



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY



Facultad de Veterinaria
Universidad de la República
Uruguay

Estrés por calor y termorregulación en animales domésticos



Juan Carlos Orihuela

Unidad de Fisiología, Departamento de Biociencias Veterinarias
Facultad de Veterinaria, Universidad de la República

CONTENIDO

I. Introducción.....	3
II. Estrés por calor.....	4
III. Efectos del estrés por calor.....	4
Efectos sobre la producción	5
Efectos sobre la reproducción	6
Efectos sobre la salud.....	7
IV. Termoregulación en el estrés por calor	8
Adaptaciones genéticas y fenotípicas	9
Mecanismos fisiológicos	10
Mecanismos comportamentales	12
Mecanismos endocrinológicos	12
V. Comentarios finales.....	13
VI. Literatura consultada.....	14

I. Introducción

En los últimos años se han observado variaciones ambientales a causa del cambio climático. Dentro de estas, se encuentra el incremento de la temperatura ambiental tanto en regiones donde la temperatura no era tan alta como en las que si lo eran. De 1983 a 2012 fue probablemente el periodo de 30 años más cálido de los últimos 1400 años en el hemisferio norte (IPCC, 2014) y se espera que la temperatura global en el mundo se siga incrementando. Las elevadas temperaturas generan un estado de estrés por calor y con ello un impacto negativo en la producción (Thornton, 2010), reproducción (Marai et al., 2007) y salud de los animales.

Los animales con estrés por calor tienen la capacidad de activar mecanismos termorregulatorios específicos de tipo fisiológico, metabólico y endocrinológico (Macías-Cruz et al., 2013; 2016a; 2016b) así como mecanismos compensatorios y adaptativos, como cambios en el comportamiento y cambios morfológicos, anatómicos, fisiológicos y bioquímicos para mantener la homeotermia y la homeostasis para sobrevivir en un entorno específico (Indu et al., 2005; Das et al., 2016).

II. Estrés por calor

En la literatura se le puede llamar estrés al estímulo o factor que lo provoca, a la respuesta que se genera, a las enfermedades que provoca o a la relación entre todos; por lo tanto, el estrés se considera como una relación entre el individuo y el ambiente, donde el propio sujeto percibe en qué medida las demandas ambientales constituyen o no, un peligro para su bienestar (Lazarus y Folkman., 1984). Todos los animales poseen una zona de confort térmico o termoneutral, donde las funciones fisiológicas se llevan a cabo de forma normal. Los animales productivos mantienen su temperatura corporal durante el día en un rango de $\pm 0,5$ °C (Henry et al., 2012). El estrés por calor ocurre frente a condiciones ambientales como la temperatura elevada, la radiación solar y la velocidad del viento (factores externos estresores) aumentan la temperatura corporal del animal por encima del rango especificado para su zona termoneutral y la carga de calor total excede la capacidad del animal para disiparlo (Bernabucci et al., 2010).

III. Efectos del estrés por calor

En una situación de estrés por calor se activan mecanismos de respuesta regulados por el eje hipotálamo-hipófisis-

adrenal, alterando generalmente el comportamiento normal, el sistema inmunológico y las funciones fisiológicas (Nienaber y Hahn., 2007), así como el metabolismo y el sistema digestivo por una alimentación alterada o deteriorada (Mader et al., 2003). En un contexto general, el aumento de la temperatura repercute negativamente sobre la producción, reproducción y salud de los animales (Reynolds et al., 2010).

Efectos sobre la producción

La disminución en el consumo de alimento a consecuencia del estrés por calor afecta negativamente la ganancia de peso diaria y el crecimiento de los animales al tener una necesidad extra de energía metabolizable para la activación de los mecanismos de termorregulación (Marai et al., 2007; Sejian et al., 2017), entre otras cosas asociados al incremento del ritmo respiratorio (West et al., 2003). De esta manera, los requerimientos de energía de mantenimiento aumentan mientras la entrada de energía a través de la ingesta se reduce (Sejian et al., 2017; Shinde y Sejian., 2013), por lo que si el impacto es importante, el balance energético se vuelve negativo.

La disminución en las ganancias diarias de peso y en las tasas de crecimiento se han reportado desde hace varios años en pollos de engorda (Sohail et al., 2010), en conejos

(Ayyat y Marai., 1997), en corderos (Padua et al., 1997) y en ganado bovino de carne (Hahn, 1999). En vacas lecheras se ha reportado una disminución en la producción de leche con temperaturas ambientales altas (Igono et al., 1992). En cabras también se observó un bajo rendimiento y baja calidad de leche en situaciones de estrés por calor (Salama et al., 2012).

Efectos sobre la reproducción

Una temperatura ambiental y humedad relativa elevadas alteran la función celular y dañan varios tejidos u órganos del sistema reproductivo (Amundson et al., 2006; Sprott et al., 2001). En la vaca el estrés por calor reduce la esteroidogénesis en las células foliculares (Bridges et al., 2005) por lo que puede afectar el crecimiento folicular y suprimir la ovulación, reduce la expresión de la conducta estral (De Rensis y Scaramuzzi., 2003). Además, disminuye el potencial de los ovocitos para desarrollar un embrión viable (Al-Katanani et al., 2002; Roth y Hansen., 2004) provocando una alta incidencia de mortalidad embrionaria (Hansen et al., 2001). De igual manera, con una temperatura ambiental mayor a 32 °C disminuye la fertilidad de la oveja (Kleeman y Walker, 2005) y reduce la proporción de embriones transferibles (Naqvi et al., 2004).

En el macho, la correcta producción de semen requiere que la temperatura de los testículos sea menor que la del núcleo del cuerpo. Por lo tanto, un aumento en la temperatura testicular puede llevar a la infertilidad del macho (Bhakat et al., 2014). El incremento de la temperatura en los testículos conduce a una reducción de la producción de semen, disminución de la motilidad de los espermatozoides y aumento de la proporción de espermatozoides morfológicamente anormales (Hansen, 2009). Los espermatoцитos y las espermatidas son más susceptibles al daño térmico (Setchell, 1998) y en menor medida las espermatogonias de tipo B (Hansen, 2009). Una de las principales causas es el estrés oxidativo, ya que genera la apoptosis y rotura de la cadena de ADN (Pérez-Crespo et al., 2008; Paul et al., 2008, 2009).

Efectos sobre la salud

El estrés por calor reduce la inmunidad natural, lo que hace que los animales sean más vulnerables a las enfermedades (Schaefer et al., 1997) incluso puede ser mortal si la carga de calor experimentada por el animal es excesiva (Barnes et al., 2004). Obviamente el estrés por calor compromete el bienestar animal y se afirma que causa mortalidad en ovejas y cabras que son transportadas en condiciones inapropiadas (Caulfield et al., 2014).

IV. Termoregulación en el estrés por calor

La termoregulación es el medio por el cual un animal mantiene su temperatura corporal, lo que resulta del equilibrio entre las ganancias y las pérdidas de calor con el medio (Crawshaw, 1980). Todos los animales tienen una zona termoneutral, la que corresponde al rango de temperatura dentro del que los animales realizan gastos de energía muy escasos para termoregular, más allá de la energía invertida en el funcionamiento basal del organismo. Obviamente, dentro de su zona termoneutral los animales son más eficientes en su comportamiento productivo. Por ejemplo, en ovinos puede ser entre 12 y 27 °C (Sejian et al., 2017; Marai et al., 2007) y hasta 30 °C en razas de pelo (Neves et al., 2009). De 12 a 24 °C en cabras (Nikitchenko et al., 1988; Mishra, 2009), pero también se ha reportado que el estrés por calor en cabras ocurre a una temperatura ambiente superior a los 30 °C (Lu, 1989) o entre 40 y 45 °C (Dahlanuddin y Thwaites., 1993). En bovinos de la raza Holstein se observó una temperatura máxima de 25 °C como umbral térmico (Hahn, 1999) y otros autores reportaron como temperatura ambiente de confort para *Bos taurus* de 0 a 20 °C y de 10 a 27 °C para *Bos indicus* aunque con diferencias entre razas, edad, sexo y variaciones individuales (Johnson, 1987).

En respuesta al estrés por calor, los animales aparte de contar con adaptaciones genéticas y fenotípicas, activan mecanismos termorregulatorios que pueden ser fisiológicos, metabólicos, endocrinológicos (Macías-Cruz et al., 2013; 2016a; 2016b) y adaptativos como el comportamiento, con la finalidad de contrarrestar el efecto adverso del estrés por calor y mantener el equilibrio térmico (Castanheira et al., 2010).

Adaptaciones genéticas y fenotípicas

Genéticamente los animales han evolucionado para tolerar de mejor manera el aumento de temperaturas. La cabra se puede considerar como la especie que se adapta mejor al cambio climático por su mayor capacidad de sobrevivir, producir y reproducirse (Silanikove y Koluman., 2015). También existe variabilidad en la capacidad de adaptación a climas cálidos entre razas dentro de una misma especie. Por ejemplo, en condiciones de estrés por calor las ovejas de pelo muestran una menor temperatura rectal y frecuencia cardiaca que las ovejas de lana (Ross et al., 1985), lo que se vincula con una mayor capacidad termorregulatoria (Smith y Vale., 2006). En bovinos, las razas Sindhi y Girolando poseen mejor adaptación al estrés por calor que la raza Gir (Cardoso et al., 2015) y las vacas Karan Fries que aquellas de la raza Sahiwal (Sailo et al., 2017). En ovinos se han

identificado genes de termo-tolerancia asociados con la coloración y pigmentación de la piel, el metabolismo energético y digestivo y la respuesta inmune (Aguilar-Martinez et al., 2017; Rout et al., 2016; Saxena et al., 2017).

En los ovinos, el pelo es una ventaja frente a la lana, ya que facilita el flujo de aire hacia la piel, permitiendo perder más calor de la superficie corporal por radiación o convección (Correa et al., 2013). De la misma manera, el pelo de color claro refleja más y absorbe menos radiación solar que el pelo de color oscuro (Fadare et al., 2012), por lo que los animales con pelo de color claro serían más eficientes para perder calor que los de color oscuro.

Mecanismos fisiológicos

La eliminación del exceso de calor es provocada en primer lugar por respuestas fisiológicas que incluyen frecuencia respiratoria, temperatura rectal, frecuencia cardíaca y la tasa de sudoración (Sharma et al., 2013). El incremento de la frecuencia respiratoria es un mecanismo para disipar calor a través del aumento de la evaporación respiratoria (Hamzaoui et al., 2013). De hecho, en ovinos estresados por calor se observó que disipan cuando menos el 60 % del calor corporal por el tracto respiratorio (Marai et al., 2007). Esto provoca pérdida de agua en forma de vapor por el tracto

respiratorio, deshidratación, y en respuesta un incremento en el consumo de agua (Marai et al., 2007).

Si los animales expuestos a estrés por calor no logran mantener su temperatura corporal en el rango normal, la temperatura rectal aumenta (Marai y Haezeb., 2010). La temperatura en el recto se considera como representativa de la temperatura corporal central (Bligh, 1957) y como una medida importante del estado fisiológico (Koga et al., 2004): si la temperatura rectal aumenta 1 °C puede ser suficiente para que la mayoría de las especies disminuyan su rendimiento productivo (Shebaita y El-Banna., 1982) ya que está asociada con la reducción de ingesta de alimento, redistribución del flujo sanguíneo, y cambios en las funciones endocrinas que afectan el desempeño productivo (Eltawil y Narendran., 1990). Por otro lado, se sabe que la frecuencia cardíaca aumenta en condiciones de estrés por calor por lo que se incrementa el flujo sanguíneo desde el núcleo hacia la superficie del cuerpo aumentando así la sensibilidad de la piel y promoviendo la pérdida de calor vía radiación, convección y evaporación por sudoración (Marai et al., 2007; Da Silva et al., 2017). La vasodilatación cutánea mejora el intercambio de calor entre la piel y el medio ambiente (Collin et al., 2002). Otro mecanismo fisiológico para disipar el exceso de calor del cuerpo a través del enfriamiento

evaporativo cutáneo es la sudoración (Gebremedhin et al., 2008).

Mecanismos comportamentales

Los animales estresados por calor activan los mecanismos fisiológicos mencionados como respuesta, pero también cambian algunas conductas para tratar de disminuir la carga de calor. Las más importantes son la disminución de consumo de alimento y aumento del consumo de agua, aunque en ovejas y cabras también se reportó el agrupamiento en la sombra (Silanikove, 2000), salivación y jadeo (Caroprese, 2008; Facanha et al., 2012).

Mecanismos endocrinológicos

Tanto las respuestas fisiológicas como las conductuales que activan los animales estresados por calor son reguladas a nivel neuroendocrino (Tabarez-Rojas et al., 2009). Por ejemplo, la actividad de la glándula tiroides disminuye cuando la temperatura corporal aumenta en una condición de estrés por calor, lo que resulta en concentraciones bajas de las hormonas tiroideas (Ross et al., 1985), esto puede deberse a un aumento en la síntesis hipotalámica del factor inhibidor de la tiroxina (Sejian et al., 2017). En este sentido, la disminución de la concentración de las hormonas tiroideas T3 (triyodotironina) y T4 (tiroxina) es un mecanismo para

disminuir la producción de calor metabólico, ya que estas hormonas estimulan el aumento de la tasa metabólica del animal (Cain et al., 2006).

Frente a un evento estresante el organismo del animal aumenta sus requerimientos de glucosa ya que funciona como una fuente de energía de rápida disponibilidad celular (Tsigos y Chrousos., 2002). El cortisol es una de las principales hormonas vinculadas a la respuesta de estrés y estimula la neoglucogénesis hepática. Por lo tanto, en estos casos, un aumento de cortisol en respuesta a una situación de estrés calórico se relaciona con una mayor concentración de glucosa en la circulación sanguínea por la activación del metabolismo hepático (Al-Dawood, 2017).

V. Comentarios finales

Con el pronóstico de que la temperatura ambiental global siga aumentando como consecuencia del cambio climático, el conocimiento de los mecanismos termorregulatorios de los animales para mantener su equilibrio térmico frente a los casos de estrés de calor se vuelve fundamental. De esta manera se puede contribuir en la disminución de los efectos negativos del estrés por calor sobre la producción, reproducción y salud de los animales, mejorando colateralmente su productividad.

VI. Literatura consultada

- Aguilar-Martinez CU, Berruecos-Villalobos JM, Espinoza-Gutiérrez B, Segura-Correa JC, Valencia-Méndez J, Roldán-Roldán A. (2017). Origen, historia y situación actual de la oveja pelibuey en México. *Trop Subtrop Agroecosyst*; 20(3):429-439.
- Al-Dawood A (2017). Towards heat stress management in small ruminants- a review. *Ann Anim Sci*; 17:59-88.
- Al-Katanani, Y. M., F. F. Paula-Lopez, and P. J. Hansen. (2002). Effect of season and exposure to heat stress on oocyte competence in Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 85:390–396.
- Amundson JL, Mader TL, Rasby RJ, Hu QS (2006). Environmental effects on pregnancy rate in beef cattle. *Journal of Animal Science* 84:3415-3420.
- Ayyat, M. S.; Marai, I. F. M., (1997) Effects of heat stress on growth, carcass traits and blood components of New Zealand White rabbits fed various dietary energy-fibre levels, under Egyptian conditions. *Journal of Arid Environments* 37, 557–568.
- Barnes A., Beatty D., Taylor E., Stockman C., Maloney S., Mc Carthy M. (2004). Physiology of heat stress in

cattle and sheep. Project number LIVE.209, Australia.
Meat and Livestock Australia Limited, 35 pp.

Bernabucci, U.; Lacetera, N.; Baumgard, L. H.; Rhoads, R. P.; Ronchi, B.; Nardone, A., (2010): Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Animal* 4, 1167–1183.

Bhakat M, Mohanty TK, Gupta AK, Abdullah M (2014). Effect of season on semen quality of crossbred (Karan Fries) bulls. *Advances in Animal and Veterinary Sciences* 2:632-637.

Bligh J. (1957). The relationship between the temperature in the rectum and of the blood in the bicarotid trunk of the calf during exposure to heat stress. *J. Physiol.*, 36: 393–403.

Bridges, P. J., M. A. Brusie, and J. E. Fortune. (2005). Elevated temperature (heat stress) in vitro reduces androstenedione and estradiol and increases progesterone secretion by follicular cells from bovine dominant follicles. *Domestic Anim. Endocrinol* 29:508–522.

Cain III JW, Krausman PR., Rosenstock SR, Turner JC, (2006). Mechanisms of thermoregulation and water balance in desert ungulates. *Wildlife Soc B*; 34(3):570-581.

- Cardoso CC, Peripolli V, Amador SA, Brandão EG, Esteves GI, Sousa CM, França MF, Gonçalves FG, Barbosa FA, Montalvão TC, Martins CF (2015). Physiological and thermographic response to heat stress in zebu cattle. *Livestock Science* 182:83-92.
- Caroprese M. (2008). Sheep housing and welfare. *Small Rumin. Res.*, 76: 21–25.
- Castanheira M., Parva S.R., Louvandini H., Landim A., Fiorvanti M.C., Dallago B.S., Correa P.S., Mc Manus C. (2010). Use of heat tolerance traits in discriminating between groups of sheep in Central Brazil. *Trop. Anim. Health Prod.*, 42: 1821–1828.
- Caulfield M.P., Cambridge H., Foster S.F., Mc Greevy P.D. (2014). Review: Heat stress: a major contributor to poor animal welfare associated with long-haul live export voyages. *Vet. J.*, 199: 223–228.
- Correa MPC, Dallago BSL, Paiva SR, Canozzi ME, Louvandini H, Barcellos JJ, (2013). Multivariate analysis of heat tolerance characteristics in Santa Inês and crossbred lambs in the Federal District of Brazil. *Trop Anim Health Pro*;45(6):1407-1414.
- Crawshaw L.I. (1980). Temperature regulation in vertebrates. *Ann. Rev. Physiol.*, 42: 473–491.

- Da Silva WE, Leite JHGM, de Sousa JER, (2017). Daily rhythmicity of the thermoregulatory responses of locally adapted Brazilian sheep in a semiarid environment. *Int J Biometeorol*; 61(7):1221-1231.
- Dahlanuddin, Thwaites CJ (1993). Feed-water intake relations in goats at high ambient temperatures. *J Anim Physiol An N* 69:169–174
- Das R, Sailo L, Verma N, Bharti P, Saikia J (2016) Impact of heat stress on health and performance of dairy animals: A review. *Veterinary World* 9:260.
- De Rensis, F., and R. J. Scaramuzzi. (2003). Heat stress and seasonal effects on reproduction in the dairy cow — a review. *Therio–genology* 60:1139–1151.
- Eltawil E.A., Narendran R. (1990). Ewe productivity in four breeds of sheep in Saudi Arabia. *World Rev. Anim. Prod.*, 25: 93–96.
- Facanha D.A.E., Oliveira M.G.C., Guilhermino M.G., Costa W.P., Paula V.V. (2012). Hemogasometric parameters of Brazilian Native Goats under thermal stress conditions. *Proc. XI International Conference on Goats*, Gran Canaria, Spain, 23–27.09.2012, p. 72.
- Fadare AO, Peters SO, Yakubu A, (2012). Physiological and haematological indices suggest superior heat

tolerance of white-coloured West African Dwarf sheep in the hot humid tropics. *Trop Anim Health Pro*; 45(1):157-165.

Gebremedhin KG, Hillman PE, Lee CN, Collier RJ, Willard ST, Arthington JD, Brown-Brandl TM (2008). Sweating rates of dairy cows and beef heifers in hot conditions. *Transactions of the ASABE* 51:2167-2178.

Hahn, G. L., (1999). Dynamic responses of cattle to thermal heat load. *Journal of Animal Science* 77 (Suppl. 2), 10–20.

Hamzaoui S., Salama A.A.K., Albanell E., Such X., Caja G. (2013). Physiological responses and lactational performances of late-lactation dairy goats under heat stress conditions. *J. Dairy Sci.*, 96: 6355–6365.

Hansen, P. J. (2009). Effects of heat stress on mammalian reproduction. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1534), 3341-3350.

Hansen, P. J., M. Drost, R. M. Rivera, F. F. Paula–Lopes, Y. M. Al–Katanani, C. E. Krininger, and C. C. Chase. (2001). Adverse impact of heat stress on embryo production: causes and strategies for mitigation. *Theriogenology* 55:91–103.

- Henry B, Charmley E, Eckard R, Gaughan JB, Hegarty R (2012). Livestock production in a changing climate: adaptation and mitigation research in Australia. *Crop and Pasture Science* 63:191–202.
- Igono MO, Bjotvedt G, Sanford-Crane HT. (1992). Environmental profile and critical temperature effects on milk production of Holstein cows in desert climate. *Int J Biometeorol*; 36:77-87.
- Indu S, Pareek A. (2015). A Review: Growth and Physiological Adaptability of Sheep to Heat Stress under Semi–Arid Environment. *International Journal of Emerging Trends in Science and Technology*. doi 10.18535/ijetst/v2i9.09
- IPCC (2014). Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change: Synthesis report summary for policymakers. (https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf).
- Johnson HD. (1987). Bioclimate effects on growth, reproduction and milk production of livestock. En Johnson HD editor. *Bioclimatology and Adaptation of Livestock*. World Animal Science B - 5. Amsterdam: Elsevier Scientific Publication; p. 2 - 26.

- Kleemann, D. O., and S. K. Walker. (2005). Fertility in South Australian commercial Merino flocks: relationships between reproductive traits and environmental cues. *Theriogenology* 63:2416–2433.
- Koga A, Kuhara T, Kanai Y (2004). Comparison of body water retention during water deprivation between swamp buffaloes and Friesian cattle. *Journal of Agricultural Science* 138:435-440.
- Lazarus, R. S., & Folkman, S. (1984). Stress, appraisal and coping. New York: Springer Publishing Company.
- Lu CD (1989). Effects of heat stress on goat production. *Small Rumin Res* 2:151–162
- Macías-Cruz U, Álvarez-Valenzuela FD, Correa-Calderón A, Díaz-Molina R, Mellado M, Meza-Herrera CA, (2013). Thermoregulation of nutrient-restricted hair ewes subjected to heat stress during late pregnancy. *J Therm Biol*; 38(1):1-9.
- Macías-Cruz U, Gastélum MA, Álvarez FD, Correa A, Díaz R, Meza-Herrera CA, (2016a). Effects of summer heat stress on physiological variables, ovulation and progesterone secretion in Pelibuey ewes under natural outdoor conditions in an arid region. *Anim Sci J*; 87(3):354-360.

- Macías-Cruz U, López-Baca MA, Vicente R, Mejia A, Álvarez FD, Correa-Calderón A, (2016b). Effects of seasonal ambient heat stress (spring vs. summer) on physiological and metabolic variables in hair sheep located in an arid region. *Int J Biometeorol*; 60(8):1279-1286.
- Mader TL (2003). Environmental stress in confined beef cattle. *Journal of Animal Science* 81:110-119.
- Marai IFM, El-Darawany AA, Fadiel A, Abdel-Hafez MAM (2007). Physiological traits as affected by heat stress in sheep - A review. *Small Ruminant Res*; 71(1-3):1-12.
- Marai IF, Haezeb AA (2010). Buffalo's biological functions as affected by heat stress—A review. *Livestock Science* 127:89-109.
- Mishra R.P. (2009). Role of housing and management in improving productivity efficiency of goats. In: *Goat production-processing of milk and meat*. Central Institute for Research on Goats (CIRG), India, 1st ed., pp. 45.
- Neves MLMW, De Azevedo M, Da Costa LAB, Guim A, Leite AM, Chagas JC (2009). Níveis críticos do Índice de Conforto Térmico para ovinos da raça Santa Inês

- criados a pasto no agreste do Estado de Pernambuco. *Acta Sci Anim Sci*; 31(2):167-175.
- Naqvi, S. M. K., V. P. Maurya, R. Gulyani, A. Joshi, and J. P. Mittal. (2004). The effect of thermal stress on superovulatory response and embryo production in Bharat Merino ewes. *Small Rum. Res.* 55:57–63.
- Nienaber JA, Hahn GL (2007). Livestock production system management responses to thermal challenges. *International Journal of Biometeorology* 52:149–157.
- Nikitchenko I.N., Plyaschenko S.I., Zenkov A.C. (1988). Stresses and productivity of farm animals. Urajai Publishing House, Minsk, 200 pp.
- Padua, J. T.; Dasilva, R. G.; Bottcher, R. W.; Hoff, S. J., (1997). Effect of high environmental temperature on weight gain and food intake of Suffolk lambs reared in a tropical environment. *Proceedings of 5th International Symposium. Bloomington, Minnesota, USA*, pp. 809–815.
- Paul, C., Murray, A. A., Spears, N. Saunders, P. T. (2008). A single, mild, transient scrotal heat stress causes DNA damage, subfertility and impairs formation of blastocysts in mice. *Reproduction* 136, 73–84. (doi:10.1530/REP-08-0036)

- Paul, C., Teng, S. Saunders, P. T. (2009). A single, mild, transient scrotal heat stress causes hypoxia and oxidative stress in mouse testes, which induces germ cell death. *Biol. Reprod.* 80, 913–919.
- Pérez-Crespo, M., Pintado, B. Gutierrez-Adán, A. (2008). Scrotal heat stress effects on sperm viability, sperm DNA integrity, and the offspring sex ratio in mice. *Mol. Reprod. Dev.* 75, 40–47. (doi:10.1002/mrd.20759)
- Reynolds C, Crompton L, Mills J (2010). Livestock and climate change impacts in the developing world. *Outlook Agriculture* 39:245–248.
- Ross TT, Goode L, Linnerud AC (1985). Effects of high ambient temperature on respiration rate, rectal temperature, fetal development and thyroid gland activity in tropical and temperate breeds of sheep. *Theriogenology*; 24(2):259-269.
- Roth, Z., and P. J. Hansen. (2004). Involvement of apoptosis in disruption of developmental competence of bovine oocytes by heat shock during maturation. *Biol. Reprod.* 71:1898–1906.
- Rout PK, Kaushik R, Ramachandran N (2016). Differential expression pattern of heat shock protein 70 gene in tissues and heat stress phenotypes in goats during

peak heat stress period. Cell Stress Chaperon; 21(4):645-651.

Sailo L, Gupta ID, Das R, Chaudhari MV (2017). Physiological Response to Thermal Stress in Sahiwal and Karan Fries Cows. International Journal of Livestock Research 7:275-83.

Salama A.A.K., HamzaouiS., Caja G. (2012). Responses of dairy goats to heat stress and strategies to alleviate its effects. Proc. XI International Conference on Goats, Gran Canaria, Spain, 23–27.09.2012, p. 15.

Saxena VK, Kumar D, Naqvi SMK (2017). Molecular characterization of GPR50 gene and study of its comparative genetic variability in sheep breeds adapted to different thermo-contrasting climatic regimens. Int J Biometeorol;61(4):701-707.

Schaefer A.L., Jones S.D., Stanley R.W. (1997). The use of electrolyte solutions for reducing transport stress. J. Anim. Sci., 75: 258–265.

Sejian V, Bhatta R, Gaughan J, Malik PK, Naqvi SMK, Lal R. (2017). Adapting sheep production to climate change. In: Sheep production adapting to climate change. Singapore: Springer Singapore: 1-29.

- Setchell, B. P. (1998). The Parkes Lecture. Heat and the testis. *J. Reprod. Fertil.* 114, 179–194. (doi:10.1530/jrf.0.1140179)
- Sharma R, Singh PK, Maitra A, Pandey AK, Mukesh M, Singh SR, Singh B (2013). Molecular characterization, body parameters and management practices of Purnea cattle. *Indian Journal of Animal Science* 83:536–541.
- Shebaita M.K., El-Banna I.M. (1982). Heat load and heat dissipation in sheep and goats under environmental heat stress. *Proc. VI International Conference on Animal and Poultry Production, University of Zagazig, Zagazig, Egypt, 21–23.09.1982*, pp. 459–469.
- Shinde AK, Sejian V. (2013). Sheep husbandry under changing climate scenario in India: An overview. *Indian J Anim Sci*; 83(10):998-1008.
- Silanikove N. (2000). Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livest. Prod. Sci.*, 67: 1–18.
- Silanikove N., Koluman N. (2015). Impact of climate change on the dairy industry in températe zones: predications on the overall negative impact and on the positive role of dairy goats in adaptation to earth warming. *Small Rumin. Res.*, 123: 27–34.

- Smith SM, Vale WW (2006). The role of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis in neuroendocrine responses to stress. *Dialogues Clin Neurosci*; 8(4):383-395.
- Smith, AJ. Environmental physiology. *Notas de la Maestría en Ciencia animal Tropical*, Edimburgo, Escocia s/a.
- Sohail, M. U.; Ijaz, A.; Yousaf, M. S.; Ashraf, K.; Zareb, H.; Aleem, M.; Rehman, H., (2010). Alleviation of cycle heat stress in broilers by dietary supplementation of mannan-oligosaccharide and lactobacillus-based probiotic: dynamic of cortisol, thyroid hormones, cholesterol, creactive protein and humoral immunity. *Poultry Science* 89, 1934–1938.
- Sprott LR, Selk GE, Adams DC (2001). Factors affecting decisions on when to calve beef females. *The Professional Animal Scientist* 17:238-246.
- Tabarez-Rojas A, Porras-Almeraya A, Vaquera-Huerta H, Hernández-Ignacio J, Valencia J, Rojas-Maya S, (2009). Desarrollo embrionario en ovejas pelibuey y suffolk en condiciones de estrés calórico. *Agrociencia*; 43(7):671-680.
- Thornton PK (2010). Livestock production: recent trends, future prospects. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 365:2853-2867.

Tsigos C, Chrousos GP (2002). Hypothalamic–pituitary–adrenal axis, neuroendocrine factors and stress. *J Psychosom Res*; 53(4):865-871.

West JW, Mullinix BG, Bernard JK. (2003). Effects of hot, humid weather on milk temperature, dry matter intake, and milk yield of lactating dairy cows. *J Dairy Sci*; 86:232-242.