

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO**

**UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL**



**Presencia Del Gen Slick Como Ventaja Del Ganado  
Holstein Hacia El Estrés Calorico**

**POR**

**Brenda Lizeth Aguilera Rodríguez**

**MONOGRAFIA**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OBTENER EL TÍTULO DE:**

**MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

**TORREÓN, COAHUILA**

**Mayo 2023**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS MÉDICO VETERINARIAS

Presencia Del Gen Slick Como Ventaja Del Ganado  
Holstein Hacia El Estrés Calorico

Por:


Brenda Lizeth Aguilera Rodríguez


MONOGRAFIA

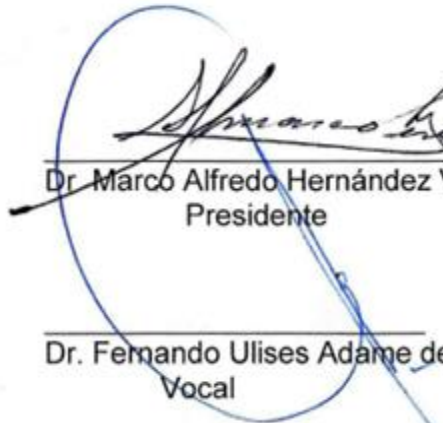
Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial  
para obtener el título de:


MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA


Aprobada por:

  
Dr. Marco Alfredo Hernández Vera  
Presidente

  
Dr. Rafael Rodríguez Martínez  
Vocal

  
Dr. Fernando Ulises Adame de León  
Vocal

  
MVZ. César Octavio Cruz Marmolejo  
Vocal Suplente

  
MC. JOSÉ LUIS FCO. SANDOVAL ELÍAS  
Coordinador de la División Regional de Ciencia Animal



Torreón, Coahuila, México  
Mayo 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS MÉDICO VETERINARIAS

**Presencia Del Gen Slick Como Ventaja Del Ganado  
Holstein Hacia El Estrés Calorico**

Por:


**Brenda Lizeth Aguilera Rodríguez**

MONOGRAFIA

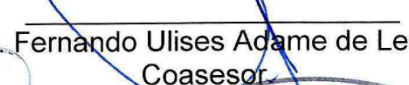
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

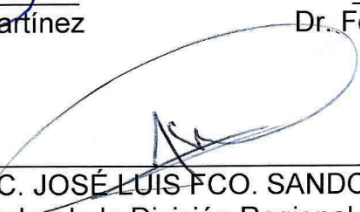
**MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

Aprobada por el Comité de Asesoría:

  
Dr. Marco Alfredo Hernández Vera  
Asesor principal

  
Dr. Rafael Rodríguez Martínez  
Coasesor

  
Dr. Fernando Ulises Adame de León  
Coasesor

  
MC. JOSÉ LUIS FCO. SANDOVAL ELÍAS  
Coordinador de la División Regional de Ciencia Animal



Torreón, Coahuila, México  
Mayo 2023

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Dr. Marco Alfredo Hernández Vera.

Al Ingeniero Antonio Dávila.

## **DEDICATORIA**

A mis papás Fernando y Antonieta, por su apoyo incondicional durante mi carrera.

A mi hermana Lupita por motivarme a perseguir mis metas.

A mis mejores amigos Ronaldo y Carla.

## INDICE

AGRADECIMIENTOS .....	I
DEDICATORIA.....	II
I.- RESUMEN.....	IV
I.- INTRODUCCIÓN .....	1
II.- REVISION DE LITERATURA.....	2
2.1 ESTRÉS CALÓRICO .....	2
2.2 PROCESOS REPRODUCTIVOS.....	3
2.3 ALTERNATIVAS PARA REDUCIR EL ESTRÉS CALÓRICO .....	6
2.4 CONDICIONES GENÉTICAS QUE INFLUYEN EN LA PRODUCCIÓN .....	8
2.5. GEN SLICK .....	9
III.- PRUEBAS DE CAMPO.....	11
IV.- CONCLUSIONES.....	12
V.- ANEXOS.....	13
V.- LITERATURA CONSULTADA.....	19

## **I.- RESUMEN**

El estrés calórico es el resultado de un desequilibrio en la producción de calor metabólico dentro del cuerpo, ocasionado por la exposición a un ambiente de altas temperaturas y alta humedad relativa. Esto representa un impacto negativo en la producción y reproducción de los animales, y por ende, consecuencias económicas para el ganadero.

Las consecuencias reproductivas pueden ir desde disminución en la secreción de las hormonas reproductoras, hasta malformaciones en los espermatozoides para los machos. Y, muerte embrionaria, y una disminución en el desarrollo fetal en las hembras.

Es por esto que se han ido buscando alternativas para minimizar los daños producidos por el estrés calórico, que van desde una modificación en el medio ambiente donde el ganado habita, hasta cambios en su alimentación. Se ha demostrado que ofreciendo mayores superficies de sombra por animal, sistemas de enfriamiento evaporativo, porcentajes específicos de proteína y grasa en la ración, dan como resultado una mayor conversión del alimento en leche, en los meses más calurosos del año, como lo son Julio y Agosto.

A pesar de que estas alternativas disminuyen en parte el impacto del estrés calórico, se deben buscar opciones que funcionen más a largo plazo. Respecto a esto, existe una variedad de condiciones genéticas que influyen en la producción, de manera positiva o negativa. Existen las controladas por un solo gen, llamadas monogénicas o cualitativas, y las controladas por varios genes, llamadas poligénicas o cuantitativas.

Los polimorfismos de nucleótido único (SNPs), son variantes en la secuencia de ADN, que afectan a una sola de las bases, y pueden estar relacionados con la expresión de un rasgo o característica en el ganado.

Otras mutaciones en el gen receptor de la prolactina (PRLR), también han sido identificadas, y reporta Thomas Olson en su escrito "Evidence of a major gene influencing hair length and heat tolerance in *Bos taurus* cattle", que cualquiera que esta sea, están relacionadas con una mayor producción de leche durante el verano.

También se menciona la existencia de un gen importante, que influye en las características y el color del pelo, y que además, también está relacionado con la tolerancia al calor en Bos Taurus.

Se refiere al Gen SLICK. Alelo dominante heredado, ubicado en el cromosoma 20, asociado con el ganado de ascendencia criolla, que se reportó por primera vez en las razas Carora, Romosinuano, y Blanco Orejinegro, luego de qué, con la conquista española, el ganado tuvo que ser trasladado desde la península Ibérica a América, donde el clima era mucho más cálido y húmedo de lo que el ganado acostumbraba, a partir de este contraste, se vieron orillados a desarrollar estructuras a nivel genético para poder adaptarse a sus nuevas condiciones climáticas. Después, fue identificado también en la raza Senepol, originaria de la Isla Caribeña de Santa Cruz en EE. UU, y posteriormente en la raza Holstein y otras razas criollas.

Existen diversos estudios que demuestran que los animales que cuentan con la presencia del Alelo SLICK, son capaces de regular mejor su temperatura corporal, adaptándose así a condiciones de altas temperaturas, y al mismo tiempo mantienen los estándares de producción y reproducción, en comparación con quienes no poseen el alelo.

**Palabras clave:** Estrés calórico, Gen SLICK, Evolución convergente, Termorregulación, Bos Taurus



## I.- INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años se han ido buscando alternativas para mejorar la producción de leche y la reproducción del ganado bovino, buscando minimizar los efectos del estrés por calor.

Un desequilibrio en la producción de calor metabólico dentro del cuerpo, junto con una exposición a condiciones de altas temperaturas, combinadas con una alta humedad relativa, ocasiona un incremento en la carga calórica del animal, dando como resultado el estrés calórico o estrés por calor.

El estrés calórico afecta no solo la salud, sino también la producción de leche y la eficiencia reproductiva del ganado. Y con el calentamiento global del planeta, esto ha sido más preocupante. De ahí el buscar alternativas y contar con métodos que reduzcan el impacto en la producción y la reproducción de los animales, con respecto a esto, el Dr. Hansen, de la Universidad de Florida en EE. UU., ha identificado y utilizado una mutación natural, presente en razas como Carora, Romosinuano, Blanco Orejinegro y Castaño con Cuernos, para luego ser identificado también en la raza Senepol, originaria de la Isla caribeña de St. Croix o Santa Cruz (Islas Vírgenes), y posteriormente, en la raza Holstein y otras razas criollas. Esta mutación se encuentra en el gen regulador (PRLR) que codifica la proteína de la prolactina. Se le ha nombrado a este gen como "slick", **el alelo slick es dominante**, lo que significa que sólo se necesita de un progenitor con este gen para que el fenotipo se exprese en una cría que resulte de otro bovino que no tenga el gen. Esta mutación puede ser identificada fenotípicamente, ya que los animales que poseen el alelo, tienden a presentar un pelaje más corto, liso y delgado. Además de que son capaces de regular mejor su temperatura corporal, y presentan una mayor tasa de sudoración debido a su pelaje más corto. Mientras que al mismo tiempo mantienen los estándares de producción, reproducción, y resistencia a enfermedades. Sobre todo, cuando se trata de vacas lactantes, quienes suelen ser las más susceptibles al estrés por calor comparadas con las vacas secas, o las novillas en crecimiento, esto debido a la exigencia metabólica asociada con la producción de leche.

## II.- REVISION DE LITERATURA

### 2.1 Estrés calórico

El estrés calórico es considerado como uno de los principales factores que afectan el desempeño productivo del ganado lechero. Las altas temperaturas en los meses de verano, combinadas con niveles altos de Humedad Relativa (HR), son los que tienen los efectos adversos al desempeño reproductivo. (Dash et al., 2016).

El estrés es una reacción refleja de los animales en ambientes hostiles, y provoca consecuencias desfavorables que van desde la incomodidad hasta la muerte (Das et al., 2016). El estrés por calor puede tener un gran efecto en la mayoría de los aspectos de las funciones vitales y reproductivas. (Hansen, 2009).

El panel intergubernamental sobre el cambio climático (IPCC), reportó que la temperatura de la tierra incrementa 0.2° C por década, y también predijo que para 2100, la temperatura media global de la superficie, incrementaría de 1.4 a 5.8°C (Das et al., 2016).

Los efectos del estrés calórico en el ganado son el resultado de la hipertermia que se asocia con el estrés por calor; y de los ajustes fisiológicos realizados por el animal estresado para regular la temperatura corporal. La adaptación genética al estrés por calor es posible tanto con respecto a la regulación de la temperatura corporal como a la resistencia celular a la temperatura elevada.

La evaluación de los posibles impactos directos del cambio climático en la reproducción indica que existe una tendencia creciente en la incidencia del estro silencioso, la disminución de la actividad reproductiva y la concepción, debido al aumento de la temperatura del aire durante el verano (Hansen, 2009).

El estrés por calor en los bovinos puede provocar interrupciones en los procesos reproductivos a través de dos mecanismos generales. (Carmickle et al., 2022).

Primero, los cambios homocinéticos para regular la temperatura corporal que comprometen la función reproductora; ejemplo: la redistribución del flujo sanguíneo desde el centro del cuerpo hacia la periferia para aumentar la pérdida

de calor sensible. El segundo mecanismo de control homocinético de la temperatura corporal es la reducción del consumo de materia seca durante el estrés por calor. (Hansen, 2009).

Las consecuencias del estrés por calor, se pueden ir identificando por los diferentes cambios en los componentes específicos en el proceso reproductivo en los mamíferos. La mayoría de los trabajos de estrés calórico han sido en animales de granja, esto debido a las consecuencias económicas del estrés por calor en los sistemas ganaderos (Das et al., 2016). Sin embargo, es de resaltar la plasticidad genética de los mamíferos con respecto a la adaptación a los cambios en el ambiente térmico. Estas ventajas evolutivas para mantener una temperatura corporal alta constante en presencia de temperaturas de ambiental variable y la efectividad de los mecanismos termorreguladores para mantener esa temperatura corporal, les han dado la capacidad de adaptación durante escalas de tiempo tanto fisiológicas como evolutivas.

## **2.2 Procesos reproductivos**

Los mamíferos como endotermos, ocupan gran parte de la superficie de la tierra debido a que han podido evolucionar para mantener su temperatura corporal constante, aún en presencia de temperaturas ambientales variables. (Bennett, 1991), (Jr et al., 2010).

Esta capacidad de termorregulación de la mayoría de los mamíferos les da una oportunidad en su capacidad reproductiva, ya que, al termo regular su temperatura corporal se tiene mejor viabilidad en sus gametos, sobre todo en los masculinos. En estos animales los testículos, donde se da la producción de gametos masculinos (espermatogénesis) se encuentran suspendidos en un saco llamado escroto (Nabors, 2021). Este escroto permite que los testículos se encuentren fuera de la cavidad corporal, de tal manera que la temperatura intratesticular sea ligeramente inferior a la del resto del cuerpo. Este intercambio en la termorregulación se lleva a cabo mediante un plexo arteriovenoso llamado plexo pampiniforme. [\(Figura 1\).](#)

El calor es disipado en contracorriente de la sangre caliente que entra en los testículos y la sangre fría que sale de los testículos a través de del plexo arteriovenoso. El grado de enfriamiento es controlado por dos músculos; la túnica dartos en el escroto, que regula el área de la superficie escrotal y el músculo cremáster, que controla la posición del escroto en relación con el cuerpo. (Fayrer-Hosken, 1997).

Se especula que la evolución del escroto, ocurrió debido a la necesidad de temperaturas más bajas para la espermatogénesis y el almacenamiento de espermatozoides (Werdelin & Nilsonne, 1999).

El estrés por calor o estrés calórico en los animales, se asocia a una reducción de la fertilidad, esto debido a su impacto perjudicial en la maduración de los ovocitos (Dash et al., 2016).

El aumento en la temperatura corporal en los mamíferos que tienen los testículos externos, ocasiona una mayor proporción de espermatozoides morfológicamente anormales en el eyaculado, una reducción en la producción, y una disminución en la motilidad de los mismos. (Hansen, 2009).

Por otro lado, en las hembras el estrés por calor afecta a la función y el desarrollo del ovulo, evidencia encontrada en vacas lecheras lactantes. En la vaca, que es particularmente sensible al estrés por calor debido a las demandas metabólicas de la lactancia, la competencia de los ovocitos para la fertilización y el posterior desarrollo, se reduce durante las épocas del año asociadas con el estrés por calor. Uno de los efectos del estrés por calor, es que afecta a la función folicular, al implicar cambios a nivel del folículo o en la secreción de hormonas hipofisarias que son quienes controlan el desarrollo del folículo. (Roth et al., 2000)

Las altas temperaturas del aire, diez días antes del celo, se asocian con una baja fertilidad (Al-Katanani et al., 1999). De la misma forma, el estrés por calor puede alterar la secreción de esteroides, y la expresión genética.

En un estudio donde la respuesta folicular a la LH, fue medida por la liberación de estradiol después de una inyección de la hormona liberadora de gonadotropina, esta se redujo por el estrés por calor en cabras. El estrés por calor puede reducir la secreción de LH. Una de las consecuencias del estrés por

calor en las vacas lecheras lactantes es el aumento del número de folículos pequeños y medianos; El reclutamiento de estos folículos en la reserva de crecimiento parece deberse a una disminución de las concentraciones circulantes de inhibina y al aumento de la secreción de FSH. Por otro lado, el embrión antes de la implantación es susceptible al estrés por calor materno, pero la susceptibilidad disminuye a medida que avanza el desarrollo. (Hansen, 2009). En el ganado, por ejemplo, se ha encontrado que la exposición de las vacas lactantes al estrés por calor en el día 1 después del estro, cuando los embriones eran de una a dos células, se redujo la proporción de embriones de una a dos células, además se redujo la proporción de embriones que se desarrollaron a la etapa de blastocisto el día 8 después del celo. Sin embargo, el estrés por calor en los días 3 y 7 no tuvo efecto en la proporción de embriones que eran blastocistos en el día 8. Este patrón similar de desarrollo de adquisición de resistencia térmica se ha visto en ovejas y cerdos. (Tompkins et al., 2018).

Los efectos adversos del choque térmico en los embriones cultivados también se reducen a medida que avanzan en su desarrollo, al menos en la vaca. Por el contrario, la sensibilidad a temperaturas de cultivo elevadas entre embriones de ratón en las etapas de desarrollo de dos células, cuatro células y mórula, no se ven afectados. Durante la gestación, el estrés calórico puede ocasionar una reducción en el crecimiento fetal (Wallace et al., 2005). Algunos de los efectos del estrés calórico respecto a la función placentaria, son la redistribución de la sangre a la periferia y una reducción en la perfusión del lecho vascular placentario, siendo estas una de las causas de la reducción del peso fetal.

La capacidad de transporte de glucosa a través de la placenta también se ve reducida cuando la vaca gestante se encuentra bajo condiciones de estrés térmico. Y este, tiene probablemente más efectos durante la mitad de la gestación que al final de la misma, según (Thureen et al., 1992).

(Graham et al., 1998), informan que la hipertermia durante la gestación, aumenta la incidencia de teratologías.

### **2.3 Alternativas para reducir el estrés calórico**

Se han desarrollado algunas técnicas para reducir el estrés calórico en los animales. Dentro de los enfoques más comunes, está la modificación del medio ambiente donde el ganado habita. Respecto a esto, las instalaciones han sido las que más se han estudiado, ofreciendo mayores superficies de sombra por animal, disponibilidad de agua de bebida fresca, proporcionando sistemas de enfriamiento evaporativo, así como movimientos de aire forzado o natural. De igual forma, la provisión de un sistema de enfriamiento por evaporación en el galpón o en la sombra, con agua en forma de niebla o aspersor con movimientos similares al del aire natural, y estanques de enfriamiento, dan como resultado animal con una mayor conversión del alimento en leche. (Das et al., 2016).

Todas estas alternativas están dadas para ofrecer un microclima al animal, para así contribuir con los mecanismos de disipación del calor para disminuir los efectos del estrés por calor.

Dentro de los métodos más simples se encuentra el proporcionar sombra a los animales incluso en animales al aire libre, donde los árboles juegan un papel importante.

Por otro lado, se ha trabajado en el aspecto nutricional del ganado. Estas modificaciones han contribuido a mantener su homeostasis y prevenir deficiencias nutricionales debido a la reducción en el consumo de materia seca durante el estrés calórico.

Se han buscado raciones que cuenten con un 17 o 21% de fibra detergente ácida, más un aumento del contenido de la grasa de la ración, para mejorar la eficiencia en la producción de leche. (West, 2003).

Una ración con menos cantidad de fibra durante el clima cálido se asocia a una menor producción de calor en el rumen, el patrón de fermentación favorece la producción de propionato ruminal siendo una fuente de energía disponible para el animal. Por otro lado, el daño oxidativo que pudiera ocasionar el estrés calórico puede ser minimizado con la suplementación de vitaminas A, C, E, y minerales como el Zinc. (Das et al., 2016).

Para eliminar las sustancias oxido reductoras (ROS) durante el estrés oxidativo, la Vit E actúa como inhibidor de la peroxidación de lípidos. El ácido ascórbico también previene la peroxidación a nivel de los radicales peroxilo de los lípidos. Por otro lado, la Vit C ayuda a la absorción del ácido fólico. El Zinc a eliminar las ROS durante el estrés oxidativo. (Das et al., 2016).

La utilización de levaduras en las raciones del ganado, contribuye a una mayor digestibilidad de los nutrientes, disminución de la producción de amoniaco ruminal y un incremento en la población microbiana del rumen, lo cual es benéfico en la nutrición y producción de los pequeños rumiantes (Stella et al., 2007).

Todos los avances anteriores, que incluyen modificaciones en el medio ambiente y el aspecto nutricional han reducido en parte el impacto del estrés calórico durante las estaciones del año más cálidas. Sin embargo, se deben desarrollar estrategias a largo plazo para la adaptación al cambio climático. Las tolerancias que se tienen en las diferentes razas son una herramienta desde el punto de vista genético que puede ser aprovechada. Como el ganado con pelo más corto, y el ganado con un color más claro de pelaje que se han ido adaptando a climas más cálidos. Este fenotipo ha sido identificado en ganado *Bos Taurus tropical*, es un gen dominante asociado con una mayor tasa de sudoración.

## 2.4 Condiciones genéticas que influyen en la producción

Existe una gran variedad de condiciones genéticas, que tienen influencias directas en el ganado productor de leche y de carne. Dichas influencias pueden ser positivas o negativas.

Algunas de ellas son controladas por un solo gen, a esto se le conoce como monogénicos o cualitativos, mientras que otros son controlados por varios genes y son llamados poligénicos o cuantitativos. (Casas & Kehrli, 2016). El 87% de los rasgos cualitativos, se heredan recesivamente.

Los polimorfismos de nucleótido único, (SNP), son variantes en la secuencia de ADN, que pueden estar asociados con la expresión de una característica o rasgo en el ganado. Los asociados a los rasgos productivos se han identificado tanto en ganado lechero como de carne.

Existe una extensa lista de condiciones genéticas, y genes que han sido identificados y asociados tanto a la productividad, [\(Figura 2\)](#), como a rasgos relacionados con la salud y el desempeño de los animales, algunas de ellas producidas por diferentes variantes en la secuencia de ADN. (Casas & Kehrli, 2016)

Las diferentes estrategias de cría, como son la introgresión y la selección artificial han dado como resultado numerosos fenotipos deseables y por ende, un rendimiento superior (Zhang et al., 2018).

Se han identificado otras mutaciones en el gen receptor de la prolactina PRLR, y se reporta que animales que poseen cualquiera de estas mutaciones, suelen tener una producción de leche más alta durante el verano (Carmickle et al., 2022).

Existe un gen de choque térmico relacionado con la termotolerancia que se ha identificado. Este gen se ha usado como marcador en la selección asistida por marcadores genéticos para desarrollar toros termo tolerantes que se usan en programas de mejoramiento. Las principales familias de proteínas de estrés calórico (Hsp), son Hsp 100, Hsp 90, Hsp 70, Hsp 60, Hsp 40 y las Hsp pequeñas. Las Hsp tienen un papel fundamental en el descubrimiento de células del estrés y en la cito protección, así como en la protección de las células contra agresiones posteriores. (Hightower, 1991), (Rossi et al., 2002).



## 2.5. Gen Slick

Hace 500 años, el ganado de la península ibérica, fue introducido por primera vez en América, dichos animales fueron trasladados desde un ambiente que era principalmente templado, a los trópicos, donde el clima era mucho más cálido y húmedo de lo que estos acostumbraban. Dicho contraste, fue el principal motivo por el cual el ganado tuvo que adaptarse a las nuevas condiciones climáticas. (Porto-Neto et al., 2018).

A lo descrito anteriormente, se le conoce como “evolución convergente”, fenómeno que ocurre cuando el animal tiene que adaptarse a una condición, utilizando diferentes vías, genes o mutaciones. Aunque no siempre es posible definir si esto ocurre por el cambio en un gen, o en varios.

Por ejemplo, cuando un animal se ve orillado a adaptarse a condiciones climáticas extremadamente frías, desarrollan capas de grasa más gruesas y pelaje más largo, en contraste a esto, cuando un animal tiene que adaptarse a condiciones de altas temperaturas, suelen tener abrigos más cortos y la grasa restringida a lugares específicos del cuerpo. (Porto-Neto et al., 2018). Un ejemplo claro de esto es el ganado Bos Taurus comparado con el ganado Bos Indicus.

Una de las estrategias para reducir los efectos del estrés al calor en el ganado lechero, es realizar una selección genética para aumentar la termotolerancia. Se ha reportado que en el ganado Holstein, existe una variación genética a la termorregulación. Y esta variación genética se ha identificado SNP específicos hasta la fecha.

El gen Slick, es un gen dominante heredado, asociado con el ganado de ascendencia criolla, y tropicalmente adaptado (Huson et al., 2014). Éste gen, confiere a los animales un fenotipo de pelaje corto, liso, y con una menor densidad de folículos en su pelaje. El lugar de este gen ha sido mapeado en el cromosoma 20 bovino. Dicha variante causal, está ubicada en el exón 11 del gen receptor de la prolactina (Porto-Neto et al., 2018).

En 2018, se reporta que este gen Slick, es una sola mutación en la prolactina, y en el gen receptor de la misma, existe un efecto genético de gran relevancia respecto a la longitud del pelo y las características de este.

Estos animales que poseen el haplotipo también experimentan temperaturas corporales más bajas, y una producción de leche superior, comparados con aquellos quienes no lo poseen. Al mismo tiempo que han mostrado una mayor tasa de sudoración térmica.

De acuerdo con (Sosa et al., 2022), durante un experimento se midió la temperatura rectal y frecuencia respiratoria de un grupo de animales, los resultados fueron temperaturas inferiores para quienes contaban con el alelo Slick, comparadas con las de tipo salvaje. [\(Figura 3\)](#).

(Porto-Neto et al., 2018) describió los estudios que confirmaron la capacidad termorreguladora en la raza Holstein, que la heredabilidad del haplotipo Slick reduce la depresión en la producción de leche durante el verano en vacas que son altas productoras.

Recientemente (Carmickle et al., 2022), en un estudio donde se evaluaron respuestas fisiológicas en terneros identificados como portadores del gen Slick bajo condiciones de estrés por calor en diferentes latitudes, encontraron que este alelo se asoció con temperaturas rectales más bajas en hembras tanto antes como después del destete. También demostró que el alelo Slick da como resultado temperaturas corporales más bajas en el ganado Holstein expuesto al calor subtropical en Florida EEUU, a diferencia de los de un clima más mediterráneo. Con lo anterior se afirma que la presencia del alelo Slick es más importante cuando el THI es alto, impulsado por la alta humedad ambiental.

### III.- PRUEBAS DE CAMPO

La comarca lagunera es una zona caracterizada por su clima desértico y de elevadas temperaturas, alcanzando hasta los 45.3°C en los días más calurosos del verano. Al mismo tiempo, Coahuila es el segundo estado del país con más producción de leche.

En un estudio de campo aún no publicado (2022), donde se visitaron dos diferentes establos de la región lagunera, con el objetivo de observar las características fenotípicas del ganado e identificar si alguna de las vacas lecheras raza Holstein, presentaban el fenotipo Slick.

Se observaron un total de 2433 vacas, donde la característica fenotípica fue vista en un 2.09% de las vacas [\(Figura 4\)](#). Este %, en un análisis preliminar no mostró diferencias significativas en cuanto a días abiertos, por lo que es importante para establecer si existe la presencia del gen, estudios posteriores para su identificación por medio de un análisis de PCR. Aunque sólo se evaluaron días abiertos y producción de leche, en cuanto a días abiertos estos fueron de 112.7 y 113, y los datos de producción de leche 37.5 y 36.24 litros/día para fenotipo Slick y no Slick respectivamente. [\(Figura 5\)](#).

#### **IV.- CONCLUSIONES**

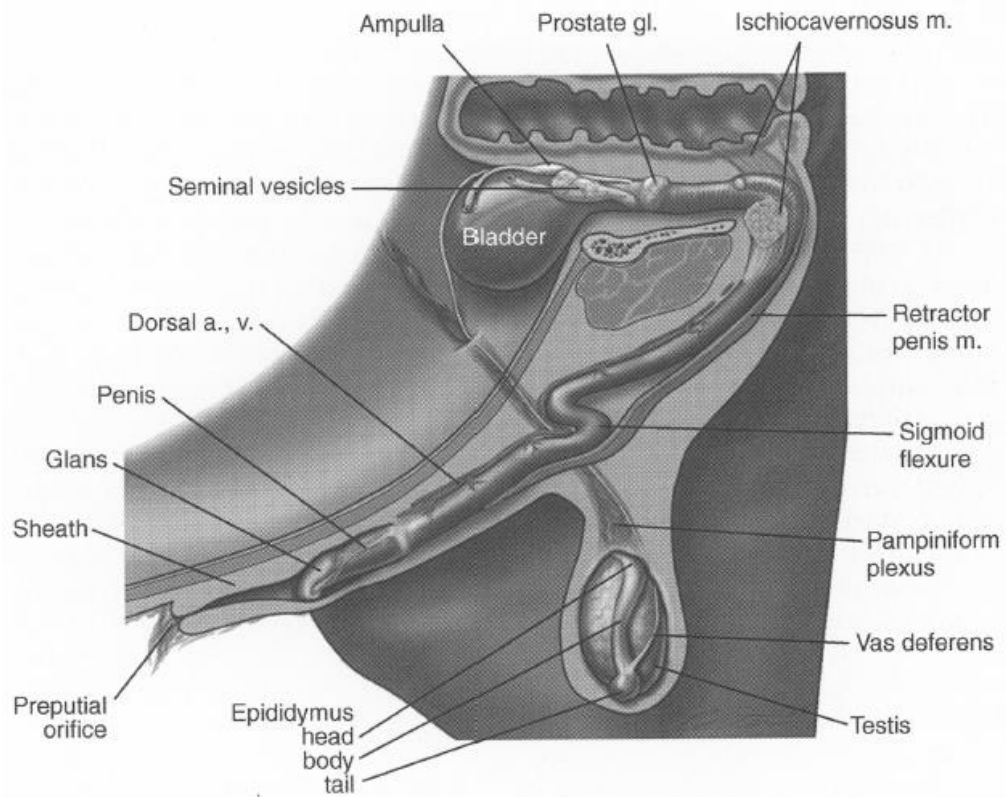
El cambio climático ha obligado a buscar alternativas para mejorar las condiciones de medio ambiente del ganado, proporcionándoles mayores superficies de sombra y cambios en su alimentación.

Otras alternativas han sido buscar por medio de la selección a la tolerancia al calor, identificando proteínas como las Hsp.

El gen Slick ha sido el resultado de una evolución convergente en ganado expuesto a temperaturas altas en el trópico, y que se ha seleccionado en ganado Holstein, ganado que tiene presencia del gen Slick ha manifestado mayor tolerancia al calor y una mejor eficiencia en su reproducción.

La información del presente trabajo es para ofrecer como alternativa el identificar fenotipos que estén relacionados con la tolerancia al calor, como lo es el gen Slick, para obtener por selección o cruzamientos animales más productivos en zonas donde el estrés por calor, sea un limitante.

## V.- ANEXOS



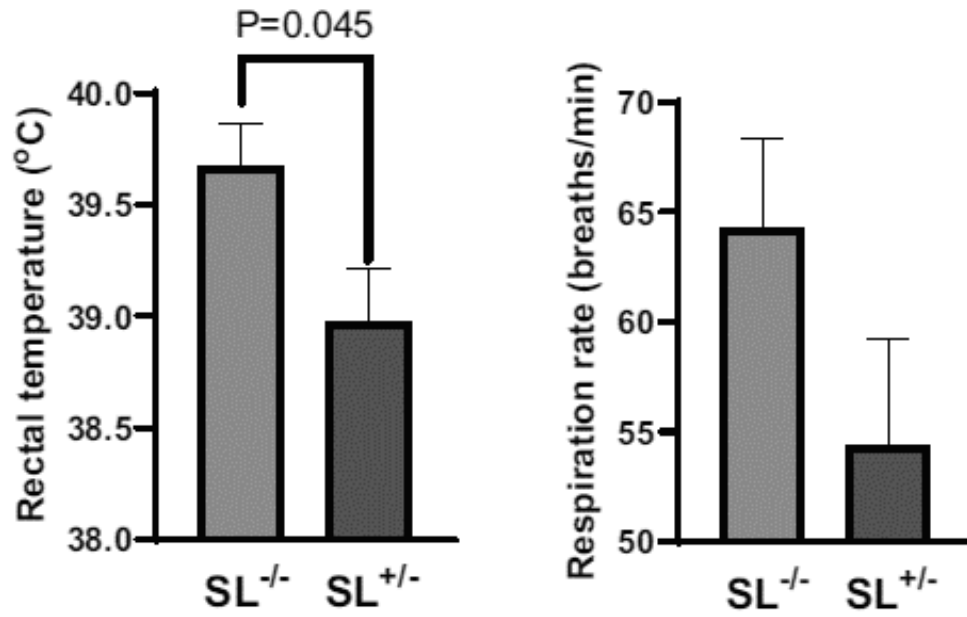
**Figura 1**

Anatomía del sistema reproductor del macho bovino, (Fayrer-Hosken, 1997).

CONDICION	CROMOSOMA	LOCUS	GEN
Deficiencia de adhesión leucocitaria bovina	BTA 1	BLAD	CD18
Deficiencia de la uridina monofosfato sintasa	BTA 1	DUMPS	UMPS
Nefritis intersticial crónica bovina	BTA 1	CINF	PCLN1/CL16
Horn development	BTA 1	POLL	-
Miostamina	BTA 2	Mh	MSTN
Malformación vertebral compleja	BTA 3	CVM	SLC55AA3
Leptina	BTA 4	LEP	LEP
Osteopetrosis	BTA 4	-	SCL4A2
Factor activador del péptido de apoptosis 1	BTA 5	HH1	APAF1
Dwarfismo concondrodisplásico	BTA 6	BCD	LBN
Calpastatina	BTA 7	CAST	CAST
Hernia umbilical	BTA 8	UH	-
Perdida embrionaria	BTA 8	-	SMC2
Lactoglobulina	BTA 11	LGB	LGB
Citrulinemia	BTA 11	ASS	ASS
Deficiencia de colesterol	BTA 11	HCD	APOB
Prions	BTA 13	PRNP	PRNP
Tiroglobulina	BTA 14	-	TG1
Diacilglicerol aciltransferasa	BTA 14	-	DGAT1
Sindactilia	BTA 15	Syndactyly	-
Enfermedad de la orina de jarabe de arce	BTA 19	MSUD	BCKDHA
Deficiencia de factor XI	BTA 27	-	FXI
SLICK HAIR	BTA 23	-	PRLR

**Figura 2**

Genes con efectos conocidos sobre la salud y el rendimiento del ganado, tabla tomada de (Casas & Kehrlí, 2016).



**Figura 3**

Diferencias entre temperatura rectal y frecuencia respiratoria entre Novillas Slick y no Slick, tomado del estudio de (Sosa et al, 2022).



**Figura 4**

Diferencia entre una vaca portadora de la característica fenotípica del alelo Slick, y una no portadora

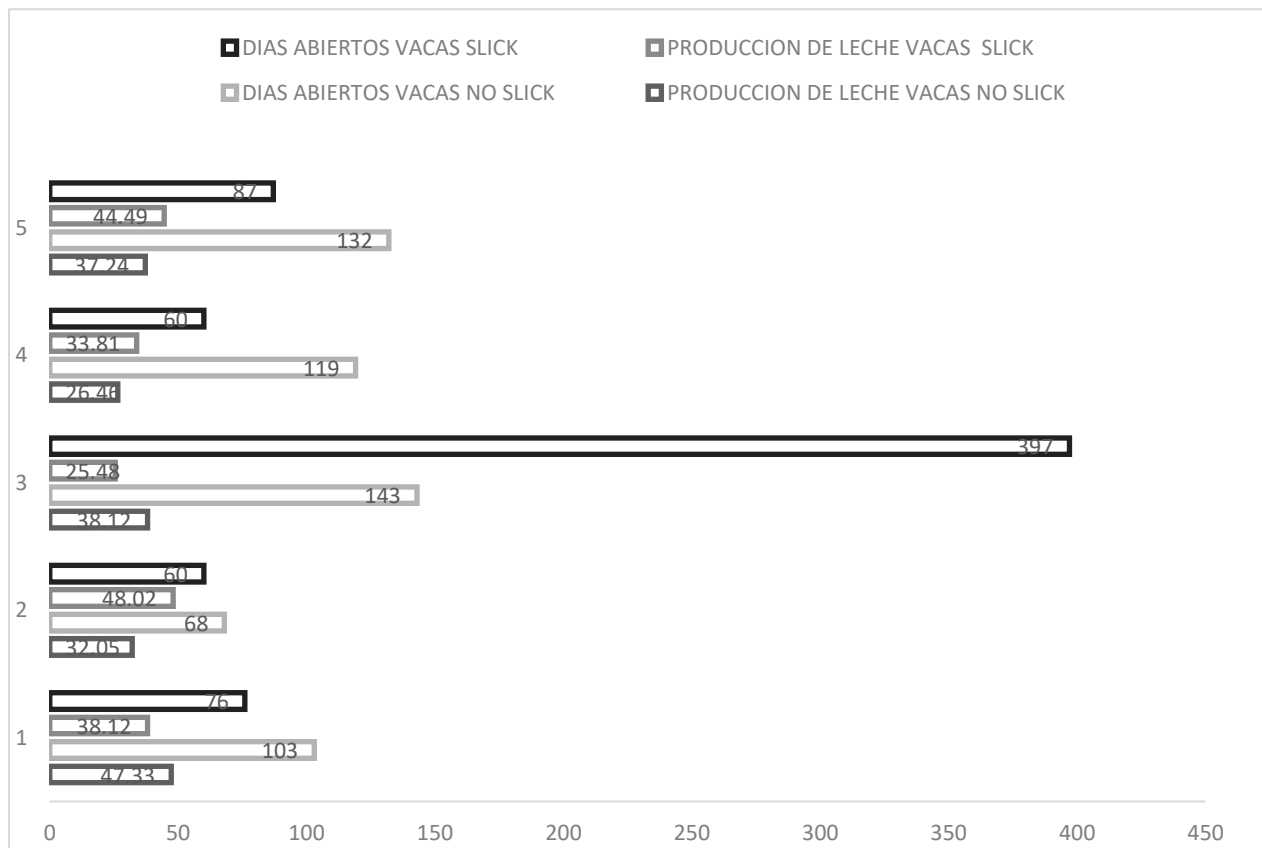


<b>PRODUCCION DE LECHE</b>	<b>DIAS ABIERTOS</b>
38.12	76
48.02	60
25.48	397
33.81	60
44.49	87

**Figura 5**  
 Datos de producción de vacas con fenotipo Slick

<b>PRDUCCION DE LECHE</b>	<b>DIAS ABIERTOS</b>
47.33	103
32.05	68
38.12	143
26.46	119
37.24	132

**Figura 6**  
 Datos de producción de vacas que no presentaban fenotipo Slick



**Figura 7**  
 Gráfico de comparación de Días abiertos y Producción de leche entre vacas con fenotipo Slick, y no Slick

## V.- LITERATURA CONSULTADA

- Al-Katanani, Y. M., Webb, D. W., & Hansen, P. J. (1999). Factors affecting seasonal variation in 90-day nonreturn rate to first service in lactating Holstein cows in a hot climate. *Journal of Dairy Science*, 82(12), 2611–2616. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75516-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75516-5)
- Badinga, L., Collier, R. J., Thatcher, W. W. & Wilcox, C. J. 1985 Effects of climatic and management factors on conception rate of dairy cattle in subtropical environment. *J. Dairy Sci.* 68, 78–85.
- Barros, C. M., Pegorer, M. F., Vasconcelos, J. L., Eberhardt, B. G. & Monteiro, F. M. 2006 Importance of sperm genotype (indicus versus taurus) for fertility and embryonic development at elevated temperatures. *Theriogenology* 65, 210–218. (doi:10.1016/j.theriogenology.2005.09.024)
- Bennett, A. F. (1991). The evolution of activity capacity. *The Journal of Experimental Biology*, 160, 1–23. <https://doi.org/10.1242/jeb.160.1.1>
- Carmickle, A. T., Larson, C. C., Hernandez, F. S., Pereira, J. M. V., Ferreira, F. C., Haimon, M. L. J., Jensen, L. M., Hansen, P. J., & Denicol, A. C. (2022). Physiological responses of Holstein calves and heifers carrying the SLICK1 allele to heat stress in California and Florida dairy farms. *Journal of Dairy Science*, 105. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22177>
- Casas, E., & Kehrl, M. E. (2016). A review of selected genes with known effects on performance and health of cattle. *Frontiers in Veterinary Science*, 3(DEC), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fvets.2016.00113>
- Collier, R. J., Doelger, S. G., Head, H. H., Thatcher, W. W. & Wilcox, C. J. 1982 Effects of heat stress during pregnancy on maternal hormone concentrations, calf birth weight and postpartum milk yield of Holstein cows. *J. Anim. Sci.* 54, 309–319.
- Das, R., Sailo, L., Verma, N., Bharti, P., Saikia, J., Imtiwati, & Kumar, R. (2016). Impact of heat stress on health and performance of dairy animals: A review. In *Veterinary World* (Vol. 9, Issue 3, pp. 260–268). *Veterinary World*.

<https://doi.org/10.14202/vetworld.2016.260-268>

- Dash, S., Chakravarty, A. K., Singh, A., Upadhyay, A., Singh, M., & Yousuf, S. (2016). Effect of heat stress on reproductive performances of dairy cattle and buffaloes: A review. *Veterinary World*, 9(3), 235–244. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2016.235-244>
- Dikmen, S., Alava, E., Pontes, E., Fear, J. M., Dikmen, B. Y., Olson, T. A. & Hansen, P. J. 2008 Differences in thermoregulatory ability between slick-haired and wild-type lactating Holstein cows in response to acute heat stress. *J. Dairy Sci.* 91, 3395–3402. (doi:10.3168/jds.2008-1072)
- Ealy, A. D., Drost, M. & Hansen, P. J. 1993 Developmental changes in embryonic resistance to adverse effects of maternal heat stress in cows. *J. Dairy Sci.* 76, 2899–2905.
- Edwards, J. L. & Hansen, P. J. 1997 Differential responses of bovine oocytes and preimplantation embryos to heat shock. *Mol. Reprod. Dev.* 46, 138–145. (doi:10.1002/(SICI)1098-2795(199702)46:2,138::AID-MRD4.3.0.CO;2-R)
- Fayrer-Hosken, R. (1997). Anatomy and physiology of the bull's reproductive system. *The Veterinary Clinics of North America. Food Animal Practice*, 13(2), 195–202. [https://doi.org/10.1016/S0749-0720\(15\)30335-2](https://doi.org/10.1016/S0749-0720(15)30335-2)
- Finch, V. A. 1986 Body temperature in beef cattle: its control and relevance to production in the tropics. *J. Anim. Sci.* 62, 531–542.
- Graham, J. M., Edwards, M. J., & Edwards, M. J. (1998). Teratogen update: Gestational effects of maternal hyperthermia due to febrile illnesses and resultant patterns of defects in humans. *Teratology*, 58(5), 209–221. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9926\(199811\)58:5<209::AID-TERA8>3.0.CO;2-Q](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9926(199811)58:5<209::AID-TERA8>3.0.CO;2-Q)
- Hammond, A. C., Olson, T. A., Chase Jr, C. C., Bowers, E. J., Randel, R. D., Murphy, C. N., Vogt, D. W. & Tewolde, A. 1996 Heat tolerance in two tropically adapted *Bos taurus* breeds, Senepol and Romosinuano, compared with Brahman, Angus, and Hereford cattle in Florida. *J. Anim. Sci.* 74, 295–303.
- Hansen, P. J. (2009). Effects of heat stress on mammalian reproduction. In *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* (Vol. 364, Issue 1534, pp. 3341–3350). Royal Society. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0131>

- Hansen, P. J. 2007 To be or not to be—determinants of embryonic survival following heat shock. *Theriogenology* 68(Suppl. 1), S40–S48.
- Hernandez-Ceron, J., Chase Jr, C. C. & Hansen, P. J. 2004 Differences in heat tolerance between preimplantation embryos from Brahman, Romosinuano, and Angus Breeds. *J. Dairy Sci.* 87, 53–58
- Hightower, L. E. (1991). Heat shock, stress proteins, chaperones, and proteotoxicity. *Cell*, 66(2), 191–197. [https://doi.org/10.1016/0092-8674\(91\)90611-2](https://doi.org/10.1016/0092-8674(91)90611-2)
- Huson, H. J., Kim, E. S., Godfrey, R. W., Olson, T. A., McClure, M. C., Chase, C. C., Rizzi, R., O'Brien, A. M. P., Van Tassell, C. P., Garcia, J. F., & Sonstegard, T. S. (2014). Genome-wide association study and ancestral origins of the slick-hair coat in tropically adapted cattle. *Frontiers in Genetics*, 5(APR). <https://doi.org/10.3389/fgene.2014.00101>
- Jr, M. J. A., Cooper, B. S., Schuler, M. S., & Boyles, J. G. (2010). *Table of contents 1*. 861–881.
- Li, Y., Zhou, Q., Hively, R., Yang, L., Small, C. & Griswold, M. D. 2009 Differential gene expression in the testes of different murine strains under normal and hyperthermic conditions. *J. Androl.* 30, 325–337.
- Nabors, B. (2021). Anatomy of the Reproductive System of the Cow. *Bovine Reproduction*, 253–257. <https://doi.org/10.1002/9781119602484.ch22>
- 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.
- Paula-Lopes, F. F. & Hansen, P. J. 2002b Apoptosis is an adaptive response in bovine preimplantation embryos that facilitates survival after heat shock. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 295, 37–42. (doi:10.1016/S0006-291X(02)00619-8).
- Paula-Lopes, F. F. et al. 2003 Genetic divergence in cellular resistance to heat shock in cattle: differences between breeds developed in temperate versus hot climates in responses of preimplantation embryos, reproductive tract tissues and lymphocytes

to increased culture temperatures. *Reproduction* 125, 285–294. (doi:10.1530/rep.0.1250285).

Perez-Crespo, M., Pintado, B. & Gutierrez-Ada'n, 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)

Porto-Neto, L. R., Bickhart, D. M., Landaeta-Hernandez, A. J., Utsunomiya, Y. T., Pagan, M., Jimenez, E., Hansen, P. J., Dikmen, S., Schroeder, S. G., Kim, E. S., Sun, J., Crespo, E., Amati, N., Cole, J. B., Null, D. J., Garcia, J. F., Reverter, A., Barendse, W., & Sonstegard, T. S. (2018). Convergent evolution of slick coat in cattle through truncation mutations in the prolactin receptor. *Frontiers in Genetics*, 9(FEB). <https://doi.org/10.3389/fgene.2018.00057>

Rossi, M. R., Somji, S., Garrett, S. H., Sens, M. A., Nath, J., & Sens, D. A. (2002). Expression of hsp 27, hsp 60, hsc 70, and hsp 70 stress response genes in cultured human urothelial cells (UROtsa) exposed to lethal and sublethal concentrations of sodium arsenite. *Environmental Health Perspectives*, 110(12), 1225–1232. <https://doi.org/10.1289/ehp.021101225>

Roth, Z., Meidan, R., & Wolfenson, D. (2000). *Immediate and delayed effects of heat stress on follicular development and its association with plasma FSH and inhibin concentration in cows.* 83–90.

Sosa, F., Santos, J. E. P., Rae, D. O., Larson, C. C., Macchietto, M., Abrahante, J. E., Amaral, T. F., Denicol, A. C., Sonstegard, T. S., & Hansen, P. J. (2022). Effects of the SLICK1 mutation in PRLR on regulation of core body temperature and global gene expression in liver in cattle. *Animal*, 16(5), 100523. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100523>

Stella, A. V., Paratte, R., Valnegri, L., Cigalino, G., Soncini, G., Chevaux, E., Dell'Orto, V., & Savoini, G. (2007). Effect of administration of live *Saccharomyces cerevisiae* on milk production, milk composition, blood metabolites, and faecal flora in early lactating dairy goats. *Small Ruminant Research*, 67(1), 7–13. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.08.024>

Thureen, P. J., Trembler, K. A., Meschia, G., Makowski, E. L., & Wilkening, R. B. (1992). Placental glucose transport in heat-induced fetal growth retardation. *American*

*Journal of Physiology - Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, 263(3 32-3). <https://doi.org/10.1152/ajpregu.1992.263.3.r578>

Tompkins, E. C., Heidenreich, C. J., & Stob, M. (2018). *EFFECT OF POST-BREEDING THERMAL STRESS ON EMBRYONIC MORTALITY IN SWINE*. *July*, 377–380.

Wallace, J. M., Regnault, T. R. H., Limesand, S. W., Hay, W. W., & Anthony, R. V. (2005). Investigating the causes of low birth weight in contrasting ovine paradigms. *Journal of Physiology*, 565(1), 19–26. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2004.082032>

Werdelin, L., & Nilsson, Å. (1999). The evolution of the scrotum and testicular descent in mammals: A phylogenetic view. *Journal of Theoretical Biology*, 196(1), 61–72. <https://doi.org/10.1006/jtbi.1998.0821>

West, J. W. (2003). Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 86(6), 2131–2144. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73803-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73803-X)

Zhang, Q., Calus, M. P. L., Bosse, M., Sahana, G., Lund, M. S., & Guldbandsen, B. (2018). Human-mediated Introgression of Haplotypes in a Modern Dairy Cattle Breed. *Genetics*, 209(4), 1305–1317. <https://doi.org/10.1534/genetics.118.301143>