

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
COMPLEJO REGIONAL CENTRO
SEDE LOS REYES DE JUÁREZ

**“COMPARACIÓN DE LA TEMPERATURA CORPORAL
POR MEDIO DE MEDIDAS TERMOGRÁFICAS
Y TERMÓGRAFOS INTESTINALES EN CERDOS
EN CONDICIONES DE ESTRÉS POR CALOR”**

TESIS PROFESIONAL

**Que para obtener el título de:
INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA**

Presentan:

**ANA FAVIOLA CASTRO ALVARADO
ABDIEL GERARDO GONZALEZ CRISOSTOMO**

**Director de tesis:
DR. GILBERTO CASTILLO LUNA**

PUEBLA, PUE 2022



AGRADECIMIENTOS

A la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla en especial a la carrera de Agronomía y Zootecnia por todos los conocimientos adquiridos a lo largo de este tiempo.

A nuestros maestros que nos brindaron todo el apoyo, amistad y sobre todo conocimientos durante el proceso de esta carrera. Agradecemos por darnos las bases y enseñanzas para formarnos como profesionistas.

A nuestro director de tesis Dr. Gilberto Castillo Luna, por apoyarnos en este trabajo, por su tiempo, por su disposición y sobre todo por confiar siempre en nosotros.

A la Universidad Autónoma de Baja California, en especial al Dr. Miguel Cervantes Ramírez por su amable recibimiento en su equipo de trabajo y por apoyarnos a realizar este trabajo en el instituto de ciencias agrícolas, por su tiempo, apoyo y sugerencias para este trabajo, junto con el equipo del ICA muchas gracias por el tiempo que nos recibieron y las enseñanzas que nos proporcionaron.

A la maestra Tania Gómez Hernández por su apoyo, su tiempo y dedicación, sus consejos y sus revisiones para la redacción de este trabajo.

Al maestro Bayron Pérez Bustillo por su amistad, sugerencias, el tiempo otorgado y el apoyo y motivación para la redacción de este trabajo.

A la maestra Verónica Sánchez Vázquez por su amistad, ayuda en la revisión y todas sus sugerencias en este documento, muchas gracias.

A nuestros compañeros de la carrera por acompañarnos en este tiempo de aprendizaje.

DEDICATORIAS

A Dios por darnos la sabiduría, la motivación, los ánimos y la fuerza para seguir nuestros sueños, por iluminar nuestro camino siempre que había un obstáculo, y elegir el camino correcto, por no abandonarnos a lo largo de este proceso, por dejarnos seguir adelante a los dos y así avanzar paso a paso sin desistir.

A nuestros padres Anabel Crisóstomo Cortina, Isidora Alvarado González, Federico Castro Luna y Alejandro González Campos por brindarnos todo su apoyo en este largo viaje que hemos emprendido, por nunca abandonarnos a pesar de los obstáculos, por llevarnos en el buen camino, gracias a ustedes hoy estamos terminando este viaje que inicio hace mucho tiempo, queremos dar todas las gracias y dedicarles esta tesis, ya que sin ustedes con sus consejos y con su apoyo no hubiera sido posible. Hoy gracias a ustedes somos unas personas de bien, somos lo que siempre hemos anhelado, esto es gracias a ustedes, nuestros padres.

A nuestra familia a ti Verónica Crisóstomo Cortina, porque a mí Gerardo estuviste en parte de este proceso, enseñándome y ayudándome para hacer bien las cosas mostrándome con el ejemplo.

A nuestros hermanos Montserrat, Brenda, Federico y Fatima por darnos momentos de felicidad.

A ti Abdiel Gerardo González Crisóstomo, por apoyarme en todo lo que necesité, por nunca dejarme sola, ayudarme a entender muchas cosas y acompañarme a lo largo de toda la carrera y sobre todo porque juntos hemos logrado mucho. Te amo.

A ti Ana Faviola Castro Alvarado, por estar conmigo tanto en los malos momentos como en los buenos, eres mi motivación porque gracias a tu compañía no me he rendido jamás, se que seguiremos adelante en este largo camino que nos espera juntos. Te amo.

A nuestros maestros porque sin sus enseñanzas esto no hubiera sido posible.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIAS	iii
CONTENIDO	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE CUADROS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	3
2.1 Producción porcina en México	3
2.2 Cambio climático en la ganadería	3
2.2.1 Cambio climático en la producción porcina.....	4
2.3 Estrés por calor	4
2.3.1 Constantes fisiológicas del cerdo.....	5
2.3.2 Variables ambientales.....	6
2.4 Estrés por calor en cerdos	7
2.4.1 Importancia al evaluar el estrés por calor en cerdos.....	8
2.5 Detección de temperatura corporal	9
2.5.1 Cámara termográfica	9

2.5.2 Termógrafos.....	10
III. JUSTIFICACIÓN.....	11
IV. HIPOTESIS	12
V. OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo general.....	13
2.2 Objetivos específicos	13
VI. MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
6.1 Ubicación	14
6.2 Características de los animales para el estudio.....	14
6.3 Procedimiento del experimento y recolección de datos.	14
6.4 Análisis Estadístico	17
VII. RESULTADOS.....	18
7.1 Temperatura ambiente.....	18
7.2 Temperatura corporal.....	18
VIII. DISCUSIÓN.....	23
IX. CONCLUSIONES.....	27
X. LITERATURA CITADA	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación vía satélite del Instituto de Ciencias Agrícolas (ICA)	14
Figura 2. Imagen térmica del abdomen de un cerdo que muestra la posición del punto de medición en el vientre.....	17
Figura 3. Temperatura ambiente registrada en la sala experimental con intervalos cada 15 minutos, donde cada punto equivale a la media de 684 datos registrados.	18
Figura 4. Diferencias en la temperatura corporal registradas con una cámara termográfica y un termógrafo implantado en el íleon terminal en cerdos expuestos al estrés por calor, después de la alimentación matutina.....	19
Figura 5. Diferencias en la temperatura corporal registradas con una cámara termográfica y un termógrafo implantado en el íleon terminal en cerdos expuestos al estrés por calor, después de la alimentación nocturna.....	20
Figura 6. Temperatura corporal registrada con la cámara termográfica y termógrafo intestinal durante la mañana, la tarde y en promedio de todo el día.	22

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Zona térmica neutra en cerdos en crecimiento ($^{\circ}$ C)..... 7

Cuadro 2. Valores medios de temperatura corporal, desviación estándar y coeficiente de correlación en cerdos HS registrados con el uso de una cámara termográfica o un termógrafo insertado en el íleon terminal. 21

RESUMEN

La medición de temperatura en cerdos es muy importante, ya que puede prevenir a los animales de alteraciones fisiológicas en condiciones ambientales donde las temperaturas rebasan el nivel de confort, provocando condiciones de estrés por calor, sin embargo, para esta medición se utilizan métodos invasivos los cuales pueden llegar a provocar infecciones en el animal y estrés, pudiendo afectar el bienestar del animal. Se realizaron dos ensayos al mismo tiempo para hacer una comparación del uso de la cámara termográfica y los termógrafos insertados a los cerdos, se utilizaron 10 cerdos (24.7 ± 2 kg PV) para los dos ensayos. Los animales se alimentaron a las 0700h de la mañana y a las 1900h de la noche, además de tener agua de libre acceso, la temperatura ambiente oscilo entre los 27.5°C y 42.5°C . Los 10 cerdos fueron canulados en el íleon terminal donde se insertó un termógrafo a cada uno, los termógrafos fueron calibrados y configurados para registrar la temperatura corporal (TC) con intervalos de cada cinco minutos. Las medidas de TC con la cámara termográfica se identificaron en la parte del abdomen. La TC promedio tomada con la cámara termográfica para la mañana fue de $37.4^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ (Min= 36.8°C , Max= 38.5°C) y para la noche tuvo un promedio de 39.5°C (Min= 38.4°C , Max= 40.9°C). La temperatura registrada con termógrafo tuvo un promedio para la mañana de 40.2°C (Min= 39.8°C , Max= 41.2°C), y para la noche un promedio de 40.8°C (Min= 37.7°C , Max= 41.6°C). Nuestros resultados dieron a conocer que la temperatura registrada con la cámara termográfica se correlaciono significativamente ($r=0.52$, $P<0.001$) con la temperatura tomada con los termógrafos insertados en el íleon terminal.

En conclusión, la termografía puede ser un método valido para su utilización en granjas primordialmente, pero hace falta más aplicaciones en el uso de cámaras termográficas.

Palabras clave: Cámara termográfica, termógrafo, cerdos, temperatura corporal, estrés por calor.

ABSTRACT

Body temperature measurement in pigs is very important, as it can prevent animals from physiological alterations under environmental conditions where ambient temperatures exceed the comfort level, causing conditions of heat stress, however, for this measurement invasive methods are used which can affect the welfare of the animal due to potential infections and additional stress in the animal. Two trials were conducted with 10 pigs (24.7 ± 2 kg liveweight) implanted with thermographs into the small intestine. Animals were fed at 0700 hours in the morning and at 1900 hours in the evening. In addition to having freely accessible water, ambient temperature ranged between 27.5°C and 42.5°C . The 10 pigs were cannulated in the terminal ileum where a thermograph was inserted at each, the thermographs were calibrated and configured to record the body temperature (BT) at five minutes intervals. The measures of BT scans with the thermal imaging camera for the morning was $37.4^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ (Min= 36.8°C , Max= 38.5°C) and for the night had an average of 39.5°C (Min= 38.4°C , Max= 40.9°C). The temperature recorded with thermograph had an average for the morning of 40.2°C (Min= 39.8°C , Max= 41.2°C), and for the evening an average of 40.8°C (Min= 37.7°C , Max= 41.6°C). Our results gave to know that the temperature recorded with the thermal imaging camera is correlated significantly ($r=0.52$, $P<0.001$) with the temperature taken with the thermographs inserted into the terminal ileum.

In conclusion thermography can be a valid method for its use in farms primarily, but more applications are needed in the use of cameras thermographic.

Keywords: thermal imaging camera, thermograph, pigs, body temperature, heat stress.

I. INTRODUCCIÓN

La producción porcina tiene un gran auge en el mundo; en México tan solo en el año 2021 se estimó una producción de 1.7 millones de toneladas, si bien los mayores productores de carne porcina son Jalisco y Sonora; donde Jalisco registra 312,099 toneladas el 27.7% del total nacional y sonora con 327,245 toneladas con un total del 17.3% (Escenario carne de porcino, 2021.)

En México y en todo el mundo enfrentamos grandes cambios por el calentamiento global, este problema afecta generalmente a todos los animales en producción considerando lugares donde el calor llega a temperaturas muy altas lo que puede llegar a provocar problemas en las explotaciones sin ser detectadas (Morales y Cervantes, 2019)

Si bien el clima y los porcentajes que existen en cuanto a la producción porcina son muy importantes para dicha producción, esta tiene un gran auge en México y mucho más en zonas donde las temperaturas llegan a ser máximas durante la mayor parte del año las cuales nos dan por consecuencia que el cerdo este superior a su zona termoneutral que va de los 23 a los 25 ° C (Morales et al., 2018a), lo que ocasiona estrés por calor que tiene como consecuencia un aumento de temperatura en el cuerpo a los animales, y esto ocasiona pérdida de apetito (Morales et al., 2019), además de enfermedades. Por esta razón es importante la medición de temperatura corporal en los cerdos ya que estos son animales que no pueden expulsar calor, por lo tanto la temperatura corporal en cerdos es un indicador para la evaluación de bienestar animal (Barbieri et al., 2021)

Según Morales y Cervantes (2019) la medición de la temperatura en el recto, superficial en la piel, subcutánea, óptica y en órganos internos son lugares donde se mide dicha temperatura para establecer si un animal está en condiciones de estrés por calor.

Para la medición de temperatura corporal en cerdos existen métodos los cuales son invasivos como la utilización de termógrafos intestinales que permiten predecir la temperatura corporal, sin embargo existen métodos poco conocidos y

que no provocan alguna alteración por ejemplo; los métodos electrónicos, detección de temperatura infrarroja, ya que estas tienen como ventaja no ser de contacto, utilizándose a larga distancia y en tiempo real (Zhang et al., 2019). La cámara termográfica utiliza imágenes que permiten examinar y optimizar condiciones necesarias para asegurar un manejo y control en la producción de cerdos, por ejemplo; en industrias pecuarias; cuando se toman las imágenes y se realiza un acertado análisis y lectura correcta del patrón térmico que estas generan, donde se pueden detectar fácil y rápido desviaciones y así poder corregirlas para maximizar los índices productivos pecuarios (Ratto, 2019).

Es por eso que la constante medición de la temperatura corporal es importante para la evaluación del estado de salud de los cerdos, y así tener un diagnóstico correcto para realizar una buena atención (Petry et al., 2017).

El siguiente estudio se realizó para demostrar si es posible reemplazar la medición de temperatura corporal con termógrafos intestinales por el uso de la cámara termográfica y así determinar un alto grado de confiabilidad.

II. ANTECEDENTES

2.1 Producción porcina en México

En los últimos años en México la producción porcina va en aumento, según las estadísticas anuales de producción de cerdo en el 2013 fue de 1,855 miles de toneladas y para septiembre 2021 con 2,700 Miles de toneladas, estos porcentajes dan a conocer que la producción porcina tiene gran auge en México y no esta demás dejar esta producción de lado (Gobierno de Mexico, 2021).

Existen áreas en el mundo donde los cerdos están expuestos permanente o temporalmente a la temperatura ambiente que están por encima de zona termoneutral y es allí donde la producción porcina de carne es mayormente producida, lo que causa un estrés por calor a estos animales (Cervantes et al., 2018).

2.2 Cambio climático en la ganadería

El cambio climático es un fenómeno el cual según la teoría general los gases de efecto invernadero absorben una parte de radiación que es emitida por la tierra hacia el exterior, así al aumentar su concentración la tierra expulsa menos calor y así la temperatura del planeta aumenta (Barros, 2005).

Hoy en día la producción agropecuaria se relaciona con el cambio climático donde la ganadería resulta más perjudicada, el cambio climático está siendo cada vez más grave en el mundo, en el país el calor extremo se produce en las zonas norte donde la ganadería y el entorno pecuario son gravemente afectados (Lorente, 2010).

En la zona de Mexicali, Baja California las temperaturas durante el día pueden llegar hasta los 45 °C durante el verano los animales sufren un gran estrés en esta temporada resultado de las temperaturas por encima de la zona termoneutral (INEGI, 2017).

Por esta razón es importante el seguimiento de la temperatura corporal ya que este es un indicador fisiológico en todo el proceso de cría de cerdos (Zhang et al., 2019b).

2.2.1 Cambio climático en la producción porcina

Existen reducidas diferencias de temperatura entre los distintos órganos dentro de la porción central del cuerpo, generalmente el ambiente afecta la salud, el bienestar, productividad y eficiencia reproductiva de un animal, además de los factores que rodean a los animales como el manejo, la nutrición y enfermedades, esto engloba también factores climáticos como temperatura, humedad y ventilación, por consecuencia el ambiente afecta la expresión del potencial genético (Echeverria, A., 2016).

Según estudios realizados, el consumo del alimento y el crecimiento de los animales producen efectos negativos del estrés por calor reflejo de modificaciones de la acción metabólica y desvió de nutrientes como la glucosa, triglicéridos y aminoácidos (Vásquez et al., 2017).

El cambio climático altera el crecimiento y la reproducción en cerdos, se crean un impedimento para la producción mundial de la carne de cerdo (Ross et al., 2015).

2.3 Estrés por calor

El estrés por calor es uno de los sucesos que más estresan al ganado a lo largo de su vida, este provoca consecuencias graves para la salud del animal, productividad y calidad del producto, así tanto los cerdos, aves de corral y rumiantes son expuestos al estrés por calor debido a su rápido metabolismo, producción de calor metabólico, rápido crecimiento y un buen nivel de producción, los cerdos son

propensos al estrés por calor causado por su falta de sudoración debido a su falta de estas glándulas y la grasa subcutánea gruesa (Gonzalez et al., 2020).

2.3.1 Constantes fisiológicas del cerdo

Según AMVEC, (2017) una constante fisiológica son los parámetros que dependiendo el valor van a determinar el estado de salud en el que se encuentra un animal, en ellas pueden estar temperatura corporal, frecuencia cardiaca, presión arterial, frecuencia respiratoria, etc. Conocer la fisiología del cerdo es muy importante ya que de eso dependerá que el animal este en las condiciones necesarias para que se pueda desempeñar correctamente.

Si se reconocen las constantes fisiológicas del cerdo por ejemplo el cambio de temperatura y se utilizan correctamente se puede diagnosticar y tratar algunas enfermedades para que sean detectadas correctamente (Zhang et al., 2019b).

En cerdos sanos la temperatura corporal varia de los 38 y 39 ° C sin olvidar que estos estén en una zona termoneutral (Morales et al., 2018b).

2.3.1.1 Temperatura corporal

La temperatura corporal es un indicador que determina si un animal está en condiciones de estrés por calor (Morales y Cervantes, 2019).

La temperatura central del cuerpo es denominada temperatura corporal, es decir que los cerdos tienen una capa de grasa gruesa, pelaje denso y una relación entre volumen y superficie esto va a permitir limitar el calor que fluye desde el núcleo del cuerpo a los alrededores (Soerensen y Pedersen, 2015).

La temperatura corporal es un indicador valido para la evaluación del bienestar animal, como para reconocer la fiebre y algunos signos clínicos de muchas enfermedades (Barbieri et al., 2021).

Mediante los cerdos van creciendo la temperatura corporal sigue siendo importante para poder mejorar resultados para que no haya como consecuencia alguna enfermedad si están por debajo de la temperatura termo-neutral (Finestra, 2016).

La temperatura corporal de los cerdos se basa en el equilibrio de la carga de calor corporal y liberación de calor corporal, también entre la temperatura ambiente y producción de calor, si bien la producción de calor en animales que están sanos es efecto de la tasa metabólica basal, actividad física y efecto térmico de alimentación (Morales et al., 2019).

Cervantes et al., (2018) indagan que los cerdos mantienen su temperatura corporal relativamente constante sobre un cierto rango de temperatura ambiente, por ejemplo, con temperatura ambiente baja los cerdos aumentan su metabolismo basal produciendo un aumento de temperatura y por consecuencia calor, pero con temperatura ambiente alta usan un mecanismo regulado para disipar el calor y prevenir exceso de calor corporal, la temperatura corporal de los cerdos esta sujeta a el equilibrio entre la temperatura ambiente, calor corporal y la capacidad que tienen los cerdos para esparcir dicho calor.

Por lo tanto, el equilibrio de la carga térmica y el calor expulsado al medio ambiente provocan la temperatura corporal (Morales et al., 2018a).

2.3.2 Variables ambientales

Debido a que hoy en día las explotaciones porcinas han ido en aumento, se debe estudiar la relación que existen entre el medio ambiente con los cerdos.

Jia et al., (2020) dicen que las temperaturas ambientales que existen en las granjas porcinas hay métodos dinámicos de cambio de calor, entre la piel y el entorno del cerdo, por ejemplo; convección y conducción de calor.

Existen muchos problemas en explotaciones porcinas que se relacionan con el control y manejo del medio ambiente, es por esta razón que en algunas explotaciones se les otorga un microclima (modificación artificial de los elementos que conforman el medio ambiente) para así dar a los animales una zona de comodidad según sus necesidades, estos responden a estímulos climáticos, físicos, sociales, etc.; de sus alrededores es por eso que el ambiente externo interacciona con los genes del animal determinando su funcionamiento (Echeverria, A., 2016).

Según King G., (2000) la productividad de los cerdos se sujeta a una interrelación entre ambiente x manejo.

Cuadro 1. Zona térmica neutra en cerdos en crecimiento (° C)

CERDOS	°C CONFORT
Cerdos en crecimiento	23 a 25 °C

En el cuadro 1 se muestra la zona termoneutral en cerdos en crecimiento según Morales et al., (2019) también mencionan que cuando los cerdos están expuestos a temperaturas superiores a 25 ° C estos ya sufren un estrés térmico, pero cuando los cerdos llegan a sobrepasar los 33 ° C los cerdos ya muestran síntomas de un estrés por calor.

Entonces si los cerdos están en un lugar donde estén expuestos a temperatura ambiente elevada estos aumentan su temperatura corporal (Morales et al., 2018a).

2.4 Estrés por calor en cerdos

El estrés por calor provoca aumento de la frecuencia cardíaca y respiratoria, temperatura corporal elevada, redistribución del flujo sanguíneo a la piel para realizar la termorregulación, reducción de ingesta de nutrientes, altera la distribución y metabolismo en los cerdos (Gonzalez et al., 2020).

Los cerdos que son expuestos a temperatura ambiente por encima de la zona termoneutral están en constante estrés por calor (Morales et al., 2019).

Los cerdos son animales homeotermos esto quiere decir que son animales de sangre caliente u endotermos, estos tienen una temperatura corporal relativamente constante usando o esparciendo energía (Echeverría, A., 2016). Pero el estrés por calor aumenta hasta 2 ° C la temperatura corporal del cerdo (Morales et al., 2019).

El estrés en cerdos es un factor que se debe tomar en serio ya que el cerdo no cuenta con glándulas sudoríparas por lo tanto de no atender este factor toda la producción puede tener pérdidas en las diferentes áreas, en cerdas de reproducción que son sometidas al estrés calórico pierden los embriones o se reducen los ovocitos, en cerdos en engorda se manifiesta un aumento de grasa en la canal así como una reducción de masa muscular y por último a los verracos los afecta en una mala espermatogénesis (Ross et al., 2015).

Según Ratto, (2019) menciona un claro ejemplo en la que las cerdas que responden de forma negativa a las altas temperaturas, debido al estrés por calor pueden llegar a tener partos más prolongados, problemas en la producción de leche, retornos a los celos más prolongados y claramente un menor consumo de alimento.

Cervantes et al., (2018) mencionan que, si los cerdos presentan un aumento de frecuencia cardíaca y respiratoria y un aumento de flujo sanguíneo periférico para fomentar la pérdida de calor, es evidente que los cerdos se encuentran en estrés por calor.

2.4.1 Importancia al evaluar el estrés por calor en cerdos

El saber con rapidez los datos de la temperatura corporal de los cerdos puede ayudar a diagnosticar y alertar enfermedades porcinas, además es de gran importancia conocer la temperatura corporal en tiempo real y de acceso rápido para así tener un desarrollo estable y saludable en la cría de cerdos (Zhang et al., 2019a).

Si bien es importante la evaluación de la temperatura en animales, en los cerdos es de suma importancia ya que estos corren riesgos más graves porque estos no pueden eliminar rápidamente el calor de sus cuerpos. Con esta evaluación permite que se puedan estudiar enfermedades que son causadas por el estrés; por ejemplo:

La temperatura corporal es la ideal para un diagnóstico de fiebre en los cerdos (Jia et al., 2020). Además de que si los cerdos están en un estrés por calor, provoca que aumenten la temperatura de su cuerpo lo que reduce el consumo de alimento (Morales et al., 2019).

2.5 Detección de temperatura corporal

La medición de la temperatura corporal es un procedimiento eficaz para el diagnóstico de enfermedades y también para una buena detección de la salud de los cerdos (Zhang et al., 2019).

Según trabajos anteriores un modelo de la temperatura corporal es calculable, además existen métodos dinámicos de intercambio de calor entre la piel y sus alrededores del cerdo (Jia et al., 2020).

2.5.1 Cámara termográfica

Según estudios realizados por Zhang et al., (2019a) la cámara termográfica comenzó su desarrollo a finales de la década de 1920, estas han sido utilizadas desde sus inicios y han evolucionado, ha sido aplicada en las industrias de cría de cerdos, ya que con este tipo de medición de temperatura corporal cumple con las necesidades de la industria de cría de cerdos transformando y actualizando el concepto de desarrollo de agricultura de bienestar y agricultura inteligente.

La termografía no tiene contacto para medir la temperatura de la superficie del cuerpo de los animales, esta puede detectarla sin practicas invasivas y sin caer en respuestas negativas al animal, existen dos categorías de termografía infrarroja: activa y pasiva, la termografía activa obtiene la diferencia entre el objeto y el fondo y la termografía pasiva obtiene la intensidad de radiación del calor y entonces refleja la temperatura, por lo tanto, la temperatura pasiva es la más adecuada para la evaluación de la temperatura corporal de los animales (Jia et al., 2020).

Cualquier cuerpo con una temperatura sobre el cero absoluto emana calor en estructura de radiación electromagnética, y por esta razón la cámara termográfica es sensible a este tipo de radiación que a su vez genera señal eléctrica que es traducida en una imagen térmica la cual genera la cámara por la radiación que emite el cuerpo (Ratto, 2019).

La termografía infrarroja utiliza la radiación térmica que es emitida por objetos o animales, esta permite medir y visualizar su temperatura, utiliza imágenes

térmicas y es precisa, los datos de este sistema se pueden compilar en animales que son difíciles de alcanzar o que están en movimiento (Barbieri et al., 2021). Entonces la cámara termográfica mide la superficie del cuerpo del animal la cual podría estar relacionada con diversos factores como los metabólicos o fisiológicos (Petry et al., 2017).

2.5.2 Termógrafos

“Los termógrafos de mercurio son insertados al final del intestino delgado, aproximadamente 15 cm antes de la válvula ileocecal” (Morales et al., 2019).

Los termógrafos son utilizados en animales de producción para evaluar parámetros fisiológicos y metabólicos (McManus et al., 2016).

El método más utilizado para la detección de temperatura corporal son los termógrafos, estos son termómetros de mercurio que son utilizados para detectar la temperatura corporal, este método requiere de mucho más tiempo y trabajo para ser insertados en los animales además de que es un método invasivo para ellos y puede llegar a estresar al cerdo, esta es una práctica de mucho contacto para los animales lo cual aumenta la posibilidad de una infección cruzada, por lo tanto, este método es mayormente inviable para granjas en gran escala (Jia et al., 2020).

III. JUSTIFICACIÓN

Si bien para la medición de la temperatura corporal existen métodos que son importante conocer para saber cuáles estén disponibles para este tipo de estudios. Es por eso que la termografía infrarroja como la cámara termográfica es un método no invasivo el cual debe conocerse su uso, ya que en los sistemas de producción porcinas y en estudios científicos sería un método mucho mejor para su uso y aplicaciones con los cerdos.

IV. HIPOTESIS

La temperatura corporal de cerdos se puede predecir mediante modelos de correlación, utilizando la temperatura corporal de la parte abdominal de los animales las cuales son registradas con cámara termográfica.

V. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Desarrollar métodos de confiabilidad para la temperatura corporal en cerdos en condiciones de estrés calórico, obtenidas a través de una cámara termográfica.

5.2 Objetivos específicos

1. Analizar la relación que existe entre valores de temperatura corporal medidos con cámara termográfica y termógrafo.
2. Determinar si existe un alto grado de confiabilidad en la cámara termográfica y así eliminar canular a los cerdos para insertar los termógrafos.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Ubicación

El estudio se realizó en la Posta del Instituto de Ciencias Agrícolas (ICA) de la Universidad Autónoma de Baja California ubicado en la carretera a Delta S/N, en el Ejido Nuevo León de Mexicali en el estado de Baja California, situado al noroeste de México de latitud 32° 24' 34" Norte y longitud 115° 11' 16" Oeste, con una altura de 15 msnm. Caracterizada por un clima árido seco, con temperaturas extremas arriba de los 45 °C durante el verano e invierno el clima puede llegar hasta los -6 °C (INEGI, 2017).



Figura 1. Ubicación vía satélite del Instituto de Ciencias Agrícolas (ICA) (Instituto de ciencias agrícolas Mapa satelital)

6.2 Características de los animales para el estudio

Para este experimento se utilizaron 10 cerdos cruzados (Duroc x Landrace x Hampshire) con un peso promedio de 24.7 ± 2 Kg.

6.3 Procedimiento del experimento y recolección de datos.

Para los procedimientos y la recolección de los datos de este experimento se llevaron a cabo de acuerdo con los lineamientos técnicos por la norma oficial mexicana sobre el cuidado de los animales (NOM-062-ZOO-1999, 2001).

Este experimento fue realizado en el verano donde la temperatura ambiente sobrepasa los 45°C, la cual se registró con un higrotermógrafo (Thermotracker BT; iButtonLink LLC) cada 15 minutos.

Para este experimento se utilizaron 10 cerdos los cuales se les adaptó quirúrgicamente una cánula tipo T a cada animal al final del intestino delgado, aproximadamente 15 cm antes de la válvula ileocecal según Morales et al., (2016). Para el procedimiento quirúrgico se les administró 2ml de Xilazina como un preanestésico, además de que también se les aplicó anestesia inhalada utilizando isoflurano.

Después de terminar la cirugía se les aplicó Oxitetraciclina como antibiótico y Metamizol como analgésico, además de que se recurría a limpiar la herida con jabón quirúrgico y aplicar Furacine como antimicrobiano durante 7 días.

Pasados 12 días de recuperación por medio de la cánula de cada cerdo se les implantó un termógrafo (Thermotracker BT; iButtonLink LLC, Whitewater, WI) dicho termógrafo estaba dentro de una bolsita hecha con malla, el cual se configuró para registrar la temperatura corporal (TC) en intervalos de 5 minutos, colocando un hilo de nylon sobre el orificio de cada cánula con pequeñas cuendas saliendo para poder extraer fácilmente el termógrafo. Estos termógrafos sirven para la recolección de información de la temperatura ya que es allí donde se realiza el proceso de absorción y digestión.

Los cerdos fueron colocados individualmente en corrales de 1.2m de largo, 1.2m de ancho y 1.0m de alto con piso de malla de hierro elevado, estos corrales equipados con comedero de acero inoxidable y con un bebedero con chupón de libre acceso.

El experimento fue realizado en dos ensayos con un periodo de 8 días, el primero con los termógrafos ya insertados en cada cerdo, recuperados de la cirugía y colocados en cada corral; este ensayo duró 8 días; 7 días de ingesta de comida y limpieza de corrales a las 0700h de la mañana y a las 1900h de la tarde con la misma cantidad de alimento para todos, además de que el agua que tenían estaba a libre acceso, y 1 día en el que se extrajeron los termógrafos intestinales todos estos datos de TC se recuperaron mediante el Software del proveedor.

Para el segundo ensayo fue la toma de temperaturas con la cámara termográfica de la siguiente manera, se recurría a proporcionar alimento a las 0700 h de la mañana en la cual se tomaron imágenes con la cámara termográfica Testo modelo 865, con una resolución de 160 x 120 píxeles, con un campo de visión de 31° x 23°, una sensibilidad térmica de 120 mK y con una precisión de ± 2 ° C, en la parte central del abdomen a una distancia no mayor a 1 metro de distancia del cerdo, por lo que permitía observar la parte completa del abdomen del cerdo, estos animales en un estado de tranquilidad y a las 1900 h de la noche realizando el mismo procedimiento en cada uno de los cerdos (estas imágenes fueron tomadas y almacenadas por la cámara termográfica), cabe mencionar que cada día de la toma de fotografías estas eran vaciadas en una carpeta para su lectura. Este ensayo se realizó durante 8 días; 7 días para la toma de fotografías y un día para la extracción de imágenes en el software de IRSoft versión 4 (©Testo AG), de estas imágenes solo se tomaron las perfectamente enfocadas tomando la temperatura más alta (° C), dentro de un círculo del área trazada en el abdomen para cada cerdo como se muestra en la ilustración 2, con una emisividad de .98 la cual es recomendada para tejidos biológicos en humanos por la relación que existe con la piel y vello de cerdo con la del hombre (Ring & Ammer, 2012), IRSoft calcula automáticamente la temperatura más alta, más baja y el promedio del área seleccionada, obteniendo así la temperatura a la hora exacta de cada animal, tomando estos datos para su análisis.

Para los cálculos y análisis estadístico se consideraron los datos registrados del día 1 al día 7 de cada ensayo. La TC de los termógrafos se calculó con el promedio de las 7 medidas registradas; de 0800h a 1000 h para la mañana y de 1830h a 2130h para la noche de cada cerdo.

La TC registrada por la cámara termográfica se calculó como el promedio de las 7 medidas registradas; de 0800h a 0930h para la mañana y de 1830h a 2130h para la noche.

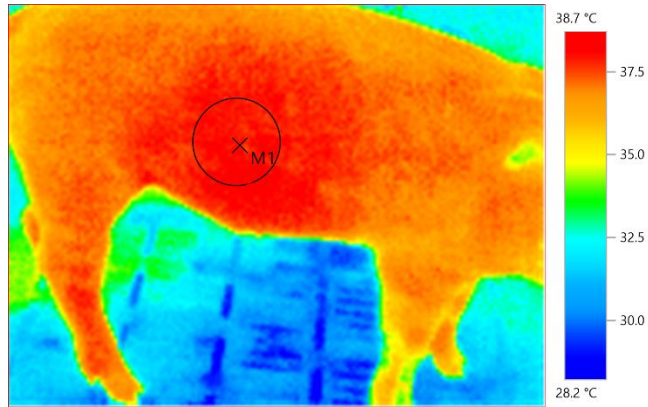


Figura 2. Imagen térmica del abdomen de un cerdo que muestra la posición del punto de medición en el vientre.

6.4 Análisis Estadístico

Se realizó un análisis de varianza en los datos de la temperatura corporal con base en un diseño experimental de mediciones repetidas. Se comparó el efecto de la forma de medición con el termógrafo implantado en intestino delgado VS cámara termográfica; y la hora de medición AM 0700 h VS PM 1900 h. Asimismo se realizaron análisis de correlación entre los valores de temperatura corporal obtenidos con termógrafo implantado en el intestino delgado VS cámara termográfica. Se definieron los valores de $P < 0.05$ y $P < 0.10$ para declarar diferencia significativa o tendencia de diferencia, respectivamente.

VII. RESULTADOS

7.1 Temperatura ambiente

Todos los cerdos estuvieron expuestos a temperatura ambiente, la cual oscilo entre los 27.5 °C con la temperatura mas baja registrada alrededor de las 0600 h y a 42.5 °C con la temperatura mas alta registrada alrededor de las 1600 h (Figura 3), por lo que demuestra que los animales se encontraron a temperaturas sobre el nivel de confort estando en un estrés por calor, omitiendo el estrés por calor al que estuvieron los cerdos, todos estuvieron saludables durante el experimento. .

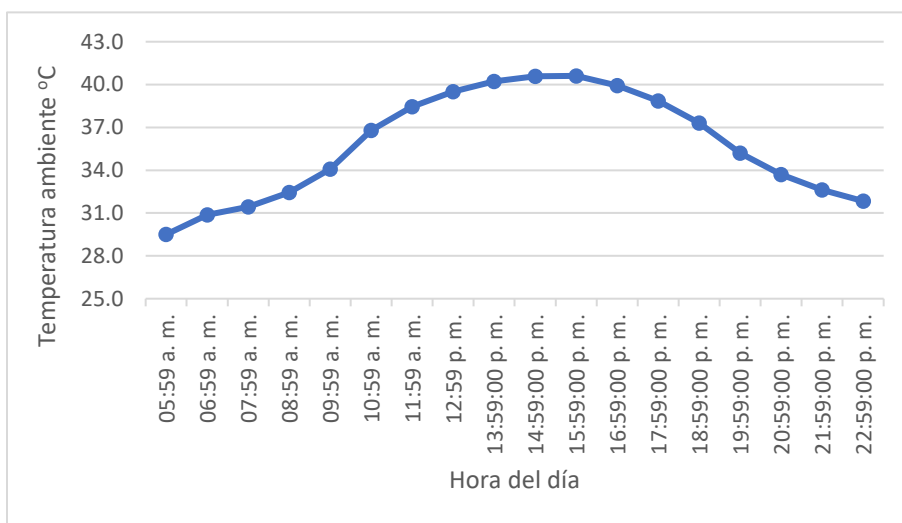


Figura 3. Temperatura ambiente registrada en la sala experimental con intervalos cada 15 minutos, donde cada punto equivale a la media de 684 datos registrados.

7.2 Temperatura corporal

La temperatura corporal fue medida con una cámara termográfica y con un termógrafo insertado en el íleon terminal. Donde cada registro de temperatura fue tomado minutos después de la ingesta de alimento AM y PM.

En la Figura 4 se muestra los datos tomados de la temperatura corporal después de la ingesta de comida matutina con la cámara termográfica y el

termografo. Durante este periodo la temperatura tomada con la camara termografica a las 0830 h obtuvo un valor de 37.6 °C en comparacion con el termografo que obtuvo un valor de 39.9 °C obteniendo asi una diferencia de 2.3 °C, a las 0840 h la camara termografica mostro una temperatura de 37.4 °C y el termografo un valor de 39.9 °C teniendo como diferencia de 2.5 °C y finalmente a las 0915 h la camara termografica mostro una temperatura de 37.3 °C mientras que el termografo obtuvo un valor de 40.1 °C se muestra una diferencia de 2.8 °C dando a conocer que en promedio se obtuvo una diferencia (P<0.05) de 2.5 °C de temperatura corporal en la camara termografica menos que los termografos.

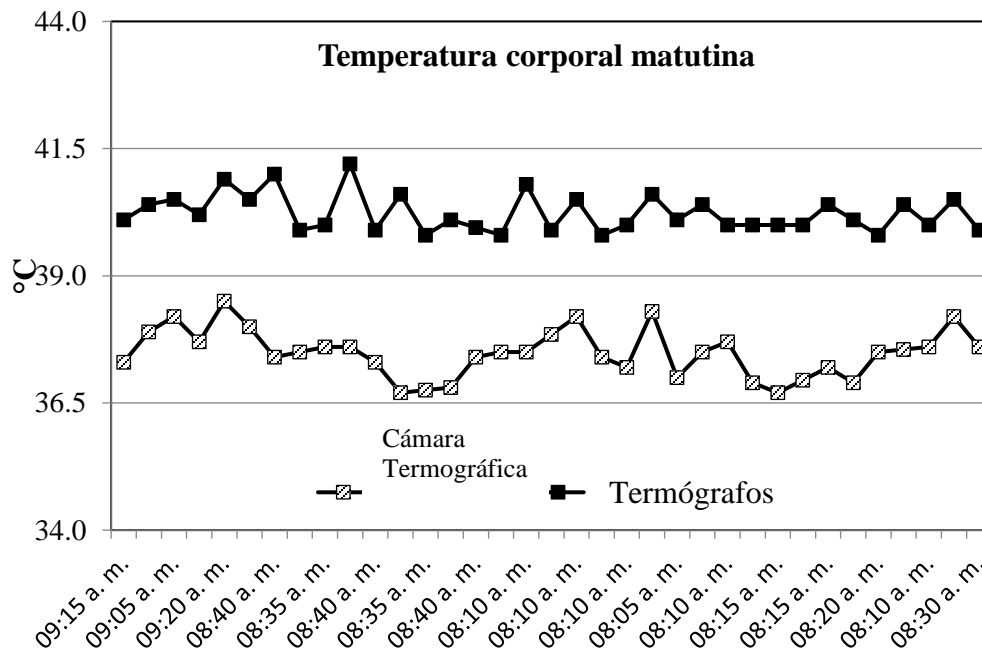


Figura 4. Diferencias en la temperatura corporal registradas con una cámara termográfica y un termógrafo implantado en el íleon terminal en cerdos expuestos al estrés por calor, después de la alimentación matutina.

En la Figura 5 se muestra los valores de temperatura corporal obtenida con una camara termografica y los termografos insertados en los cerdos despues de la alimentacion nocturna, estos valores se registraron desde las 1855 h hasta las 2110 h a partir de las 1855 h la temperatura obtenida con la camara termografica fue de 40.1 °C y el termografo registro 40.5 °C con solo 0.4 °C de diferencia, sin embargo

a las 1955 h la temperatura tomada con la cámara termografica fue de 39 °C mientras que el termografo presento una temperatura de 40.2 °C, dicha temperatura tuvo una diferencia de 1.2 °C entre estos dos metodos y finalmente a las 2105 h la cámara termografica mostro una temperatura de 39.5 °C y el termografo mostro una temperatura de 41 °C obteniendo asi una diferencia de 1.5 °C, existiendo un promedio de 1.03 °C de diferencia ($P < 0.05$) entre el uso de una cámara termografica y un termografo para registrar la temperatura corporal.

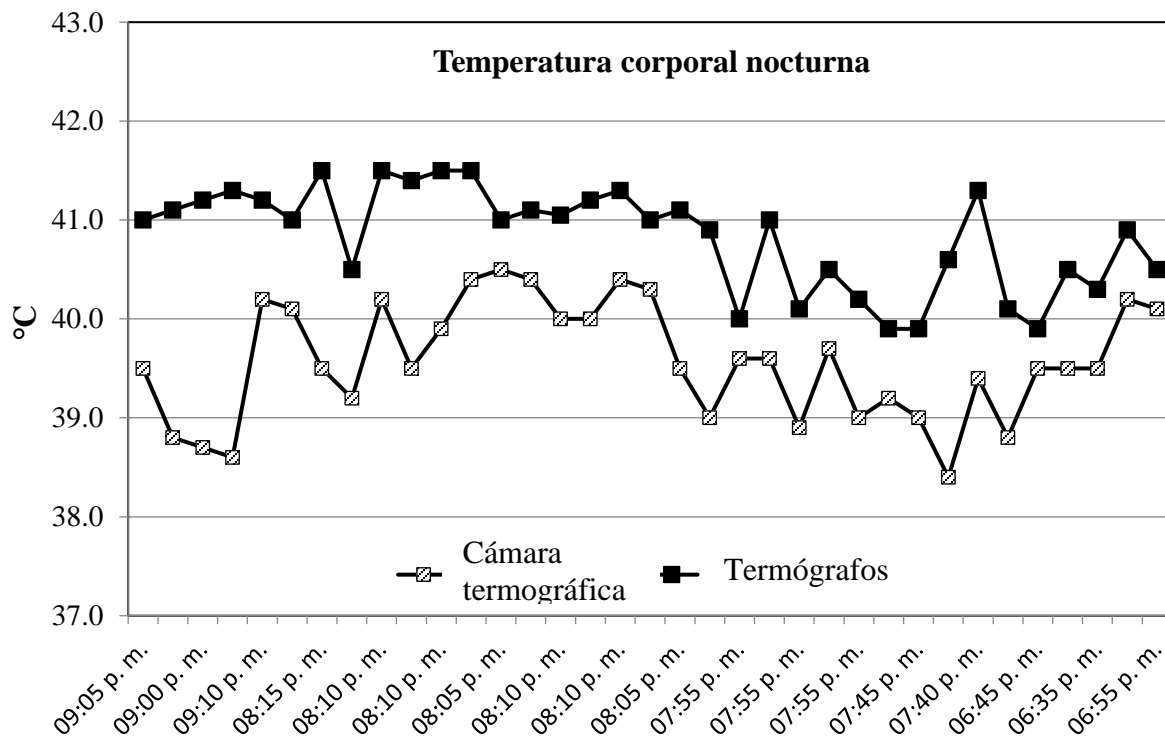


Figura 5. Diferencias en la temperatura corporal registradas con una cámara termográfica y un termógrafo implantado en el íleon terminal en cerdos expuestos al estrés por calor, después de la alimentación nocturna.

Para probar que existe una confiabilidad entre la temperatura corporal medidos con la cámara termográfica y el termógrafo intestinal, se realizó un análisis de correlación, los coeficientes de correlación entre datos de la cámara termográfica y datos de termógrafo intestinal se muestran en el cuadro 2. Donde se observa una correlación positiva ($r = 0.52$; $P < 0.001$) entre datos tomados con la cámara

termográfica y el termógrafo intestinal en cerdos en condiciones de estrés por calor. En este se muestran los valores de temperatura corporal y analisis de correlacion obtenidos con el uso de una camara termografica o con termografo en ileon terminal en cerdos en EC. La TC promedio fue de 37.48 °C durante la mañana, y 39.57 °C durante la noche, estos valores fueron estadisticamente diferentes (P <0.05) al utilizar la camara termografica. Los datos de la temperatura corporal registrados con un termografo intestinal, tuvieron un promedio de 40.23 °C para la mañana, y 40.83 °C en promedio para la noche, demostrando un diferencia significativa (P <0.05). La temperatura observada en la noche fue mayor (P <0.05) a la observada en la mañana independientemente del metodo utilizado para medir la TC. La temperatura corporal que se registro durante la mañana y la noche (P <0.05) fue mayor al utilizar el termografo en comparacion con la temperatura registrada con la camara termografica. Se observó correlacion positiva (r= 0.52; P<0.001) entre los valores de temperatura registrados con la camara termografica y el termografo intestinal.

Cuadro 2. Valores medios de temperatura corporal, desviación estándar y coeficiente de correlación en cerdos EC registrados con el uso de una cámara termográfica o un termógrafo insertado en el íleon terminal.

	Tiempo de grabación	Temperatura Corporal, °C		Valor P
		Camara termografica	Termografos	
Promedio	AM	37.48	40.23	<0.05
	PM	39.57	40.83	<0.05
	Valor P	<0.05	<0.05	
Desviacion estandar	AM	0.468	0.366	
	PM	0.579	0.511	
Coeficiente de correlación	Global	0.52		<0.001

Como se muestra en la Figura 6, la temperatura corporal en promedio durante todo el día registrada con la cámara termografica fue de 38.53 °C mientras que con el termografo intestinal en promedio fue de 40.53 °C.

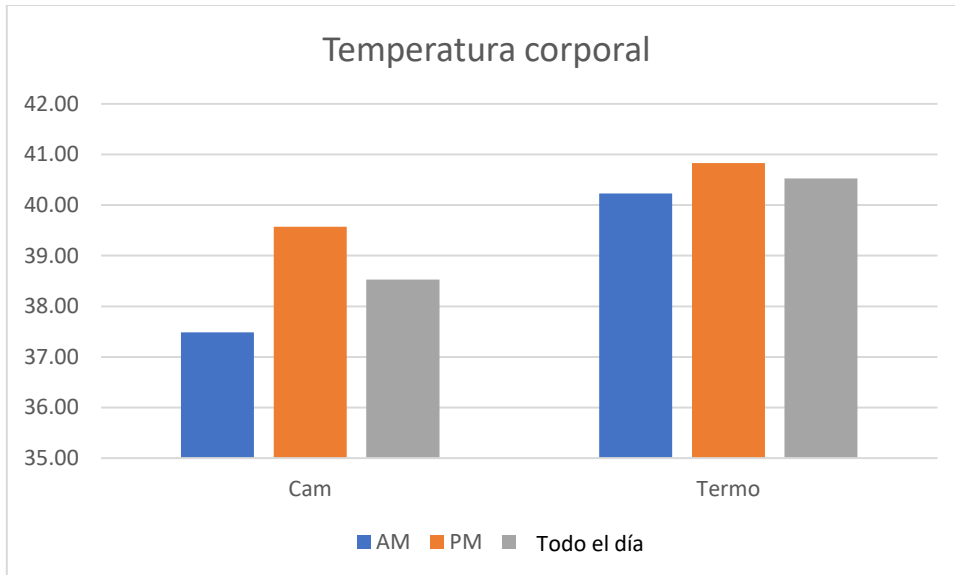


Figura 6. Temperatura corporal registrada con la cámara termográfica y termógrafo intestinal durante la mañana, la tarde y en promedio de todo el día.

VIII. DISCUSIÓN

Debido al calentamiento global que estamos pasando hoy en día es importante la constante medición de temperatura corporal en animales, en cerdos principalmente; ya que estos animales son muy susceptibles a las condiciones ambientales elevadas (Zhang et al., 2019b).

Los cerdos pueden transferir su calor interno hacia la superficie del cuerpo, para no alterar su temperatura corporal (Morales et al., 2016); de hecho en este experimento se tomó la temperatura corporal con una cámara termográfica en comparación con la temperatura corporal medida con un termógrafo intestinal.

Los cerdos expuestos a una temperatura ambiente mayor a los 25 ° C se encuentran en un constante estrés por calor (Cervantes et al., 2018). Entonces los cerdos utilizados en este experimento estuvieron expuestos a una temperatura ambiente mayor a los 25 ° C todos los días, por lo tanto; estos cerdos estuvieron en condiciones de EC.

Estamos de acuerdo con Morales et al., (2019) ya que nuestras temperaturas corporales tuvieron un promedio mas alto en la noche, despues de la comida digerida la temperatura era mas alta para la camara termografica y el termografo intestinal esto mencionado en el estudio de donde concluyen que el incremento de la temperatura corporal AM y PM pueden referirse al resultado del mecanismo termorregulador de cerdos en estrés por calor.

En el estudio de Cervantes et al., (2018) mencionan que la temperatura por la noche despues de dar alimento era aun mas alta que despues de dar alimento en la mañana y que esto sucede porque el efecto de la temperatura ambiente alta y el aumento del efecto termico del alimento al ser combinados por los cerdos exhedan la capacidad para disipar calor corporal a pesar de que hubo una disminucion de temperatura ambiente, por lo que concordamos con su estudio y el presente experimento para decir que las temperaturas por la noche son mas altas a pesar de que la temperatura ambiente disminuya.

Estudios mencionan que la tecnología infrarroja es la base de nuevas transformaciones para el bienestar en la agricultura, lo que conlleva a que la medición de la temperatura vía infrarrojos destaque en cuanto a la vigilancia de la salud de cerdos, identificación del celo de cerdas, además de diagnóstico de enfermedades (Zhang et al., 2019); además la temperatura corporal en cerdos es tomada en tiempo real, este método de medición hace una gran comparación con el método tradicional al insertar termómetros de mercurio a los cerdos (Rekant et al., 2016; Zhang et al., 2019c).

De acuerdo con diversos estudios realizados por Barbieri y colegas, (2021) mencionan que se compararon termómetros rectales y cámaras infrarrojas, donde se observó una relación lineal entre el abdomen central, el cráneo, dorso y regiones perianales; demostrando la confiabilidad en el uso de cámaras termográficas para medir la temperatura corporal. Además la temperatura específica de animales tomada del pie, ubre, ojos, espinilla, costilla, vientre, muslo, flanco y cuello con la termografía infrarroja es utilizada para mostrar estrés en animales de granja (cerdos) y parámetros fisiológicos (McManus et al., 2016; Zhang et al., 2019c).

En este experimento se eligió la parte central del abdomen como una región de interés para su estudio ya que en la cámara termografía selecciona regiones de interés (ROI) para sus datos, este método es adecuado para la piel en cerdos ya que tanto los cerdos como los humanos poseen poco pelo en la piel, aunque el pelo en los cerdos es un poco más grueso es comparable dicha densidad con la de los humanos (Soerensen & Pedersen, 2015).

McManus et al., (2016) cita en su estudio la medición de la temperatura corporal en cerdas (Landrace-Yorkshire) en el periodo preovulatorio y concluyeron satisfactoriamente con el uso de este método para predecir la ovulación.

También en el estudio por Amezcua et al., (2014) mencionan los beneficios de usar la cámara termográfica en cerdas, para detectar cojeras; con el cambio de temperaturas en las patas traseras, utilizando una correlación entre la temperatura de las patas en cerdas con cojera y cerdas sanas.

En grupos de cerdos si son detectados anormales refiriéndose a enfermedades infecciosas esta epidemia puede ser controlada tempranamente y reducir perdidas de manera económica (Zhang et al., 2019c).

Gracias a varios estudios la termografía infrarroja ha sido participe en diversas aplicaciones, esta fue utilizada en cerdas para predecir el celo con la temperatura de la superficie de la vulva (Soerensen & Pedersen, 2015), otros la han utilizado para detectar hipotermia en cerdos recién nacidos (Kammersgaard et al., 2013).

En coincidencia con estos trabajos, nuestro resultado corresponde con que la correlación positiva entre las temperaturas obtenidas con una cámara termográfica y con un termógrafo afirman que el uso de la cámara termográfica puede ser una herramienta válida para la evaluación de temperatura corporal en cerdos específicamente la temperatura tomada en la parte central del abdomen, se observó que la temperatura disminuía e incrementaba durante el día y la noche tanto con el uso del termógrafo así como con el uso de la cámara termográfica; medir la temperatura corporal mediante infrarrojos (cámaras termográficas) es un método de vigilancia automática y evaluación rápida de temperatura corporal sin tener contacto con el animal (Soerensen & Pedersen, 2015), es mucho más recomendable ya que su uso es más fácil, además de que para las granjas pequeñas puede ser aplicado, menos costoso, y el uso para la interpretación de datos es mucho más fácil en comparación con los termógrafos de mercurio ya que al usar estos termógrafos se requieren de más conocimiento para su instalación y recopilación de datos (Zhang et al., 2019), además un termómetro de mercurio requiere de más tiempo para obtener la temperatura de un cerdo, aumenta posibilidades de obtener una infección cruzada y es bastante inviable para su uso en granjas (Jia et al., 2020).

El uso de las cámaras infrarrojas pueden ser más útiles en el uso de manadas o rebaños para obtener la temperatura corporal de cada individuo (Rekant et al., 2016) ya que si se utilizaran termógrafos intestinales tomaría más tiempo.

La cámara termográfica ayuda demasiado en el bienestar animal que se debe aplicar al hacer estudios, Zhang et al., (2019b) citan en su estudio a McManus

et al., (2016), donde ellos estudiaron la tecnología de infrarrojos térmicos, usando imágenes en el metabolismo del animal, nutrición y el proceso de inflamación, este estudio dio como resultado a la termografía infrarroja como innovadora, eficaz y rápida. Mas sin embargo la termografía ahorraría tiempo y reduciría el estrés en los animales (Barbieri et al., 2021). En comparación con el uso de los termógrafos intestinales, entonces; los termógrafos pueden llegar a ser poco confiables producto de respuestas ansiogénicas que dan como resultado los termógrafos (McManus et al., 2016).

Se concluye, en coincidencia con Warriss y colegas., (2006) que las cámaras termográficas no son tan baratas pero si bien es un gasto necesario para una explotación ya que estas van más allá a ser confiables y no son difíciles al extraer datos en tiempo real ya que estos son expuestos de manera instantánea con el software que proporciona el fabricante.

Por lo tanto, nuestros resultados sugieren que la cámara termográfica, ha sido un método útil y confiable para medir la temperatura corporal, la cámara termográfica es más eficaz y rápida en comparación con los termógrafos insertados en intestino donde se requiere de la canulación previa, así bien se puede eliminar el uso de termógrafos intestinales en trabajos futuros, ya que un termógrafo conlleva más tiempo en su uso, extracción de datos y es invasivo.

IX. CONCLUSIONES

En conclusión, este estudio afirma que el uso de la cámara termográfica en la detección de la temperatura corporal, tomándola de la parte central del abdomen es una herramienta que no requiere contacto, es válido y tiene un grado de confiabilidad para su uso en comparación con los termógrafos insertados en el íleon terminal.

De acuerdo al análisis de correlación entre las temperaturas tomadas con cámara termográfica y termógrafo insertado en el íleon es evidente que la temperatura que mostro la cámara termográfica es altamente correlacionada con la temperatura de termógrafos con un coeficiente de correlación de 0.52 ($r=0.52$, $P<0.001$).

X. LITERATURA CITADA

Amezcuca, R., Walsh, S., Luimes, P., & Friendship, R. (2014). Infrared thermography to evaluate lameness in pregnant sows. *The Canadian Veterinary Journal*, 55(3), 268–272.

AMVEC. (2017). *CONSTANTES FISOLÓGICAS DEL CERDO*. 5.

Barbieri, S., Talamonti, Z., Nannoni, E., Heinzl, E., Minero, M., & Canali, E. (2021). Use of thermography in pigs: Relationship between surface and core temperature. *Veterinaria Italiana*, 57(1), 79–82.
<https://doi.org/10.12834/VetIt.1077.5873.2>

Cervantes, M., Antoine, D., Valle, J. A., Vásquez, N., Camacho, R. L., Bernal, H., & Morales, A. (2018). Effect of feed intake level on the body temperature of pigs exposed to heat stress conditions. *Journal of Thermal Biology*, 76, 1–7.
<https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.06.010>

Echeverria, A. (2016). *EL AMBIENTE CLIMATICO EN LA PRODUCCION PORCINA*. 21.

Escenario_carne_de_porcino_nov21.pdf. (s/f). Recuperado el 14 de diciembre de 2021, de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/687051/Escenario_carne_de_porcino_nov21.pdf

Finestra, A. (2016, septiembre 22). *La Temperatura, factor crítico en la producción porcina*. porciNews, la revista global del porcino. <https://porcino.info/la-temperatura-factor-critico-la-produccion-porcina/>

- Gobierno de Mexico. (2021). *Cosechando Números del Campo*.
<http://www.numerosdelcampo.sagarpa.gob.mx/publicnew/productosPecuarios/cargarPagina/3>
- Gonzalez, P., Chauhan, S., Ha, M., Fegan, N., Dunshea, F., & Warner, R. (2020). Effects of heat stress on animal physiology, metabolism, and meat quality: A review. *Meat Science*, 162, 108025.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.108025>
- INEGI. (2017). *Anuario estadístico y geográfico de Baja California 2017*. 425.
- Instituto de ciencias agrícolas Mapa satelital*. (s/f). Instituto de ciencias agrícolas cerca de mexicali baja california. Recuperado el 21 de febrero de 2022, de <https://www.google.com/maps/place/Instituto+Ciencias+Agricolas+UABC/@32.4073605,-115.199291,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x80d7a35a5b2929e1:0x646b8a5fe138a7da!8m2!3d32.4076644!4d-115.1970984>
- Jia, G., Li, W., Meng, J., Tan, H., & Feng, Y. (2020). Non-Contact Evaluation of Pigs' Body Temperature Incorporating Environmental Factors. *Sensors*, 20(15), 4282. <https://doi.org/10.3390/s20154282>
- Kammersgaard, T. S., Malmkvist, J., & Pedersen, L. J. (2013). Infrared thermography – a non-invasive tool to evaluate thermal status of neonatal pigs based on surface temperature. *Animal*, 7(12), 2026–2034.
<https://doi.org/10.1017/S1751731113001778>
- King G. (2000). *Animals and environments*. University of Guelph, 21.

- Lorente S., A. (2010). Ganadería y cambio climático: Una influencia recíproca. *GeoGraphos. Revista Digital para Estudiantes de Geografía y Ciencias Sociales*, 1. <https://doi.org/10.14198/GEOGRA2010.1.03>
- McManus, C., Tanure, C. B., Peripolli, V., Seixas, L., Fischer, V., Gabbi, A. M., Menegassi, S. R. O., Stumpf, M. T., Kolling, G. J., Dias, E., & Costa, B. G. (2016). Infrared thermography in animal production: An overview. *Computers and Electronics in Agriculture*, 123, 10–16. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.01.027>
- Morales, A., & Cervantes, M. (2019, noviembre 11). *Impacto de la temperatura ambiente y el consumo de alimento en la temperatura corporal de cerdos*. Engormix. <https://www.engormix.com/porcicultura/articulos/impacto-temperatura-ambiente-consumo-t44424.htm>
- Morales, A., Ibarra, N., Chávez, M., Gómez, T., Suárez, A., Valle, J. A., Camacho, R. L., & Cervantes, M. (2018a). Effect of feed intake level and dietary protein content on the body temperature of pigs housed under thermo neutral conditions. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 102(2), e718–e725. <https://doi.org/10.1111/jpn.12824>
- Morales, A., Ibarra, N., Chávez, M., Gómez, T., Suárez, A., Valle, J. A., Camacho, R. L., & Cervantes, M. (2018b). Effect of feed intake level and dietary protein content on the body temperature of pigs housed under thermo neutral conditions. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 102(2), e718–e725. <https://doi.org/10.1111/jpn.12824>
- Morales, A., Pérez, M., Castro, P., Ibarra, N., Bernal, H., Baumgard, L. H., & Cervantes, M. (2016). Heat stress affects the apparent and standardized ileal

- digestibilities of amino acids in growing pigs¹. *Journal of Animal Science*, 94(8), 3362–3369. <https://doi.org/10.2527/jas.2016-0571>
- Morales, A., Valle, J. A., Castillo, G., Antoine, D., Avelar, E., Camacho, R. L., Buenabad, L., & Cervantes, M. (2019). The dietary protein content slightly affects the body temperature of growing pigs exposed to heat stress. *Translational Animal Science*, 3(4), 1326–1334. <https://doi.org/10.1093/tas/txz143>
- NOM-062-ZOO-1999, 2001.PDF. (s/f).
- Petry, A., McGilvray, W., Rakhshandeh, A. R., & Rakhshandeh, A. (2017). Technical note: Assessment of an alternative technique for measuring body temperature in pigs. *Journal of Animal Science*, 95(7), 3270. <https://doi.org/10.2527/jas2017.1566>
- Ratto, S. (2019, mayo 22). *Uso de Imágenes Termográficas en Producción Porcina. Parte 1*. Engormix. <https://www.engormix.com/porcicultura/articulos/uso-imagenes-termograficas-produccion-t43677.htm>
- Rekant, S., Lyons, M., Pacheco, J., Arzt, J., & Rodriguez, L. (2016). Veterinary applications of infrared thermography. *American Journal of Veterinary Research*, 77(1), 98–107. <https://doi.org/10.2460/ajvr.77.1.98>
- Ring, E. F. J., & Ammer, K. (2012). Infrared thermal imaging in medicine. *Physiological Measurement*, 33(3), R33–R46. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/33/3/R33>
- Ross, J. W., Hale, B. J., Gabler, N. K., Rhoads, R. P., Keating, A. F., & Baumgard, L. H. (2015). Physiological consequences of heat stress in pigs. *Animal Production Science*, 55(12), 1381–1390. <https://doi.org/10.1071/AN15267>

- Soerensen, D., & Pedersen, L. (2015). Infrared skin temperature measurements for monitoring health in pigs: A review. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 57(1), 5. <https://doi.org/10.1186/s13028-015-0094-2>
- Vásquez, A. N., Gómez, H. T., Ibarra, G. N., Suárez, A., Ernesto, A. L., Espinoza, S. S., Cervantes, M., & Morales, A. (2017, febrero 5). *Efecto del estrés por calor agudo y crónico en los parámetros productivos, componentes hematológicos y química sanguínea de cerdos en crecimiento*. Engormix. <https://www.engormix.com/porcicultura/articulos/efecto-estres-calor-agudo-t39931.htm>
- Warriss, P. D., Pope, S. J., Brown, S. N., Wilkins, L. J., & Knowles, T. G. (2006). Estimating the body temperature of groups of pigs by thermal imaging. *Veterinary Record*, 158(10), 331–334. <https://doi.org/10.1136/vr.158.10.331>
- Zhang, Z., Zhang, H., & Liu, T. (2019a). Study on body temperature detection of pig based on infrared technology: A review. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 1, 14–26. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2019.02.002>
- Zhang, Z., Zhang, H., & Liu, T. (2019b). Study on body temperature detection of pig based on infrared technology: A review. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 1, 14–26. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2019.02.002>
- Zhang, Z., Zhang, H., & Liu, T. (2019c). Study on body temperature detection of pig based on infrared technology: A review. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 1, 14–26. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2019.02.002>