

**EFFECTO DEL ESTRÉS TÉRMICO SOBRE LA REPRODUCCIÓN DE LA HEMBRA BOVINA EN EL TRÓPICO**

PAULA VIVIANA GARCÍA GÓMEZ  
CÓDIGO: 150212119

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
PROGRAMA DE ZOOTECNIA  
FUSAGASUGÁ  
2019

# EFFECTO DEL ESTRÉS TÉRMICO SOBRE LA REPRODUCCIÓN DE LA HEMBRA BOVINA EN EL TRÓPICO

Proyecto de grado opción Monografía tipo investigación, como requisito parcial para la obtención del título de Zootecnista

PAULA VIVIANA GARCÍA GÓMEZ  
CÓDIGO: 150212119

DIEGO ANDRÉS ABRIL HERRERA  
Zootecnista, Esp., M.Sc(e)  
Director

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
PROGRAMA DE ZOOTECNIA  
FUSAGASUGÁ  
2019

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

Jurado

---

Jurado

## DEDICATORIA

Principalmente quiero dar gracias a Dios y a la Virgen por hacer todo esto posible, agradecer a mi familia; especial mente a mi Papá (Miguel García), a mi Mamá (Rosa Gómez) y a mi hermano (Eifer Julián) por brindarme apoyo en todo el sentido de la palabra por confiar en mi por creer en mí y por hacer de mí una mejor persona.

A mi novio Albeiro por aparecer en mi vida por alegrar cada uno de mis días y hacer de mi vida un mundo mejor, por apoyarme, guiarme y darme fuerza para seguir adelante, a mis amigas Alejandra cubillos y Jennifer Rodríguez por hacer de la universidad una mejor experiencia.... GRACIAS

## **AGRADECIMIENTOS**

La autora expresa sus agradecimientos a:

La Universidad de Cundinamarca y la Facultad de Ciencias Agropecuarias, por recibirnos en su alma mater.

Todos los profesores que hicieron parte del proceso que permitió formarnos como profesionales del sector agropecuario.

A Diego Andrés Abril Herrera, director, por su apoyo, orientación y disposición para enseñar y para guiarme en la culminación de mi carrera.

Y a todas aquellas personas que presentaron su apoyo manifestado de diferentes formas.

Gracias...

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	1
OBJETIVOS.....	4
OBJETIVO GENERAL .....	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
DISEÑO METODOLÓGICO.....	5
MARCO TEÓRICO .....	6
1.CONTEXTO GANADERO MUNDIAL .....	6
2.CONTEXTO GANDERO NACIONAL.....	9
2.3 Sector lácteo .....	11
2.3.1 Producción.....	11
2.3.2 Consumo.....	14
2.3.3 Efectos del estrés por calor sobre la producción láctea .....	15
3.MECANISMOS DE TERMORREGULACIÓN .....	16
3.1Termorregulación refleja .....	16
4.DEFINICIÓN DE ESTRÉS .....	19
5.FACTORES ESTRESANTES Y EL CLIMA.....	20
5.1Factores que generan estrés en el ganado.....	20
6.ESTRÉS POR CALOR .....	23
6.1.Vasodilatación periférica de los vasos sanguíneos.....	23
6.2.Cambios de comportamiento .....	24
6.3.Adaptación fisiológica al calor.....	25
7.EFECTOS DEL ESTRÉS POR CALOR EN HATOS LECHEROS.....	26
8.EFECTOS DEL ESTRÉS POR CALOR SOBRE LOS HÁBITOS DE PASTOREO.....	27
9.LAS RESPUESTAS AL ESTRÉS EN FRÍO .....	28
9.1.La vasoconstricción periférica.....	28
9.2.Cambios en el comportamiento .....	29
9.3.La adaptación fisiológica al frío.....	29
10.LAS ADAPTACIONES EVOLUTIVAS A LA TENSIÓN TÉRMICA .....	30
10.1.Radiación .....	31
10.2.Convección .....	32

10.3. Conducción.....	32
10.4. Evaporación.....	32
11. EFECTOS DEL ESTRÉS SOBRE LA REPRODUCCIÓN.....	33
12. EL EFECTO DEL ESTRÉS POR CALOR EN LOS PATRONES REPRODUCTIVOS EN LA HEMBRA BOVINA.....	34
13. EL EFECTO DEL ESTRÉS POR CALOR EN EL EJE HIPOTÁLAMO-HIPOFISARIO-OVÁRICO	36
14. EFECTOS DEL ESTRÉS POR CALOR SOBRE EL CICLO ESTRAL.....	36
15. EL EFECTO DEL ESTRÉS CALÓRICO SOBRE GAMETOS Y EMBRIONES.....	37
16. EFECTO EL ESTRÉS POR CALOR EN EL DESARROLLO FOLICULAR.....	37
17. EFECTOS DEL ESTRÉS POR CALOR SOBRE LA FERTILIDAD.....	37
18. EFECTOS DEL ESTRÉS POR CALOR SOBRE EL CRECIMIENTO.....	38
19. EL CONTROL DE TEMPERATURA Y HUMEDAD.....	38
19.1. Índice de temperatura de humedad (ITH).....	39
20. MEDIDAS DE MITIGACIÓN.....	40
20.1. Acceso a fuentes de agua.....	40
20.2. Evitar el movimiento de los animales.....	40
20.3. Cambios en la dieta y en los horarios de alimentación.....	41
20.4. Mejorar la ventilación.....	41
20.5. Uso de sombra:.....	41
20.6. Uso de aspersores:.....	42
21. NUTRICIÓN.....	42
21.1. Los suplementos minerales y vitamínicos.....	43
21.2. Los alimentos fibrosos durante el estrés por calor.....	43
21.3. El uso de grasas.....	44
21.4. El efecto de la proteína.....	45
21.5. Proteínas de shock térmico.....	45
21.6. El aporte de agua.....	46
22. BALANCE ENERGÉTICO.....	47
23. CONCLUSIONES.....	49
24. RECOMENDACIONES.....	50
25. BIBLIOGRAFÍA.....	51

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Producción mundial de carne vacuna (en miles de toneladas) .....	7
Tabla 2. Consumo mundial de carne vacuna (en miles de toneladas).....	8
Tabla 3. efectos del estrés térmico sobre los diferentes mecanismos fisiológicos reproductivos .....	35

## LISTA DE GRÁFICOS

Grafica 1:Inventario bovino .....	10
Grafica 2:Consumo aparente de carne (kg/persona/año) & PIB per cápita .....	11
Grafica 3:Producción de leche en Colombia (millones de litros) .....	12
Grafica 4:Orientacion del hato ganadero .....	13
Grafica 5:Animales por predio.....	13
Grafica 6:El grupo de productores medianos.....	14
Grafica 7:Consumo de leche en Colombia .....	15
Grafica 8:Estrés calórico de la hembra bovina según la temperatura y humedad .....	40

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema general de la termorregulación refleja .....	17
Figura 2: Principales mecanismos de transferencia de energía térmica entre un animal y su entorno. .....	26
Figura 3. Resumen balance energético .....	33
Figura 4. Descripción esquemática de los mecanismos posibles para el efecto del estrés calórico en la reproducción de las vacas lecheras en lactación. ....	48

## RESUMEN

El inventario nacional bovino se ha visto afectado tanto por crisis con Venezuela y por los fenómenos ambientales recurrentes y cíclicos que azotan al país como lo son el fenómeno del “Niño” y la “Niña” que han dejado como consecuencia pérdidas económicas y la muerte de animales en el país.

La termorregulación animal es un mecanismo neuroendocrino, el estado homeotérmico se alcanza mediante mecanismos fisiológicos y conductuales que modifican la velocidad de pérdida de calor por el organismo, de producción de calor por el metabolismo de los alimentos o las reservas corporales de energía. Teniendo en cuenta lo anterior se puede definir el estrés térmico como una respuesta biológica producida cuando un individuo percibe una amenaza a su homeostasis.

En animales de producción los generadores de estrés pueden ser divididos en factores físicos, sociales (resultantes de las interacciones con los individuos de la misma especie) y las prácticas relacionadas con el manejo; generando una respuesta al estrés. Su origen es multifactorial, por lo cual sus causas son difíciles de cuantificar, tipificar y por lo tanto controlar.

Los principales factores capaces de afectar al ganado son, factores ambientales, régimen de vida, nutrición, factores quirúrgicos, manejo y enfermedades. El estrés provocado por las altas temperaturas (Puede ser por altas, bajas o fluctuaciones drásticas) afecta la eficiencia reproductiva del ganado bovino en general. Sin embargo, algunas razas son más susceptibles que otras, lo cual depende básicamente de los mecanismos que estas tiene para regular su temperatura corporal en condiciones de estrés calórico.

Cuando se habla de clima frío los animales intentan conservar el calor a través de un incremento en el aislamiento del medioambiente ya sea mayor cobertura grasa, pelaje más largo y grueso, etc., o bien produciendo más calor mediante un aumento en el consumo de materia seca o el consumo de dietas más calóricas, aunque lo más probable sea una combinación de ambos teniendo en cuenta que los extremos de temperatura ambiental pueden alterar el comportamiento de los animales y ello lleva a hacer uso de las formas de traspaso de calor.

Existen numerosos factores que producen estrés térmico; los más importantes son una consecuencia del aumento de la temperatura y la humedad que se traducen en una baja de expresión del estro y una reducción en el apetito y de ingesta de materia seca. Diferentes estudios han demostrado que el estrés por calor reduce el grado de dominancia del folículo seleccionado. Los niveles de progesterona en plasma pueden ser aumentados o disminuidos dependiendo de si el estrés térmico es agudo o crónico y, del estado metabólico del animal. Estos cambios endocrinos reducen la actividad folicular y afectan el mecanismo ovulatorio, lo que lleva a una disminución en el número de ovocitos y embriones de calidad. El apetito y la ingesta de materia seca también se ven afectados por el estrés térmico prolongando.

**Palabras claves:** Bienestar Animal, reproducción, fisiología, nutrición, fertilidad, clima.

## INTRODUCCIÓN

El término “estrés” fue acuñado por Hans Selye en 1936, quien descubrió los estímulos que podía causar esta condición, definiéndolo como “la acción de estímulos nerviosos y emocionales provocados por el ambiente sobre los sistemas nervioso, endocrino, circulatorio y digestivo de un animal, produciendo cambios medibles en los niveles funcionales de estos sistemas”. Además, señaló que el estrés presenta una relación positiva entre la agresividad del medio externo y la magnitud de la respuesta orgánica del individuo, siendo una reacción de defensa ante los agentes inductores de estrés, los cuales desencadenan respuestas orgánicas capaces de alterar los mecanismos reguladores de la homeostasis. A partir de esta base científica otros autores como (West JW., 2007) introdujeron el concepto “estrés térmico”, atribuyéndolo a la sensación de calor o frío que experimenta un animal, que, a su vez, involucra a la denominada temperatura efectiva, la cual, resulta de la interacción de varios factores, especialmente la temperatura ambiente, la humedad relativa, la ventilación y la radiación solar.

Desde el punto de vista fisiológico, el estrés por calor compromete el eje hipotálamo-hipófisis, afectando la pulsatilidad de las gonadotropinas, lo cual a su vez incide de manera negativa sobre la expresión de signos que hacen evidente el celo al ocasionar alteraciones sobre el crecimiento folicular y conduciendo a la inhibición del desarrollo embrionario. En vacas de la raza Holstein expuestas al estrés por calor, con temperaturas superiores a los 29°C durante 20-50 días antes de la inseminación artificial, se observaron tasas de gestación menores que en vacas que no fueron expuestas a esa condición ambiental (Castaño et al., 2014) lo que hace evidente que, las altas temperaturas, son un factor importante que contribuye a la baja fertilidad de las vacas lecheras. (Thompson J. A., 2010) también reportó que la disminución en la tasa de concepción durante la temporada de calor puede variar entre el 20 y el 30% en comparación con las temporadas de lluvia o invierno, evidenciando claros patrones estacionales en la detección de celo, días al primer servicio y la tasa de concepción en vacas lecheras.

El estrés por frío sucede cuando la temperatura ambiental disminuye por debajo del nivel de confort térmico. La pérdida de calor debe ser igual a la producción de calor endógeno (termogénesis) a fin de lograr la homeostasis, es decir, mantenimiento de la temperatura corporal en un rango neutral termo

estable (Rintamäki H., 2007). En países tropicales no es común evidenciar problemas productivos y/o reproductivos asociados a bajas temperaturas y tampoco existen reportes técnicos y/o científicos que lo ratifiquen, aunque sí se han realizado estudios para determinar el nivel de estrés térmico en bovinos utilizando el Índice de Temperatura y Humedad Relativa (ITH). Este modelo se utiliza a menudo en vacas de leche para estimar la temperatura efectiva y se obtiene, tal como su nombre indica, a partir de la temperatura ambiente y la humedad relativa. Los efectos del estrés térmico dependen además de la raza, del nivel de producción, la cantidad y calidad del alimento, el estado de salud y la hidratación del animal. Así, por ejemplo, una vaca de alta producción (más de 30 kg/día) genera un 48% más de calor que una vaca seca, lo que aumenta el riesgo de estrés por calor. Así lo mencionan (Brown-Brandl y col., 2007) quienes afirman que la capacidad del ganado para enfrentar condiciones adversas de clima es variable, influyendo la especie, raza, edad, color del pelaje y piel, largo del pelaje y plano nutricional.

La piel es el órgano más grande que poseen los bovinos. Las sensaciones térmicas son percibidas por termo receptores, los cuales están localizados en las diferentes capas dérmicas (Kurz, 2008). Los receptores térmicos para calor o frío son diferentes en reptiles y mamíferos. Estos captan variaciones del medioambiente enviando aferencias a las áreas sensoriales corticales y al hipotálamo; hay termo recepción a nivel de órganos abdominales, medula espinal y en los conductos venosos arteriales. En la zona pre óptica hipotalámica se capta la temperatura interna mediante la circulación sanguínea propia de la zona (Navarro, 2006). Algunos de estos receptores son llamados corpúsculos de Ruffini y de Krause que son terminaciones nerviosas ramificadas, siendo similares, aunque los corpúsculos de Ruffini son más aplanados que los de Krause y son los responsables de captar sensaciones táctiles y variaciones de temperatura.

En el trópico colombiano prevalece gran diversidad climática, dado que se presentan altas temperaturas ambientales que sobrepasan los toques considerados como máximos, en las llamadas zonas de confort. Además, existen rangos de variación en breves lapsos (verbigracia, seis horas), durante un mismo día. Adicionalmente, aún permanecen ganaderías bovinas semi-intensivas y extensivas, en las que las medidas para proporcionar bienestar animal no siempre incluyen métodos que eviten la exposición a la radiación solar directa. Así mismo, la posible susceptibilidad individual o

de raza que se puede presentar en los diversos genotipos utilizados en zonas del trópico bajo es un factor de considerable importancia, como causa de falla en la reproducción (Góngora. A, Hernández. A 2010). En el ámbito agropecuario, se reconoce que más del 50% de la población bovina se ubica en

los trópicos, por lo que el estrés por calor causa severas pérdidas económicas en más del 60% de la ganadería de leche (Wolfenson et al. 2008), determinando así un impacto económico global. No obstante, es posible afirmar que en términos generales el ganado bovino adulto soporta sin mayores complicaciones rangos de temperaturas de 0 a 25 °C. En regiones donde los problemas de estrés por calor son frecuentes, la recomendación es contar con un plan de emergencia que permita reducir el impacto negativo que el clima ejerce sobre el ganado. Este tipo de planes debe incluir a lo menos algunos de los siguientes aspectos de manejo: acceso a fuentes de agua, evitar el movimiento de los animales, cambios en la dieta y en los horarios de alimentación, ventilación, uso de sombra, uso de aspersores, edad y raza.

El objetivo del presente trabajo fue recopilar y analizar información pertinente que permita profundizar los impactos productivos y reproductivos en las hembras bovinas sometidas a estrés térmico enfocado en zonas de trópico.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Establecer el estado del arte de los efectos del estrés térmico sobre la reproducción de la hembra bovina

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Analizar investigaciones ligadas al concepto de estrés térmico y su relación con la capacidad reproductiva de la hembra bovina
2. Identificar qué factores fisiológicos descritos, asociados al estrés por calor, intervienen en la disminución de la capacidad reproductiva
3. Resaltar la importancia del establecimiento de estrategias que mitiguen los efectos del estrés térmico y contribuyan al crecimiento reproductivo y económico de los hatos bovinos tropicales

## DISEÑO METODOLÓGICO

El presente documento recopiló trabajos y artículos investigativos con el fin de consolidar información que permita comprender cómo se afecta la reproducción en vacas lecheras a partir del estrés térmico.

Para llevar a cabo la presente revisión se tuvo en cuenta lo siguiente:

1. Se realizó un estudio previo a profundidad sobre la fisiología reproductiva desde principio a fin en bovinos y cómo se afecta todo el ciclo, es decir, se relacionaron diferentes temas relevantes como lo son las altas y bajas temperaturas que afectan la ingesta de alimentos en el animal y por consecuente también afectan la reproducción.
2. Con la revisión literaria anteriormente mencionada se procedió a enfocar el trabajo a los efectos nocivos causados y relacionados con la reproducción y estados fisiológicos que presenta la hembra bovina por el estrés térmico.
3. Posteriormente se realizó la búsqueda de la información en medios virtuales y/o físicos con publicación a partir del año 2005 a la fecha, de diferentes orígenes necesarios para llevar a cabo una adecuada revisión bibliográfica.
4. Con la obtención del material bibliográfico encontrado se procedió a realizar una selección de los artículos y documento científicos más relevantes sobre el tema.
5. Por último, se diseñó un documento final a partir de análisis de información a partir de investigaciones y revisiones de artículos científicos, revistas indexadas y páginas de internet.

## MARCO TEÓRICO

### 1. CONTEXTO GANADERO MUNDIAL

El sector ganadero ha crecido muy rápidamente en las últimas décadas y continuará haciéndolo mientras siga aumentando la demanda de carne y productos lácteos. Se ha estimado un crecimiento del 68% para 2030 respecto a 2000, y esto se debe principalmente al crecimiento demográfico y económico de países en desarrollo (FAO, 2006).

El ganado es también el mayor usuario mundial de los recursos de la tierra: los terrenos de pastoreo ocupan el 26% de la superficie no helada de la tierra y el 33% de la tierra cultivable destinada a la producción de alimentos (FAO, 2006).

La incidencia de días bajo estrés por calor en Australia incrementó significativamente (~60%) durante los últimos 40 años, así como también se observó un aumento sustancial (138%) de la frecuencia de incidencia de estrés por calor (Howden, Turnpenny 2013).

En Chile se evaluó el efecto de las variables climáticas, tales como temperatura máxima, temperatura mínima y humedad relativa del día de inseminación sobre la eficiencia reproductiva de vacas lecheras en la Octava Región. Como resultado encontraron que, bajo condiciones de estrés calórico, es decir, cuando la temperatura ambiente superó los 30°C y la humedad relativa el 60%, hubo una notoria depresión en la fertilidad de las vacas (McDowell, 2015).

Con una población estimada oficialmente en 186 millones de habitantes, el territorio brasileño abriga un rebaño vacuno aún más numeroso. Según el Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE), este rebaño totalizaba 206 millones de cabezas a fines del año 2007. Brasil es el segundo del ranking mundial en este tipo de rebaño, superado apenas por India. Dado que India no utiliza su ganado vacuno con fines comerciales, por motivos religiosos, el rebaño vacuno brasileño es considerado el mayor rebaño comercial del mundo. Las regiones Norte y Centro-Oeste, donde se encuentran la Selva Amazónica y el Cerrado, son las que presentan las mayores tasas de expansión del rebaño vacuno en Brasil.

Según (Smeraldi y May, 2008), de 1990 a 2007, la producción de carne vacuna aumentó más del doble, pasando de 4.1 a más de 9 millones de toneladas, con ritmo de crecimiento bastante superior al de su población y su consumo. Estos factores permitieron que Brasil se transformara en el mayor exportador mundial, superando Australia, a partir de 2004.

Tabla 1. Producción mundial de carne vacuna (en miles de toneladas)

<b><i>País</i></b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>
<b><i>Estados Unidos</i></b>	11 261	11 317	11 897	12 168
<b><i>Brasil</i></b>	7 975	8 592	8 850	9 120
<b><i>Unión Europea</i></b>	8 007	7 770	7 880	7 880
<b><i>China</i></b>	6 759	7 115	7 500	7 910
<b><i>Argentina</i></b>	3 130	3 200	3 100	3 150
<b><i>India</i></b>	2 130	2 250	2 375	2 500
<b><i>México</i></b>	2 099	2 125	2 175	2 200
<b><i>Australia</i></b>	2 081	2 102	2 150	2 290
<b><i>Rusia</i></b>	1 590	1 525	1 460	1 380
<b><i>Canadá</i></b>	1 496	1 523	1 375	1 335
<b><i>Nueva Zelanda</i></b>	720	705	650	690
<b><i>Uruguay</i></b>	544	600	635	650
<b><i>Otros</i></b>	3 535	3 550	3 464	3 444
<b><i>Total</i></b>	<b>51 327</b>	<b>52 374</b>	<b>53 511</b>	<b>54 717</b>

Fuente: (Departamento de agricultura de los Estados Unidos USDA, 2007)

En el 2008 Patrini de Moraes presidente de la Asociación Brasileña de la Industria Exportadora de Carnes (ABIEC) expone que, las empresas brasileñas instaladas en territorio nacional y en el exterior tienen un potencial de exportación de 52% de esos 7 millones de toneladas comercializadas anualmente en los mercados globales. Poseen 10% del mercado mundial de carne vacuna, lo que incluye el volumen comercializado en el ámbito doméstico de los distintos países. Brasil ya respondía en 2007, por 33% de las exportaciones mundiales de carne vacuna, seguido de lejos por Australia, que tenía 19% de las ventas externas.

Tabla 2. Consumo de carne bovina en varios países en 2017

<b><i>País</i></b>	<b>Consumo per cápita Kg</b>
<b><i>China</i></b>	4,9
<b><i>Japón</i></b>	11,03
<b><i>Colombia</i></b>	18,1
<b><i>México</i></b>	19,6
<b><i>Australia</i></b>	34,4
<b><i>Paraguay</i></b>	33,6
<b><i>Brasil</i></b>	44,1
<b><i>Argentina</i></b>	54,5
<b><i>Uruguay</i></b>	59,4
<b><i>Unión Europea</i></b>	15,98
<b><i>Estados Unidos</i></b>	37,78

Fuente: (FEDEGAN,2017)

Según (Sagarpa, 2012) en el año 2011, en México, la producción de ganado cárnico representó el 23.3% del valor total de la producción pecuaria en el país, con un millón de unidades de producción y ocupando la mayor superficie territorial (más del 50%). Para el 2012, el número de cabezas de ganado cárnico a nivel nacional fue de 29,526,542, con una producción total de 1, 820,547 toneladas de carne en canal, en tanto que se reportaron 3,464,780 toneladas de ganado en pie. La relación inventario (cabezas) los cinco principales estados productores fueron Veracruz (14.2%), Jalisco (10.9%), Chiapas (6.3%), Sinaloa (5.6%) y Chihuahua (5.1%).

Con base en reportes de la International Dairy Federation, a nivel mundial México aportó el 1.9% de la producción lechera para el 2010. En el 2012, la población nacional de ganado lechero ascendió a 2.39 millones de cabezas, produciendo un total de 10.88 millones de litros de leche, donde el estado de Jalisco fue el mayor productor lechero del país, seguido de Coahuila, Durango, Chihuahua y Guanajuato.

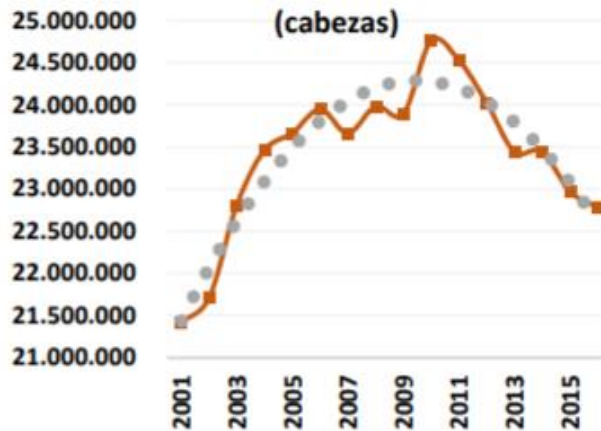
Gonzales et al, (2013) mencionan que, el sector de carne de vacuno en España cuenta con un censo de 6,32 millones de animales, el quinto en importancia comunitaria por detrás de Alemania, Francia, Irlanda y Reino Unido. España produjo 633.792 toneladas de carne en 2015, según los últimos datos anuales disponibles, de las que más del 25 % se exportaron a países como Portugal, Francia, Argelia o Hong Kong. En el caso de bovinos vivos, comercializa en torno a 175.000 cabezas de ganado, con destinos como Líbano y Libia, que acaparan el 60 % del total.

## **2. CONTEXTO GANADERO NACIONAL**

### **2.1 Inventario ganadero**

El ICA ha venido recogiendo información del inventario ganadero en las campañas de vacunación, que, si bien no es completamente fiable porque depende de la voluntad de los productores para vacunar su ganado, y del difícil acceso a algunos predios que no se alcanzan a vacunar, sí da una muestra del comportamiento de los inventarios desde el nivel municipal hasta el nacional. Otro factor que puede dar una visión errada es el contrabando de ganado, del cual no hay estimativos, pero que se supone que existe en los departamentos fronterizos y hasta lejos de ellos, como se detectó en los brotes de Fiebre Aftosa en Cundinamarca en 2017, donde se aisló una cepa de virus procedente de Venezuela (ICA, 2017). Sobre el contrabando, la Dirección de Gestión de Policía Fiscal y Aduanera, se remite a información de Fedegán, quien estima que al país ingresan de manera ilegal más de 250 mil bovinos al año, de estos, solo en la frontera de Norte de Santander el cálculo asciende a 150.000 aproximadamente.

El inventario bovino del país registra una apreciable disminución desde el año 2010. Por supuesto, se debe tener en cuenta que luego de la crisis con Venezuela en 2009 se tuvo una fuerte liquidación de hembras, alcanzando una tasa de sacrificio de 47%, 14 puntos por encima de su promedio tradicional. Pero sumado a las dificultades con el país vecino, las problemáticas ambientales también han repercutido fuertemente en la baja del hato ganadero (FEDEGAN, 2017). Entre 2009 y 2016 se han registrado tres fenómenos de “El Niño” y dos fenómenos de “La Niña”, que en conjunto dejaron en el sector 377 animales muertos; 5,6 millones de bovinos desplazados; y pérdidas por 5,1 billones de pesos.



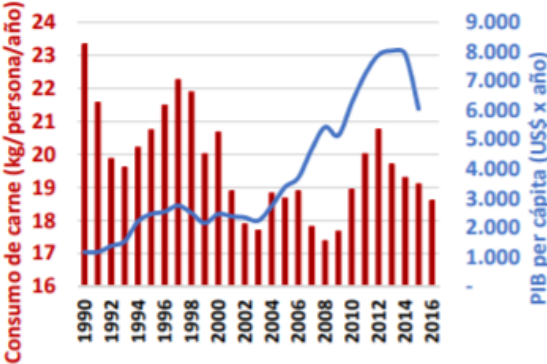
Grafica 1: Inventario bovino  
Fuente: (FEDEGAN, 2017)

Por supuesto la problemática en la baja del inventario no solo tiene que ver con los animales muertos por sequías o inundaciones, sino por los daños en productividad y reproductividad de los animales desplazados, incluso no desplazados. Ante las potencialidades mundiales que tiene el sector cárnico, las políticas públicas deberían apuntar al repoblamiento bovino, al menos para alcanzar la cifra cercana a los 25 millones de animales registrada en 2010, con el fin de evitar distorsiones en los precios de la carne que se le cobran al consumidor. Colombia ocupa el puesto número 13 en el mundo en cuanto a inventario ganadero (23.500.000 de cabezas, de las cuales 15.5 millones son hembras); es el quinto en América y el tercero en América latina (FEDEGAN, 2012). El sector agropecuario colombiano aporta el 7% del PIB nacional, del cual, la ganadería representa el 1.6% del PIB nacional, el 20% del total agropecuario y el 53% del total pecuario. En la distribución del suelo colombiano el 77% del mismo está dedicado a pasturas y sabanas naturales que son aprovechadas en ganadería; ese porcentaje equivale a 39'150.220 millones de hectáreas, de las cuales sólo 5'000.000 están cultivadas en pasturas mejoradas, de estas sólo 19.3 millones tienen vocación ganadera (FEDEGAN, 2012).

## 2.2 Consumo

El consumo de carne en Colombia durante 2016 registró una baja de medio kilo por persona respecto a 2015, llegando a 18,6 kilos/persona/año. Esta baja se encuentra explicada por: i) el encarecimiento de la carne al consumidor final dada la disminución en la oferta de animales ii) las restricciones en el

nivel de ingreso disponible de las familias y las empresas teniendo en cuenta el sensible estado de la economía (FEDEGAN, 2017).

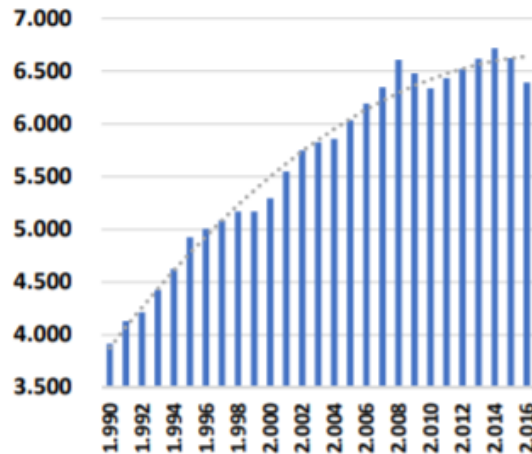


Grafica 2: Consumo aparente de carne (kg/persona/año) & PIB per cápita  
Fuente: (BANCO MUNDIAL, 2017)

## 2.3 Sector lácteo

### 2.3.1 Producción

En el año 2016 el sector lechero colombiano continuó registrando la contracción en su producción. Termina el año con una cifra de 6.391 millones de litros producidos, indicando una disminución de 3,5% respecto a lo ocurrido en 2015 cuando se produjeron 6.623 millones de litros. La tendencia de caída se hace presente desde el año 2014, y tiene como variables directas de ocurrencia la mayor exposición a Tratados de Libre Comercio y las problemáticas ambientales (ANALAC, 2018).

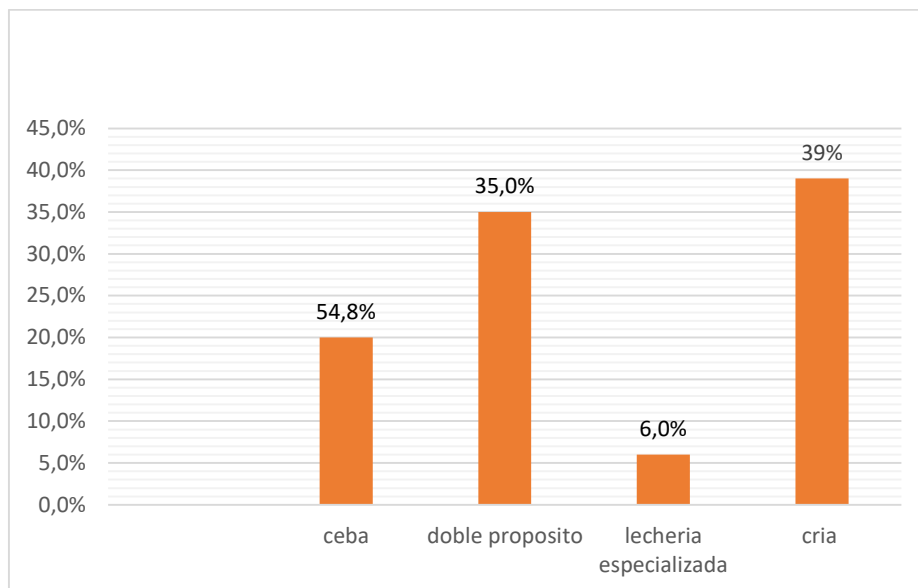


Grafica 3: Producción de leche en Colombia (millones de litros)  
Fuente: (DANE, 2017)

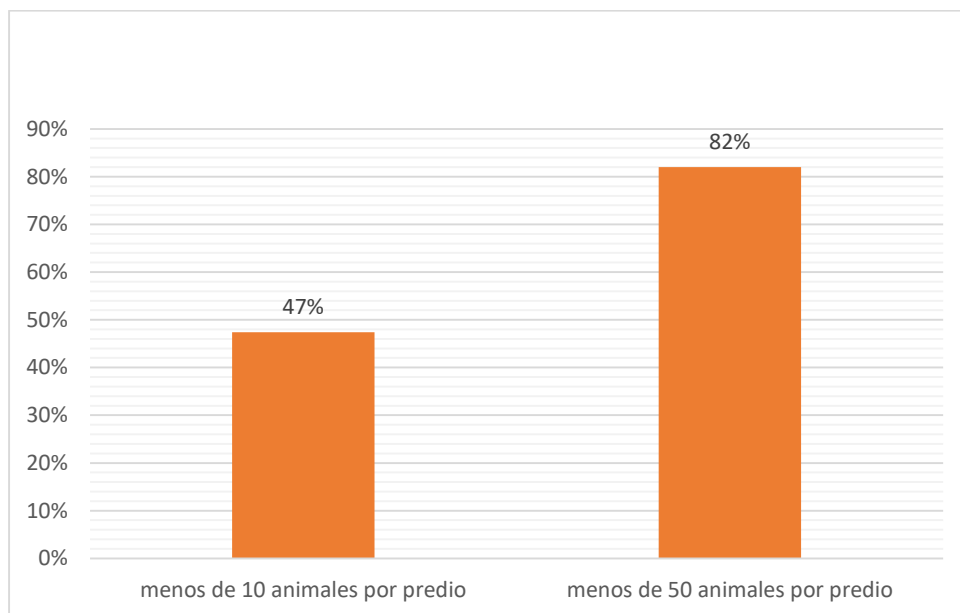
Al revisar las cifras de importaciones de leche y derivados lácteos se hace evidente la tendencia creciente en el volumen importado, especialmente de leche en polvo, lactosueros y quesos; que en 2016 representaron alrededor del 7 por ciento de la producción nacional. En otras palabras, el sector industrial lácteo ha preferido la producción extranjera a la nacional y con cupos crecientes libres de arancel vía TLC, año tras año, la tendencia de reemplazo de leche colombiana por internacional será aún mayor (ASOLECHE, 2017).

De los 22,6 millones de semovientes bovinos a largo y ancho de los 30 millones de hectáreas en pasturas dentro del territorio nacional, aproximadamente 12,7 millones son hembras (FEDEGAN, 2015). El 40% de la leche producida corresponde a sistemas de lechería especializada en trópico de altura, a pesar de contar con tan sólo el 2% del inventario total de bovinos en el país. Sector, que se encuentra distribuido principalmente en los altiplanos de Antioquia, Cundinamarca, Boyacá y Nariño (PEGA 2019, 2006); caracterizado por su alta dependencia de fertilizantes, pesticidas y alimentos concentrados.

En cuanto a los diferentes sistemas o especialidades de producción se refiere, la cría ocupa el primer lugar, seguida del doble propósito, la ceba y, finalmente, la leche especializada. Esta última confirma el desplazamiento del grueso de la producción lechera hacia el doble propósito, normalmente en zonas de trópico bajo, con menores costos y unos niveles de producción más basados en las economías de escala por un mayor número de animales, que en las altas productividades de un número menor de animales (FEDEGAN, 2012).

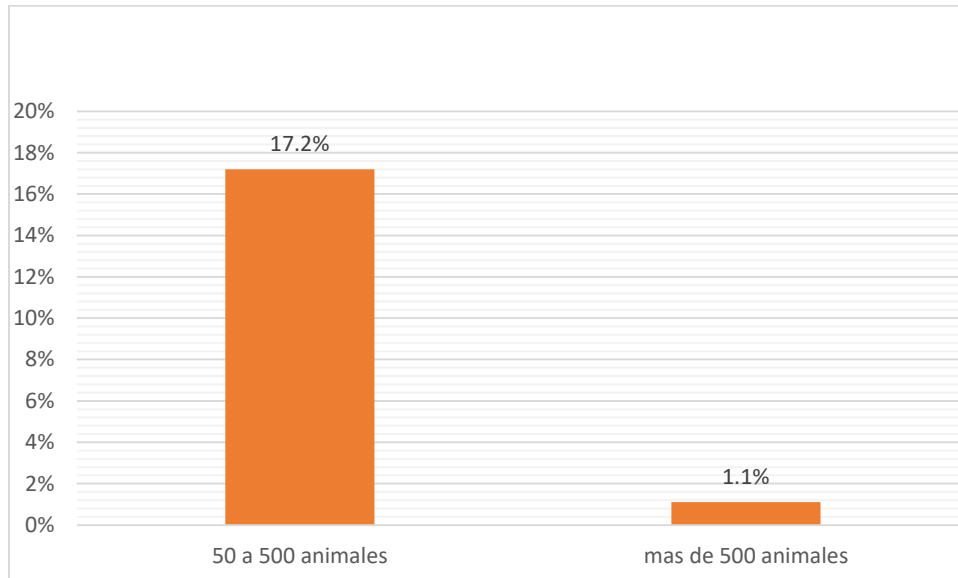


Grafica 4: Orientación del hato ganadero  
 Fuente: (adaptado de FEDEGAN, 2016)



Grafica 5: Animales por predio  
 Fuente: (adaptado de FEDEGAN, 2009)

Según esta misma fuente, para el año 2009, el número de predios con actividad ganadera en el país era de 491.334. De estos el 47,4% tiene menos de 10 animales por predio, y el 82% alberga menos de 50 animales, ubicándose dentro de lo que se puede calificar como pequeña ganadería.

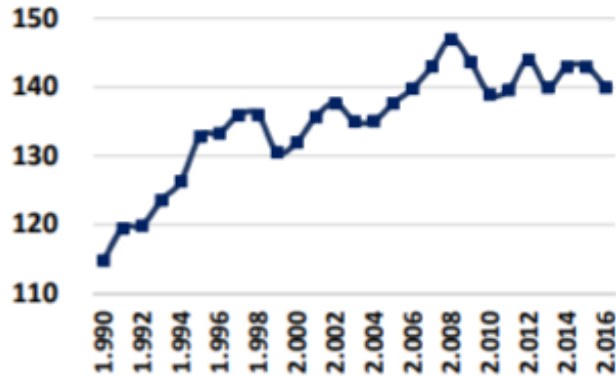


Grafica 6:El grupo de productores medianos  
Fuente: (adaptado de CONPES, 2010)

De (50 a 500 animales) participa con el 17,2% del total de predios y finalmente, sólo el 1.1% (1.645 productores) alberga más de 500 animales.

### 2.3.2 Consumo

Durante el año 2015 las dificultades económicas de las familias, especialmente de estratos medios y bajos, y el encarecimiento de los productos lácteos, originaron una disminución en el consumo per cápita. Mientras que en 2008 cada habitante del país consumió 147 litros de leche al año, ya en 2015 dicha cifra era apenas de 143 litros. En 2016 la caída frente a 2015 fue de 2,2 por ciento llegando a los 140 litros (ANALAC, 2017).



Grafica 7: Consumo de leche en Colombia  
Fuente: (DANE, 2017)

Mientras que en Colombia se consumen 140 litros de leche al año por persona (solo 67 litros de leche higienizada en promedio), en Argentina dicha cifra es de 231 litros, y en Uruguay de 244. La FAO recomienda consumir 180 litros de leche por persona al año (de leche higienizada).

### 2.3.3 Efectos del estrés por calor sobre la producción láctea

En la producción de leche se ha comprobado un efecto negativo en todas las etapas de producción, aunque en formas y proporciones diferentes (González 2008). Al inicio de la lactancia, el estrés de calor causa disminución de la producción de leche y un pico de lactación más bajo, principalmente debido a una reducción en el consumo de materia seca. Cuando el estrés de calor se ejerce en la mitad de la lactancia, se afecta la persistencia de la producción o curva de lactación. Cuando el estrés de calor afecta la vaca hacia el final de la lactancia y durante el período de secado, se resiente la acumulación de reservas corporales, esenciales para soportar la producción de leche en la siguiente lactancia. Debido al estrés de calor también se produce un aumento en el conteo de células somáticas (CCS) produciendo una significativa disminución de la calidad higiénica de la leche (Flamenbaum 2010). Flamenbaum (2007), indica que las vacas que no son sometidas a enfriamiento llegan a tener una producción de 7 al 10% menor en verano que en invierno, con una relación verano/invierno de 93% en primerizas y 91% en vacas adultas.

Como resultado del descenso del consumo de alimento, se afecta la producción y composición de la leche. Los rendimientos lácteos disminuyen de un 50 a un 75% a temperaturas superiores a 26,5°C con vacas Holstein y superiores a 29,5°C con vacas Jersey y Pardo Suizo. No se notan efectos negativos en vacas Brahman a temperaturas del orden de los 32°C. La temperatura crítica para el descenso en la producción láctea radica entre 21 y 26,5°C para las vacas Holstein y Jersey y entre 29.5 y 32°C para las vacas Pardo Suizo. Estos resultados fijan la temperatura óptima para el rendimiento lácteo de las razas templadas de bovinos entre 10 y 15.5°C (Finch, A. 2006.). Temperaturas tan bajas como 0°C apenas tienen efectos sobre la producción láctea en tanto que temperaturas superiores a 15.5°C afectan adversamente el rendimiento lácteo (Khalifa, H.H. 2010). Además, de la disminución en la producción de leche también varía la composición de la misma. Disminuye el rendimiento en grasa y disminuye la proporción de los ácidos grasos de cadena corta, sin embargo, el Palmítico y Esteárico aumentan. Los sólidos no grasos también disminuyen (Iturbe, A; Estrada, E. 2012).

### **3. MECANISMOS DE TERMORREGULACIÓN**

#### **3.1 Termorregulación refleja**

En 1784, en Praga, el anatomista Georg Prochaska utilizó por primera vez el concepto de arco reflejo, que hoy se define como una respuesta estereotipada, automática, inmediata e involuntaria ante un estímulo sensorial específico, e incluye las siguientes partes: variable regulada, estímulo, receptor, vía aferente, centro integrador, vía eferente, efector y respuesta (Clarac, 2008). El arco reflejo tiene tres grandes modalidades que permiten regular diferentes variables fisiológicas: a) retrocontrol negativo, b) retrocontrol positivo y c) retrocontrol anticipado. Este concepto tradicional constituye una forma básica de organizar la información fisiológica hasta hoy, especialmente para explicar mecanismos autonómicos, como es el caso de la termorregulación refleja.

La termorregulación refleja en última instancia producirá dos grandes fenómenos que son la respuesta termorreguladora al frío (RTF) y respuesta termorreguladora al calor(RTC). La RTF es una combinación integrada de respuestas automáticas que incluye termogénesis simpática en el tejido

adiposo pardo, termogénesis por temblor en el músculo esquelético, incremento en la producción de dióxido de carbono espirado por aumento de la actividad metabólica y taquicardia. Por su parte, la RTC incluye vasodilatación cutánea, taquicardia y sudoración.

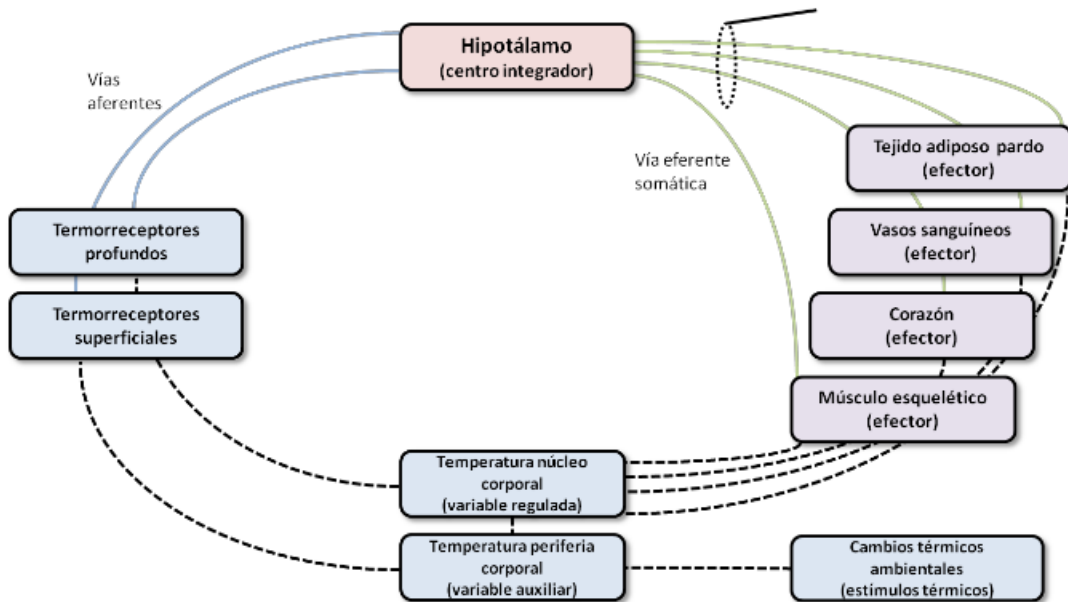


Figura 1: Esquema general de la termorregulación refleja  
Fuente: (López Dávila, Alfredo, 2014)

La termorregulación animal es un mecanismo neuroendocrino controlado por los núcleos preóptico y supraquiasmático, ubicados en el tálamo encefálico; quien recibe la información de los termorreceptores cutáneos de los animales endotermos como es el caso del bovino (Bicego 2007). Los endotermos mantienen una temperatura corporal central relativamente constante, denominada homeotermia. Este estado homeotérmico se alcanza mediante mecanismos fisiológicos y conductuales que modifican la velocidad de pérdida de calor por el organismo, de producción de calor por el metabolismo de los alimentos o las reservas corporales de energía. Para que la temperatura corporal se mantenga constante durante las modificaciones de los ambientes térmicos, la velocidad de pérdida de calor debe ser equivalente a la velocidad de ganancia de calor. La temperatura corporal es un reflejo del equilibrio entre la ganancia de calor (debida a la absorción a partir del entorno y la actividad metabólica) y la pérdida de calor. La absorción de calor del entorno se produce cuando la temperatura externa aumenta por encima de la del organismo (Radostits, 2011).

La pérdida de calor se debe a fenómenos físicos de convección, conducción, radiación y evaporación de la humedad, representada por el sudor, la perspiración insensible y la humedad vaporizada por la vía respiratoria. Las pérdidas por evaporación de la humedad varían entre las especies dependiendo del desarrollo del sistema de glándulas sudoríparas y son menos importantes en los animales que en el hombre, iniciándose sólo a temperaturas corporales relativamente elevadas (Radostits 2011). La magnitud de la pérdida de calor sensible, vía conducción y convección es dependiente de la superficie de área por unidad de peso vivo, la magnitud del gradiente de temperatura entre el animal y el aire y la conductancia de calor del interior del cuerpo a la piel y de esta al aire circundante. El intercambio de calor por radiación depende tanto del área de superficie como de las propiedades reflectivas del pelaje del animal. Los pelajes lisos, claros y cortos reflejan una proporción mayor de radiación solar incidente que los pelajes de color oscuros, densos y lanudos; incluso una exposición crónica a los rayos solares y altas temperaturas puede causar un aclaramiento del pelaje. Una respuesta fisiológica al estrés calórico es una reducción en la producción de calor mediante una disminución en la ingesta de alimento, producción de leche, secreción de la hormona tiroidea y movimiento corporal (Hansen 2014).

En el caso de los bovinos de origen europeo (*Bos Taurus*) no se considera la sudoración como un mecanismo eficaz de pérdida de calor; mientras que en el ganado cebú (*Bos indicus*), la mayor concentración de glándulas sudoríparas cutáneas indica que la sudoración puede ser más importante. La salivación abundante y la respiración exagerada, incluida la respiración bucal o “jadeo” son mecanismos importantes para la disipación del calor corporal excesivo en los animales. Existen diferencias entre las razas de ganado bovino en cuanto a las características del pelaje y la piel que afectan a la absorción de calor procedente de la radiación solar y la pérdida de calor por enfriamiento evaporador; también hay diferencias en la tasa metabólica que influye en la carga básica de calor (Radostits 2011). Claramente, las menores tasas metabólicas que se traducen en menores ganancias de peso y producción de leche son una ventaja en cuanto a la termo tolerancia (Hansen 2014). El interés que ha suscitado este tema procede de la demanda de animales de gran producción en los países en vía de desarrollo de las zonas tropicales (Radostits 2011).

El equilibrio entre la pérdida y la ganancia de calor se controla mediante las funciones hipotálamicas reguladoras de calor. Los impulsos aferentes proceden de los receptores periféricos de frío y calor.

Los impulsos eferentes controlan la actividad del centro respiratorio, el calibre de los vasos sanguíneos cutáneos, la actividad de las glándulas sudoríparas y el tono muscular. Se produce la acumulación de calor y un aumento de la temperatura corporal, con reducción de la frecuencia y profundidad de la respiración, constricción de los vasos sanguíneos cutáneos, interrupción de la transpiración y aumento del tono muscular. La pérdida de calor tiene lugar cuando se invierten estas funciones (Radostits 2011).

#### **4. DEFINICIÓN DE ESTRÉS**

(Trotti DS et al., 2007) definieron el estrés como una respuesta biológica producida cuando un individuo percibe una amenaza a su homeostasis. Este término, definido por Walter Cannon, describe un estado estable de parámetros fisiológicos, al que se puede llegar mediante el equilibrio de los mismos dentro de los límites tolerables por diversos mecanismos (Cannon W,2014).

Tal esfuerzo se desarrolla en tres etapas consecutivas denominadas: fase de alarma simpática (breve, fugaz), fase de resistencia (duradera, estrés) y fase de agotamiento (pérdida de la adaptación y ruptura del estado de salud; distrés). Por lo tanto, resulta importante determinar cuándo el estrés se transforma en distrés y cómo medir ambos.

Las amenazas o estímulos que alejan al individuo de la homeostasis se conocen como agentes estresantes o estresores. Estos últimos se pueden dividir en varios grupos según su naturaleza, duración e intensidad. Según la duración de la respuesta generada, se clasifican en agudos (simples y de duración limitada) o crónicos (duración prolongada) (Pacak K. 2006). Un estresor agudo puede pasar a tener una respuesta de estrés crónico si se presenta en forma repetida o cuando su intensidad es anormalmente alta.

Myers B. et al en 2016 indicaron que los estresores pueden ser físicos (daño, sobreexigencia, excesivo calor o frío, ruidos) o psicológicos (eventos inesperados, frustración, aislamiento, separación maternal, hechos traumáticos). Todos estos tipos de estresores inducen diferentes respuestas, tanto conductuales como fisiológicas. La respuesta o defensa biológica contra el agente estresante consiste en alguna combinación de las posibles réplicas generales: la comportamental, la del sistema nervioso autónomo, la neuroendocrina y la inmune. Como resultado se alterará la función biológica, de manera

que se producirá un desplazamiento de los recursos lejos de actividades que ocurrían antes de la actuación del estresor, denominándose a este cambio el "costo biológico del estrés". Si éste es prolongado o de gran magnitud, el costo se hace muy elevado y la respuesta supone una carga significativa para el organismo.

Las respuestas conductuales pueden disminuir el riesgo y alejar al individuo del peligro, pero también pueden agravar las consecuencias fisiológicas a través de comportamientos autodestructivos (Pines G. 2012). Esta respuesta incluye alteraciones en los umbrales cognitivos y sensoriales, aumento del estado de alerta, estimulación de la memoria selectiva y supresión de conductas reproductivas.

La respuesta fisiológica (incremento de la presión arterial, aumento de la frecuencia cardíaca, elevación de los niveles de glucocorticoides, alteraciones metabólicas e impedimento de realización de las funciones cognitivas) comienza con la activación del eje hipotálamo- hipófisis-adrenal (HPA), el sistema nervioso autónomo y el sistema inmune (SI), cuyos mediadores fisiológicos son los glucocorticoides (GC), catecolaminas y citoquinas respectivamente (McEwen BS. 2008).

## **5. FACTORES ESTRESANTES Y EL CLIMA**

### **5.1 Factores que generan estrés en el ganado**

De manera natural los animales presentan una actitud de alerta y reaccionan ante cualquier estímulo novedoso que observan o escuchan; es un comportamiento innato que le permite sobrevivir en estado libre (Grandin T. 1997).

En animales de producción los generadores de estrés pueden ser divididos en factores físicos, sociales (resultantes de las interacciones con los individuos de la misma especie) y las prácticas relacionadas con el manejo. Son estímulos, internos o externos, que activan involuntariamente el eje HPA generando una respuesta al estrés. Su origen es multifactorial, por lo cual sus causas son difíciles de cuantificar, tipificar y por lo tanto controlar. No existe una definición científica universalmente aceptada de bienestar animal. Es cada vez más amplia, en cambio, la aceptación de criterios generales, como las "cinco libertades" (Giménez ZM. 2006), según las cuales los animales deben ser libres de:

- hambre, sed y desnutrición
- miedo y angustia
- sufrimiento físico y térmico
- dolor, enfermedad y lesiones
- manifestar su comportamiento normal

Los principales factores capaces de afectar al ganado son:

- a) ambientales: cambios de temperatura y humedad relativa, lluvias prolongadas, vientos fuertes, nevadas, sequías, inundaciones;
- b) régimen de vida: instalaciones precarias, comederos y bebederos de poca capacidad, ambientes sucios, oscuros, ventilación exagerada o deficiente, hacinamiento, promiscuidad;
- c) manejo: entrenamiento del personal, esquila, destete, transporte, cambios de potrero, arreos largos y apresurados, ordeño, vacunación;
- d) nutrición: hambre, sed, sobrealimentación, cambios de nutrición, pasturas suculentas o secas, aguas salobres, alimentos inadecuados para la especie;
- e) enfermedades: víricas, bacterianas, micóticas, parasitarias, intoxicaciones; y
- f) factores quirúrgicos y psíquicos: heridas, quemaduras, contusiones, fracturas, operaciones, señalada, sangrías, castigos, gritos, picana eléctrica.

Estos factores estresantes tienen un efecto aditivo, lo cual significa que cuando varios de ellos inciden sobre al mismo tiempo, la respuesta de estrés resultante será mayor que si el animal fuese expuesto a un solo factor. Por lo tanto, situaciones como el destete y el transporte pueden ser especialmente difíciles para el ganado (Koolhaas JM et al, .2011).

En muchas especies el estrés dispara un complejo patrón de conducta autonómica similar a lo que sería el temor en los seres humanos. Tanto las experiencias previas como los factores genéticos afectan el temperamento y pueden interactuar en forma compleja para determinar cuánto miedo puede padecer un animal al momento de ser manejado o transportado (Grandin T. 1997).

El encierro, la alta densidad animal y el cambio de dieta sumado al destete, favorecen el estrés, así como la presentación y exacerbación de diferentes cuadros o enfermedades. El engorde a corral

(feedlot) surgió en la década de 1950 en EEUU ante la necesidad de intensificar la producción, y consiste en encerrar el ganado en rediles donde reciben el alimento en comederos. El período de confinamiento depende del peso inicial y la edad del ganado, variando entre los 60 días y 12 meses. La utilización inadecuada de instalaciones como el piso y la falta de aireación de los corrales a galpón o establos, también generan una respuesta de estrés (Costa F. 2005).

Si bien en nuestro país no es un sistema de producción nuevo, el feedlot ha hecho explosión por razones de mercado a fines de la década de 1990 y en la actualidad hay un nuevo impulso en tal actividad, instalada con firmeza en el sistema productor argentino. Está destinado principalmente a bovinos jóvenes como los provenientes del destete precoz (animales de 90 días) o bien del destete convencional (6 a 10 meses), permaneciendo en engorde hasta su peso de faena, por lo general de 60 a 90 días, hasta llegar a un peso de 230 a 250 kilos en los feedlot productores de "terneros bolitas" o bien de 4 a 6 meses en los feedlot que producen ejemplares de "consumo liviano" (280 a 350 kilos). El mercado exige en estos momentos animales de más de 400 kg, por lo que la estadía en confinamiento se prolonga aún más (Costa F. 2005).

El trabajo de rutina con la hacienda en un sistema extensivo incluye el arreo, la pasada por corrales y manga para prácticas zootécnicas y luego el retorno al pastoreo en el campo. Durante estas tareas, especialmente si el personal no es idóneo, cuando hay apuro o poco control, los animales están expuestos a sufrir los más variados agentes estresores; heridas, a veces fracturas, latigazos, pinchazos y descargas eléctricas, gritos, ladridos, mordeduras, roturas de cola, es decir una amplia gama de agresiones a las que deben adecuar su conducta de adaptación, reacción y resistencia (Grandin T, Shivley C. 2015).

Aunque el manejo y la inmovilización no sean dolorosos, pueden inducir niveles muy elevados de cortisol, hecho demostrado tanto en ovinos como en bovinos (Grandin T. 1997). El nivel de estrés causado por un procedimiento de manejo -como la inmovilización en una manga de compresión- está determinado por la forma en que el animal percibe los estímulos (Grandin T, Shivley C. 2015). El estrés causado por un manejo indoloro depende del nivel de miedo.

Un animal criado extensivamente, que ha tenido escaso contacto con personas, tenderá a padecer más estrés por el miedo cuando se lo inmovilice, que un ejemplar criado en contacto estrecho con cuidadores y habituado a los procedimientos de manejo. Se ha demostrado que los terneros criados en contacto estrecho con seres humanos, cuando se los somete a inmovilización ostentan menores niveles de cortisol que quienes mantuvieron menos contacto con el personal (Grandin T. 1998).

Un grupo de profesionales norteamericanos estudió los efectos estresantes que ocurren durante las prácticas de rutina en la producción bovina, tales como el destete, el transporte y la vacunación, descubriendo que la causa principal de estrés no fue el transporte sino el manejo y la carga de los animales en un remolque. Sin embargo, la prolongada duración y las deficientes condiciones del transporte produjeron efectos negativos sobre la calidad de la carne (Avant S. 2013).

## **6. ESTRÉS POR CALOR**

Nienabar y colaboradores en el 2007 indicaron que el agua es aproximadamente 65% del peso corporal de un animal. Así, el agua es muy importante para termo-conducción y la termorregulación. Los animales son frecuentemente afectados por las altas temperaturas ambiente, el aumento de la temperatura del cuerpo si la pérdida de calor intrínseco no exceda de ganancia de calor extrínseca. Una vez que se pierde la homeostasis térmica, animales activan mecanismos fisiológicos para restablecer un equilibrio dinámico.

### **6.1 Vasodilatación periférica de los vasos sanguíneos**

Según McEwen BS en el 2015 determino que la vasodilatación es un proceso fisiológico que consiste en la ampliación del diámetro transversal de las arterias y arteriolas con la finalidad de aumentar el caudal de sangre hacia una región determinada del organismo o, en su defecto, disminuir la tensión arterial. Este es un aumento en el área superficial total del cuerpo de los vasos sanguíneos periféricos, para favorecer la disipación de la energía térmica del cuerpo de un animal a su entorno mediada a través de aumento de la producción de óxido nítrico (Tucker CB, *et.al* 2008; MacKay RJ, *et.al* 2014). La vasodilatación permite transferencia de calor para la periferia, lo que no necesariamente significa pérdida de calor para el ambiente.

Un ejemplo que podemos observar referente a la vasodilatación es el aumento en la tasa de respiración tiene por objeto aumentar la pérdida de calor por las vías respiratorias y es uno de los mecanismos más importantes para mantener el balance térmico durante el verano. La medición de la tasa de respiración de los animales y la determinación de si este se encuentra en proceso de jadeo, así como también la cuantificación del jadeo es la forma más fácil y accesible de evaluar el estrés por calor en el ganado en condiciones comerciales de producción. Para su medición no se requiere de equipos, además a diferencia de la temperatura corporal, su respuesta es prácticamente inmediata en el animal y sigue casi el mismo patrón de la temperatura ambiental (Arias. R. A et al; 2008).

Según Arias. R. A Valores de 20 a 60 exhalaciones por minuto son consideradas normales, pero cuando la temperatura ambiental aumenta por sobre los 25°C aumentan también la tasa de respiración pudiendo llegar a valores por sobre las 200 exhalaciones por minuto. La mayor tasa de respiración ayuda al animal a lograr una mayor disipación del exceso de calor por las vías respiratorias, gracias a un incremento en la frecuencia y a una disminución del volumen de aire inspirado.

## **6.2 Cambios de comportamiento**

Según Arias R. A en el 2008 mencionaron que las condiciones ambientales afectan directamente la demanda de energía para mantenimiento, así como también la activación de algunas respuestas fisiológicas y de comportamiento animal para hacer frente a las condiciones adversas del clima.

Para evitar los efectos del exceso de calor los animales también modifican su comportamiento habitual. Bajo condiciones de estrés por calor los animales disminuyen el tiempo dedicado a consumir alimento y el que permanecen echados. Por otra parte, aumenta el tiempo dedicado a beber agua y el que permanecen de pie cerca de los bebederos. También es posible observar cambios en la distribución del ganado dentro de los corrales, permaneciendo más tiempo en aquellos lugares con mejor ventilación (Arias. R. A et al ; 2008).

Los animales evitan la exposición directa a la radiación del sol, por ejemplo, al ocupar lugares estratégicos que favorecen la termorregulación (Sands RR, Sands LR.2010). Además, los animales

disminuyen la ingesta de alimentos y la actividad física para evitar la termogénesis metabólica (Tucker CB, *et.al* 2008; Speakman JR, Selman C. 2013).

Numerosos estudios han identificado que la radiación solar directa sobre la superficie corporal de los animales afecta no sólo productivas sino también indicadores de bienestar. Como alternativa a contrarrestar estos efectos, algunas investigaciones han demostrado que el uso de sombreado puede reducir los efectos térmicos adversos en animales (Tucker CB, *et.al* 2008; MacKay RJ, *et.al* 2014).

### **6.3 Adaptación fisiológica al calor**

Como la temperatura del cuerpo aumenta cuando un animal está expuesto a altas temperaturas ambiente, receptores periféricos y centrales situadas en el área pre óptica del hipotálamo se activan. El hipotálamo es responsable de iniciar señales eferentes de la vasodilatación de los vasos periféricos y la activación de las glándulas sudoríparas que permiten que el animal para disipar el calor de superficie del cuerpo. Estas son las respuestas primarias que permiten que un animal para adaptarse a las temperaturas ambientales altas (Piñeiro Sande N, *et.al* 2006).

Los cambios fisiológicos en respuesta a la exposición crónica a altas temperaturas ambiente son aumentos en la frecuencia cardíaca, latidos por minuto que aumentan el flujo de sangre a los vasos periféricos para disipar el calor. Hay un aumento en la frecuencia respiratoria para disipar el calor por evaporación, un aumento en la ingesta de agua u otros líquidos para mantener una velocidad constante de la sudoración, y la activación de sistema Renina-angiotensina-aldosterona (RAA) para evitar la pérdida excesiva de sodio y otros electrolitos de la sangre. En general, el proceso de adaptación se puede lograr dentro de una semana después del inicio de la exposición al ambiente caliente; sin embargo, esto depende de múltiples factores, incluyendo la temperatura del aire y velocidad del viento, estado sanitario, la condición corporal, la genética del animal y la presencia de otros factores de estrés tales como la mala nutrición y la falta de agua (Piñeiro Sande N, *et.al* 2006).

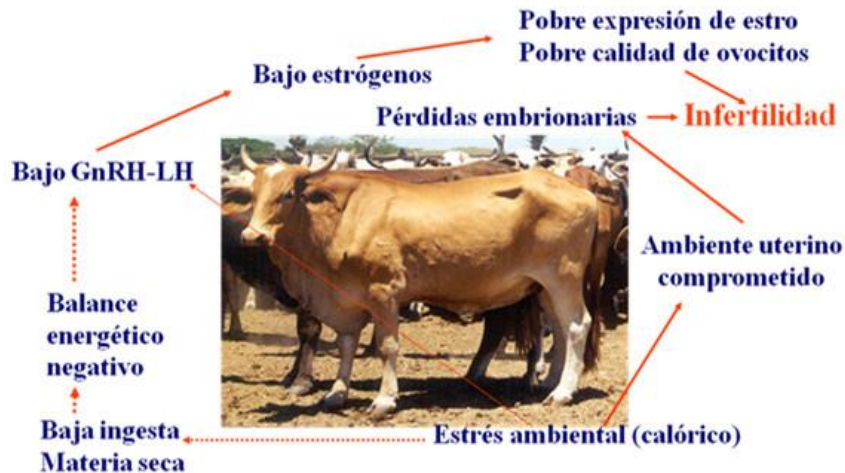


Figura 2: Principales mecanismos de transferencia de energía térmica entre un animal y su entorno.  
Fuente: (Córdoba Alejandro, 2017)

Uno de los principales factores que afectan a la capacidad de un individuo para adaptarse de manera eficiente a los ambientes calientes es la humedad relativa del medio ambiente. Estudios anteriores fueron capaces de determinar que en los animales sometidos a los puntos calientes con una humedad relativa alta el riesgo de morir aumenta considerablemente, debido a las respuestas fisiológicas desencadenadas (Crescio MI, *et.al.* 2010).

## 7. EFECTOS DEL ESTRÉS POR CALOR EN HATOS LECHEROS.

El estrés provocado por las altas temperaturas (estrés calórico) afecta la eficiencia reproductiva del ganado bovino en general. Sin embargo, algunas razas son más susceptibles que otras, lo cual depende básicamente de los mecanismos que tiene cada raza para regular su temperatura corporal en condiciones de estrés calórico (Euguen, W; Reaves, P. 2009).

Algunas razas de bovinos (*Bos indicus*), evolucionaron en climas cálidos, lo que les confirió tolerancia a las altas temperaturas, mientras que las que lo hicieron en climas fríos y templados (*Bos taurus*) son más sensibles al efecto negativo del estrés calórico. El ganado lechero es una raza altamente susceptible a las altas temperaturas, prueba de ello está en la reducción en fertilidad cuando este ganado se encuentra en climas cálidos o durante la época del año con mayor temperatura. Así, el porcentaje de concepción llega a caer de 40%, obtenido en los meses templados o fríos del año, hasta

15% durante el verano (Aréchiga, F.C.F.2012). Los efectos del estrés calórico en la reproducción del ganado lechero se han incrementado en los últimos años, lo que ha coincidido con el incremento en la producción de leche (Thatcher, W. et.al 2009). Se ha observado que el aumento en la producción de leche se refleja en un incremento de la generación de calor metabólico. Esta generación de calor se ha asociado con el incremento del peso vivo de las vacas lecheras. De esta forma, vacas más grandes tienen un mayor aparato digestivo, lo que les permite consumir y digerir más alimento. Durante el metabolismo de los nutrimentos se genera calor, el cual contribuye con el mantenimiento de la temperatura corporal, condición favorable en climas fríos. Sin embargo, en climas cálidos el calor se debe eliminar para mantener la temperatura corporal dentro de los rangos normales. La capacidad de termorregulación de la vaca lechera es insuficiente, lo cual ocasiona un incremento de la temperatura corporal. En vacas en estrés calórico es común que la temperatura alcance valores entre 39.5 a 41 °C, lo cual afecta, en primer lugar, la función celular (Hafez, E.S.E. 2013). En condiciones in vitro, el estrés calórico durante los días 1 al 7 después del estro afecta el desarrollo embrionario en vacas súper ovuladas. En condiciones in vitro, la exposición de los embriones a temperaturas equivalentes a la temperatura rectal de las vacas bajo estrés calórico (41 °C), disminuye la proporción de embriones que llegan a la etapa de blastocito (Hemsworth PH *et.al* 2011). La susceptibilidad de los embriones al estrés calórico disminuye conforme los embriones avanzan en su desarrollo. Así, los embriones de dos células son más susceptibles que los embriones en la etapa de mórula. Independientemente de la etapa del desarrollo en que los embriones son susceptibles al estrés térmico, el resultado final es un aumento de la muerte embrionaria. Por otro lado, el estrés calórico puede afectar el mecanismo de reconocimiento materno de la gestación. Las altas temperaturas comprometen la habilidad de los embriones para producir cantidades suficientes de interferón-t (IFN-t) u otros productos celulares, necesarios para el reconocimiento materno de la gestación (Nockelsch, F. 2007).

## **8. EFECTOS DEL ESTRÉS POR CALOR SOBRE LOS HÁBITOS DE PASTOREO.**

En medios térmicos elevados los bovinos tienden a reducir su producción de calor mediante anorexia voluntaria. Esta reducción del consumo de alimento como mecanismo para reducir la carga térmica se refleja consecuentemente en su conducta de pastoreo, ya que, al pastar menos, reducen tanto el consumo de alimentos (la fermentación a nivel ruminal y la digestión generan calor) así como la actividad muscular desplegada en la búsqueda de los mismos. Estos animales cambian sus hábitos

de pastoreo, realizando éste en horas de la noche donde las temperaturas son más frescas. Este efecto de la radiación solar en la conducta del pastoreo sobre los bovinos es importante pues indica la necesidad de suministrar buen pasto nocturno a los animales que tienen que soportar temperaturas diurnas de 27°C o más, o suministrarles potreros con sombras (Preferiblemente naturales de árboles) en el caso que la variación de temperatura entre el día y la noche sea inferior a 11°C (Lamming, G.E; Darwash, A.O. 2008).

## **9. LAS RESPUESTAS AL ESTRÉS EN FRÍO**

Cuando la temperatura ambiental disminuye por debajo del nivel de confort térmico, la pérdida de calor debe ser igual a la producción de calor endógeno (termogénesis) a fin de lograr la homeostasis, es decir, mantenimiento de la temperatura corporal en un rango neutral termo estable (Rintamäki H. 2007). Con clima frío los animales intentan conservar el calor ya sea a través de un incremento en el aislamiento del medioambiente (mayor cobertura grasa, pelaje más largo y grueso, etc.), o bien produciendo más calor mediante un mayor consumo de materia seca o el consumo de dietas más calóricas, aunque lo más probable sea una combinación de ambos (Arias R. A et al; 2008). Durante el invierno se aceleran las pérdidas de calor corporal mediante las vías sensibles, ya que el gradiente entre temperatura corporal y temperatura ambiente se hace mayor. La primera y la más obvia respuesta del ganado bajo estas condiciones es tratar de evadir el frío buscando algún tipo de cobertura. Sin embargo, esto no siempre es posible, particularmente en ganado en engordes a corral sin ningún tipo de protección (Arias R. A et al; 2008). Además, los animales activan procesos de termogénesis para hacer frente a los ambientes fríos, no obstante, los efectos de esta activación resultan en una reducción de la digestibilidad de materia seca de 0,2 unidades por cada °C e incrementan los requerimientos de mantenimiento (Arias R. A et al; 2008). estrés por frío activa varias respuestas fisiológicas.

### **9.1 La vasoconstricción periférica**

La vasoconstricción de los vasos sanguíneos periféricos disminuye la pérdida de energía térmica que conserva el calor en los órganos vitales para mantener una temperatura óptima del cuerpo (Cunningham JG, Klein BG.2009). En frío extremo, puede haber una transferencia de calor desde las

arterias a las piernas y los brazos para venas de drenaje, para conservar el calor en los vasos sanguíneos.

Un ejemplo de la vasodilatación periférica es el síndrome distérmico se caracteriza por la presencia de los signos de estrés térmico, acompañados por una insuficiencia de los animales para eliminar el exceso de calor, producto de la vasoconstricción periférica promovida por los ergocaloides. Debido a esto, el flujo sanguíneo hacia la piel se ve disminuido, impidiéndose así la correcta pérdida de calor, adquiriendo esto mayor importancia cuando la temperatura ambiente supera los 25°C. Consecuentemente se produce un marcado incremento en la temperatura rectal de los animales, que llega a valores de 40 a 42°C. Los signos son más evidentes en los días (y momentos del día) de mayor temperatura. (Armendano. J. I Anselmo, Odeón. C, Callejas. S. S, Echarte. L, Odriozola. E. R; 2015).

## **9.2 Cambios en el comportamiento**

Para evitar la fuga de calor, los animales aumentan la actividad física, la ingesta de alimentos y promueven el comportamiento gregario. Sin embargo, estos cambios de comportamiento pueden producirse de acuerdo con la edad y la demanda metabólica. Por ejemplo, los caballos reducen su consumo de alimento, mientras que aumentan la ingesta de energía, los caballos adultos ajustan la alimentación para evitar la disminución de temperatura en el núcleo mediante el aumento de la ingesta de energía, los escalofríos promueven cambios de comportamiento (Geor RJ, *et.al* 2007).

Durante el invierno es posible observar el agrupamiento de los animales, así como también cambios posturales para tratar de reducir la exposición de la superficie corporal y con ello la pérdida de calor (Arias. R. A et al; 2008).

## **9.3 La adaptación fisiológica al frío**

Cuando un animal adaptado al clima caliente (38-40 °C, 760 mmHg aprox.) se lleva a un lugar con clima frío (8-16 °C, 420 mmHg aprox.) Sin exposición previa y gradual a la temperatura, se presenta hipoxia fisiológica. Las partículas de oxígeno en una situación de baja presión atmosférica son más dispersas, lo que conduce a una difícil respiración y la distribución del etéreo de oxígeno en los tejidos. De esta manera, la hipoxia es el primer estímulo para iniciar la adaptación fisiológica (Wood SC.2007).

La tolerancia a las bajas temperaturas depende de las características de adaptación tales como largo, más grueso y más denso de la piel o el pelo, así como un aumento en la distribución y la cantidad de grasa corporal y en la ingesta de alimentos (Dawson TJ, *et.al* 2014; Campos Maia AS, *et.al* 2009).

Como resultado de la exposición crónica a las nuevas condiciones ambientales, algunas variables aumentan como lo es la frecuencia respiratoria para incorporar un mayor volumen de oxígeno en cada inhalación, la frecuencia cardíaca para mejorar la distribución de oxígeno en los tejidos, y la perfusión tisular para favorecer la difusión de oxígeno, constreñir los vasos sanguíneos periféricos para conservar energía térmica a través de acciones de las citosinas y prostaglandinas (de Dios Vallejo OO, 2006).

La hipoxia es uno de los cambios fisiológicos más relevantes en respuesta a estrés por frío. En respuesta a la hipoxia, hay organismos que generan nuevos glóbulos rojos (policitemia) que se traduce en: (1) un aumento en el hematocrito para mejorar la distribución de oxígeno en los tejidos; (2) un aumento del tamaño cardíaco (hipertrofia cardíaca) que mejora el gasto cardíaco y la velocidad de suministro de nutrientes a los tejidos; (3) un aumento en la vasodilatación de los vasos pulmonares que favorece la absorción de oxígeno; y (4) un aumento en la vascularidad y la contractilidad del músculo esquelético, cardíaco y liso, así como la función mitocondrial (de Dios Vallejo OO, 2006).

## **10. LAS ADAPTACIONES EVOLUTIVAS A LA TENSIÓN TÉRMICA**

Durante la evolución de diferentes razas dentro de una especie, los mecanismos de adaptación se han desarrollado en respuesta a las condiciones climáticas en las que la especie / raza ha evolucionado. Por ejemplo, ganado cebú (*Bos indicus*) y el ganado de taurina (*Bos Taurus*) tienen líneas evolutivas separadas. El ganado cebú ha adquirido tolerancia termo fisiológica debido a las características del cuerpo, modificaciones metabólicas y cambios genéticos (Hansen PJ.2014).

Hay una marcada diferencia conceptual entre la adaptación evolutiva y aclimatación; La primera explica la adaptación genética que involucra cambios en el animal y requiere el paso de cientos y miles de años. El segundo explica cómo se realizan cambios en los mecanismos fisiológicos con el fin de mantener la homeostasis (Horowitz M.2012).

Ganado cebú tiene un mayor número de glándulas sudoríparas, mayor área de superficie de la piel debido a un mayor número de pliegues en la piel que le permiten una transferencia más eficiente de la energía térmica para el medio ambiente. El Cebú también tiene el pelo blanco o gris que favorece la reflexión de los rayos del sol en lugar de la absorción de calor como ocurre en razas con pelo negro o rojo. Además, los tejidos tienen menos resistencia a la transferencia de calor desde el núcleo del cuerpo a los tejidos periféricos, lo que favorece los procesos de convección y conducción para la disipación más eficiente de calor del cuerpo (Pegorer MF, *et.al* 2007).

Algunos investigadores han demostrado que el ganado cebú tiene una más amplia anastomosis arteriovenosas que el ganado taurino (Vir Singh S, *et.al* 2013). Las adaptaciones metabólicas del ganado cebú incluyen requerimientos de energía más bajos para mantenimiento en comparación con el ganado de taurina. Además, el ganado cebú tiene una menor generación de calor metabólico endógena debido a un menor número de tomas de forraje, lo que disminuye la fermentación ruminal y la producción de calor.

En efecto, menor producción de leche (lactogénesis es un proceso exergónica) y la baja secreción de tiroxina disminuye el metabolismo general y la temperatura corporal (Farooq U, *et.al*2010).

Los resultados de estudios recientes sugieren que algunas células, como los espermatozoides y oocitos, y embriones de ganado cebú se ven afectados negativamente en menor medida que el ganado de taurina en respuesta a altas temperaturas ambiente y esas mismas células son más resistentes a la inducción de apoptosis en ganado cebú. Hay pruebas de que el ganado cebú ha adquirido genes que protegen las células de los efectos nocivos de altas temperaturas, aunque esos genes no se han identificado (Hansen PJ.2014; Roth Z.2008).

## **10.1 Radiación**

Es la forma física de pérdida de calor, a través de ondas calóricas, que tienen la particularidad de calentar los objetos que la absorben y no el aire que traspasan. Hasta el 60% de la pérdida de calor corporal puede tener lugar por este mecanismo (De Dios Vallejo, 2006; Hötzel & Piheiro Machado, 2009).

## **10.2 Convección**

Es la transferencia de calor desde el cuerpo hasta las partículas de aire o agua que entran en contacto con él. Estas partículas se calientan al entrar en contacto con la superficie corporal y posteriormente, cuando la abandonan, su lugar es ocupado por otras más frías que a su vez son calentadas y así sucesivamente. La pérdida de calor es proporcional a la superficie expuesta y puede llegar a suponer una pérdida de hasta el 12% (De Dios Vallejo, 2006; Hötzel & Piheiro Machado, 2009).

## **10.3 Conducción**

Es el paso de energía calórica de molécula a molécula, en consecuencia, un animal pierde calor en esta forma hacia el suelo, aire que lo circunda u otro objeto en contacto directo, siempre y cuando tengan una temperatura inferior a la corporal. En general en condiciones promedio se pierde un 25% de calor en esta forma, siendo importante en los animales la cubierta de pelos o lana que retienen aire y aíslan el cuerpo, impidiendo una pérdida excesiva. Por otro lado, la conducción se ve favorecida por las corrientes de aire (viento) y ondas de convección, pudiendo aumentar hasta 70% la eliminación de calor por este concepto de individuos expuestos a una intensa ventilación (De Dios Vallejo, 2006; Hötzel & Piheiro Machado, 2009).

## **10.4 Evaporación**

Es la utilización de energía calórica en la transformación del agua de un estado líquido a gaseoso y que en el organismo animal se realiza a través de la sudoración (equino) o jadeo (ovinos, caninos, aves, bovinos, conejos, etc.). Se estima que para evaporar un gramo de agua se requieren 0,58 Kcal, en consecuencia, un organismo con un metabolismo de 60 Kcal/hora, le bastaría evaporar 100 gr. de agua por sudoración o jadeo para disipar la totalidad del calor generado. Sin embargo, en términos generales la pérdida de calor por evaporación alcanza un 15%, pudiendo ser mucho mayor si la temperatura ambiental es alta. Cabe recordar que, si ésta es superior a la corporal, se bloquea la eliminación por radiación y conducción, quedando sólo la alternativa de pérdida de calor por evaporación (De Dios Vallejo, 2006; Hötzel & Piheiro Machado, 2009).



Figura 3. Resumen balance energético  
 Fuente: (Arias Rodrigo, 2009)

## 11. EFECTOS DEL ESTRÉS SOBRE LA REPRODUCCIÓN

Evolutivamente, la inhibición de la reproducción en situaciones estresantes parece tener ventajas que le evitan al animal riesgos en épocas de alta demanda metabólica. La activación del eje HPA como respuesta al estrés afecta de modo significativo el funcionamiento reproductivo de varias especies. Prácticas como el transporte, el aislamiento y la inmovilización activan dicho eje y pueden inhibir la secreción de la hormona liberadora de gonadotropina desde el hipotálamo, de la hormona luteinizante desde la hipófisis y la producción de estradiol folicular (Alvarez L. 2008).

En conjunto, ello conduce a que situaciones de estrés interfieran con la eficiencia reproductiva, incrementando el número de servicios por concepción y aumentando la proporción de animales en los que la conducta de estro no se manifiesta. Ejemplos concretos de este fenómeno se han demostrado científicamente, como la utilización de picanas eléctricas o la inmovilización, que debilitan el funcionamiento reproductivo de las hembras de distintas especies (Grandin T, Shivley C. 2015).

Los efectos del estrés calórico en la reproducción bovina han sido estudiados ampliamente. Sus consecuencias adversas se han reportado en aspectos como la expresión y duración del estro, el desarrollo embrionario temprano, el flujo sanguíneo, los niveles hormonales y el crecimiento fetal (López-Gatius F. 2012).

El ciclo estral es un evento fisiológico sensible al estrés, el cual disminuye la intensidad y duración del celo, ejerciendo efectos nocivos sobre la fertilidad. Las altas temperaturas ambientales también afectan la fertilidad, el comportamiento sexual, la folículo-génesis, la ovulación, la función luteal y la implantación. Estos problemas operan negativamente sobre la tasa de natalidad, incrementando el intervalo entre partos (Mellado M. 2014).

El estrés también se ha asociado con el aumento de la cantidad de óvulos no fertilizados y de embriones anormales. En hatos afectados por el calor se observa falta de concepción, muertes embrionarias tardías e incluso abortos (Grandin T. 1998). Los efectos más conocidos sobre la gestación son: menor peso del ternero al nacimiento, alteraciones en las concentraciones hormonales materno fetales y reducción en la producción de leche posparto. El estrés causa un descenso considerable en el flujo sanguíneo uterino, el cual está asociado con la disminución en el crecimiento fetal durante la gestación tardía y alteración de la funcionalidad de la placenta y de la actividad endocrina. El resultado es un ternero de menor peso al nacer y alteraciones que afectan el desarrollo mamario y la producción de leche (King DA et al. 2006).

## **12. EL EFECTO DEL ESTRÉS POR CALOR EN LOS PATRONES REPRODUCTIVOS EN LA HEMBRA BOVINA**

Los equilibrios de estos y otros estudios sugieren que el estrés de calor reduce la duración y la intensidad del estro en ganado lechero. Por ejemplo, en verano, la actividad motora y otras manifestaciones de estro se reducen y la incidencia de anestro y la ovulación se incrementan en silencio. En climas cálidos hay una reducción en el número de inseminaciones y un aumento en la proporción de inseminaciones que no resultan en el embarazo (Ray DE, et al 2012).

Tabla 3. efectos del estrés térmico sobre los diferentes mecanismos fisiológicos reproductivos

PROCESO FISIOLÓGICO	MECANISMO AFECTADO	REFERENCIA
Celo	Intensidad y duración del celo	Badinga et al. 2015; Hansen & Arechiga, 2014
Desarrollo folicular	Dominancia folicular, esteroidogénesis folicular	Badinga <i>et al.</i> 2015
	Tamaño de folículos y concentraciones de E2	Wilson <i>et al.</i> 2010
	Efectos retardados sobre desarrollo folicular, producción de hormonas y capacidad de desarrollo del oocito	Torres-Júnior <i>et al.</i> 2008
ovulación	Retardo o supresión de la ovulación	Moberg, 2011 Hansen, 2014; Al-Katanani et al. 2009; Chebel et al. 2014
	Secreción pre-ovulatoria de LH	Gwazdauskas et al. 2011
Integridad del oocito	Alteración del citoesqueleto y huso meiotico	Ju, 2005
	Maduración nuclear	Roth & Hansen, 2014
	Maduración nuclear y aumento apoptosis	Roth & Hansen, 2014
Desarrollo embrionario	Sobrevivencia embrionaria temprana	Dunlap & Vincent, 2013; Biggers et al. 2007; Putney et al. 2008
	Secreción de Interferón Tau	Geisert et al. 2009
Gestación	Desarrollo vascular de la placenta	Head et al. 2011
	Flujo sanguíneo al feto	Reynolds et al. 2015
	Desarrollo fetal	Collier et al. 2006
Parto	Retardo o suspensión del parto	Shearer et al. 2010
Posparto	Ciclicidad y ovulación posparto	Kornmatitsuk et al. 2008
	Balance energético, condición corporal y concentración de hormonas en líquido folicular	Shehab-el-deen et al. 2010

### **13. EL EFECTO DEL ESTRÉS POR CALOR EN EL EJE HIPOTÁLAMO-HIPOFISARIO- OVÁRICO**

Dado que los principales factores que regulan la actividad ovárica es la hormona liberadora de gonadotropina del hipotálamo y las gonadotropinas, la hormona luteinizante (LH) y la hormona folículo estimulante (FSH) de la glándula pituitaria anterior. Los efectos del estrés por calor en las concentraciones de LH en sangre periférica son inconsistentes.

El efecto del estrés por calor en el pico preovulatorio de LH es igualmente controvertido: se informó de una reducción del pico de LH endógena por el estrés térmico en novillas, pero no en las vacas. Las diferencias están relacionadas con los niveles de estradiol, pero no en vacas con altas concentraciones de estradiol.

La mayoría de los estudios indican que la hormona LH son disminuidos por estrés calórico, en conclusión, en verano, el folículo dominante se desarrolla en un ambiente de baja LH y esto da lugar a la secreción de estradiol reducida desde el folículo dominante que lleva una mala expresión del estro y por lo tanto reducción de la fertilidad (Gauthier D.2016).

### **14. EFECTOS DEL ESTRÉS POR CALOR SOBRE EL CICLO ESTRAL**

El estrés por calor altera la intensidad y la duración del estro, el cual puede disminuir en cinco horas, respecto al promedio para algunas regiones templadas (11,9 horas) (Badinga et al. 2015). Igualmente, se afecta el desarrollo folicular y la fuente pre-ovulatoria de LH, lo que favorecería un retardo en la ovulación o que ésta no se presente (Moberg, 2011; Gwazdauskas et al. 2011).

El estrés por calor altera el desarrollo y la dominancia folicular durante los primeros ocho días del ciclo estral. Si este efecto se mantiene en forma crónica, la actividad de la aromatasa y las concentraciones de estradiol (E2) en el líquido folicular disminuyen (Badinga et al. 2015). Después de la ovulación, se afecta la producción de progesterona (P4) por el cuerpo lúteo (CL), se modifica el micro ambiente del oviducto y del útero, lo que compromete la sobrevivencia del embrión (Breuel et al. 2013).

## **15. EL EFECTO DEL ESTRÉS CALÓRICO SOBRE GAMETOS Y EMBRIONES**

La formación de gametos es sensible a la temperatura, evidencia reciente indica que el desarrollo de ovocitos es también sensible a la temperatura. El efecto del estrés por calor sobre la fertilidad podría entonces ser el resultado de un efecto directo de temperaturas altas de ovario en la calidad de los ovocitos (Ryan DP et al. 2013).

El ambiente intrauterino también se ve comprometida en las vacas que están estresadas por calor; hay una disminución en el flujo sanguíneo hacia el útero y un aumento en la temperatura uterina. Estos cambios inhiben el desarrollo embrionario, aumenta la pérdida embrionaria temprana y reducir la proporción de inseminaciones exitosas (Roth Z, et al.2007).

## **16. EFECTO EL ESTRÉS POR CALOR EN EL DESARROLLO FOLICULAR**

El estrés por calor retrasa la selección del folículo y alarga la onda folicular y por lo tanto tiene efectos potencialmente adversos sobre la calidad de los ovocitos y la esteroidogénesis folicular. Estrés por calor del verano reduce el grado de dominio del folículo dominante y folículos subordinados más medianas de sobrevivir. Por lo tanto, la duración de la dominación del folículo pre-ovulatorio se incrementa en verano, la duración de la dominación se correlaciona negativamente con la fertilidad (Rutledge JJ, Monson RL et al.2009).

## **17. EFECTOS DEL ESTRÉS POR CALOR SOBRE LA FERTILIDAD.**

La temperatura afecta la reproducción en vacas notablemente, pudiendo bajar de 75% a 10% en la eficiencia reproductiva del rebaño. La causa de mayor merma en la reproducción se debe a fallas en la implantación del embrión, ya que la vaca con stress calórico presenta vasodilatación periférica (para disipar calor) por lo cual el aporte sanguíneo a los órganos como el útero disminuye (Hansen, P.J *et.al*, 2014). Además, cualquier tipo de stress determina liberación de Prostaglandinas y entre ellas la PgF2 $\infty$  la cual tiene efecto luteolítico y agrava más el cuadro de infertilidad. Abonado a esto, la hipertermia crónica puede disminuir el peso al nacer de los becerros, puede también prolongar el curso del parto natural lo cual puede resultar en becerros de viabilidad sub-óptima, reduce en forma notoria

la tasa de concepción, disminuye la cantidad y calidad del eyaculado e incrementa la mortalidad embrionaria. Los machos también son afectados en su eficiencia reproductiva por el efecto de stress calórico. Aunque bovinos, caprinos, ovinos y bufalinos tienen mecanismos de disipar calor en el escroto, a medida que aumenta la temperatura ambiental se ve disminuida la espermatogénesis, y aumenta el Porcentaje de atipias y de espermatozoides muertos (Hansen, L.B. 2014).

En algunas zonas el efecto de la temperatura produce un efecto estacional puesto que hay una disminución de la capacidad reproductiva del rebaño en cierta época del año (Hernández, G. 2016).

### **18. EFECTOS DEL ESTRÉS POR CALOR SOBRE EL CRECIMIENTO.**

Como ya se mencionó las altas temperaturas ambientales disminuyen el apetito, reducen la ingestión de alimentos y horas de pastoreo por lo cual el animal se ve afectado indirectamente en cuanto a crecimiento por no cubrir sus requerimientos nutricionales. Además, aunque no se ha demostrado, parece que hay una relación directa entre la temperatura rectal y la respiración con el peso del animal y la tasa de crecimiento. Los becerros de los animales de origen tropical son más pequeños y con una tasa de crecimiento menor que los becerros de los animales de origen templado. Pero, si estos últimos nacen en clima tropical su tamaño es más pequeño que el de sus homólogos en condiciones tropicales y su rata de crecimiento menor. Además, aparte de la disminución en la rata de crecimiento medido a través del peso vivo, también se ha encontrado una disminución en la talla (Lara, V et.al, 2012).

### **19. EL CONTROL DE TEMPERATURA Y HUMEDAD**

Para controlar los efectos del calor sobre la humedad se ven incluidos el uso de sombra, ventiladores, aire acondicionado y sistemas de rociadores para enfriar los animales durante el verano, El uso de pintura base de la cola, el sistema HeatWatch, transductores y podómetros presión de radio telemétrico puede mejorar la detección de celo y por lo tanto la fertilidad (Armstrong DV. 1994).

## 19.1 Índice de temperatura de humedad (ITH)

El Índice de Temperatura y Humedad (ITH) permite definir, en función de la combinación de las variables temperatura y humedad, el grado de estrés calórico que pueden estar sufriendo los animales.

$$ITH = (1,8 * Ta + 32) - \left[ \left( 0,55 - 0,55 * \frac{HR}{100} \right) * (1,8 * Ta - 26) \right]$$

Índice de Temperatura y Humedad (ITH) desarrollado por Thom (1959), se calculó a partir de la conversión de Valtorta & Gallardo (1996)

Fuente: (Revista Científica Agropecuaria 2016)

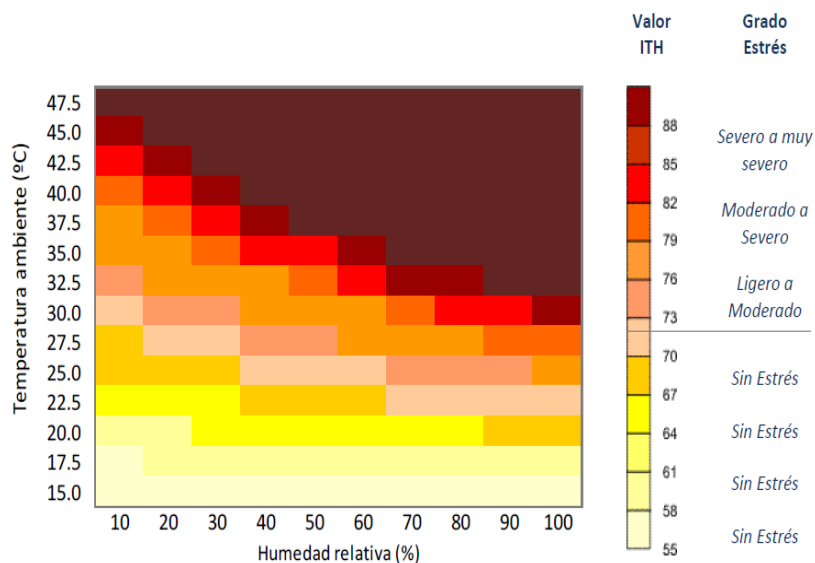
Dónde:

HR= Humedad relativa del aire (%)

Ta= Temperatura del aire (°C).

El valor considerado como límite entre situaciones de confort y estrés varía según los autores. Sin embargo, existe coincidencia en el valor crítico de 72 determinado por Johnson et al., (2008). Por encima de este valor comenzarían a sufrir estrés especialmente las vacas de alta producción. El Livestock Weather Safety Index (LWSI) determina cinco categorías para valorar la magnitud del estrés para vacas lecheras en lactancia: Normal (70 o menos), Alerta (70-72, aproximándose al límite crítico de producción de leche), Alerta (72-78, por encima del límite crítico de producción de leche), Peligro (78-82) y Emergencia (82-96 más).

Según estudios realizados en INTA Rafaela, las mermas diarias atribuidas al efecto “estrés calórico” variaron entre 3 y 10%. Por otro lado, algunos estudios dan cuenta del efecto del ambiente en la productividad de rodeos lecheros de alta producción y el impacto negativo que provocan las olas de calor, presentando mermas del 5 al 15% en los volúmenes entregados a la industria (Leva et al., 2008).



Grafica 8: Estrés calórico de la hembra bovina según la temperatura y humedad  
Fuente: (Boletín electrónico del INTA Rafaela)

## 20. MEDIDAS DE MITIGACIÓN

### 20.1 Acceso a fuentes de agua

El consumo de agua es una de las formas más rápidas y eficientes por las que el animal reduce su temperatura corporal. Durante el verano esta es prácticamente duplicada respecto al consumo de invierno. El agua posee propiedades químicas y físicas particularmente importantes para el proceso de mantención de temperatura corporal. Su calor específico es considerablemente mayor al de cualquier otro líquido o sólido. Además, su alto calor de vaporización permite al animal transferir una importante cantidad de calor al ambiente con pequeños volúmenes a través del sudor y la orina. Por otra parte, su alto calor de fusión provee protección del congelamiento durante los inviernos (Arias 2006).

### 20.2 Evitar el movimiento de los animales

El movimiento de los animales para algún tipo de manejo puede incrementar la temperatura corporal entre 0,5 y 3,5 °C, dependiendo esto de varios factores. La recomendación general es evitar el movimiento del ganado o bien hacerlo en las horas más frescas del día, es decir, antes de las 8:00 AM. Si bien la lógica indica que es posible realizar manejos después de la puesta de sol, se debe considerar un tiempo adecuado que permita a los animales liberar el exceso de calor acumulado

durante el día. Si la noche no es lo suficientemente fresca, entonces se debe posponer el movimiento del ganado para otro día (Mader et al 2007).

### **20.3 Cambios en la dieta y en los horarios de alimentación**

Este es quizás el principal desafío en las engordas a corral y lecherías, ya que cambios bruscos de horario y de los componentes de la ración pueden provocar problemas de acidosis y reducciones en las ganancias de peso. Las recomendaciones apuntan a cambiar el horario de entrega matutina de la ración por una entrega vespertina. Otra alternativa es suministrar el 70% de la dieta dos a cuatro horas después de alcanzar la temperatura máxima diaria (Davis et al 2003). Por otra parte, diferentes ingredientes en la dieta pueden producir distintos incrementos de calor a pesar de tener concentraciones similares de energía. Por ejemplo, grasas y aceites presentan el menor incremento en calor, seguido por los carbohidratos solubles como almidón (pero no los carbohidratos estructurales) y las proteínas. La reducción del consumo de materia seca o de la energía total ha demostrado reducir la susceptibilidad a estrés por calor (Mader et al, 2007), (Brosh et al, 1998).

### **20.4 Mejorar la ventilación**

Si bien las cortinas de viento pueden resultar beneficiosas durante el invierno, estas causan un efecto opuesto durante el verano. En general, bajas velocidades del viento reducen las pérdidas de calor por evaporación, incrementando la carga de calor y aumentando los requerimientos de mantención. Esto sería la causa de menores ganancias de peso detectadas por en novillos alimentados bajo instalaciones protegidas y sin protección (Mader et al 2007).

### **20.5 Uso de sombra:**

Esta es una de las medidas de mitigación que mayor atención ha recibido, ya que en teoría su uso ayuda a reducir el impacto de la radiación directa e indirecta y con ello reducir la carga de calor que los animales reciben. Como consecuencia la productividad tanto en ganado de leche como de carne aumenta en comparación con animales sin sombra. Collier et al (2006) indican que la reducción en la carga de calor con una sombra bien diseñada fluctúa entre 30 y 50%. No obstante, la sombra no tiene efecto sobre la temperatura del aire o la humedad relativa, por lo que no elimina completamente el

problema de balance térmico (West 2007, Collier et al 2006). Estudios realizados en Argentina por Valtorta et al (2016) y Valtorta y Gallardo (2014) indican diferencias en la producción de leche de un 12% y 5% respectivamente cuando los animales dispusieron de sombra y mecanismos de frescos, tales como aspersores y ventiladores. En este mismo sentido, Collier et al (2006) señalan que la disponibilidad de sombra resulta esencial para reducir las pérdidas en producción de leche y eficiencia reproductiva. Sin embargo, no todos los informes indican respuestas positivas al uso de sombra, existiendo muchos resultados inconsistentes.

## **20.6 Uso de aspersores:**

El uso de aspersores para refrescar el ganado es una práctica común en muchas engordas a corral y lecherías. Davis et al (2003) demostraron que su uso reduce la temperatura corporal, además reportaron una interacción entre el uso de aspersores y el horario en que el ganado recibe su alimentación. En lecherías su uso ha sido ampliamente estudiado con muy buenos resultados (Collier et al 2006). Sin embargo, en engordas a corral el uso de aspersores causa un efecto secundario no deseado, ya que debido a que el estiércol permanece en los corrales la combinación de humedad y calor aumenta la emisión de malos olores.

## **21. NUTRICIÓN**

Independientemente del efecto de los cambios metabólicos provocados por el BEN (balance energético negativo), las dietas ofrecidas a las vacas altas productoras también pueden afectar su fertilidad. Este efecto se puede ver cuando se administran dietas con alto contenido de proteína con relación al consumo de energía (Khalifa, H.H. 2010). Las dietas con contenidos de proteína cruda de 17 a 19% llegan a ocasionar una disminución de la fertilidad; se ha demostrado que las vacas alimentadas de esta forma tienen altas concentraciones de urea y amoníaco en sangre y en los fluidos uterinos, lo cual afecta la viabilidad de los espermatozoides, óvulo y embrión (Butler, W.R; Smith, R.D. 2006). En condiciones de campo es frecuente la medición de las concentraciones de urea en sangre o en leche, lo que permite evaluar las dietas. Las concentraciones sanguíneas de urea mayores de 20 mg/dl se asocian con baja fertilidad. En condiciones invitro se ha observado que concentraciones equivalentes a las que tendrían las vacas consumiendo dietas altas en proteína, afectan el desarrollo embrionario, lo cual se refleja en una reducción de la proporción de embriones que llegan al estado de blastocito

(Hansen, L.B. 2014). Proveer todos los nutrientes a las vacas altas productoras obliga a ofrecer dietas altas en energía basadas en altas proporciones de granos. Es frecuente que se presenten alteraciones subclínicas en el pH ruminal, lo cual se ha asociado con la baja fertilidad.

Un factor de riesgo en la pérdida de gestaciones tempranas es la acidosis ruminal. Una hipótesis propuesta del mecanismo de este fenómeno consiste en que la dieta alta de granos ocasiona acidosis y una elevación de endotoxinas libres, las cuales provocan liberación de prostaglandina F<sub>2a</sub> y regresión del cuerpo lúteo (McDowell, R.E; 2015). La semilla de algodón se utiliza extensivamente en las dietas de las vacas bajo sistemas intensivos de producción. Esta semilla, además de ser una excelente fuente de energía, proteína y fibra, contiene altas concentraciones de gossipol. Esta sustancia es altamente tóxica en especies monogástricas, sin embargo, el rumiante es relativamente resistente debido a que este pigmento es inactivado en el rumen. No obstante, en machos, las dietas con contenidos altos de gossipol ocasionan infertilidad. Las dietas comunes ofrecidas a las vacas lecheras (10% de la MS) provocan concentraciones de gossipol en plasma que caen dentro del margen de seguridad (5 ml), las cuales si pueden afectar la fertilidad., en vacas lecheras con dietas que contenían semilla de algodón con mayor contenido de gossipol, mostraron una disminución significativa de la fertilidad. Además, estudios in vitro demuestran un efecto negativo del gossipol en el desarrollo embrionario (Hernández, A.E. 2016.y Mendez, M; et.al 2008).

### **21.1 Los suplementos minerales y vitamínicos**

La administración a corto plazo de la vitamina E antioxidante en el momento de los 30 días después del parto no tuvo ningún efecto beneficioso sobre la tasa de preñez durante el verano, ni la administración de selenio o  $\beta$ -caroteno. Por el contrario, los suplementos de  $\beta$ -caroteno a largo plazo tuvieron un efecto beneficioso sobre la fertilidad en vacas lactantes (Ealy D, et al.1994).

### **21.2 Los alimentos fibrosos durante el estrés por calor**

La concentración energética de la ración reduciendo el aporte de forraje tiene un efecto positivo sobre la reducción de la producción de calor corporal a dos niveles: reducción del calor de fermentación y mayor eficiencia metabólica de los productos finales de la digestión. La mayor concentración de la

ración altera el patrón ruminal de ácidos grasos volátiles reduciendo el porcentaje de acetato y aumentando el de propionato cuya eficiencia metabólica de utilización es mayor (Blaxter 2009) y por tanto contribuye menos a la carga térmica del organismo.

No obstante, hay que tener en cuenta que, aunque las raciones muy fibrosas contribuyen a aumentar la producción de calor, el nivel de consumo parece ser un factor aún más importante (Reynolds 2015, West 2007). Por otra parte, aunque la ingesta total de raciones con bajos niveles de fibra detergente en ácido es mayor que el de raciones más fibrosas, el descenso de su consumo es mayor al aumentar la temperatura (Cummins 1992) lo que sería indicativo de un efecto negativo sobre la digestión ruminal. Un efecto positivo añadido de la reducción del contenido fibroso de las raciones durante el estrés por calor es que se reduce la pérdida fecal de agua (Huber 2015).

### **21.3 El uso de grasas**

Teóricamente, la incorporación de grasa a las raciones podría tener una doble ventaja: por un lado, reduciría el incremento térmico (mayor eficiencia de utilización y no producen calor de fermentación), y permitiría aumentar la ingesta de energía sin incremento del consumo y sin riesgo de acidosis ruminal. Diversas experiencias indican que el principal efecto de la utilización de grasas en las raciones durante el estrés por calor deriva del aumento de la densidad energética de la materia seca consumida, aunque los resultados son variables (Chan 2012,2013). No se ha podido demostrar claramente un efecto de la grasa añadida a la ración sobre la producción de calor o la temperatura corporal (Knapp1991), de hecho, vacas albergadas en ambientes refrigerados muestran mayor respuesta en producción de leche que vacas albergadas en ambientes no refrigerados (Huber 2015).

La recomendación general es que la concentración en la ración no debe superar el 5-7% con un tercio aportada por los alimentos, otro tercio por semillas oleaginosas y el resto por grasas inertes en rumen.

## **21.4 El efecto de la proteína**

Durante el estrés por calor el incremento del porcentaje de proteína en la ración por encima de las necesidades estimadas produce una elevación de la producción de leche (West 2007). Este efecto es obvio debido a la menor disponibilidad de todos los nutrientes en circunstancias de ingesta reducida de materia seca. No obstante, un exceso de proteína en ciertas circunstancias puede ser contraproducente debido a que la síntesis y excreción de urea procedente del amoníaco en exceso absorbido a nivel ruminal reduce la energía neta disponible para producción (Cornell 2014) aumentando la producción total de calor corporal y contribuyendo de esta forma al estrés térmico. Además, el porcentaje de proteína bruta de la ración se relaciona linealmente con la pérdida urinaria de agua (Holter 2012).

Es recomendable que la fracción rápidamente degradable no suponga más del 40% de la proteína degradable efectiva en rumen (Agricultural and Food Research Council, 2014). Si la ración contiene un 18% de proteína bruta la fracción degradable no debe ser superior al 61% del total, además se tiene que tener en cuenta el aporte de aminoácidos esenciales (Huber 2015).

## **21.5 Proteínas de shock térmico**

Las proteínas del shock térmico (Hsp) pertenecen a una familia que se encuentra, en su mayor parte, en forma constitutiva en todas las células pro y eucariotas. Frente a determinadas agresiones ambientales, los organismos reaccionan con un mecanismo de defensa celular que involucra la sobreexpresión de estas proteínas y la inducción de otras, de la misma familia, que no son constitutivas. Su función es minimizar los daños producidos por el estrés. Las células en cultivo responden de manera similar a cambios en su medio ambiente habitual o situaciones de estrés, iniciándose una respuesta que implica la síntesis de un conjunto de proteínas, conocidas bajo la común denominación de Hsp (Heat shock proteins) o proteínas anti estrés. La denominación proviene del hecho que se detectaron inicialmente producidas por un estrés térmico en *Drosophila* 1 . Por ejemplo, un cambio de alrededor de 5 °C superior a la temperatura normal de un cultivo celular desata la rápida síntesis de Hsp (Morimo M, Tsuzuki T, Ishikawa Y, et al. 2017).

Frente al shock térmico, las células corren el riesgo de terminar necrosadas por isquemia, interrupción de procesos metabólicos por la pérdida de mitocondrias y desembalaje de la fosforilación oxidativa, así como por la ruptura de estructuras celulares. Por esta razón, la acción estabilizadora de las proteínas de shock térmico (HSP) cumplen un papel importante para la preservación celular. La respuesta al estrés mediada HSP en sangre puede ser empleada con fiabilidad para evaluar estrés fisiológico-ambiental e incluso el generado por el manejo y efectos tóxicos de diferentes alimentos en las poblaciones de animales (Sanmiguel Plazas. R. A y Ávila. V. D; 2011).

Cuando el factor causante del estrés es eliminado del medio ambiente, las células continúan normalmente con su metabolismo. En cambio, si el estrés aumenta, la función protectora de las Hsp se ve sobrepasada deteniéndose su producción y activándose el programa de apoptosis.

Otros factores perjudiciales, como exposición a tóxicos, a metales pesados, a análogos de aminoácidos, hipoxia, etc., desencadenan un proceso similar. También la presencia de infecciones virales, estados febriles o inflamatorios y la presencia de neoplasias, activan la producción de estas proteínas. Las Hsp se encuentran entre las proteínas mejor conservadas filogenéticamente, con respecto a función y a estructura, cumpliendo un papel similar en todos los organismos: bacterias, levaduras, plantas y células animales (Morimo M, Tsuzuki T, Ishikawa Y, et al.2017).

## **21.6 El aporte de agua**

El aporte de agua durante el estrés por calor es de importancia crítica porque cubre dos propósitos: es el vehículo para disipar calor mediante la sudoración y el jadeo, además es el principal componente de la leche (Beede 2012 y Sanchez 2014). El consumo de agua es beneficioso por otros motivos: el mayor contenido de agua del rumen acelera su vaciado (Silanikove 2012) lo que reduce el efecto de llenado debido a la menor velocidad de tránsito durante el estrés por calor; por otro lado, el agua consumida contribuye al enfriamiento corporal total (Blaxter 2009).

## **21.7 Aditivos**

Las sustancias cuya incorporación a las raciones se ha considerado beneficiosa durante el estrés por calor son vitaminas y microorganismos y/o sus metabolitos. Dentro de las vitaminas, la niacina ha sido la más utilizada porque a dosis elevadas (6 a 12 grs/día) produce vasodilatación periférica lo que facilita la eliminación de calor por vaporización desde la piel reduciendo la temperatura superficial, aunque no se modifica la temperatura rectal (Di Costanzo 1997). La niacina tiene efecto anticetósico y antilipolítico, mejora el balance energético al comienzo de la lactación y actúa estimulando la síntesis de proteína microbiana (Hutjens 2007).

## **22. BALANCE ENERGÉTICO.**

Después del parto el consumo de materia seca (MS) se necesita incrementar para cubrir la demanda de nutrimentos para la producción de leche. Sin embargo, la vaca es incapaz de consumir la materia seca necesaria para cubrir sus necesidades, por lo cual recurren a sus reservas de grasa y proteína. Las vacas lecheras después del parto caen en un balance energético negativo (BEN), lo cual significa que la suma de la energía necesaria para su propio mantenimiento y la que requieren para la producción de leche es mayor que la energía consumida, por lo que se ven obligadas a utilizar sus reservas corporales. Estas vacas llegan a su punto más bajo de balance energético negativo entre los días 10 y 20 posparto, y siguen en balance energético aproximadamente hasta el día 70 a 80 y en algunos casos (vacas de primer parto) hasta el día 100 posparto (Opsomer, G; et.al, 2005 y Sangsritavog, S; et.al, 2007). Todas las vacas caen en balance energético negativo durante el periodo posparto y tienen la capacidad de adaptarse a esos cambios. Sin embargo, algunos animales llegan a fallar en este proceso, lo cual puede ser secundario a un bajo consumo de nutrimentos provocado por problemas de salud, periodos secos prolongados que provoquen obesidad o por complicaciones durante el parto. El balance energético negativo afecta algunos procesos reproductivos, de esta forma se ha asociado con un retraso en la primera ovulación posparto y con una disminución de las concentraciones séricas de progesterona en el segundo y tercer ciclo posparto, lo que potencialmente puede afectar la supervivencia embrionaria. Por otra parte, el balance energético negativo también afecta el desarrollo folicular y el potencial de los ovocitos para desarrollar embriones viables (Rovira, J. 2014); (Sangsritavog, S; et.al, 2007).

La primera ovulación posparto es uno de los parámetros que se ha correlacionado con la fertilidad. Se conoce que el periodo del parto a la primera ovulación ha aumentado en las vacas modernas. El número de ciclos previos a la primera inseminación están correlacionados positivamente con la fertilidad (Rodríguez, T; 2007), lo cual contribuye, en parte, con la baja fertilidad del primer servicio. Por otra parte, se han observado cambios en las características de las fases lúteas de la primera ovulación en vacas altas productoras. En estudios realizados describen que es evidente que la incidencia de fases lúteas anormales es mayor en las vacas modernas que en vacas de hace 20 años (Moreira Pereira, E.R. 2006) y (Quiñónez Alecio, J.P. 2008).

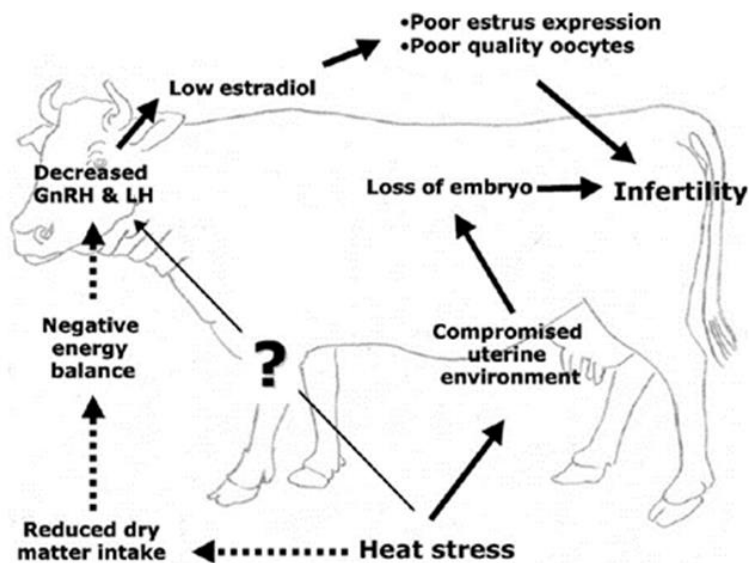


Figura 4. Descripción esquemática de los mecanismos posibles para el efecto del estrés calórico en la reproducción de las vacas lecheras en lactación.

Fuente: (Fabio De Rensisa y Rex John Scaramuzzib, 2003)

## 23. CONCLUSIONES

- Se establecieron conceptos sobre el estrés térmico y las consecuencias que este ejerce sobre la reproducción de la hembra bovina, algunos autores identificaron que el ciclo estral es sensible al estrés térmico. Esto se traduce en una disminución de la duración del celo y, por consecuente, se observan efectos desfavorables sobre la fertilidad debido a la disminución de los niveles plasmáticos de LH y estradiol, cambios en el comportamiento sexual, ovulación, función luteal y la implantación del embrión.
- Otros autores señalan que, el estrés térmico, afecta el desarrollo folicular ya que reduce el tamaño de los folículos, producción de hormonas y la capacidad de desarrollo del oocito, causa asociada con el aumento de la cantidad de óvulos no fertilizados y embriones anormales.
- Aunque existen variadas razas y cruces bovinos pensados en incrementar la adaptabilidad y resistencia al estrés en los diferentes pisos térmicos, la mayoría de estos animales pueden experimentar, en determinadas épocas del año, problemas productivos y reproductivos asociados al frío o al calor.
- Dentro del análisis sobre capacidad reproductiva se determinó que los animales que son sometidos a estrés térmico presentan diferentes reacciones, como cambios de comportamiento, cambios fisiológicos, cambios hormonales y cambios en los patrones de alimentación los cuales implican directamente en la eficiencia reproductiva de la hembra bovina.
- Es importante resaltar que se logró identificar como se pueden adoptar medidas para mitigar los efectos del estrés térmico y se concluyó que la densidad tiene una gran relación con la capacidad del organismo para perder calor, por lo que es importante evitar el hacinamiento para que los animales puedan regular su temperatura de forma eficiente por radiación, evaporación, convección, reflexión y conducción, a través del simple hecho de cambiar de postura.
- Aunque el énfasis de la revisión no es la nutrición, las dietas adecuadamente balanceadas infieren de manera positiva en la regulación del estrés térmico y en la capacidad reproductiva, en especial, para animales que habitan en pisos térmicos altos o zonas frías.

- A la fecha, en Colombia, existen pocos estudios que profundicen y tengan en cuenta variables medioambientales que permitan predecir el estrés térmico en las diferentes razas y cruzamientos existentes.

## **24. RECOMENDACIONES**

- La implementación de sistemas silvopastoriles, la siembra de árboles de manera aleatoria ó la creación de cercas vivas es una opción que permite mitigar los efectos ambientales sobre los animales y contribuye a la mejora del suelo y retorno y propagación de flora y fauna.
- Se recomienda a los profesionales y productores considerar el estrés térmico como factor que afecta la producción y reproducción en el ganado bovino, antes de implementar tratamientos con hormonas y/o suplementos nutricionales que incrementan costos y pueden ser poco efectivos.
- Ejecutar estudios que permitan determinar la capacidad de resistencia al estrés térmico por razas o cruces de acuerdo a las condiciones medioambientales de los distintos pisos térmicos de nuestro país que permitan generar programas de selección genética y mejoras en la producción.
- Para combatir el estrés térmico es muy importante suministrar a los animales suficiente agua de bebida limpia, sombra e instalaciones adecuadas.
- Socializar la información obtenida con productores con el ánimo de contribuir al desarrollo pecuario de nuestro país y a la visibilización de nuestra Universidad de Cundinamarca.

## 25. BIBLIOGRAFÍA

- AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL (2013). Technical Committee on Response to Nutrients. Energy and protein requirements of ruminants: an advisory manual. Wallingford: CAB International.
- Agustín Góngora, Aureliano Hernández. (2010) la reproducción de la vaca se afecta por las altas temperaturas ambientales, 141.
- Al Katanami YM, Drost M, Monson RL, Rutledge JJ, Krininger III CE, Block J. (2009). Pregnancy rates following timed embryo transfer with fresh or vitrified in vitro produced embryos in lactating dairy cows under heat stress condition. *Theriogenology*, 58:171–82.
- Al-Katanami YM, Paula–Lopes FF, Hansen PJ. (2014). Effect of season and exposure to heat stress on oocyte quality of Holstein cows. *J Dairy Sci*; 58:171–82.
- Alvarez L. (2008). Efectos negativos del estrés sobre la reproducción en animales domésticos. *Arch Zoot* 57: 39-59.
- ANALAC. (2018). Asociación nacional de productores de leche. Sector lácteo colombiano, producción lechera estimaciones para el año 2016-2017. Disponible en: <https://analac.org/author/sectorlacteo/produccion>.
- Andrade, Roy, Manrique A, Fred, Peters, Kart. (2008). Características productivas y de gestión de fincas lecheras en Boyacá: *Rev.MVZ Cordoba*. vol.13 no.2.
- André, G., Engel, B., Berentsen, PBM, Vellinga, THV, Oude Lansink, AGJM.(2011). Quantifying the effect of heat stress on daily milk yield and monitoring dynamic changes using an adaptive dynamic model. *J. Dairy Sci*. 94: 4502-4513.

- Aréchiga, F.C.F. (2012). Efectos adversos del estrés calórico en la reproducción del ganado bovino. En Hernández Cerón J Editor. Mejoramiento Animal: Reproducción. México (DF). Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.135-150.
- Armstrong DV. (2005). Heat stress interaction with shade and cooling. Dairy Sci; 77:2044–50
- ASOLECHE.ORG. (2017). Leche en cifras, Acopio de leche y productos lácteos. Pag: 2.4. disponible en < <https://asoleche.org/leche-en-cifras/>> consultado 03/02/19
- Avant S. (2013). Temperament plays key role in cattle health. Agric Res 61: 20.
- Badinga, L.; collier, R.J.; thacher, W.W.; wilcox, C.J. (2015). Effects of climatic and management factors on conception rate of dairy cattle in subtropical environment. J. Dairy Sci. 68:78-85.
- Badinga, L.; Collier, R.J.; Thacher, W.W.; Wilcox, C.J. (2015). Effects of climatic and management factors on conception rate of dairy cattle in subtropical environment. J. Dairy Sci. 68:78-85.
- Badinga, L.; Thatchert, W.W.; Díaz, T.; Drost, M.; Wolfenson, D. (2009). Effect of environmental heat stress on follicular development and steroidogenesis in lactating Holstein cows. Theriogenology. 39:797-810.
- Badinga, L.; Thatchert, W.W.; Díaz, T.; Drost, M.; Wolfenson, D. (2009). Effect of environmental heat stress on follicular development and steroidogenesis in lactating Holstein cows. Theriogenology. 39:797-810.
- Beede, D.K. (2012). Water for dairy cattle. In: H.H. VanHorn and C.J. Wilcox (eds.)

- Bicego, K. C., Barros, R. C., & Branco, L. G. (2007). Physiology of temperature regulation: comparative aspects. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 147(3), 616-639.
- Biggers, B.G.; Geisert, R.D.; Wetteman, R.P.; Buchanan, D.S. (2007). Effect of heat stress on early embryonic development in the cow. *J. Anim. Sci.* 64:1512-1518.
- Blaxter, K.L. (2009). *Metabolismo energético de los rumiantes*. Zaragoza: Acribia. 314 P.
- Blomberg Leann, Hashizume Kazuyoshi and Viebahn Christoph. (2008). Blastocyst elongation, trophoblastic differentiation, and embryonic pattern formation. *Reproduction* 135 181–195
- Breuel, K.F.; Lewis, P.E.; Schrick, F.N.; Lishman, A.W.; Inskoop, E.K.; Butcher, R.L. (2013). Factors affecting fertility in the postpartum cow: role of the oocyte and follicle in conception rate. *Biol. Reprod.* 48:655-661.
- Brown-Brandl TM, RA Eigenberg, JA Nienaber, GL Hahn. (2007). Indicators of heat stress in shaded and non-shaded feedlot cattle. *ASAE/CSAE Annual International Meeting*, Ottawa, Ontario, Canada. Paper number 044037.
- Buffone Mariano G., Rodriguez Esmeralda, Storey Bayard T., and Gerton George L. (2009). Acrosomal Exocytosis of Mouse Sperm Progresses in a Consistent Direction in Response to Zona Pellucida. *journal of cellular physiology*. 611-620
- Butler WR. (2006) Nutritional effects on resumption of ovarian cyclicity and conception rate in postpartum dairy cows. In Diskin MG, editor. *Fertility in the high-producing dairy cow*, vol. 26. BSAS Edinburgh, Occasional Publication;. p. 133–45.
- Butler, W.R; Smith, R.D. (2006). Interrelationships between energy balance and postpartum reproductive function in dairy cattle. *Journal of Dairy Science (US)* 72 (3): 767-783

- Campos Maia AS, Gomes da Silva R, Batista Freire de Souza Junior J, Batista da Silva R, Tertulino Domingos HG. (2009). Effective thermal conductivity of the hair coat of Holstein cows in a tropical environment. *R Bras Zootec.* 38(11):2218-23.
- Cannon W. (2014). Stresses and strains of homeostasis. *Am J Med Sci* 189: 13-14. Disponible en: <http://journals.lww.com/amjmedsci/toc/1935/01000>. consultado 03/02/19.
- Castaño Faider A., Rugeles P. Clara C., Betancur H. César A. y Ramirez López Camilo J. (2014). Impacto del estrés calórico sobre la actividad reproductiva en bovinos y consideraciones para mitigar sus efectos sobre la reproducción. *Biosalud*; 13 (2): 84-94.
- CERQUEIRA LIMA, J. (2009). Estrés térmico en explotaciones de ganado vacuno: detección precoz y posibles soluciones. Escola superior agraria do instituto politécnico de viana de Castelo, Portugal
- Cerqueira, J.O.L., Araújo, J.P., Blanco-Penedo, I., Cantalapiedra, J., Silvestre, M., Silva, S.R., (2013). Estudio de indicadores fisiológicos como predictores de estrés térmico de vacas lecheras en Norte de Portugal. XV Jornadas sobre Producción Animal, Zaragoza. Tomo I, 40-42. ISBN Tomo I: 978-84-695-7684-7.
- Chebel, R.C.; Santos, J.E.; Reynolds, J.P.; Cerri, R.L.; Juchem, S.O.; Overton, M. (2014). Factors affecting conception rate after artificial insemination and pregnancy loss in lactating dairy cows. *Anim. Reprod. Sci.* 84:239–55.
- Collier, R.J.; Doelger, S.G.; Head, H.H.; Thatcher, W.W.; Wilcox, C.J. (2006). Effects of heat stress during pregnancy on maternal hormone concentrations, calf birth weight and postpartum milk yield of Holstein cows. *J. Anim. Sci.* 54:309-319.
- CONPES (2010). Consejo nacional de política económica y social. Consolidación de la política sanitaria y de inocuidad para las cadenas láctea y cárnica. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y

Desarrollo Territorial, Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA, DNP - Dirección de Desarrollo Rural Sostenible. Bogotá. Disponible en: <https://www.dnp.gov.co/estudios-y-publicaciones/Paginas/estudios-economicos.aspx>.

Consultado 03/02/19

- Coronato, S., Di Girolamo, W., Salas, M., Spinelli, O., Laguens, G. (2009). Biología de las proteínas de shock térmico. *Medicina (BuenosAires)*. 59: 477-486.
- Costa F. (2005). El manejo del estrés y la salud en los sistemas intensivos. XVI Jorn Ganad Pergamino. Disponible en: [www.produccion-animal.com.ar/sanidad\\_intoxicaciones.../31-stres.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/sanidad_intoxicaciones.../31-stres.pdf). consultado 18/12/18
- Crescio MI, Forastiere F, Maurella C, Ingravalle F. (2010) Ru G.Heat-related mortality in dairy cattle: A case crossover study. *Prev Vet Med.*;97(3-4):191-7.
- Cunningham JG, Klein BG. (2009). *Fisiología veterinaria*. 4th ed. España: Elsevier Saunders.
- Dawson TJ, Webster KN, Maloney SK (2014). The fur of mammals in exposed environments; do crypsis and thermal needs necessarily conflict? The polar bear and marsupial koala compared. *J Comp Physiol B*. 184(2):273-84.
- de Dios Vallejo OO(2006). *Ecofisiología de los bovinos en sistemas de producción del trópico húmedo*. México: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Dunlap, S.E.; Vincent, C.K. (2013). Influence of post breeding thermal stress on conception rate in beef cattle. *J. Anim. Sci*. 32:1216-1218.
- Duranthon Veronique, J Watson Andrew, and Lonergan Patrick. (2008). Preimplantation embryo programming: transcription, epigenetics, and culture environment: *Reproduction*. p. 135, 141 – 150

- Ealy D, Arechiga CF, Bray DR, Risco CA, Hansen PJ. (2014). Effectiveness of short-term cooling and vitamin E for alleviation of infertility induced by heat stress in dairy cows. *J Dairy Sci.*77:3601–7
- Edwards, J., Ealy, A., Monterroso, V., Hansen, P. (2014). Ontogeny of temperature regulated heat shock protein 70 synthesis in preimplantation bovine. *Mol Repro Develop.* 48: 25–33.
- Euguen, W; Reaves, P. (2009). Ganado lechero, alimentación y administración. México, D.F; Limusa, P.227, 231.
- FAO. (2006). Ganadería: intensificación y sus riesgos. Agricultura mundial hacia los años 2030, estudio de la FAO. Roma, Italia.
- FAO. (2010). Agricultura climáticamente inteligente. Políticas, prácticas y financiación para la seguridad alimentaria, adaptación y mitigación. Roma, Italia
- Farooq U, Samad HA, Shehzad F, Qayyum A. Physiological responses of cattle to heat stress. *World Appl Sci.* 8:38-43. Disponible en: [http://www.researchgate.net/profile/Dr\\_Umer\\_Farooq/publication/224863071\\_Physiological\\_Responses\\_of\\_cattle\\_to\\_Heat\\_Stress/links/02bfe511f3a7ca58d2000000.pdf](http://www.researchgate.net/profile/Dr_Umer_Farooq/publication/224863071_Physiological_Responses_of_cattle_to_Heat_Stress/links/02bfe511f3a7ca58d2000000.pdf). Consultado 18/12/18
- FEDEGAN (2012). Federación Colombiana de Ganaderos. La ganadería colombiana y las cadenas cárnicas y lácteas: Cifras de referencia.
- FEDEGAN (2015). Federación Colombiana de Ganaderos. La ganadería colombiana y las cadenas cárnicas y lácteas: Cifras de referencia. Plan Estratégico para la Ganadería. PEGA 2019.
- FEDEGAN (2016). Federación Colombiana de Ganaderos. Orientación del hato. Cifras de referencia del sector ganadero colombiano.

- FEDEGAN. 2017. Federacion Colombiana de Ganaderos. Balance y Perspectivas del Sector Ganadero Colombiano. 2017
- FEDEGAN. 2017. Federacion Colombiana de Ganaderos. El contrabando de ganado de Venezuela, negocio millonario. Vanguardia liberal. Disponible en: <http://www.vanguardia.com/economia/nacional/391015-el-contabando-de-ganado-de-venezuela-negocio-millonario>. Consultado 03/02/19
- Finch, A. (2006). Body temperature in beef cattle: its control and relevance to production in the tropics. *J Anim Sci* 62, 531-542.
- Flamenbaum, I. (2007). ¿Qué es el “Índice de relación de rendimiento verano / invierno”? Un método para evaluar la eficiencia del uso de los medios para paliar el estrés calórico. *Hoard's Dairyman en español*.: 619-621.
- Gauthier D. (2016). The influence of season and shade on estrous behaviour, timing of preovulatory LH surge and the pattern of progesterone secretion in FFPN and Creole heifers in a tropical climate. *Reprod Nutr Dev*; 26:767–75.
- Geisert, R.D.; Zavy, M.T.; Biggers, B.G. (2009). Effect of heat stress on conceptus and uterine secretions in the bovine. *Theriogenology* 29:1075-1082.
- Geor RJ, McCutcheon LJ, Ecker GL, Lindinger MI. (2007). Thermal and cardiorespiratory responses of horses to submaximal exercise under hot and humid conditions. *Equine Vet J Suppl.* 27(20):125-32.
- Giménez ZM. (2006). El bienestar animal y la calidad de la carne: buenas prácticas de manejo del ganado. Disponible en: [http:// produccion-animal.com.ar/etologia\\_y\\_bienestar/bienestar\\_en\\_general/42-punto\\_clave.pdf](http://produccion-animal.com.ar/etologia_y_bienestar/bienestar_en_general/42-punto_clave.pdf). consultado 18/12/18

- González P. JM. (2008). El Estrés Calórico en los Bovinos. Efectos del estrés calórico en la producción. *Zoociencia Revista Virtual de Zootecnia*. Disponible en: [http://produccionbovina.com/clima\\_y\\_ambientacion/30-stres\\_por\\_calor\\_vaca\\_lechera.pdf](http://produccionbovina.com/clima_y_ambientacion/30-stres_por_calor_vaca_lechera.pdf) consultado 02/11/18
- González de Molina, M., Soto, D., Infante, I. y Aguilera, E. (2013): “¿Una o varias transiciones? Nuevos datos sobre el consumo alimentario en España”. XIV Congreso de historia Agraria, Badajoz, 7-9 noviembre 2013.
- Grandin T, Shivley C. (2015). How farm animals react and perceive stressful situations such as handling, restraint, and transport. *Animals* 5: 1233-1251.
- Grandin T. (1997). Evaluación del estrés durante el manejo y transporte (traducción Dr. Marcos Giménez-Zapiola). *J Anim Sci* 75: 249-257.
- Grandin T. (1997). Evaluación del estrés durante el manejo y transporte (traducción Dr. Marcos Giménez-Zapiola). *J Anim Sci* 75: 249-257.
- Grandin T. (1998). La reducción del estrés del manejo mejora la productividad y el bienestar animal. Disponible en: <http://www.grandin.com/spanish/reduccion.estres.manejo.html> consultado 23/02/18
- Guzeloglu A, Ambrose JD, Kassa T, Diaz T, Thatcher MJ, Thatcher WW (2009). Long term follicular dynamics and biochemical characteristics of dominant follicles in dairy cows subjected to acute heat stress. *Anim Reprod Sci*; 66:15–34.
- Gwazdauskas, F.C.; Thatcher, W.W.; Kiddy, C.A.; Paape, M.J.; Wilcox, C.J. (2011). Hormonal patterns during heat stress following PGF2a-tham salt induced luteal regression in heifers. *Theriogenology*.16:271-285.

- Hafez, E.S.E. (2013). Reproducción e inseminación artificial en animales. Trad. FdeM Berenguer I. México, Interamericana. p. 321,328.
- Hansen P.J. (2014). Physiological and cellular adaptations of zebu cattle to thermal stress. *Anim Reprod Sci.*;82-83:349-60.
- Hansen, L.B. (2014). Consequences of selection for milk yield from a geneticist's viewpoint. *J Dairy Sci*;83:1145-1150.
- Hansen, P. J. (2014). Physiological and cellular adaptations of zebu cattle to thermal stress. *Animal reproduction science*, 82, 349-360.
- HANSEN, P.J. (2014). Exploitation of genetic and physiological determinants of embryonic resistance to elevated temperature to improve embryonic survival in dairy cattle during heat stress. *Theriogenology* 68S: S242-S249.
- Hansen, P.J. and W- J-liu. (2014). Immunological aspects of pregnancy: concepts and speculations using the sheep as a model: 13th International Congress on Animal Reproduction. Sidney, Australia. *Anim Reprod Sci.* 42:483-493.
- HANSEN, P.J.; ARÉCHIGA, C.F. (2012). Strategies for managing reproduction the heat stressed dairy cow. *J. Anim. Sci.* 77 (suppl. 2):36-50.
- Hansen, P.J; Drost, M; Rivera, R.M; Paula-Lopes, F.F; Al-Katanani, Y.M; Krininger, C.E., and Chase, C.C. Jr. (2014). Adverse impact of the heat stress on embryo production: causes and strategies for mitigation. *Theriogenology.* 55: 91-103.
- Head, H.H.H.; Schick, P.O.; Wilcox, C.J. (2011). Interrelationships of physical measures of placenta, cow and calf (Abstr.). *J. Dairy. Sci.* 64 (Suppl):161.

- Hernández, A.E. (2016). Determinación de la actividad ovárica y de preñez en vacas de doble propósito recibiendo suplementación nutricional, post-parto mediante la determinación de progesterona en leche descremada. Tesis Med. Vet. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. p. 32-37.
- HERNÁNDEZ, G. (2016). Estrategia genética para el ganado tropical de doble propósito. P. 1-10. CORPOICA.
- Holter, J.B., Urban, W.E. (2012). Water partitioning and intake prediction in dry and lactating holstein cows. J. Dairy Sci. Vol. 75. P. 1472-1479
- Horowitz M. (2012). From molecular and cellular to integrative heat defense during exposure to chronic heat. Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol. 131(3):475-83.
- Howden SM, JR Turnpenny. (2013). Modeling heat stress and water loss of beef cattle in subtropical Queensland under current climates and climate change. Working document 98/03-CSIRO.
- Huber, J.T., Higginbotham, G., Gomez-Alarcon, R.A., Taylor, R.B., Chen, K.H., Chan, S.C., Wu, Z. J. (2015). Heat stress interactions with protein, supplemental fat, and fungal cultures. J. Dairy Sci. Vol. 77. P. 2080-2090
- Instituto Colombiano Agropecuario - ICA. (2017). Instituto Colombiano Agropecuario. Disponible en <https://www.ica.gov.co/Noticias/Pecuaria/Virus-de-fiebre-aftosa-presentadoen-Colombia-es-d.aspx>. Consultado 03/01/19
- Iturbe, A; Estrada, E. (2012). Características reproductivas en un hato Santa Gertrudis en Guatemala. Memorias. V Reunión ALPA, 6:80-82.
- Joaquin I. Armendano, Anselmo C. Odeón, Santiago S. Callejas, Laura Echarte, Ernesto R. Odriozola. (2015). Estrés térmico y síndrome distérmico en bovinos para carne de la provincia

de Buenos Aires. 9nas Jornadas Internacionales de Veterinaria Practica. disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Joaquin\\_Armendano/publication/283427659\\_Estres\\_termico\\_y\\_sindrome\\_distermico\\_en\\_bovinos\\_para\\_carne\\_de\\_la\\_provincia\\_de\\_Buenos\\_Aires\\_Heat\\_stress](https://www.researchgate.net/profile/Joaquin_Armendano/publication/283427659_Estres_termico_y_sindrome_distermico_en_bovinos_para_carne_de_la_provincia_de_Buenos_Aires_Heat_stress). Consultado 18/12/18

- JU, J.C. 2005. Cellular responses of oocytes and embryos under thermal stress: hints to molecular signaling. *Anim. Reprod.* 2(2):79-90.
- Khalifa, H.H. (2010). Bioclimatology and adaptation of farm animals in a changing climate. In: Interactions between climate and animal production. Proc Symp, EAAP Technical series N° 7, Pp 15-29.
- King DA et al. (2006). Influence of animal temperament and stress responsiveness on the carcass quality and beef tenderness of feedlot cattle. *Meat Sci* 74: 546-556.
- Koolhaas JM, Bartolomucci A, Buwalda B, de Boer SF, Flügge G, Korte SM, Meerlo P, Murison R, Olivier B, Palanza P, Richter-Levin G, Sgoifo A, Steimer T, Stiedl O, van Dijk G, Wöhr M, Fuchs, E. (2011) Stress revisited: A critical evaluation of the stress concept. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* 35, 1291-1301.
- Kornmatitsuk, B, Chantaraprateep, P, Kornmatitsuk, S, Kindahl, H. (2008). Different Types of Postpartum Luteal Activity Affected by the Exposure of Heat Stress and Subsequent Reproductive Performance in Holstein Lactating Cows. *Reproduction in Domestic Animals.* 43(5):515-519.
- Kurz, A. (2008). Physiology of thermoregulation *Best Pract Res Clin Anaesthesiol.* 22, 627-644.
- Lamming, G.E; Darwash, A.O. (2008) The use of milk progesterone profiles to characterize components of subfertility in milked dairy cows. *Anim Reprod Sci;* 52:175-190.

- Lara, V; Hernández, C.J; Cruz, O; Ortiz, O; Gutiérrez, C.G. (2012). Inicio de la actividad ovárica posparto y características de la función lútea de vacas Holstein. Memorias del XXVI Congreso Nacional de Buiatría. Acapulco, Gro. México. Asociación Mexicana de Médicos Veterinarios Especialistas en Bovinos.
- Lee kyung-Bon, Bettgowda Anilkumar, Wee Gabbine, Ireland James J., and Smith George W. (2009). Molecular Determinants of Oocyte Competence: Potential Functional Role for Maternal (Oocyte-Derived) Follistatin in Promoting Bovine Early Embryogenesis. *Endocrinology*. 150(5):2463–2471
- Liew, P., Zulkifli, I., Hair-Bejo, M., Omar, A., Israf, D. (2003). Effects of early age feed restriction and heat conditioning on heat shock protein 70 expression, resistance to infectious bursal disease, and growth in male broiler chickens subjected to heat stress. *Poult sci*. 82: 1879-1885
- López Dávila, Alfredo Jesús, ACTUALIDAD EN TERMORREGULACIÓN. PENSAR EN MOVIMIENTO: Revista de Ciencias del Ejercicio y la Salud [en línea] 2014, 12 (Julio-Diciembre) Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=442042967005>> ISSN 1409-0724. Consultado 20/01/19
- López-Gatius F. (2012). Factors of a noninfectious nature affecting fertility after artificial insemination in lactating dairy cows. *Theriogenol* 1(77): 1029-1041.
- Lucy MC, Savio JD, Badinga L, de la Sota RL, Thatcher WW. (2009). Factors that affect ovarian follicular dynamics in cattle. *J Anim Sci*;70:3615–26.
- MacKay RJ, Mallicote M, Hernandez JA, Craft WF, Conway JA. (2014). A review of anhidrosis in horses. *Equine Vet Educ*. disponible en: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/eve.12220/full>. Consultado: 16/11/19
-

- McDowell, R.E; Moody, E.G; van Soest, P.S; Lohmann, P; ford, G. (2015). Effect of heat stress on energy and water utilization in lactating cows. *Journal of dairy science* 52: 188.
- McEwen BS. (2008). Sex, stress and the hippocampus: allostasis, allostatic load and the aging process. *Neurobiol Aging* 23: 921-939
- Mellado M. (2014). Effects of month of breeding on reproductive efficiency of Holstein cows and heifers inseminated with sex-sorted or conventional semen in a hot environment. *Trop Anim Health & Prod* 46: 265-269.
- Mendez, M; Wiltbank, K.J. (2008). Condición física al parto y retiro temporal de la cría en la eficiencia reproductiva en bovinos. *Técnica pecuaria Mexicana*. (MX) no. 49: 69-77.
- Mihm, M and Evans, A. (2008) Mechanisms for Dominant Follicle Selection in Monovulatory Species: A Comparison of Morphological, Endocrine and Intraovarian Events in Cows, Mares and Women. *Reprod Dom Anim* 43 (Suppl. 2), 48–56
- MOBERG, G.P. (2011). Effects of environment and management stress on reproduction in the dairy cow. *J. Dairy Sci.* 59(9):1618-1624.
- MOBERG, G.P. (2011). Effects of environment and management stress on reproduction in the dairy cow. *J. Dairy Sci.* 59(9):1618-1624.
- Moreira Pereira, E.R. (2006). Evaluación de la tasa de natalidad e intervalo entre partos en hatos bovinos de Doble propósito bajo diferentes planes de alimentación en Nueva Concepción, Escuintla. Tesis Med. Vet. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. 63 p.
- Morimo M, Tsuzuki T, Ishikawa Y, et al. (2017). Specific expression of Hsp47 in human tumor cell lines in vitro. *In vivo*; 11: 17-21

- Myers B, Scheimann J, Franco A, Herman JP. (2016). Ascending mechanisms of stress integration. <https://www.researchgate.net/publication/303358516>.
- Navarro, X. (2006). Fisiología del sistema nervioso autónomo. *Rev Neurológ.* 35: 553-62.
- Nienabar JA, Hahn GL. (2007) Livestock production system management responses to thermal challenges. *Int J Biometeorol.*;52(2):149-57.
- Nockelsch, F. (2007). Antioxidants improve cattle immunity following. *Anim Feed Tech*; 62:59-68.
- Opsomer, G; Coryn, M; Deluyker, H; de Kruif, A. (2005). An analysis of ovarian dysfunction in high yielding dairy cows after calving based on progesterone profiles. *Reprod. Domest Anim*; 33:193-204.
- Pacak K. (2006). Acute stress response. In: *Experimental encyclopedia of stress* (Fink G, ed.), 2º ed., Elsevier, Amsterdam, p. 8-16.
- PATINI DE MORAES, (2008) "Frigoríficos do país já dominam exportações". *Valor Econômico*. Disponible en: <http://www.fao.org/3/l8186ES/i8186es.pdf>. Consultado 20/01/19
- Pederna, C. (2009). Estrés termico en explotaciones de Ganado vacuno: detección precoz y posibles soluciones. Subprograma de Bienestar Animal. IRTA, Cataluña
- Pegorer MF, Vasconcelos JLM, Trinca LA, Hansen PJ, Barros CM. (2014). Influence of sire and sire breed (Gyr vs. Holstein) on establishment of pregnancy and embryonic loss in lactating Holstein cows during summer heat stress. *Theriogenology*.;67:692-7.
- Piñeiro Sande N, Martínez Melgar JL, Alemparte Pardavila E, Rodríguez García JC. (2006). Golpe de calor. *Emergencias*.;16:116-125.

- Pines G. (2012). Cloning and expression of a rat brain L - glutamate transporter. *Nature* 360: 464-467.
- PLAN ESTRATÉGICO DE LA GANADERÍA COLOMBIANA. (2019). Federación Colombiana de Ganaderos – FEDEGAN – FNG, p. 29-175
- Putney, D.J.; Malayer, J.R.; Gross, T.S.; Thatcher. (2008). *Progress in dairy science*. Wallingford: CAB International. P. 211-243
- Quiñónez Alecio, J.P. (2008). Evaluación del destete temporal del ternero por 48-72 horas, Sobre el porcentaje de Preñez en vacas de carne durante el período de monta en Guatemala. Tesis Med. Vet. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. 58 p.
- RA Arias, TL Mader, PC Escobar. (2008). Factores climaticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Arch Med Vet* 40, 7-22. disponible en: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0301-732X2008000100002](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-732X2008000100002). Consultado. 16/11/18
- Radostits, O. M. G., Blood, C. C., Hinchcliff, D. C., Arundel, K. W., Jacobs, J. H., Leslie, D. E., & Isabel, M. G. (2011). *Medicina veterinaria: tratado de las enfermedades del ganado bovino, ovino, porcino, caprino y equino*.
- Ray DE, Halbach TJ, Armstrong DV. (2012). Season and lactation number effects on milk production and reproduction in dairy cattle in Arizona. *J Dairy Sci.* 75:2976–83.
- Reynolds, C.K., Tyrrell, H.F., Reynolds, P.J. (2015). Effects of diet forage to concentrate ratio and intake on energy metabolism in growing beef heifers: Whole body energy and nitrogen balance and visceral heat production. *J. Nutr.* Vol. 121. P. 994-1003

- Reynolds, L.P.; Ferrel, C.L.; Nienaber, J.A. (2015). Effects of chronic environmental heat stress on blood flow and nutrient uptake of the gravid uterus and foetus. *J. Agric. Sci. Camb.* 104:289-297.
- Rintamäki H. (2007). Human responses to cold. *Alaska Med.* Disponible en: [http://www.researchgate.net/profile/Tatiana\\_Klimova2/publication/5914818\\_Cardiovascular\\_diseases\\_in\\_the\\_Republic\\_of\\_Sakha\\_\(Yakutia\)\\_status\\_of\\_the\\_problem\\_in\\_the\\_light\\_of\\_scientific\\_research\\_results/links/00b495190b71a81dc4000000.pdf#page=42](http://www.researchgate.net/profile/Tatiana_Klimova2/publication/5914818_Cardiovascular_diseases_in_the_Republic_of_Sakha_(Yakutia)_status_of_the_problem_in_the_light_of_scientific_research_results/links/00b495190b71a81dc4000000.pdf#page=42). Consultado 20/02/18
- Roberts R. Michael, Chen Yizhen, Ezashi Toshihiko, Walker Angela M. (2008) Interferons and the maternal–conceptus dialog in mammals. *Seminars in Cell & Developmental Biology* 19 170–177
- Rodríguez, T; Espinoza, J; Verde, O. (2007). Efecto del momento de inseminación artificial, masaje clitorico, temperatura rectal y otros factores sobre la preñez en bovinos. Maracay, Venezuela. P.132-156.
- Rosa A. Sanmiguel Plaza, Vicente Diaz Avila. (2011). Mecanismos fisiológicos de la termorregulación en animales de producción. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, Vols (4), Pp 88-92.
- Roth Z, Meidan R, Shaham-Albalancy A, Wolfenson D. (2007) Immediate and delayed effects of heat stress on follicular development and function in lactating cows. In: *Proceedings of the Annual Meeting American Society of Animal Science*, Nashville. p. 367.
- Roth, Z.; Hansen, P.J. (2014). Disruption of nuclear maturation and rearrangement of cytoskeletal elements in bovine oocytes exposed to heat shock during maturation. *Reproduction*. 129:235-244.
- ROTH, Z.; HANSEN, P.J. (2014). Involvement of apoptosis in disruption of oocyte competence by heat shock in cattle. *Biol. Reprod.* 71:1898-1906.

- Rovira, J. (2014). Reproduccion y manejo de los rodeos de cria. Mexico, ed. emisferiuo sur. P. 68-123.
- Rutledge JJ, Monson RL, Northey DL, Leibfried-Rutledge ML. (2009). Seasonality of cattle embryo production in a temperate region. *Theriogenology*; 51:330)
- Ryan DP, Prochard JF, Kopel E, Godke RA. (2013). Comparing early embryo mortality in dairy cows during hot and cold season of the year. *Theriogenology*; 39:719–37.
- SAGARPA. (2012). Programa Nacional Pecuario 2007-2012. México:42. Disponible en: <https://www.gob.mx/sader/acciones-y-programas/planeacion-pecuaria-nacional-2012-2030-126813>
- Sánchez R SH. (2007). Respuesta hormonal de los organismos superiores ante el estrés calórico. Disponible en : <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n121207B/BA014.pdf>. Consultado. 18/12/19
- Sands RR, Sands LR, editors. (2010). *The Anthropology of Sport and Human Movement*. Maryland: Lexington Books.
- Sangsritavog, S; Combs, D.K; Sartori, R; Armentano, L.E; Wiltbank, M.C. (2007). High feed intake increases liver blood flow and metabolism of progesterone and estradiol-17 a in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*; 85:2831-2842
- SANJOY K DAS. (2009). Cell cycle regulatory control for uterine stromal cell decidualization in implantation: *Reproduction*. 137: 889 – 899
- SEARCH AGRICULTURE: Cornell Univ. Agr. Exp. Sta. No. 34. (2014). *The Cornell net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets*. Ithaca NY: Cornell University.128 P.
- Selye H. (2009). The evolution of the stress concept. *Am Sci*;6(61):692-8.

- Shearer, J.K.; Elliot, J.B.; Vargas, C. (2010). Raising replacement heifers in hot climates. In: Proceedings' of the International Conference on Livestock in the Tropics. Institute of Food and Agricultural Sciences University of Florida, Gainesville, Florida.
- Shehab, Deen, M.A.M.M, Leroy, J.L.M.R.; Fadel, M.S.; Salehs, Y.A.; Maes, D.; Van Soom, A. (2010). Biochemical changes in the follicular fluid of the dominant follicle of high producing dairy cows exposed to heat stress early post-partum. *Anim. Reprod. Sci.* 117:189-200.
- Silanikove, N. (2012). Effects of water scarcity and hot environment on appetite and digestion in ruminants: a review. *Livestock Prod. Sci.* vol 30. P. 175-194
- Smeraldi, R. y May P. (2008). O reino do gado: uma nova fase na pecuarização da Amazônia Brasileira. Amigos da Terra Amazônia Brasileira, São Paulo.
- Speakman JR, Selman C. (2013). Physical activity and resting metabolic rate. *Proc Nutr Soc.*;62(3):621-34.
- Suranga P. Kodithuwakku. Akio Miyamoto. (2007). Spermatozoa stimulate prostaglandin synthesis and secretion in bovine oviductal epithelial cells *En: Reproduction.*133. p. 1087-1094.91
- Tarazona A, Ceballos M, Naranjo J, Cuartas C. (2012). Aspectos nutricionales de bienestar animal en producción de bovinos bajo sistemas silvopastoriles intensivos en el trópico seco colombiano. 12-13-14.
- Thangavelu G., Colazo M.G., Ambrose D.J., Oba M., Okine E.K., Dyck M.K. (2007). Diets Enriched In Unsaturated Fatty Acids Enhance Early Embryonic Development In Lactating Holstein Cows: *Theriogenology* 68 949–957

- Thomas Fiona H, Campbell Bruce K, Armstrong D, and Telfer Evelyn E. (2007). Effects of IGF-I bioavailability on bovine preantral follicular development in vitro. *Reproduction* 133 1121–1128
- Thompson JA, Magee DD, Tomaszewski MA, Wilks DL, Fourdraine RH. (2010). Management of summer infertility in Texas Holstein dairy cattle. *Theriogenology*;46:547–58.
- Torres J, J.R.S. Pires, FA.; de SÁ, W.F.; Ferreira, de M.; Viana, J.H.M.; Camargo, L.S.A, Ramos, A.A.; Folhadella, I.M.; Polisseni, J.; de Freitas, C, Clemente, C.A.A.; de SÁ Filho, M.F, Paula L, F.F.; Baruselli, P.S. (2008). Effect of maternal heat-stress on follicular growth and oocyte competence in *Bos indicus* cattle. *Theriogenology*. 69:155-166.
- Trotti DS, Nussberger AV, Hediger MA. 2007. Differential modulation of the uptake currents by redox interconversion of cysteine residues in the human neuronal glutamate transporter EAAC1. *Europ J Neurosci* 9: 2207-2212.
- Tucker CB, Rogers AR, Schütz KE. Effect of solar radiation on dairy cattle behavior, use of shade and body temperature in a pasture-based system. *Appl Anim Behav Sci*. 2008;109:141-54.
- USDA (2007). United States Department of Agriculture, National Agricultural Statistics Service. Disponible en: [https://www.nass.usda.gov/Data\\_and\\_Statistics/](https://www.nass.usda.gov/Data_and_Statistics/). Consultada. 20/02/19
- Vir Singh S, Upadhyay RC, Sirohi S, Singh AK. (2013). Climate Resilient Livestock & Production System[Internet]. Karnal, India: National Dairy Research Institute, Indian Council of Agriculture. Disponible en: [http://www.researchgate.net/profile/Umesh\\_Sontakke/publication/264783618\\_Feeding\\_Strategies\\_for\\_Cattle\\_and\\_Buffalo\\_under\\_Climate\\_Change\\_Scenario\\_for\\_Sustaining\\_Productivity/links/53ef1ec30cf2711e0c42ed4c.pdf](http://www.researchgate.net/profile/Umesh_Sontakke/publication/264783618_Feeding_Strategies_for_Cattle_and_Buffalo_under_Climate_Change_Scenario_for_Sustaining_Productivity/links/53ef1ec30cf2711e0c42ed4c.pdf). Consultado 20/02/19
- Walker Angela M., Kimura Koji, Roberts R. Michael. (2009). Expression Of Bovine Interferon-Tau Variants According To Sex And Age Of Conceptuses: *Theriogenology* 72 44–53

- West JW. (2007). Effects of Heat-Stress on Production in Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science*, 86:2131–2144
- West, J. W. (2007). Nutritional strategies for managing de heat-stressed dairy cow. *J. Anim.Sci.* Vol. 77, suppl. 2/J b. P. 21-35
- Wilson, S.J.; Kirby, C.J.; Koenigsfeld, A.T, Keisler, D.H, Lucy, M.C. (2010). Effects of controlled heat stress on ovarian function of dairy cattle. 2. Heifers. *J. Dairy Sci.* 81:2132-2138.
- Wolfenson D, Kaim M, Rosemberg M. (2008). Conception rate of cows supplemented with progesterone postinsemination in the summer. *J Anim Sci*;72(Suppl 1):280.
- Wolfenson, D, Roth Z, Meidan R. (2008). Impaired reproduction in heat stressed cattle: basic and applied aspects. *Anim. Reprod. Sci.* 60–61:535-547.
- Wood SC. Interactions between hypoxia and hypothermia. *Annu Rev Physiol.* (2007); 53:71-85.
- Zhou Guang-bin, Liu guo-shi, Meng Qing-ganG, Liu Ying, Hou Yun-peng. (2009). Tetraspanin CD9 in bovine oocytes and its role in fertilization. *Journal of Reproduction and Development.* Vol. 55 No. 3.