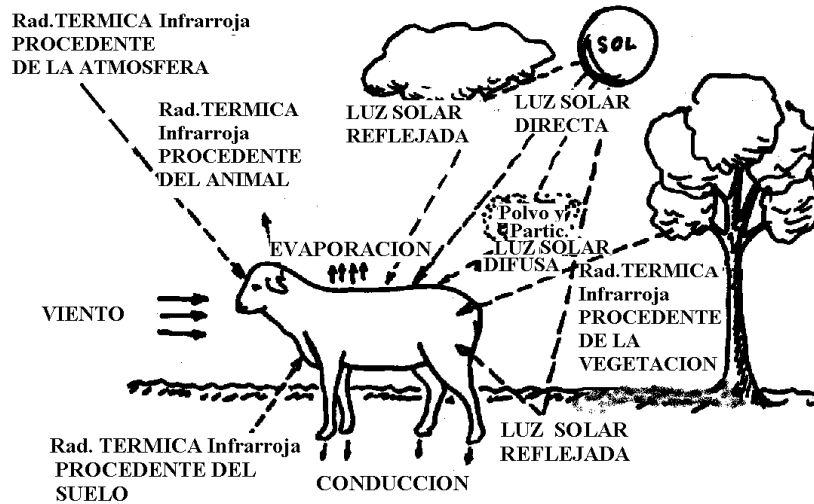


FIGURA 1. Intercambios de energía del animal con el medio (Gates, Citado por Bianca, 1972)

2.3.1.-Radiación

Todos los objetos, incluidos los seres vivos, absorben y emiten radiación en una intensidad dada según la ley de Stefan-Boltzman, si su temperatura es mayor al cero absoluto.

La absorción cuando está expuesto a la radiación solar directa depende de la cantidad de superficie expuesta, del ángulo de la superficie y de la absorbicidad de la misma.

El porcentaje de radiación incidente absorbida (absorbicidad) depende de las características de la superficie del animal, principalmente rugosidad y color. La absorbicidad de la superficie de un animal varía en función de la longitud de onda. Un animal puede estar estrechamente ligado a ciertas longitudes de onda de radiación debido a que tenga una alta absorbicidad para ellas, y estar levemente ligado a otras que refleja bien. Comúnmente el lado ventral es más claro y por lo tanto tiene mayor reflexión y una absorción menor que la región dorsal.

La emisividad de las superficies del animal toma valores entre 0,95 y 0,97. Generalmente cuando un animal cubierto de pelo está a la sombra la temperatura superficial es cercana a la temperatura del aire. Cuando está expuesto al sol, la temperatura superficial (en función de la que emite energía) puede ser muy alta.

2.3.2. Convección

El calor siempre se transmite a lo largo de un gradiente de temperatura y dicho gradiente puede existir entre la temperatura superficial del animal y la temperatura del aire a corta distancia de la superficie. Alrededor de la superficie del animal hay una capa de aire más o menos estacionario (“capa límite”) que constituye la zona de transición entre la temperatura del pelaje y la del aire libre. También es la zona de transición entre la humedad de la superficie y la presión de vapor del aire libre que está más allá de la capa límite.

El espesor de la capa límite envolvente depende del tamaño, forma, y orientación de la superficie del cuerpo, y de propiedades del fluido tales como viscosidad y densidad. La conducción de calor a través de la capa límite depende del espesor de la misma, de la diferencia de temperatura entre la piel y el aire circundante, de la conductividad y de si existe remoción del aire. La energía se transfiere a través de la capa límite por conducción molecular y después hacia el aire libre mediante movimientos de masa causados por la fluctuación del aire. Este desplazamiento de la masa del aire más caliente en el aire más frío se llama convección. La convección libre o natural ocurre si no hay viento, y cuando hay viento la energía se transfiere por convección forzada.

Además de la capa límite que actúa como una capa parcialmente aislante muchos animales desarrollan gruesas cubiertas de fibras (pelo o lana) que le proporcionan un aislamiento extra. Al tener la cobertura, el gradiente acentuado de temperatura se da entre la piel subyacente y la superficie externa del pelaje o del vellón, y el gradiente de temperatura a través de la capa límite es mucho menos acentuado. El pelaje y el vellón son aislantes extremadamente efectivos y tienden a desligar la temperatura del cuerpo del animal del aire que lo rodea.

Esto significa que la mayor parte del intercambio de energía de un animal con una cubierta gruesa es por radiación y evaporación. La pérdida de energía por convección es insignificante comparada con la cantidad perdida por radiación. Sin embargo, si existen grandes diferencias entre la temperatura de la superficie del animal y la del aire la pérdida de energía por convección se vuelve más importante.

La presencia de pelo o lana en la superficie del animal es un medio efectivo para reducir la pérdida o ganancia de calor por convección forzada al reducir el efecto del viento sobre el intercambio de energía.

Dentro del presupuesto de energía la pérdida por radiación es la más importante, y le sigue en segundo lugar la pérdida por evaporación. Durante los períodos más cálidos del año, un animal grande, como puede ser una vaca o un caballo, por lo general perderá muy poca energía por convección. Durante los meses de invierno, cuando la radiación incidente es baja, toma importancia el enfriamiento por convección en un viento fuerte.

2.3.3. Evaporación

La pérdida de humedad que sufre el animal es resultado de una diferencia de presión de vapor de agua entre la superficie y el aire circundante. Al aumentar la temperatura de la piel habrá un aumento de pérdida de agua por difusión (proceso puramente físico), este enfriamiento es reducido si se compara al que produce la sudoración (mecanismo de control fisiológico por el cual se secretan y descargan grandes cantidades de agua).

El efecto beneficioso de la sudoración consiste en la pérdida de energía que se produce al evaporarse el sudor. Por cada gramo de agua que se evapora, se absorben del aire circundante alrededor de 600 calorías. Con altos contenidos de humedad en el aire se disminuye el intercambio entre la superficie del animal y el aire aumentando el estrés calórico.

La regulación de la temperatura disminuye a medida que la capacidad para sudar es menor.

La evaporación en el tracto respiratorio depende del volumen de aire que circula en las superficies húmedas del mismo, la ventilación es resultado de la frecuencia y profundidad de la respiración. Como mecanismo de defensa contra el calor se produce un aumento de la ventilación por un aumento de la frecuencia, acompañado de una disminución de la profundidad. El ritmo de esta respiración rápida y superficial (jadeo) es indicador de la evaporación respiratoria; hasta una temperatura de 15 °C el ritmo respiratorio de los vacunos permanece estable (20 respiraciones por minuto) a mayores temperaturas el ritmo aumenta progresivamente (figura 2).

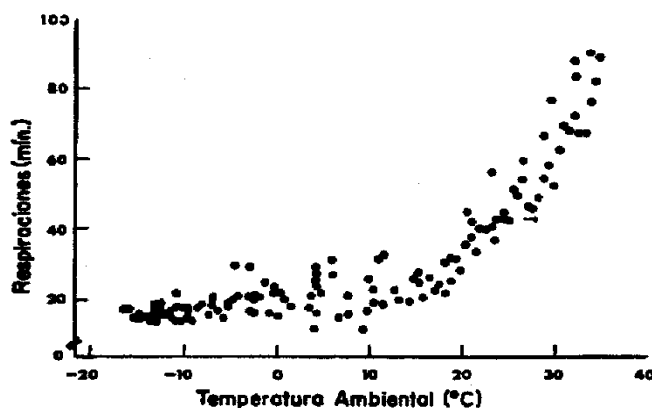


FIGURA 2. Efecto de la temperatura ambiental sobre el índice respiratorio de las vacas.

(Bianca, 1972)

Ante un marcado estrés calórico (cuando la temperatura corporal de bovinos alcanza los 40 °C aproximadamente) cambia el tipo de respiración, la respiración rápida y superficial cede paso a una respiración más lenta y profunda, lo que permite aumentar la ventilación. Los grandes índices de ventilación logrados de este modo provocan efectos secundarios desfavorables, pues la eliminación de grandes cantidades de CO₂ de los pulmones lleva a la alcalosis respiratoria, incremento del pH sanguíneo (hasta 7 u 8), aceleración del ritmo cardíaco, elevación de la concentración de ácido láctico en sangre y generación de más calor. Todo esto disminuye la eficacia de la pérdida de calor por la evaporación respiratoria.

2.3.4. Conducción

La conducción es la transferencia de calor a través de un medio sin que haya transferencia de materia y depende de la naturaleza de las sustancias. La velocidad de conducción a través de la piel es similar a la conducción a través de una capa de agua del mismo espesor, pero de 10 a 60 veces mayor que en un espesor de aire quieto. En los animales las ganancias o pérdidas por conducción se dan por contacto de la piel y/o de la cobertura (pelo, lana) con el medio que lo rodea. Si el animal está parado la conducción es despreciable. Si está echado en suelos cuya superficie está más caliente que la del cuerpo, entonces por conducción ganará calor, si el suelo está más frío que el animal, entonces éste perderá calor. La magnitud de la energía transferida depende del gradiente de temperatura entre el suelo y el animal.

2.3.5. Calor metabólico

El animal produce calor al transformar la energía química de los alimentos en trabajo. El efecto calórico de los alimentos difiere según el nutriente ingerido, la mayor producción de calor lo proporcionan las proteínas. La población de microorganismos del rumen aporta calor, que puede contribuir hasta en un 10 % de la producción total. La actividad muscular, (incluso el esfuerzo de mantenerse en pie) en bovinos y ovinos hace que la producción de calor sea 10 % mayor cuando están de pie que cuando están echados. Durante la preñez el metabolismo del feto incrementa la producción de calor y la lactancia puede duplicarla (Bianca, 1972).

2.4. Temperaturas ambientales críticas

El animal reacciona ante variaciones de la temperatura ambiente, tratando de mantener su temperatura corporal interna dentro de un estrecho rango (homeotermia). La respuesta del animal (producción metabólica de calor y temperatura interna) a la temperatura ambiente, puede visualizarse en la figura 3.

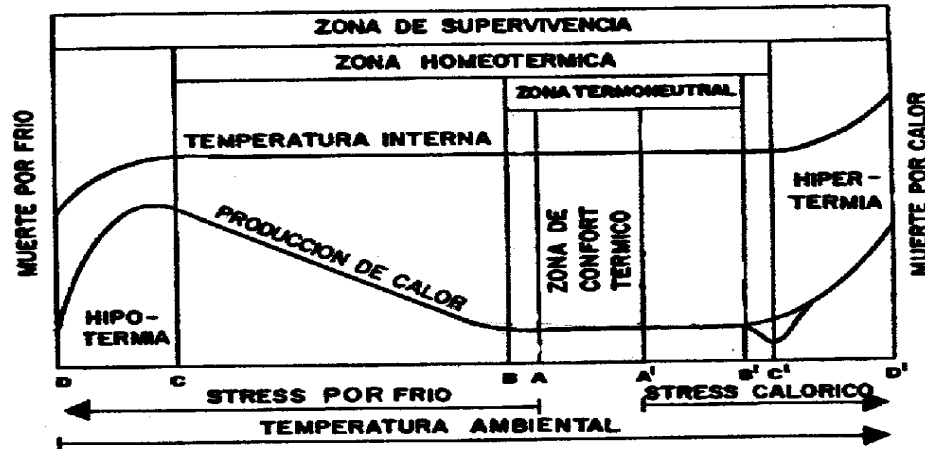


FIGURA 3. Representación esquemática simplificada de temperaturas críticas del medio ambiente y zonas abarcadas por ellas.
(Bianca, 1972)

El rango de temperatura ambiental en que la temperatura del cuerpo se mantiene constante con un esfuerzo mínimo de los mecanismos termorreguladores se denomina *zona de confort térmico* (A - A'). En ella no existe sensación de frío ni calor. Cuando la temperatura del aire sale de la zona de bienestar térmico pasando hacia el frío o el calor, el animal activa sus mecanismos de defensa según lo siguiente:

- * Cuando la temperatura cae por debajo de la zona de bienestar térmico (A) se presenta una vasoconstricción capilar periférica y piloerección generalizada, lo que provoca un aumento en la conservación del calor. Al disminuir más la temperatura ambiente (por debajo del punto B o *temperatura crítica mínima*) se incrementa la producción de calor (por un incremento en la ingestión de alimento, por ejemplo). Ahí el animal aún se encuentra en la *zona homeotérmica*, en la cual la temperatura corporal permanece constante. A cierta temperatura exterior más baja (C) no alcanza el calor producido para compensar las pérdidas, por lo que la temperatura corporal comienza a descender. Después de haber alcanzado un máximo la producción de calor disminuye rápidamente, acelerándose el proceso de enfriamiento. Al alcanzar la temperatura letal (D) el animal muere por hipotermia.

- * Cuando la temperatura ambiente supera la zona de bienestar térmico (A´) se activan los mecanismos físicos de defensa contra el calor: vasodilatación capilar periférica sudoración, jadeo. Al elevarse más la temperatura (por encima de B´ o *temperatura crítica máxima*) se intensifica el sudor y el jadeo y quizás haya una disminución compensatoria en la producción de calor. En respuesta al incremento de la temperatura por encima de C´ aumenta más el sudor o jadeo (dependiendo de la especie) o ambos, pero el enfriamiento logrado de esta manera es insuficiente para mantener la homeotermia, de manera que la temperatura corporal comienza a subir. Esto provoca un aumento en el índice metabólico que finalmente lleva a la hipertermia o muerte por calor, si la temperatura está por encima de D´. En la figura 4, se aprecia el rango de confort térmico y las temperaturas críticas para diferentes especies.

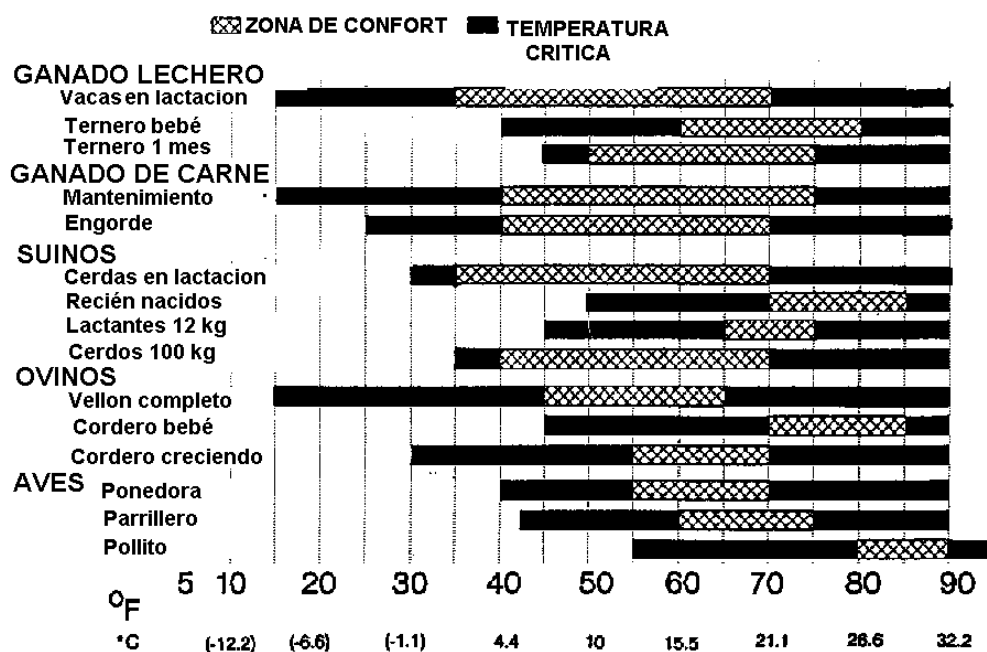


FIGURA 4. Zona de temperaturas óptimas y críticas para distintos animales a variados niveles de producción (World Meteorological Organization, 1989)

2.5. Mecanismos de defensa

2.5.1. Defensa contra el frío

Ante situaciones de baja temperatura del aire, la lluvia y el desplazamiento de las masas de aire enfrían al animal ya que aceleran las pérdidas de calor por convección y evaporación. El animal se adapta al frío por medio de cambios de conducta o fisiológicos. Las dos adaptaciones se complementan, pero al aumentar la adaptación fisiológica la adaptación de la conducta tiene menos importancia.

En la adaptación por medio de la conducta, el animal reduce el estrés por frío buscando un microclima menos frío.

En la adaptación fisiológica el animal puede defenderse del frío reduciendo la pérdida de calor (conservación del calor) principalmente aumentando el aislamiento térmico, produciendo más calor (aumento del índice metabólico) o combinando ambas formas. El aislamiento y el índice metabólico se complementan el uno al otro. Los animales recién nacidos tienen poco aislamiento y un alto índice metabólico; los animales adultos presentan un mejor aislamiento y un menor índice metabólico.

En el desarrollo individual como respuesta al frío continuo, existe una tendencia a defenderse con bajo gasto de energía y se abandona la adaptación metabólica en favor de la adaptación de aislamiento. Sin embargo, hay respuestas que surgen rápidamente y otras que se van estableciendo más lentamente. Dentro de los mecanismos de aislamiento tenemos el aislamiento por los tejidos (vasoconstricción capilar periférica y aumento de grasa subcutánea) y el aislamiento por el pelaje (piloerección y crecimiento del pelo). El aislamiento de los tejidos representa la resistencia térmica al flujo de calor del centro hacia la superficie de la piel. La disminución de la temperatura de los tejidos superficiales del cuerpo por vasoconstricción periférica (cutánea y subcutánea) reduce el gradiente de temperatura desde la superficie de la piel hacia el medio ambiente y por lo tanto la proporción de pérdida de calor. El cambio de la vasodilatación periférica máxima a mínima puede aumentar tres veces el poder aislante en la piel de ovinos y bovinos y seis veces en el hombre (Burton y Eldhom, 1955, citados por Bianca, 1972). Una vez que se ha alcanzado la vasoconstricción total, una nueva baja de la temperatura del medio sólo provoca ligeros efectos en el aislamiento de los tejidos. La grasa subcutánea de todas las especies tiene efecto aislante, pero tiene más importancia en algunas, como los cerdos.

El aislamiento proporcionado por el pelaje reside en la cantidad de aire que inmoviliza en la superficie del animal y que, debido a su baja conductividad térmica, actúa como aislante. El aislamiento proporcionado por el pelaje aumenta según aumente el espesor del mismo y la densidad pilosa. Para todas las especies el aislamiento más importante es el que se refiere al pelaje.

El aislamiento del pelaje de cada animal puede aumentar rápidamente del verano al invierno, durante la pilo erección, y lentamente durante el crecimiento del pelo.

También se da cierto aislamiento por la delgada capa de aire inmóvil (capa límite) que está adherida a la superficie del cuerpo, que representa la resistencia térmica del flujo de calor desde la superficie del pelaje hacia el medio ambiente. El grueso de la capa límite disminuye al aumentar la velocidad del viento.

Al bajar la temperatura del aire se llega al punto donde, para un aislamiento dado del cuerpo, la producción de calor metabólica resulta inadecuada para mantener la temperatura normal del cuerpo. La temperatura del aire a la cual empieza a aumentar la producción de calor en defensa del frío se llama *temperatura crítica mínima*.

Los dos factores determinantes de la temperatura crítica mínima son el aislamiento del cuerpo y la alimentación.

La elevación de la producción de calor bajo la temperatura crítica mínima ocurre en forma aproximadamente lineal con el descenso de la temperatura (figura 5), hasta que alcanza un punto (metabolismo máximo) donde ya no es posible ninguna elevación en la producción de calor.

Un aumento de 1 a 100 mm en la longitud del vellón de un carnero disminuye la temperatura crítica de 28 °C a -3 °C. De igual modo el comienzo de ingestión de concentrado por parte de novillos determina una disminución en la temperatura crítica mínima de 18 °C a -1 °C (Blaxter. 1962. citado por Bianca. 1972).

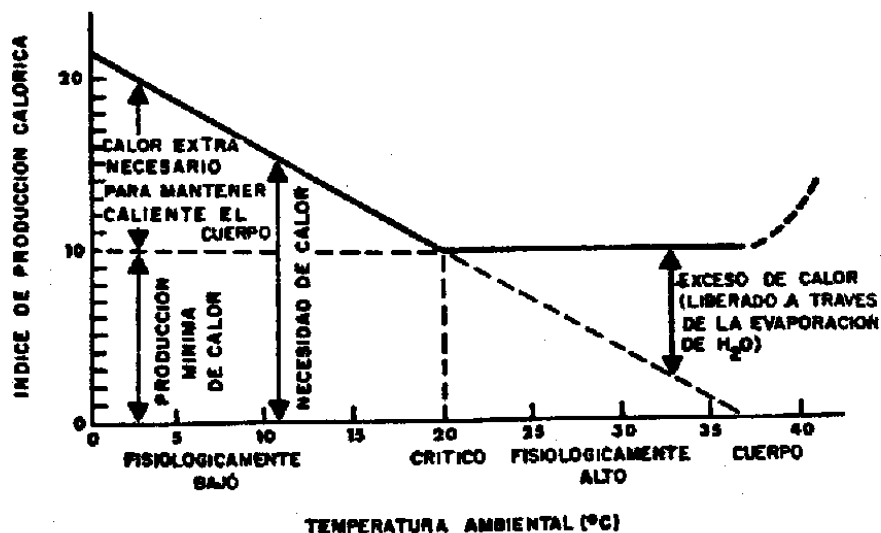


FIGURA 5 Índice de producción de calor como función de la temperatura ambiental

(Bianca, 1972)

También se produce calor extra por actividad muscular y escalofríos. En la elevación de la producción de calor de emergencia cobra importancia la capacidad de tiritar.

2.5.2. Defensa contra el calor.

Los elementos meteorológicos más importantes que se oponen a la disipación del calor por parte del animal hacia el medio ambiente son la temperatura y la humedad del aire. La radiación solar actúa como una importante carga energética sobre el animal. Los desplazamientos de aire tienen poco efecto, ya que sólo afectan si presentan mayor temperatura que la del cuerpo.

El mecanismo fisiológico más eficiente que actúa en la defensa contra el calor es la sudoración, siguiéndole el jadeo (explicados anteriormente).

Al mismo tiempo y como mecanismo fisiológico de respuesta rápida actúa la vasodilatación capilar periférica, donde un flujo de sangre importante se desplaza hacia la superficie del animal para disipar calor.

Otro mecanismo fisiológico pero de respuesta a más largo plazo es la muda de pelaje estacional, donde el nuevo pelaje es más corto y de colores más claros para aumentar la reflexión de radiación solar.

Los mecanismos asociados con la conducta sirven muchas veces como una forma de defensa contra el calor (por ej. búsqueda de sombra y lugares más frescos).

No existe en todas las especies la capacidad de disminuir su producción de calor. En todo caso, esta capacidad es tan baja que surte muy poco efecto.

El animal es capaz de soportar sólo un pequeño aumento de su temperatura corporal: de 3° a 6°, aumentos superiores resultan letales. Sin embargo, es capaz de tolerar temperaturas

de 15° por debajo de su temperatura corporal normal.

3. EFECTOS DEL MEDIO ATMOSFÉRICO EN LA PRODUCCIÓN

3.1. Ganancia de peso

Las temperaturas críticas para el crecimiento dependen de la especie, raza, edad, nivel de nutrición, adaptación previa, etc., (Johnson, 1987) y en el caso de los suinos también del tamaño del animal.

La temperatura crítica mínima y máxima para la ganancia de peso en corderos es aproximadamente 10°C y 20°C respectivamente. En el caso de bovinos, a pesar de existir muy pocos datos disponibles, para evaluar el efecto de las temperaturas críticas en la ganancia corporal se puede afirmar que las ganancias de peso son menores por encima de la zona termoneutral para una raza en particular.

La habilidad de ganar peso en climas cálidos comparados con un clima termoneutral (10 °C), varía en el siguiente orden: Brahman, Jersey, Pardo Suizo, Holando, Santa Gertrudis y Shorthorn. En esta situación y con alimento “ad libitum”, la menor ganancia de peso (a 27 °C) se debe a la alta temperatura del aire y a la alta temperatura corporal que deprimen el consumo de alimento.

En un trabajo realizado en la Estación Experimental de Facultad de Agronomía en Salto durante el verano con terneras de raza Holando (seis a nueve meses de edad) y Hereford (de tres y cuatro meses), con y sin acceso a sombra natural se obtuvieron incrementos en el peso vivo de los animales durante el período experimental de 72,0 Kg *versus* 63,6 Kg en Holando y 34,0 Kg *versus* 29,3 Kg en Hereford; lo que significó una diferencia significativa ($p < 0,05$) en las ganancias de peso diarias promedio entre las dos razas evaluadas de 130 gramos a favor de los animales con acceso voluntario a la sombra natural (Becoña y Casella, 1999). En estas condiciones de estrés térmico se activaron mecanismos de disipación del calor, con un aumento del ritmo respiratorio. En este sentido, los animales con acceso a sombra presentaron en el promedio del período experimental menores tasas respiratorias ($p = 0,0067$) que los animales expuestos al sol: 75,5 *versus* 89,2 en terneras Hereford y 72,8 *versus* 81,1 en terneras Holando. Estas diferencias fueron mayores si se consideran las medidas de la tarde (16 horas) respecto a la mañana (9 horas) debido a la mayor exposición a condiciones estresantes en las horas anteriores.

La ganancia de peso se ve alterada por el “complejo ambiental”.

3.2. Producción de leche

Los bovinos en la mayoría de las circunstancias son muy resistentes al estrés por frío, pero no es así ante condiciones de estrés por calor. Potencialmente el calor es un problema comercial más importante que el frío porque afecta primero a los animales con elevadas tasas metabólicas, que son aquellos que producen la mayor cantidad de leche

(Webster,1982).

Existe un efecto negativo en la producción de leche durante el verano, debido a la combinación de altas cargas de radiación solar, elevada temperatura y humedad relativa.

La raza Holando (la más frecuente en el país) se muestra sensible al estrés por calor, viéndose su producción láctea disminuída. Cuando los animales se encuentran fuera de su zona de confort se producen desequilibrios en el balance de energía que llevan a una disminución en su producción. La acción de las altas temperaturas no es la misma para todos los animales de la misma raza; el nivel de producción es un aspecto muy importante. Cuanto mayor el nivel de producción, más sensible es el animal al estrés térmico y por lo tanto más marcada será la disminución de su rendimiento al superar el límite superior de la zona termoneutral (figura 6).

Johnson (1961) ha comprobado que el **valor crítico** del índice de Temperatura y Humedad (ITH) para la producción de leche, en vacas Holstein (Holando) es 72.

Otro dato muy importante para la cuantificación del estrés en vacas en producción es el número de horas por día que están sometidas a valores por encima del umbral crítico, pues si “el período de recuperación” es demasiado corto se ve limitada la capacidad del animal para eliminar calor durante la noche (Flamenbaum, 1994; Valtorta y Gallardo, 1996).

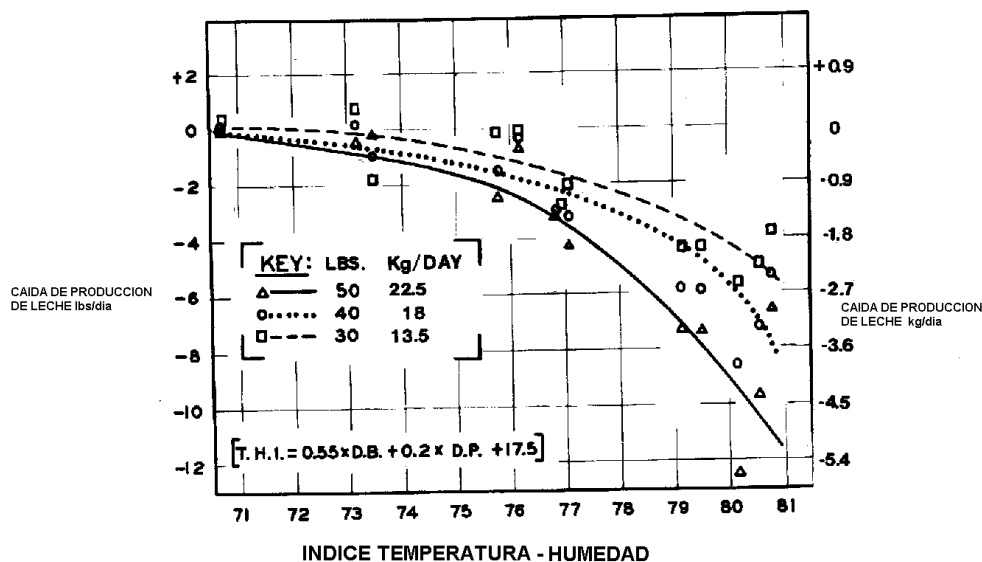


FIGURA 6. Rendimiento de leche de vacas Holando en tres niveles de producción, influidos por el ITH.

Johnson, 1994

En un experimento realizado en un tambo del área de influencia de la Estación Experimental de la Facultad de Agronomía en Salto, Azanza y Machado (1997) con vacas Holando con y sin disponibilidad de sombra natural y con dos niveles de suplementación encontraron un efecto significativo ($p < 0,10$) del acceso a sombra sobre la producción de leche (8,8 % más). No se encontraron diferencias en la respuesta al nivel de concentrado (3 *versus* 8 kg/vaca/día). El rendimiento en grasa estuvo afectado significativamente ($p < 0,10$), siendo mayor en los animales con acceso a la sombra para ambos niveles de suplementación. El rendimiento en proteína fue mayor ($p < 0,10$) en el tratamiento con acceso a sombra y bajo nivel de suplementación, sin encontrarse diferencias en las vacas con alto nivel de suplementación.

En Estación Experimental de la Facultad de Agronomía en Salto y para la misma raza, Invernizzi y Marziotte (1998) midieron el efecto del acceso a sombra natural y un sistema combinado de mojado y ventilado sobre la producción y composición de leche y respuestas fisiológicas (ritmo respiratorio y temperatura rectal) durante el verano. En el tratamiento con acceso a sombra natural y un sistema combinado de mojado y ventilado se observó un aumento de 4,4 % en la producción de leche sin corregir y de 4,8 % en leche corregida al 4 % de grasa respecto al control que permaneció al sol. No encontraron diferencias significativas en la temperatura rectal y el ritmo respiratorio promedio diario, pero en los animales sin acceso a sombra durante la tarde aumentó significativamente ($p < 0,01$) la tasa respiratoria y la temperatura rectal.

En el Departamento de Colonia, en un experimento realizado durante el verano con vacas Holando en el comienzo del último tercio de la lactancia, Padula y Rovira (1999), encontraron diferencias significativas ($p < 0,12$) en producción de leche, del orden de 9,83 % superior, para el grupo que se le proporcionó sombra. La composición de la leche expresada en términos porcentuales no se vio modificada, pero sí cuando se expresa en valores absolutos (kg de componente por vaca y día). En los animales con sombra se observó valores significativamente superiores en proteína, lactosa, sólidos no grasos y sólidos totales (diferencia de 10,3 %; 9,4 %; 10,0 % y 9,5 %, respectivamente).

3.3. Producción de lana

El ovino es un animal que presenta una respuesta fotoperiódica en el crecimiento de la lana, con mayor crecimiento cuando los días son más largos (alrededor del solsticio de verano, 21 de diciembre). La tasa de crecimiento de la lana (g/día) es máxima en verano y mínima en el invierno, con relaciones de producción verano: invierno variables según la raza, presentando valores de 3:1 en Corriedale y Romney, 1,37:1 en Ideal y 1,15:1 en Merino (Rodríguez Meléndez, 1985 y 1989; Fernández Abella *et al.*, 1996b; Gambetta *et al.*, 1992). La diferente respuesta esta dada por el origen de las razas, presentando las razas de bajas latitudes menor respuesta y las razas provenientes de altas latitudes máxima respuesta.

El mecanismo fisiológico involucra a la glándula pineal, la información lumínica es recibida en fotorreceptores ubicados en la retina, la misma es transmitida por vía nerviosa al núcleo supraquiasmático, luego al ganglio cervical superior hasta alcanzar la glándula pineal. La epífisis traduce la señal neural a un mensaje hormonal modificando el ritmo circadiano en la secreción de la melatonina (Fenandez Abella,1993).

Efectos indirectos de la temperatura pueden provocar variaciones en la producción de lana en períodos cortos de tiempo. Bajas o altas temperaturas a nivel de la piel provocan variaciones en el patrón y nivel de consumo, que se expresan en variaciones en la producción de lana. Por ejemplo luego de la esquila, se incrementa el consumo en respuesta al efecto del estrés por frío durante aproximadamente un mes. En cambio con temperaturas muy altas se puede reducir la producción de lana por menor consumo o interrupción del crecimiento a nivel folicular (Rodríguez Meléndez, 1985).

3.4. Producción de huevos

La producción de huevos es máxima en el entorno de los 12 °C a los 18 °C, decreciendo para ambos extremos de esa zona (Johnson ,1994).

La calidad de los mismos también disminuye a temperaturas por encima de los 20 °C, siendo de menor tamaño y con menor viscosidad de la clara.

3.5. Reproducción

En muchas especies de animales domésticos existe una respuesta a la temperatura y al fotoperíodo en los aspectos reproductivos.

Por ejemplo, las principales razas ovinas son poliéstricas estacionales de día corto, por lo que las hembras presentan varios estros cuando los días se van acortando y el inicio de la estación de estro puede adelantarse si son expuestas a bajas temperaturas o demorarse con las altas temperaturas (Dutt, 1960). En nuestro país para la región de Basalto la estación de cría se inicia en Octubre en ovejas Merino, Noviembre en Ideal, Febrero en Corriedale, finalizando en todas ellas en el mes de Junio (Fernández Abella *et al.*, 1996a).

3.5.1. Efecto del estrés calórico en la manifestación y en la duración del celo

En vacas lecheras en el sur- este de los Estados Unidos se ha constatado una disminución de la duración y de la intensidad de expresión del celo durante los meses más calurosos (Bianca, 1965). Tatcher y Collier (1986), citados por de la Sota (1995) han reportado un incremento del 20% de los celos no detectados durante los meses de verano en Florida, U.S.A. Esta disminución en la detección de celos provoca graves perjuicios

económicos al retrasarse la inseminación y alargarse el intervalo interpartos, por lo que se reduce la producción anual de leche.

La inseminación a tiempo prefijado eliminaría las limitaciones en las detecciones de celo por el estrés calórico.

En ovejas, temperaturas superiores a 32 °C provocan en un 30 a 50 % de los animales, reducción de la duración del celo (Fernández Abella, 1993).

3.5.2. Efecto del estrés calórico en la concepción y en el desarrollo embrionario temprano

En ovejas sometidas a condiciones constantes de 32° C y 60 % de humedad se detectó una tasa de fertilización de 51,9 % y embriones morfológicamente anormales (lo que explica la pérdida embrionaria temprana, 8 días en 91,7 % de los ovejas). La marcada disminución en la tasa de fertilización y el incremento de embriones anormales en las ovejas tratadas indican un efecto detrimental del calor en el sistema reproductivo femenino (Dutt *et al.*, 1959).

Temperaturas superiores a 32 °C producen pérdidas en la fertilidad. En ovejas inseminadas se constata baja tasa de concepción producto de la no-fertilización o las pérdidas embrionarias elevadas (Fernández Abella, 1993).

Esto es debido a que las elevadas temperaturas ambientales reducen el flujo sanguíneo hacia los órganos reproductivos y provocan disturbios endocrinos al aumentar la temperatura corporal.

Damiani y López (1994) determinaron en cerdos que el tamaño de la camada fue afectado por las altas temperaturas al momento del servicio ($p < 0,1$), pero no por el contenido de humedad; aunque expresaron que el 98 % de los registros fueron elevados (entre 85 y 100 %); estos resultados muestran coincidencia con otros autores que reportan tamaños menores de camada en las pariciones correspondientes a los servicios de verano.

Las altas temperaturas y elevado contenido de humedad tres días antes del servicio, durante el servicio y tres días después provocaron un efecto detrimental en el porcentaje de parición. La causa de no gestación podría ser la falta de sincronización de la manifestación del estro con la ovulación, lo que provocaría fallas en el servicio (Bauzá y Petrocelli, 1984; citados por Damiani y López, 1994).

El umbral de temperatura por encima del cual disminuyó el porcentaje de parición fue de 30 °C, coincidiendo con la bibliografía que lo ubica alrededor de los 28 °C. Esto indicaría un aumento de la sensibilidad de las cerdas después del servicio a los cambios bruscos de temperatura y humedad.

Azanza y Machado (1997) en el Departamento Salto, encontraron diferencias en el porcentaje de preñez de 57 % *versus* 33 % en vacas Holando con y sin acceso a sombra natural, y diferencias en la respuestas fisiológicas al estrés térmico: menor ritmo respiratorio ($p < 0,01$) menores temperaturas rectales diurnas ($p < 0,05$) y nocturnas ($p < 0,10$).

En la vaca adulta, el problema de la baja fertilidad en el período más cálido del año ha sido bastante estudiado. Resultados de diversos trabajos de investigación indican que no existen diferencias en el porcentaje de fertilización entre vacas sometidas a estrés calórico y vacas control. La disminución en el porcentaje de preñez de las vacas en estrés calórico (figura 7) es debida a problemas en la concepción y a una muerte embrionaria temprana (en los 15 –17 días post- inseminación artificial), (Stott *et al*, 1962; Ryan *et al*, 1993, citados por Tatcher y Staples, 1995). Las diferencias en porcentaje de preñez comienzan a ser apreciables cuando las temperaturas ambientales máximas superan los 30 °C (Gwazdauskas *et al.*, 1973).

Stott y Williams (1962) encontraron que el incremento de la humedad relativa de 35% a 75%, es el factor más importante en la baja eficiencia de cría en vacas lecheras en el mes más caluroso del verano al tener un marcado efecto en el incremento de la temperatura corporal en animales sometidos a elevadas temperaturas del aire (temperaturas máximas diarias de 33 a 37,5 °C).

Severos períodos de estrés, en los que la temperatura del cuerpo alcanza 40 - 41 °C en vacas lecheras en el día del estro y dos días después de la concepción, causan una alta proporción de desarrollo embrionario anormal y muerte antes del día 7 (Ealy *et al.*, 1993).

Ingraham *et al.*, (1974) muestran resultados experimentales de tasa de concepción de 67 % en vacas servidas en días en que el índice de temperatura y humedad (**ITH**) promedio es menor a 66, comparado con 21% para vacas servidas en días con **ITH** promedio por encima de 76.

De manera similar Johnson (1994), observó que la tasa de concepción desciende desde 66% a 35% en la medida que el índice de temperatura y humedad (ITH) varía de 68 a 78 .

Du Preez *et al.*, (1991) encontraron que el umbral del **ITH** para reproducción se encuentra en 65 para la tasa de concepción, para vacas Holstein en Sudáfrica.

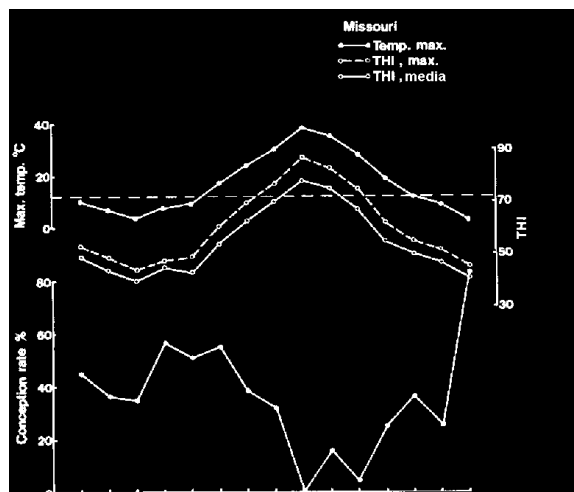


FIGURA 7 Cambios en el ITH y en la tasa de concepción en vacas Holstein en Missouri
Johnson, 1994

3.5.3. Efecto del estrés calórico durante el último tercio de la gestación

Aproximadamente el 60 % del crecimiento fetal y la mayor parte del desarrollo mamario ocurren durante el tercer trimestre de gestación. Los terneros nacidos durante los meses más cálidos en Florida, U.S.A., son significativamente más livianos que los nacidos en los meses más fríos (Collier *et al.*, 1980). Los fetos de las vacas que no presentaron acceso a sombra tuvieron una disminución en sus funciones vitales durante el estrés calórico representadas por bajas concentraciones de hormonas producidas por los cotiledones de la placenta, (Collier *et al.*, 1982).

En resumen diversos estudios indican que el estrés calórico durante el último tercio de la gestación afecta el crecimiento fetal, el funcionamiento de la placenta, el desarrollo mamario, la involución uterina y producción de leche durante la siguiente lactación (Collier *et al.*, 1982; Wolfenson *et al.*, 1988). Por lo tanto las vacas secas gestantes deben recibir las mismas medidas de manejo tendientes a reducir el estrés calórico que las vacas en ordeño pues es un período sensible que suele ser ignorado por los productores.

3.5.4. Efecto del estrés calórico en el período posparto

Luego del parto la vaca padece una transición para aumentar la ingesta de materia seca en un momento en que los requerimientos de energía para mantenimiento y producción de leche exceden la energía que puede ser consumida en la dieta. Así la vaca atraviesa un período de 4-5 semanas con balance energético negativo que antagoniza los cambios endócrinos que conducen a la restauración del ciclo ovárico normal. Este efecto es incrementado en los períodos de estrés calórico en que la vaca disminuye la ingesta de materia seca para reducir la producción de calor. Las vacas de primera parición tienen un mayor retraso en la recuperación ovárica debido a su menor habilidad de consumo de materia seca, lo que extiende su período de balance energético negativo.

3.5.6. Efecto del estrés calórico en la espermatogénesis

Según Fernández Abella (1993) la temperatura ambiente es uno de los principales factores que afectan la espermatogénesis. Cuanto más alta es la temperatura interna del testículo y mayor la duración de esa temperatura, mayor será el daño producido.

La temperatura actúa directamente sobre el testículo, produciendo una reducción del peso testicular, disminuyendo la eficiencia en la síntesis de testosterona (Moules y Waites, 1963, citados por Fernández, 1993).

En el macho la espermatogénesis si bien es un proceso continuo, la producción de parénquima testicular es 50 a 80 % menor en primavera que en otoño. Asimismo, la calidad espermática varía determinado mayor congelabilidad en el otoño frente al invierno (Fiser y Fairfull, 1983, Lindsay, 1984; citados por Fernández, 1993).

En el carnero las elevadas temperaturas afectan la espermatogénesis disminuyendo la fertilidad en forma muy marcada por disminución en la capacidad fecundante, provocando las pérdidas embrionarias tempranas e incapacidad fertilizante.

También existe un efecto de las altas temperaturas en la calidad del semen del toro, donde la elevada temperatura corporal afecta el proceso de espermatogénesis. Se necesita un lapso de tiempo de aproximadamente 45 días para completar el ciclo espermatogénico llevando a la producción y eyaculación de espermatozoides nuevos no afectados por el estrés calórico .

Según Buxade Carbo, (1988), citado por Damiani y López (1994), el efecto de estrés térmico en los verracos se pueden prolongar hasta seis semanas después debido a la duración de la espermatogénesis, siendo suficientes tres días de estrés para provocar disminuciones en la fertilidad durante mas de un mes.

4. ÍNDICES PARA ESTIMAR EL EFECTO DEL AMBIENTE SOBRE LA PRODUCCIÓN ANIMAL

4.1. Índices de estrés calórico

Para evaluar el impacto ambiental se ha trabajado en el desarrollo de índices que combinan dos o más elementos.

Es posible cuantificar el estrés calórico a través de un índice que considera la temperatura y la humedad del aire (Índice de temperatura y humedad, ITH) desarrollado por Thom (1959).

$$ITH = 0,4 (T_s + T_h) + 15 \quad \text{Thom, 1959}$$

$$ITH = T_a + (0,36 + TPR) + 41,2 \quad \text{Johnson, 1994}$$

$$ITH = (1,8 T_a + 32) - (0,55 - 0,55 HR/100) (1,8 T_a - 26) \quad \text{Valtorta, 1996}$$

T_s = temperatura del bulbo seco (° F) T_h = Temperatura de bulbo húmedo (° F)

T_a = temperatura del aire (° C) TPR = Temperatura de punto de rocío (° C)

HR = humedad relativa (%)

Johnson *et al.*, (1961) determinaron en vacas lecheras en lactación valores de ITH en la zona de confort térmico de 35 a 72 y que el **valor crítico** de ITH para la producción de leche, en vacas Holstein (Holando) es **72**. Considerando ese valor crítico se distinguen cinco categorías que según el Livestock Weather Safety Index (LWSI) determinan la magnitud del estrés para vacas Holando en lactación (cuadro N° 1):

CUADRO N° 1 Magnitud del estrés según valores de ITH.

ITH	CATEGORÍAS
70 o menos	Normal
70 – 72	Alerta – <i>aproximándose al límite crítico de producción de leche</i>
72 – 78	Alerta – <i>por encima del límite crítico de producción de leche</i>
78 – 82	Peligro
82 o más	Emergencia

Fuente: du Preez *et al*, 1990.

Cuando el ITH toma valores superiores a 70, du Preez *et al.*,(1990) sugieren las prácticas de manejo indicadas en el cuadro N° 2.

CUADRO N° 2 Prácticas propuestas para la protección del ganado lechero con ITH superior a 70.

ITH	Categoría	Prácticas propuestas
< 70	NORMAL	Sombra natural o artificial
70 –71,9	ALERTA	Sombra y comederos ventilados. Agua <i>ad libitum</i> en lugares sombreados
71,9 - 77,9	CRITICA	Lo anterior y además: aspersores y ventiladores en áreas adyacentes al lugar de ordeño. Dieta. Mejoramiento genético por resistencia al calor. Limitar el desplazamiento del rodeo en las horas más críticas.
77,9 – 81,9	PELIGRO	Lo anterior y comederos con ventiladores y aspersores.
>82	EMERGENCIA	Ocurre solo en días particulares. TODAS LAS PRECAUCIONES POSIBLES.

Fuente du Preez *et al.*, 1990.

4.1.1. Cuantificación del ITH en Uruguay

De acuerdo a la distribución del índice y trabajando con promedios mensuales para los meses de diciembre a marzo (serie 1961-1990, D. N. M., 1996), se visualizan valores por encima de 72 para el Norte del Río Negro para el mes de enero (figura 8).

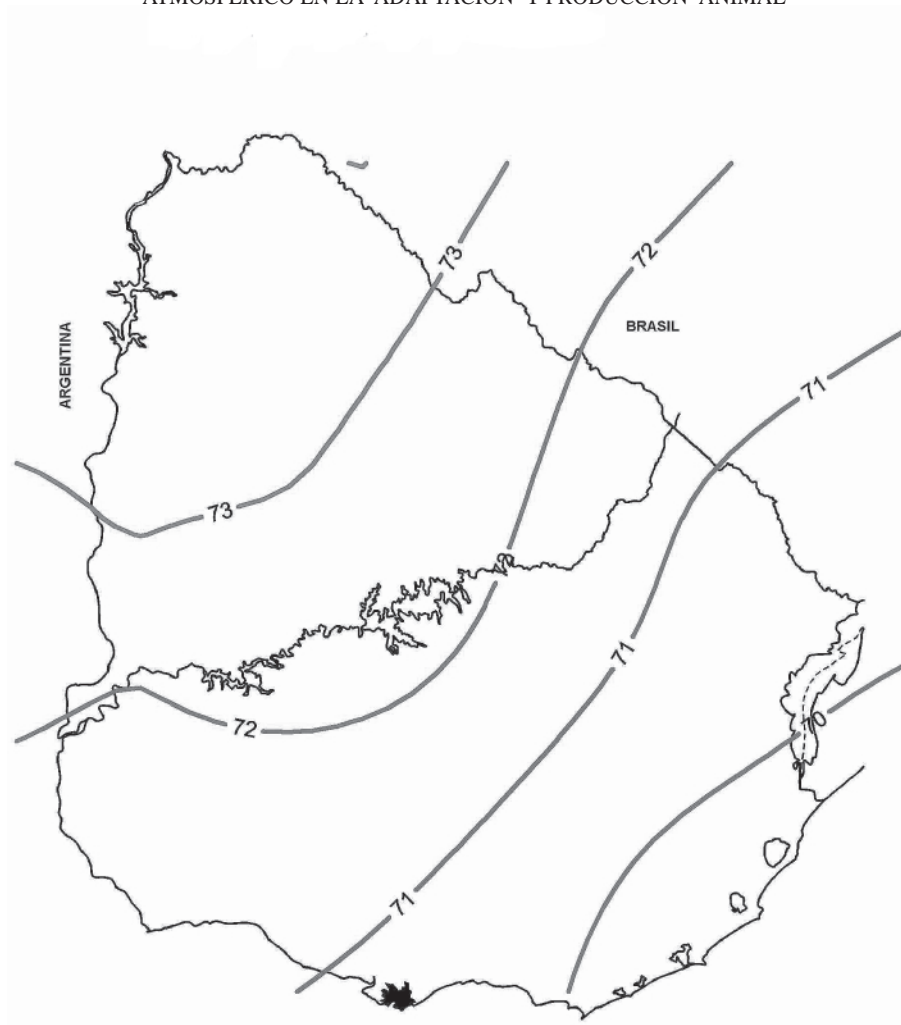


FIGURA 8. Isolíneas de ITH para el mes de enero
Cruz y Saravia (2001)

Trabajando con datos horarios de tres localidades (Artigas, Salto y Paso de los Toros) durante cinco años, se calcularon las probabilidades de ocurrencia de valores de ITH por encima de 72 y la duración promedio por día del estrés en los meses de verano (figuras 9 y 10) (Cruz y Saravia, 2001)

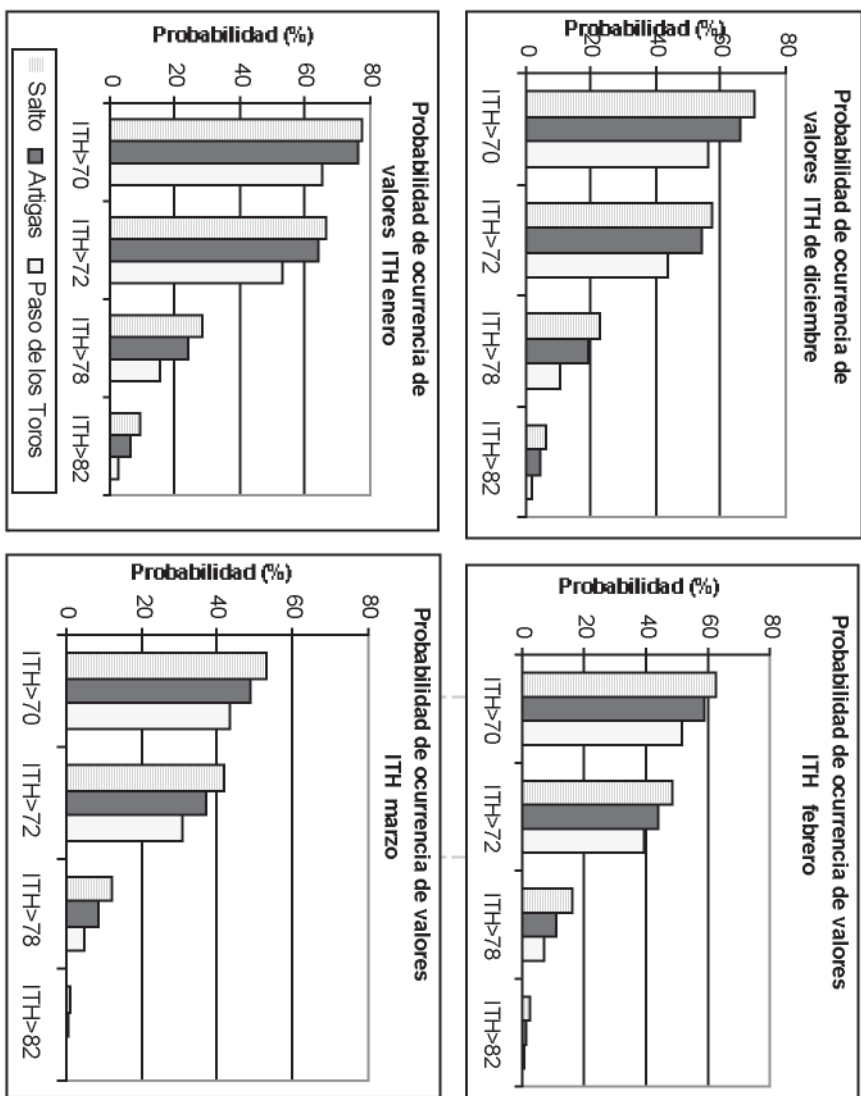


FIGURA 9. Probabilidad de ocurrencia de rangos de ITH a nivel mensual.
 Fuente: Cruz y Saravia (2001)

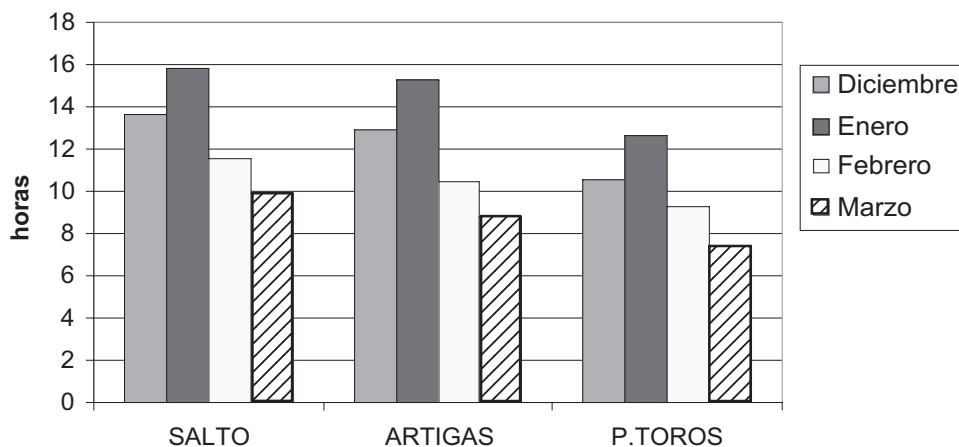


FIGURA 10. Duración promedio del estrés térmico en horas por día
Fuente: Cruz y Saravia (2001)

Como se aprecia en las figuras anteriores, existen problemas de estrés térmico para vacas Holando en lactación en el norte del país. El mes que aparece con mayor probabilidad de estrés es enero para las tres localidades.

En cuanto a la duración del estrés, la mayor duración se da en enero en Salto con 16 horas, siendo entonces las 8 horas nocturnas con las que el animal cuenta para su recuperación. Cabe aclarar que al ser esta información un promedio de cinco años, existen días donde la duración es mayor, con lo que el perjuicio también lo sería.

4.2. Índices de enfriamiento

4.2.1. Donnelly (1984) desarrolló un **Índice de enfriamiento** (Chill Index) empírico para estimar el potencial del ambiente de absorber calor desde los corderos durante los tres primeros días de vida. Este modelo es la base de la “alerta pastoril” utilizada por el Australian Bureau of Meteorology para avisar sobre las posibles pérdidas de corderos recién nacidos ante condiciones de tiempo adverso. El modelo asume que las temperaturas y la velocidad del viento tienen efecto multiplicativo sobre la tasa de pérdida de calor en los corderos recién nacidos. Hay un efecto “adicional” de enfriamiento debido a la evaporación desde la cobertura si hay precipitación.

$$C = (11,7 + 3,1 v^{0,5}) * (40 - T) + 481 + R$$

C = pérdidas potenciales de calor (KJ/m²)

V = velocidad del viento media diaria (m/s)

T = temperatura media diaria del aire (°C)

R = efecto de la lluvia. $418 (1 - e^{-0,04x})$ donde x es la precipitación total diaria (mm)

Estos tres factores fueron usados para calcular el índice de enfriamiento (C), representando el potencial de enfriamiento del ambiente en los tres primeros días de vida de los corderos. En el experimento de Donnelly (1984), todos los datos de los corderos fueron colocados dentro de uno de los siete niveles iguales de C en el rango de 860 a 1120 KJ/m²/h. Por ejemplo, a valores del índice de enfriamiento de 1120 KJ/m²/h, la probabilidad de encontrar corderos Merino mellizos moribundos en los tres primeros días de vida es de 69% a un peso maternal de 35 Kg y de 51% para ovejas de 55 Kg. A un índice de 850 KJ/m²/h, la probabilidad para los mismos animales se reduce a 14 y 7 respectivamente.

4.2.2. Enfriamiento por el viento (Wind chill index ,WCI)

Su cálculo se basa en la información de viento y de temperatura del aire. (Siple y Passel, 1945, citados por Hahn, 1994).

$$K_o = (10 v^{0,5} - v + 10,45)(33 - T_a)$$

K = pérdidas de calor (Kcal/m²/hora)

v = velocidad del viento (m/s)

T = temperatura del aire (°C)

La sobrevivencia desde el nacimiento al destete de terneros nacidos en primavera (marzo-abril) con diferentes proporciones de *Bos taurus* y *Bos indicus* ha sido evaluada para climas templados del norte de Estados Unidos. Este estudio mostró que **la mortalidad se incrementaba cuando el WCI alcanzaba valores de 800 Kcal/m²/hora o más** y la proporción de herencia de *Bos indicus* sobre *Bos taurus* estaba por encima del 25% (Josey *et al.*, 1987, citados por Hahn, 1995).

5. TÉCNICAS PARA MEJORAR EL APROVECHAMIENTO DEL AMBIENTE EN LA PRODUCCIÓN ANIMAL

5.1. Utilización de Sombras

5.1.1. Natural

Aguerre y Franco (1991) en un experimento realizado en la Estación Experimental Mario A. Cassinoni (Departamento de Paysandú) con vacas lecheras durante enero, detectaron una mayor frecuencia promedio diaria de pastoreo en los animales con acceso voluntario a sombra natural (42,5 *versus* 30,0 %), aunque se observa que en las primeras horas de la tarde todos los animales dejan de consumir.

Torres *et al* (1995) relevaron a nivel nacional sistemas de producción en que se haya realizado un aprovechamiento combinado de árboles con ganadería (sistemas silvopastoriles). Los productores encuestados mencionan como beneficios encontrados sobre la producción animal los siguientes:

- Protección del viento y el frío a ovinos recién esquilados y a ovejas con cordero al pie.
- Sombra para el ganado como protección contra el calor.
- Mejora en la cantidad y sobre todo en la distribución a lo largo del año del forraje producido (al atenuarse los picos y alargarse el ciclo) debido al microclima generado en este tipo de sistemas.
- Mejora de la rentabilidad por hectárea

En experimentos realizados durante el verano en la Estación Experimental de la Facultad de Agronomía en Salto, con vacas Holando con y sin disponibilidad de sombra natural se encontraron respuestas favorables del acceso a sombra sobre la producción de leche (8,8 % superior, Azanza y Machado, 1997; aumento de 4,8 % en leche corregida al 4 % de grasa Invernizzi y Marziotte, 1998).

Asimismo, Invernizzi y Marziotte (1998) en animales con acceso a sombra natural y un sistema combinado de mojado y ventilado no encontraron diferencias significativas en la temperatura rectal y el ritmo respiratorio promedio diario, pero en los animales sin acceso a sombra durante la tarde aumentó significativamente ($p < 0,01$) la tasa respiratoria y la temperatura rectal.

5.1.2. Artificial

En ensayos realizados en el tambo experimental del INTA Rafaela, Argentina, se ha comprobado la efectividad de la sombra artificial (Valtorta y Gallardo, 1996). Se utilizó una estructura fija , construida con red plástica que intercepta el 80% de la radiación incidente. El sistema de manejo propuesto es de encierre estratégico entre las 11:00 y las 17:00, con oferta de agua a voluntad. También se ha utilizado el sombreado del corral de espera a la sala de ordeño con el mismo tipo de red.

Con respecto a la utilización de la estructura de sombra en el potrero se comprobaron los siguientes efectos:

- el ambiente es sensiblemente menos estresante que el que se produce a la intemperie, medido a través de la temperatura del globo negro, instrumento que da una medida indirecta de la carga calórica total recibida por los animales. En la hora de máxima temperatura alcanzó en promedio 44 °C a la intemperie y 34 °C bajo la red plástica.
- Mejora el confort de los animales , medido a través de un menor aumento de la temperatura rectal y del ritmo respiratorio entre la mañana y la tarde.
- Produce un aumento de aproximadamente 12 % en la producción de leche.
- Aumentan el rendimiento de grasa y el porcentaje y rendimiento de proteína.

5.2. Ventilación forzada

El principio en que se basa es el aumento de las pérdidas de calor por convección. Puede ser negativa en áreas, o durante momentos del día muy calurosos, por hacer circular sobre los animales aire excesivamente caliente, lo que provocaría ganancias en vez de pérdidas de calor.

5.3. Humedecimiento del animal

El principio en que se basa es en el aumento de las pérdidas de calor por evaporación. Su efecto puede ser negativo en ambientes muy húmedos si no existe una adecuada remoción del aire , ya que éste puede saturarse de humedad y frena así la única vía de disipación de calor en ambientes cálidos.

En general, se denomina a los métodos que combinan la ventilación forzada con el humedecimiento.

Existen dos formas de aplicación:

- Combinación de aspersores y ventiladores. Las gotas producidas por los aspersores deben ser lo suficientemente grandes como para penetrar la cubierta del animal. La evaporación, asegurada por la remoción forzada, refresca al animal.
- Producción de neblinas y ventilación forzada. En este caso se utilizan aspersores que generan una fina niebla que debe evaporarse antes de llegar al animal. Este sistema produce enfriamiento del aire que luego, al circular sobre los animales aumenta las pérdidas de calor por convección.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Aguerre, P.; Franco, F. **1991**. Efecto del acceso a sombra sobre el comportamiento y performance de vacas en lactación pastoreando maíz. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 86 p.
- Azanza, J.; Machado, E. **1997**. Efecto de la disponibilidad de sombra en verano, en vacas lecheras con distintos niveles de producción. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 98p.
- Becoña, G.; Casella, M. P. **1999**. Efecto de la sombra sobre el comportamiento animal en terneros Holando y Hereford en el período estival. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 97p.
- Bianca, W. **1965**. Reviews of the progress of dairy science. Section A. Physiology. Cattle in a hot environment. *Journal of Dairy Science* 32: 291–345.
- Bianca, W. **1972**. Termorregulación. *In* Adaptación de los animales de granja. Hafez, Ed. Herrero S.A., México. pp 135 – 162.
- Collier, R.J.; Simerl, N.A.; Wilcox, C.J.. **1980**. Effect of month of calving on birth weight, milk yield and birth weight-milk yield interrelationship. *Journal Dairy Science* 63 Suplly 1: 90-101.
- Collier, R.J.; Doelger, S.G; Head, H.H.; Thatcher, W.W.; Wilcox, C.J. **1982**. Effects of heat stress during pregnancy on maternal hormone concentrations, calf birth weight and postpartum milk yield production of Holstein cows. *Journal Animal Science*, 54: 309.
- Cruz, G. y Saravia, C. **2001**. Cuantificación de un índice de estrés térmico para vacas lecheras en el Norte de la República Oriental del Uruguay. Primer avance. XII

- Congresso Brasileiro y III Reunião Latino-Americana de Agrometeorologia. Fortaleza, Brasil.
- Damiani, M.; López, A... **1994**. Evaluación de los efectos de la temperatura y humedad sobre la eficiencia reproductiva en una granja porcina del sur del país. Tesis Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía. Montevideo. 60p..
- de la Sota, R. L.. **1995**. Manejo reproductivo de rodeos de alta producción bajo condiciones de estrés térmico. *In*. El estrés por calor y su impacto en rodeos de alta producción lechera. Jornada INTA Rafaela, Argentina. pp 25 - 38.
- Donnelly, J.R.. **1984**. The productivity of breeding ewes grazing on lucerne or grass and clover pastures on the tablelands of Southern Australia. III. Lamb mortality and weaning percentage. *Australian Journal Agricultural Research*. 35: 709- 721.
- Drost, M., Thatcher, M.J.D.; Cantrell, C.K.; Wolfsdorf, K.E.; Hasler, J.F.; Thatcher; W.W.. **1994**. Conception rate after artificial insemination or transfer of frozen/thawed embryos to lactating dairy cows during summer in Florida. *Journal Animal Science, Supply*.1. 72: 380.
- du Preez, J.H.; Giesecke, W.H.; Hattingh, P.J.. **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. Veterinary Reserch*. 57: 77-86.
- du Preez, J. H.; Terblanche, S. J.; Giesecke, W. H.; Maree, C.; Welding, M.C.. **1991**. Effect of heat stress on conception in a dairy herd model under South African conditions. *Theriogenology*, 35: 1039-1049.
- Dutt, R.H.; Ellington, E.F. ; Carlton, W.W.. **1959**. Fertilization rate and embryo survival in sheared and unshered ewes following exposure to elevated air temperature. *Journal Animal Science*, 18: 1308-1318.
- Dutt, R.H.. **1960**. Factors of temperature and light in reproduction. Fourth Biennial Symposium on Animal Reproduction. *Suppl. Journal Dairy Science*. 43:.
- Ealy, A.D.; Drost, M., Hansen, P.J.. **1993**. Developmental changes in embryonic resistance to adverse effects of maternal heat stress in cows. *Journal Dairy Science*, 76:2899.
- Fernández Abella, D.H.. **1993**. Principios de fisiología reproductiva ovina. Montevideo, Hemisferio Sur Ed..247 p..
- Fernández Abella, D.; Saldanha, S.; Surraco, L.; Villegas, N.; Hernández Russo, Z.; Rodríguez Palma, R. M.. **1996a**. Evaluación de la variación estacional de la

- actividad sexual y crecimiento de lana en cuatro razas ovinas. I. Actividad ovárica y sexual. In. Primer Congreso Uruguayo de Producción Animal, Montevideo. pp 49 - 53.
- Fernández Abella, D.; Saldanha, S.; Surraco, L.; Villegas, N.; Hernández Russo, Z.; Rodríguez Palma, R. M.. **1996b**. Evaluación de la variación estacional de la actividad sexual y crecimiento de lana en cuatro razas ovinas. II. Crecimiento de lana. In. Primer Congreso Uruguayo de Producción Animal, Montevideo. pp 191-194.
- Flamenbaum, I. **1994**. Factores que afectan la producción lechera en la zona Norte. Informe de consultoría en el “Segundo Proyecto de desarrollo agropecuario”, Comisión Honoraria del Plan Agropecuario. Montevideo. 18 p.
- Flamenbaum, I. **1996**. Heat stress relief from high producing israeli cows in summer. In. International Symposium intensive milk production in Israel under hot climate conditions, Tel- Aviv, Israel. pp 3-9.
- Gambetta, A.; Gratarola, M.; Federico, J.L.; Hitateguy, J.E.; Mussio, P.. **1992**. Crecimiento estacional de lana en capones Corriedale. Producción Ovina, Vol. 5: 85-89.
- Gwazdauskas, F.C.; Thatcher, W.W.; Wilcox, C.J.. **1973**. Physiological, environmental, and hormonal factors at insemination wich may affect conception. Journal Dairy Science 56 (7): 873 - 877.
- Hafez, E. S. E.. **1972**. Principios de la adaptación animal. In Adaptación de los animales de granja. Hafez, Ed. Herrero S.A., México. pp 13 -30.
- Hahn, G.L.. **1993**. Bioclimatología e instalaçones zootécnicas: aspectos teóricos e aplicados. Jaboticabal, FUNEP. 28p.
- Hahn, G.L.. **1994**. Environmental requirements of farm animals. In. Handbook of Agricultural Meteorology. Ed. Griffiths, New York. pp 220 - 235.
- Hahn, G.L. **1995**. Environmental management for improved livestock performance, health and well-being. Japanese J. Livestock Management . 30 (3) :113- 127.
- Ingraham, R. H.; Gillette, D. D.; Wagner, W. D.. **1974**. Relationship of temperature and humidity to conception rate of Holstein cows in subtropical climate. Journal Dairy Science, 57: 476-481.
- Invernizzi, G.; Marziotte, G.. **1998**. Efecto de diferentes confort térmico sobre la producción de leche en verano. . Tesis Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía. Montevideo. 109p..

- Johnson, H.D.; Kibler, H.H.; Ragsdale, A.C. ; Berry, I.L. ; Shanklin, M.D.. **1961**. Role of heat tolerance and production level in response of lactating Holstein to various temperature-humidity conditions. *Journal Dairy Science*, 44:1191.
- Johnson, H.D.. **1987**. Bioclimatology and the adaptation of livestock. Neimann-Sorensen -Tribe Editors in chief. Amsterdam. 273 p..
- Johnson, H.D.; Li, R.; Manalu, W.; Spencer-Johnson, K.J.; Becker, B.A.; Collier, R.J.. **1991**. Effects of somatotropin on milk yield and physiological responses during summer farm and hot laboratory conditions. *Journal Dairy Science* 74:1250.
- Johnson, H.D.. **1994**. Animal Physiology. *In*. Handbook of Agricultural Meteorology. Ed. Griffiths, New York. pp 44 - 58.
- Leva, P. E.; Valtorta, S.; Fornasero, L. V.. **1996**. Disminución de la producción lechera estival: situación actual y efecto del cambio global. Resúmenes del 20° Congreso de Producción Animal, AAPA. Argentina. *Revista Argentina de Producción Animal* Vol. 16 Sup. 1 p. 26.
- Organización Meteorológica Mundial. **1989**. Animal health and production at extremes of weather. Nota técnica N° 191. Ginebra. 182 p.
- Padula, G. D.; Rovira, R.. **1999**. Efecto de la suplementación con un estimulante comercial de la fisiología digestiva ruminal (BOSPRO®) y de la sombra, sobre el rendimiento de leche y sólidos con valor comercial, el recuento de células somáticas y la variación del peso vivo, condición corporal en vacas lecheras en el último tercio de la lactancia. Tesis Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía. Montevideo. 81p..
- Rodríguez Meléndez, A. M.. **1985**. Principales factores ambientales que afectan la producción de lana. *In*. II Seminario Técnico de Producción Ovina, Salto. 43-64.
- Rodríguez Meléndez, A. M.. **1989**. Crecimiento estacional de la lana de ovinos Merino e Ideal en pastoreo. *Producción Ovina* Vol. 2: 45-50.
- Stott, G.H. ; Williams, R.J.. **1962**. Causes of low breeding efficiency in dairy cattle associated with seasonal high temperatures. *Journal Dairy Science* 45: 1369-1375.
- Thatcher, W.W.; Staples, C. R.. **1995**. Efecto del estrés calórico y la nutrición sobre la performance reproductiva: nuevas estrategias para mejorar la eficiencia reproductiva. *In* XXIII Jornadas Uruguayas de Buiatría, Paysandú, Uruguay. pp. E1- E23.

- Thom, E.C.. **1959**. The discomfort index. *Weatherwise* 12: 57-59.
- Torres, A., Casella, M, Cedrés, A., Munka,C., Pastorini,V., Posse,J.. Diagnóstico de Sistemas Agroforestales del Uruguay. Nota Técnica N°40. Facultad de Agronomía. Montevideo.
- Valtorta, S.; Gallardo, M.. **1996**. El estrés por calor en producción lechera. In. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina . Miscelánea N° 81. 173 – 185 pp.
- Webster, A. J. F. **1982**. Influencia del clima sobre el metabolismo del ganado. In Principios para la producción ganadera. Swan y Broster Ed. Hemisferio Sur, Argentina. pp 101- 119.
- Wofenson, D.; Flamenbaum, I.; Berman, A.. **1988**. Dry period heat stress relief effects on prepartum progesterone, calf birth weight and milk production. *Journal Dairy Science* 71: 809.

