



TRABAJO FIN DE GRADO

**GRADO EN
VETERINARIA**

Validación de sistemas infrarrojos como método de medición de temperatura corporal en la especie ovina.

Alumna: Ana Lucía Piquer Colás
Tutora: María Moreno Manrique
Curso académico: 2020/2021



AGRADECIMIENTOS.

Muchos son los caminos que emanan a partir de aquí y aunque el futuro aún es incierto y solo depende de mí, quisiera agradecer a todos mis profesores relacionados con la producción y sanidad animal el brindarme la oportunidad de verla desde otros ojos, distando mucho de mi visión sobre ella antes de empezar la carrera. Esto no hubiese sido posible sin vuestra pasión, cariño e interés depositados año tras año, traspasando el límite de la enseñanza.

También a vosotros y al conjunto de profesores, gracias por lo más importante, por enseñarme a pensar y no en qué pensar.

Validación de sistemas infrarrojos como método de medición de temperatura corporal en la especie ovina.

ÍNDICE DE CONTENIDOS.

Resumen.....	Pág. 1
Abstract.....	Pág. 2
1. Introducción.....	Pág. 3
1.1. El sector ovino en España.....	Pág. 3
1.2. La importancia de la toma de temperatura en ovino.....	Pág. 6
1.3. Métodos de medición de temperatura.....	Pág. 8
1.3.1. Termómetro digital.....	Pág. 9
1.3.2. Sistemas de infrarrojos.....	Pág. 10
1.3.2.1. Cámara de termografía infrarroja.....	Pág. 12
1.3.2.2. Termómetro de infrarrojos.....	Pág. 14
1.4. Justificación del estudio.....	Pág. 15
2. Objetivos.....	Pág. 15
3. Material y métodos.....	Pág. 16
3.1. Instalaciones y manejo de los animales.....	Pág. 16
3.2. Muestreo y variables empleadas.....	Pág. 16
3.2.1. Termómetro digital.....	Pág. 17
3.2.2. Cámara de termografía infrarroja.....	Pág. 17
3.2.3. Termómetro de infrarrojos.....	Pág. 19
3.2.4. Procedimiento experimental.....	Pág. 20
3.3. Análisis estadístico.....	Pág. 24
4. Resultados y Discusión.....	Pág. 25
5. Conclusiones.....	Pág. 33
6. Bibliografía.....	Pág. 34
Anexo I: Comparativa de temperatura rectal con la tomada mediante cámara de termografía infrarroja en pata	Pág. I
Anexo II: Comparativa entre temperatura rectal y temperatura tomada mediante cámara de termografía infrarroja en vulva	Pág. II
Anexo III: Muestra los diversos resultados de temperatura media medidas en la región de la vulva mediante cámara de termografía infrarroja con respecto al resultado de 38,2 en diferentes ovejas.....	Pág. III

Validación de sistemas infrarrojos como método de medición de temperatura corporal en la especie ovina.

ÍNDICE DE FIGURAS.

FIGURA 1: distribución de los tipos de explotación del sector ovino en España en porcentajes. Fuente: MAPA (2020).....	Pág. 4
FIGURA 2: termómetro digital PIC solution. Fuente: elaboración propia.....	Pág. 17
FIGURA 3: cámara de termografía infrarroja Testo 868.....	Pág. 17
FIGURA 4: termómetro de infrarrojos Testo 830-T2.....	Pág. 19
FIGURA 5: empleo de cámara de termografía infrarroja en las regiones de la oreja, vulva y lagrimal. Fuente: elaboración propia.....	Pág. 20
FIGURA 6: ejemplo 1. Foto número 77, correspondiente a la región de la oreja de la oveja número 101. Fuente: elaboración propia.....	Pág. 21
FIGURA 7: ejemplo 2. Foto número 79, correspondiente a la región lagrimal de la oveja número 101. Fuente: elaboración propia.....	Pág. 22
FIGURA 8: ejemplo 3. Foto número 78, correspondiente a la región del hocico de la oveja número 101. Fuente: elaboración propia.....	Pág. 22
FIGURA 9: ejemplo 4. Foto número 73, correspondiente a la región del cuello de la oveja número 101. Fuente: elaboración propia.....	Pág. 23
FIGURA 10: ejemplo 5. Foto número 71, correspondiente a la región de la vulva de la oveja número 101. Fuente: elaboración propia.....	Pág. 23
FIGURA 11: ejemplo 6. Foto número 72, correspondiente a la región de la pata trasera de la oveja número 101. Fuente: elaboración propia.....	Pág. 24
FIGURA 12: gráfica que representa la relación estadística entre las variables empleadas en el estudio.....	Pág. 26
FIGURA 13: comparativa de medición de temperatura rectal con la tomada en ojo mediante cámara de termografía infrarroja.....	Pág. 30

Validación de sistemas infrarrojos como método de medición de temperatura corporal en la especie ovina.

ÍNDICE DE TABLAS.

TABLA 1: clasificación de censo ovino empleado en el experimento. Fuente: elaboración propia.....Pág.16

Validación de sistemas infrarrojos como método de medición de temperatura corporal en la especie ovina.

RESUMEN.

Hasta la fecha el método de elección para la toma de temperatura en la especie ovina ha sido mediante termómetro digital vía rectal. Esto hace indispensable la inmovilización del animal, suponiendo un estrés adicional que puede hacer variar el resultado. La temperatura corporal es un parámetro fisiológico que informa al veterinario de la salud del animal y la detección temprana de un resultado anómalo es clave para su resolución. Dada la importancia de dicho parámetro fisiológico se fija como objetivo la validación de dos métodos infrarrojos no invasivos para la toma de temperatura.

Para la realización del presente estudio se empleó un censo de 72 ovejas, cruce de raza manchega y de objetivo productivo cárnico, pertenecientes a la Granja Docente de la Universidad Católica de Valencia "San Vicente Mártir". El experimento se realizó en los corrales en los que se albergaban. Primero se inmovilizaron por lotes y, posteriormente, se tomó la temperatura a cada uno de los animales, con el termómetro digital, la cámara de termografía infrarroja y el termómetro láser, al mismo tiempo. Mediante los métodos infrarrojos se tomó la temperatura en diversas regiones: lagrimal, hocico, oreja, vulva, pata y cuello. Al analizar los resultados obtenidos mediante el coeficiente de correlación de Pearson, la mayor correlación fue 0,48 correspondiente al termómetro de infrarrojos medido en hocico. Puesto que el presente estudio establece una correlación significativa a partir de 0,80, estos métodos infrarrojos no se consideran sustitutivos del termómetro digital rectal como método de toma de temperatura corporal en ovino.

Palabras clave: *ovino, termómetro digital, cámara de termografía infrarroja, termómetro de infrarrojos.*

ABSTRACT.

To date, the method of choice for measure temperature in sheep has been by rectal digital thermometer. This makes immobilization of the animal essential, assuming additional stress that can change the result. Body temperature is a physiological parameter that informs the veterinarian of the health of the animals and the early detection of an anomalous result is key to its resolution. Given the importance of this physiological parameter, the validation of two non-invasive infrared methods for temperature measurement is set as an objective.

To carry out the present study, a census of 72 sheep was used, a crossbreed of the manchega breed and with a meat production objective, belonging to the Teaching Farm of the Universidad Católica de Valencia "San Vicente Mártir". The experiment was carried out in the pens where they were housed. First, they were immobilized in batches and, later, the temperature was taken from each of the animals, with the digital thermometer, the infrared thermography camera and the laser thermometer, at the same time. Using infrared methods, the temperature was taken in various regions: tear, snout, ear, vulva, leg and neck. When analyzing the results obtained using Pearson's correlation coefficient, the highest correlation was 0.48 corresponding to the infrared thermometer measured in the snout. Since the present study establishes a significant correlation from 0.80, these infrared methods are not considered substitutes for the digital rectal thermometer as a method of taking the body temperature in sheep.

Keywords: *sheep, digital thermometer, infrared thermography camera, infrared thermometer.*

1. INTRODUCCIÓN

1.1. El sector ovino en España

El sector ovino en España se ve representado junto al sector caprino con una producción final ganadera de un 9,9%, quedando en el quinto lugar respecto al resto de sectores en el año 2019. Dicho sector percibió un total de 1.964,9 millones de euros en el ejercicio de ese año, donde la producción cárnica ocupó un 57% de la productividad total del sector, generando 1.140 millones del total nombrados anteriormente (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA), 2019).

Tanto sector ovino como caprino, sitúan a España, dentro de la Unión Europea, en un segundo puesto por importancia de censo. Así bien, el sector ovino encabeza al caprino, contando con 15.478.615 de cabezas frente a los 2.659.112 que representa al censo caprino en el 2019 (MAPA, 2019).

En cuanto al censo ovino en España, desde 2006, año en el que se registró un censo de 22,4 millones de cabezas, este ha ido en decadencia, y según las últimas actualizaciones del MAPA (2019), en 2019 se registró un censo ovino de 15.478.615 (MAPA, 2019). Del total, 8.708.658 son ovejas y corderas cubiertas para aptitud cárnica; 2.338.131 son ovejas y corderas cubiertas para ordeño; 699.695 son ovejas no cubiertas y 3.732.131 son corderos y sementales. Con una distribución de censo ovino por Comunidad Autónoma en la que se sitúa en cabeza Extremadura, Castilla y León, Castilla La Mancha y Andalucía, en orden decreciente (MAPA, 2020).

Dicho censo se ve distribuido en diversos sistemas en función de la intensificación de la producción. Por una parte, el sistema de carácter extensivo, propio de zonas rurales, en el que se dispone de forma total o parcial de una base territorial. Este aprovecha los pastos para la alimentación del ganado, de forma que el censo de la explotación depende de la base territorial disponible (Ruiz et al. 2019).

Por lo general, son explotaciones pequeñas con baja carga ganadera, que emplean pocos recursos de mano de obra e infraestructura y, por tanto, obtienen una menor productividad. Además, este sistema permite perpetuar la conservación del patrimonio natural y el desarrollo rural de forma sostenible, generando un servicio tanto ambiental como social (Ruiz et al. 2019). A día de hoy, dicho carácter puramente extensivo, se observa en pocas Comunidades Autónomas, como son Galicia o Cantabria, pues ha ido en declive desde las últimas décadas (Ruiz et al. 2019).

En contraposición a este tipo de sistema, se presenta la producción intensiva. Sistema distinguido por el carácter automático de las explotaciones, cada vez más tecnificado y con una mano de obra más cualificada. Permite tener un gran censo ganadero, en estabulación permanente, totalmente dependiente de insumos externos, pero que obtiene una mayor productividad (Ruiz et al. 2019).

Y, por último, una combinación de ambos sistemas descritos genera el sistema semi-extensivo o semi-intensivo. Este último y el intensivo, son los más presentes en España (Ruiz et al. 2019). Siendo el sistema intensivo el que comúnmente se encuentra en ovino de leche y el sistema semi-extensivo y extensivo el que comúnmente se encuentra en ovino de carne (MAPA, 2019).

Al contrario que en la distribución del censo, en el caso de la distribución de las explotaciones de ovino en España, estas se concentran en Galicia, Andalucía, Extremadura y Asturias, según la actualización de febrero de 2020 del MAPA (MAPA, 2020).

Siendo, del total de estas explotaciones, las de reproducción para producción de carne las que resaltan con un 79,16% respecto al resto (MAPA, 2020). Como se aprecia en la figura 1.

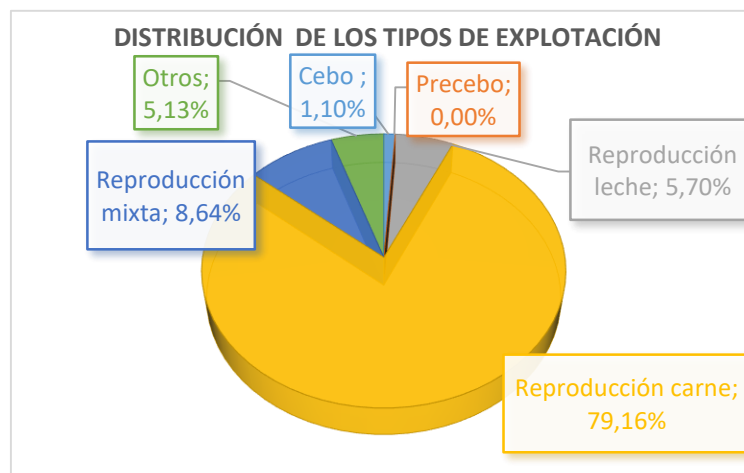


Figura 1: distribución de los tipos de explotación del sector ovino en España en porcentajes. Fuente: MAPA (2020).

Así pues, cabe destacar, que desde 2007 hasta 2019, el número de explotaciones ha sufrido varianzas significativas y los últimos datos señalan una tendencia descendente, donde se contabilizan 114.035 explotaciones de censo ovino (MAPA, 2020).

Al comparar el censo ovino y el número de explotaciones presentes entre las distintas Comunidades Autónomas, se pone de manifiesto la desigualdad que en ellas reside, pues tenemos Comunidades, donde hay un número elevado de explotaciones, pero de tamaño reducido y censo bajo como Galicia, y otras, en las que existe mayor profesionalización y tecnificación del sector y cuentan con explotaciones de gran tamaño y, por tanto, un censo ovino mayor, como es el caso de Aragón (MAPA, 2019).

En la actualidad la tendencia dicta la desaparición de las pequeñas explotaciones y especialización del sector, buscando una mayor rentabilidad al ejercicio, pues muchas de las explotaciones subsisten económicamente gracias a las subvenciones comunitarias.

En cuanto a la producción láctea, ha experimentado cierta modernización en estos últimos años, marcada, sobre todo, por la sustitución de razas autóctonas, por razas foráneas con características mejoradas, como son Assaf y Lacaune, predominando explotaciones intensivas de estabulación permanente. El flujo de producción láctea ovina es más o menos constante y se ve concentrada en las Comunidades Autónomas de Castilla y León, Castilla La Mancha, Navarra, Extremadura, Madrid y País Vasco. Cabe destacar que la mayor parte de la producción láctea, se destina a la transformación en quesos y productos lácteos, presentando tendencia al alza desde 2010 para comercio intracomunitario y terceros países (MAPA, 2019).

Enmarcando la producción de carne de ovino en España, sigue con la tendencia generalmente descendente que le caracteriza desde el año 2003, siendo Castilla y León, Cataluña y Castilla La Mancha, las Comunidades Autónomas donde más producción de carne de ovino se presenta (MAPA, 2020).

El sacrificio de ovino se concentra en el mes de diciembre, habiendo una tendencia a la baja de 2016 a 2019, donde en el ejercicio del 2019, Castilla y León se posiciona en cabeza con un 33,22% de los sacrificios totales, y les siguen Castilla la Mancha, y Cataluña (MAPA, 2021).

A su vez, el consumo de carne de ovino en los hogares españoles, sufría una tendencia generalmente descendente, sin embargo, según los últimos datos del MAPA (2021) indican que del año 2019 a 2020 se ha experimentado un aumento del 5,4%, siendo el mes de diciembre cuando más cordero es consumido en los hogares (MAPA, 2021). Y, por tanto, aumentando así, el consumo per cápita de 1,31 Kg que se presentaba en 2019 (MAPA, 2020). Así pues, mantiene un comportamiento constante el resto de meses del año (MAPA, 2019).

En cuanto al comercio exterior, las importaciones de ovino vivo se ven concentradas desde nuestros países vecinos, Francia, Portugal e Italia, en orden decreciente y concentrándose en el mes de diciembre (MAPA, 2021). Por consiguiente, la exportación de ovino vivo tanto a terceros países como a la Unión Europea también se ve en aumento, encabezada por Libia, Portugal, Alemania y Rumanía (MAPA, 2020).

En contraposición, la importación de carne de ovino, en este último año, generalmente ha descendido, los países que más importan, siguen siendo Italia, Francia y Grecia, en este orden. Al mismo tiempo, en el caso de la exportación de carne de ovino, se muestra un descenso significativo hacia los países que más se exportaba años anteriores (Francia, Italia, Dinamarca y Reino Unido). En cambio, se refleja un aumento de exportación hacia países a los que años anteriores se exportaba en menor cantidad, como son: Qatar, Kuwait, Bahrein, Emiratos Árabes Unidos y Alemania (MAPA, 2021). Así pues, por lo general, en la exportación de carne de ovino, se refleja un aumento de un 19,5% en 2019 respecto al 2018 (MAPA, 2020).

Si se hace balanza de la comercialización exterior, tanto de animales vivos como carne, se puede decir que es positiva, proporcionando una consolidación de la estabilidad del sector cárnico, en una actualidad en la que el consumo interno del país ha estado en decadencia total hasta 2019 (MAPA, 2019).

1.2. La importancia de la toma de temperatura en ovino.

La temperatura corporal es un parámetro fisiológico de vital interés, pues se puede emplear como indicador para la detección temprana de enfermedades (Fuchs et al. 2019), ya sean infecciosas, como diarrea vírica bovina o fiebre aftosa; o enfermedades inflamatorias como laminitis o mastitis, así como, indicador general de estrés (McManus et al. 2016), puesto que una de las respuestas del organismo frente a dichos agentes, es un aumento de temperatura. Además de la importancia económica que supone, para el ganadero, la varianza de este parámetro, pues tanto su disminución como aumento puede alterar la productividad del animal. Animales con hipertermia o hipotermia son animales que se encuentran decaídos y pasan más tiempo tumbados, lo que conlleva a acudir menos al pesebre y la disminución de ingesta, traduciéndose en un bajo índice de conversión y producción láctea (Underwood et al. 2015).

La temperatura, al igual que el resto de parámetros fisiológicos, se puede ver afectada por múltiples factores. Entre estos factores destacan las condiciones ambientales, el estado sanitario del animal y situaciones de estrés (Sellier, Guettier y Staub, 2014).

Las condiciones ambientales, dependientes de la región y época del año, tales como la temperatura ambiental, humedad, viento, lluvia... causan una influencia sobre la temperatura corporal del animal. Al someterse a efectos climáticos adversos, como puede ser en un clima tropical, donde el calor se hace más sensible por la presencia de humedad, y la temperatura oscila los 24°C, la oveja se expone a disipar el calor absorbido del ambiente más su calor metabólico, pudiendo producir una sobrecarga termorreguladora (Kahwage et al. 2018).

Además, dichas condiciones ambientales desfavorables también generan un efecto negativo sobre la productividad animal, nombrada anteriormente. Esto último, se ve reflejado en determinada fuente, en la que se hizo un estudio manipulando el microambiente, del recinto de cría, de distintos grupos de corderos, unos a una temperatura mínima más alta ($14,59 \pm 0,54^{\circ}\text{C}$) y otros a temperatura mínima más baja ($8,59 \pm 0,71^{\circ}\text{C}$), resultando en el beneficio del bienestar de los criados a temperatura mínima más alta durante las noches de invierno, y traduciéndose en un aumento del peso promedio diario respecto al resto (De et al. 2018).

El estado sanitario del animal es otro de los factores que hace variar la temperatura corporal, pues el padecimiento de enfermedades infecciosas o inflamatorias (Vinkers et al. 2008), que produzcan dolor, conduce a la liberación de sustancias pirógenas como las citocinas proinflamatorias (Filella, Molina y Ballesta, 2002), y la síntesis de Prostaglandina E₂, iniciando la termogénesis (Blomqvist y Engblom, 2018).

El estrés. Según varios estudios, uno de ellos publicado en la revista Science, realizado en ratones (McManus et al. 2016), los factores estresantes, como puede ser en este caso un manejo inadecuado, pueden resultar en el aumento de temperatura corporal, pues se activa el eje hipotalámico-pituitario-adrenocortical (McManus et al. 2016), actuando el sistema nervioso simpático, generando un aumento de catecolaminas y cortisol con la consecuente hipertermia (Kataoka et al. 2020). Esta hipertermia inducida por estrés también ha sido descrita en ovejas (Pedernera-Romano et al. 2010), donde se estudió mediante termografía infrarroja el estrés y las emociones negativas debido al manejo humano. (Cannas et al. 2018).

Por último, otros de los factores que hacen variar la temperatura también son los ritmos circadianos, el estado sexual (estro, preñez, parto, lactancia) y cualquier tipo de actividad muscular. (Sellier et al. 2014).

El rango fisiológico de temperatura en la especie ovina es de 39 a 40°C en animales adultos y de 39,5 a 40,5°C en animales jóvenes. Cuando la temperatura tomada es inferior a 38°C o superior a 40°C, se habla de hipotermia o hipertermia respectivamente, pues se sale del rango de valor

establecido como fisiológico. En ambos casos se puede hablar de estrés térmico (Underwood et al. 2015).

El grado de tolerancia al calor dependerá de la raza y sus características, siendo, por lo general, las razas de aptitud lechera más sensibles al calor que las razas de aptitud cárnica, de la misma forma los animales que más producen, también son más susceptibles al generar más calor metabólico (Bernabucci et al. 2010). Por otra parte, un estudio refleja que los animales de lana que viven en climas cálidos tienen mayor tolerancia que los animales seleccionados para lana comercial, así como también son más tolerantes los animales de pelaje blanco y animales pequeños en comparación con los grandes (McManus et al. 2020). Así pues, los grupos menos tolerantes, se pueden ver afectados por el estrés térmico, viéndose traducido en efectos negativos en cuanto al rendimiento productivo y reproductivo.

Por una parte, un animal hipertérmico se encuentra apático, aumenta su frecuencia respiratoria, disminuye la ingesta de alimento y aumenta el consumo de agua (Bernabucci et al. 2010), se produce vasodilatación y redistribución del flujo sanguíneo hacia tejidos periféricos (Vicente et al. 2020). También se observa la alteración del estado endocrino y metabólico, en el que disminuyen las hormonas anabólicas y aumentan las catabólicas (disminuye T3 y T4; aumentan el cortisol y la insulina) (Vicente et al. 2020), así como la puesta en peligro de la respuesta inmunológica (Bernabucci et al. 2010).

Por otra parte, también se puede desencadenar anestro, reducción de la tasa ovulatoria y pérdida de óvulos por la exposición al frío, baja fertilización del óvulo y descenso de la viabilidad del embrión (Buratovich, 2010).

1.3. Métodos de medición de temperatura

El menester de conocer la salud física y el bienestar del rebaño es un objetivo primordial en la ganadería actual y siendo la temperatura un indicador de estos, surge la necesidad de estudiar los métodos más precisos para evaluarla, así como los mejor adaptados a las propias necesidades del ganado y el ganadero (Sellier et al. 2014).

En la actualidad, gracias al desarrollo continuo tecnológico, ya no solo se dispone del método tradicional de medición de temperatura central, como es el termómetro rectal, si no que se ha ido propagando la implantación de sistemas que permiten el monitoreo de esta sin necesidad de inmovilizar al animal (Sellier et al. 2014).

Ante la situación de emplear estos métodos, también cabe diferenciar el tipo de temperatura que medirán, pues, por una parte, se encuentra la temperatura central del cuerpo, que es la que indica la temperatura interna, cercana a los órganos principales, y, por otra parte, se presenta

la temperatura periférica o superficial, que es la que se obtiene al realizar la medición sobre piel, pelo, ojos, patas u orejas (Sellier et al. 2014).

De esta forma, los métodos de medición de temperatura más relevantes son: termómetro digital, cámara de termografía infrarroja y termómetro de infrarrojos (Sellier et al. 2014).

1.3.1. Termómetro digital

El termómetro digital es el sucesor de los termómetros de mercurio usados durante gran parte de la historia desde que, en 1597, Galileo Galilei diseñara una maqueta, la cual, en los siguientes 200 años otros científicos optimizaron, logrando en 1724 el primer termómetro a base de mercurio, diseñado por Daniel Gabriel Fahrenheit. Pese a ello, no fue hasta 1867 cuando se instauró la toma de temperatura como una práctica rutinaria, cuando Thomas Clifford Allbutt inventó el termómetro clínico, capaz de medir la temperatura axilar en 5 minutos (Velasco y Fernández, 2015).

El termómetro de mercurio se ha ido sustituyendo por el termómetro digital debido a que en 2007 se aprobó la prohibición de la Unión Europea en cuanto al uso de este metal pesado en instrumentos clínicos, pues es una sustancia con elevada toxicidad ambiental (Rani, Basnet y Kumar, 2019).

El termómetro digital es el método de medición de temperatura corporal más empleado en la actualidad en la medicina veterinaria.

Su mecanismo es muy sencillo, dependiendo del tipo de sensor o transductor de temperatura que utilice el termómetro, al ponerse en contacto con el cuerpo a medir, se producirá un cambio en la resistencia o voltaje, por el cambio de temperatura, lo que se traduce en una señal eléctrica proporcional a la temperatura medida, generando un número binario que puede estar en escala Celsius o Fahrenheit (Kemper y Bringert, 2007).

El sensor que se usa de forma más habitual es el termopar, este está constituido por dos metales en forma de hilo, que se unen en el extremo que está en contacto con el cuerpo a medir, y se encuentran separados en el otro extremo. La diferencia de temperatura que se genera entre sus dos extremos, da un voltaje específico que indicará la temperatura. Existen diferentes termopares dependiendo del tipo de metal que se emplee (Kemper y Bringert, 2007).

Otros tipos de sensores también son: el termistor, que genera una resistencia no lineal en función de la temperatura; los detectores de temperatura de resistencia, que generan una resistencia a la temperatura dada casi lineal; y los sensores de estado sólido, que generan voltaje en base a la temperatura (Kemper y Bringert, 2007).

Según los estudios clínicos, realizados en ganado vacuno, comparando el termómetro de mercurio y el termómetro digital, no se establecen diferencias significativas en los resultados (Naylor, Streeter y Torgerson, 2012), pero sí hay mayor fluctuación en la lectura del termómetro digital, pues hasta el 23% de las mediciones difieren $>0,5^{\circ}\text{C}$, en cambio en el caso del termómetro de mercurio las diferencias se establecen en un 0,6% (Sian Pugh et al. 1986).

El termómetro digital, se usa tanto en medicina humana como veterinaria desde hace más de una década (Velasco y Fernández, 2015), pues es un instrumento clínico, de fácil uso y lectura, con un costo reducido que ronda los 8 € y, además, más seguro y rápido que su antecesor, pues no contiene mercurio y permite la lectura de temperatura en menos de un minuto (Katsoulos et al. 2016).

Pero todo no gira a su favor, pues la toma de temperatura en los animales se realiza introduciendo el termómetro digital por el recto, de forma que se hace necesaria su inmovilización, seguramente durante más de un minuto. Esto genera dos circunstancias problemáticas, por una parte, el estar en contacto con el animal e inmovilizarlo puede generar una respuesta estresante, pudiendo producirse hipertermia por estrés (Sellier et al. 2014), por tanto, el proceso en sí dificulta una lectura precisa de los resultados (McManus et al. 2016).

Por otra parte, el tiempo que se tarda en realizar la medición también afectará a su precisión, pues hay animales de manejo complicado hacia los cuales se hace difícil la sujeción física, como puede ser el cerdo, así pues, entre que se procede a reducirlo, insertar el termómetro y que muestre el resultado, transcurre un tiempo innecesario que afecta a su interpretación y aumenta el estrés del animal. Además, como se muestra anteriormente, el tiempo de lectura no es inmediato (Jara et al. 2016).

1.3.2. Sistemas de infrarrojos

El nacimiento de la radiación infrarroja comenzó alrededor del año 1800, donde Frederick William Herschel, al trabajar con un termómetro de mercurio y un prisma, generó un espectro de luz solar, sobre el que posteriormente descubrió que unos colores tenían una temperatura y otros otra (Velasco y Fernández, 2015).

Los sistemas de infrarrojos son una tecnología que permite la medición de la transferencia de calor y cambios en el flujo sanguíneo (McManus et al. 2016) de forma no invasiva, sin contacto con el animal y sin necesidad de restricción del movimiento (Knížková et al. 2007).

La medida de temperatura mediante sistemas infrarrojos, se hace posible debido a que cualquier objeto que tenga una temperatura superior al cero absoluto ($-273,15^{\circ}\text{C}$ o 0°K) tiene la capacidad de emitir una radiación infrarroja y teniendo en cuenta el rango de longitud de onda y la emisividad del objeto se determina la temperatura (Sellier et al. 2014).

La emisividad es la relación existente entre la capacidad de radiar energía de la superficie de un cuerpo real a cierta temperatura, con la energía que radia el llamado cuerpo negro, o cuerpo físico idealizado, a la misma temperatura.

Un cuerpo negro es un cuerpo que absorbe toda la radiación electromagnética incidente, de esta forma el cuerpo negro tiene una emisividad de 1, mientras un cuerpo real siempre tendrá una emisividad inferior a 1 (Sellier et al. 2014).

Comercialmente, en el campo de la medicina veterinaria, algunos de los dispositivos con tecnología infrarroja que se pueden encontrar son la cámara de termografía infrarroja y el termómetro de infrarrojos. Ambos han sido utilizados, y cada vez más, en el diagnóstico de enfermedades ortopédicas, en el caso de los caballos y vacas, así como para la investigación en diversas áreas del ámbito de producción animal. En el ordeño para evaluar presencia de mamitis. En el campo de bienestar animal evaluando el estrés térmico en las prácticas habituales de manejo (Stewart et al. 2005). Como herramienta no invasiva para la evaluación del metabolismo y la nutrición, por una parte, para medir la producción y emisión de metano, y, por otra parte, para evaluar la eficiencia alimentaria, realizándose con la medición de la temperatura en cara y porción distal de las extremidades posteriores, donde queda demostrado que la producción de carne es más eficiente con menor pérdida de calor y producción de metano. Por tanto, los animales más eficientes muestran una temperatura de superficie corporal más baja que los menos eficientes. También han sido empleados en la detección de enfermedades, que puedan dar sintomatología febril; detección de ectoparásitos (McManus et al. 2016) pudiendo evaluar su presencia en la superficie del animal como es el caso de la *Hypoderma spp.*; y, por último, detección temprana del estro (Ribeiro y Garófallos, 2014) o evaluación del ciclo estral (Barros de Freitas et al. 2018) en el campo de la reproducción.

Generalmente, estos dispositivos, tienen la capacidad de medir desde unos pocos metros a la superficie, hasta 3000 metros, con un tiempo de respuesta mínimo (1 ms – 250 ms) y una capacidad de medición de temperatura de rango de -25°C a 100°C (Sellier et al. 2014).

Cabe destacar, que al usar tanto un sistema como otro, se debe tener en consideración las condiciones ambientales externas, pues es un factor que causa efecto sobre la calidad de la transmisión de la radiación emitida por el cuerpo y recibida por el detector.

Así como, también se tendrá en cuenta, la distancia a la superficie, respetando las indicaciones de la hoja técnica; el sitio de medición, interpretándose los resultados en contexto con este, y el ángulo al cuerpo que se quiere medir.

Dependiendo de la emisividad del cuerpo se especifica un error asociado, por ejemplo, la piel seca del mamífero tiene un rango de emisividad de 0,98 a 1,0°C. Ante una superficie con emisividad de 0,98, se acepta un ángulo de 30° C, en cambio al ampliar el ángulo hasta 70° C el error aumenta de 0,5 a 3° C, y si es un ángulo superior a 70° C, el error aumenta a 4° C (Sellier et al. 2014).

Además, dichos dispositivos deben calibrarse con regularidad mediante un estándar conocido que garantice la aceptabilidad de los resultados (Sellier et al. 2014).

Al contrario que con el termómetro digital, con estos sistemas de medición de temperatura no es necesaria la inmovilización del animal, por lo que se reduce el factor estrés y posibles alteraciones fisiológicas, de forma que los resultados obtenidos pueden ser más fiables (Sellier et al. 2014).

Ambos métodos tienen mecanismos distintos de medición, la principal diferencia radica en que la cámara de termografía infrarroja analiza la temperatura de varios puntos de una misma región, y el termómetro láser analiza un único punto de la región.

1.3.2.1. Cámara de termografía infrarroja

La cámara de termografía infrarroja, permite medir la energía radiada en muchos puntos de una determinada área del objeto/cuerpo que se analiza, estos puntos posteriormente serán representados como píxeles en una imagen bidimensional llamada termograma, cada uno con una temperatura dada, generando así un mapa térmico del animal.

Dicha imagen, requiere de programa software para ser analizada (Knížková et al. 2007; Sellier et al. 2014).

Es un método en el cual la precisión de la que se dispone es de un error $< 0, 1^{\circ} C \pm 2\%$ del rango de temperatura. Sin embargo, debido a la cantidad de datos que se generan y, puesto que su análisis se realiza mediante software, nace la necesidad de disponer de ordenador, haciendo de este sistema un sistema informatizado que en algunos casos puede no acompañar a las instalaciones del lugar (Sellier et al. 2014). Su precio puede rondar de 1.124 a 5.445 €.

Son muchos los usos que se asocian a este método de toma de temperatura, pues a lo largo de los últimos diez años se han generado múltiples estudios en diversidad de especies.

En el caso del ovino, se ha observado, que las regiones de hocico, cuello y rabadilla, son puntos de referencia útiles para el empleo de la cámara de termografía, pues son buenos indicadores de confort térmico (McManus et al. 2016), en contraposición, diversos estudios señalan que la medición de temperatura en el ojo, puede ser una de las alternativas con mayor correlación a la temperatura corporal central, tomada de forma vaginal o rectal, en cambio esta correlación es menor si la temperatura se toma en hocico (George et al. 2014).

No solo en el caso del ovino, se ha demostrado que la temperatura del ojo es la que más se acerca a la temperatura corporal central, también es el caso del ganado vacuno, donde demuestran ser adecuadas las regiones del ojo y la parte posterior de la oreja, en correlación a la temperatura rectal (Hoffmann et al. 2013), así como el caso de los ponis, donde la medición en ojo se valida como método para detectar periodos febriles (Johnson et al. 2011). Aun así, hay fuentes bibliográficas que dejan entrever que la medición en córnea del ojo en ovino, pese a tener una correlación importante con la temperatura rectal, suele mostrar resultados más bajos, no considerándolo como un sitio apropiado para la medición, calificando otras zonas, como el área inguinal en ovejas en lactación, como más apropiadas para la medición (Katsoulos et al. 2016).

Siguiendo con sus usos, además, es una tecnología útil como indicador general de estrés, en el caso del ganado bovino lechero, donde se evaluó midiendo la temperatura en ojo; en caballos de competición, en los que se evaluó también midiendo la temperatura en ojo y en concordancia con el cortisol salival; en pollos de engorde, tomándola en la cabeza, cuello y alas, y en la especie ovina, específicamente en cordero, donde se evaluó empleando las regiones de la rabadilla, flanco delantero y trasero, obteniendo resultados congruentes (McManus et al. 2016).

Por otra parte, es un método bastante fiable para la evaluación de procesos inflamatorios y dolor, pues se ha demostrado su uso en el diagnóstico precoz de enfermedades como laminitis en vacas lecheras y mastitis en ovino, en especial las mastitis subclínicas, teniendo una capacidad de diagnóstico predictivo semejante al del test de California (McManus et al. 2016).

No solo se ha demostrado su uso diagnóstico en relación a enfermedades inflamatorias, sino también a enfermedades infecciosas, como son la diarrea vírica bovina o la fiebre aftosa, utilizando la región del ojo y la región de las pezuñas, para la toma de temperatura, respectivamente (McManus et al. 2016).

Otra de las aplicaciones, es su uso como detector de ectoparásitos que se encuentran en la superficie del animal, pues la imagen térmica que se genera permite distinguir el ectoparásito del propio animal hospedador (McManus et al. 2016).

Por último, en cuanto a los animales de compañía, se ha demostrado su eficacia en la detección precoz de tumores de mama, donde se detecta una varianza de temperatura en la superficie de la piel del área afectada y el área sana (McManus et al. 2016).

1.3.2.2. Termómetro de infrarrojos

El termómetro de infrarrojos, consta de una lente que enfoca la radiación infrarroja de energía al elemento detector, este traduce la energía recibida en una señal eléctrica y, posteriormente, conociendo la emisividad del objeto radiado se traduce a unidades de temperatura.

Para una lectura correcta, se debe tener en cuenta que el campo de visión se ajuste a la región que se quiere medir, pues el resultado es la media de toda la superficie que comprende el campo de visión (Sellier et al. 2014).

La precisión de este dispositivo tiene un error de 2º C o 0,5% del rango de temperatura (Sellier et al. 2014). Su precio se estima de 74 a 502€.

En este caso, el uso de dicho método en producción animal, no está tan extendido como el anterior, pues diversos estudios muestran poca correlación entre los datos obtenidos mediante termómetro infrarrojo y la temperatura corporal rectal. Algunos de estos estudios son, el realizado en cobayas, con láser infrarrojo timpánico donde se obtuvo poca concordancia (Devalle, 2005); en perros, tomando la medición en frente y trufa, mostrando un 95% de concordancia entre ellas, pero siendo de 5 a 7 º C más bajas que la temperatura corporal rectal (Omóbòwálé et al. 2017); en suidos, también mostrando temperaturas inferiores en 5º C respecto a la temperatura corporal rectal, pero en este caso considerándose el método más seguro para la especie (Jara et al. 2016); en gatos, con una diferencia media de 0,07º C (Kunkle, Nicklin y Sullivan-Tamboe, 2004), y en macacos Rhesus, donde el resultado tampoco se pudo catalogar como equivalente (Brunell, 2012).

En contraposición al estudio mencionado realizado en perros, tomando de referencia frente y trufa, cabe destacar que en otro estudio de 2020 se señala que, al comparar temperatura rectal y temperatura de la superficie corporal mediante infrarrojos en ojo, hocico, encía, axila, dedo, región inguinal y borde anal, se establece que, pese a que la temperatura superficial fue bastante más baja que la rectal, existe una correlación moderada entre ella empleando como puntos de medición la región inguinal y encías. Además, se hizo una puntuación de estrés, donde el infrarrojo produjo una respuesta de estrés más baja que el termómetro rectal (Cugmas et al. 2020).

Los estudios realizados mediante métodos infrarrojos, en diferentes especies animales, demuestran la eficacia, o ineficacia, que puede tener su uso para la detección temprana de enfermedades, estrés y dolor. Sin embargo, existe gran controversia entre estudios, por ejemplo, en la detección temprana de mastitis y de cojeras, en los que se obtienen resultados divergentes (Sellier et al. 2014).

1.4. Justificación del estudio

En la actualidad, se encuentran pocos estudios acerca de la fiabilidad de los dispositivos infrarrojos como método para realizar la toma de temperatura en ovino.

El método más empleado hasta el momento desde el año 2007, cuando se prohibió el uso del mercurio en instrumentos clínicos, es el termómetro digital, pero su forma de uso principal es la introducción vía rectal.

De aquí surge la necesidad de encontrar un método de toma de temperatura corporal central, en el que no sea indispensable manejar ni inmovilizar a los animales, buscando la máxima precisión en los resultados y evitando producir un estrés innecesario en el animal que pueda alterar la temperatura real.

Por ello, entran en el estudio de esta investigación dos métodos no invasivos, como son la cámara de termografía infrarroja y el termómetro infrarrojo, buscando la comparación con el método estrella hasta el momento, el termómetro digital.

2. OBJETIVOS

El objetivo principal del presente estudio es determinar la validez de la cámara de termografía infrarroja y el termómetro de infrarrojos como métodos para la medición de temperatura corporal en ovino.

Como objetivo secundario, se fija, el estudiar qué regiones del cuerpo del animal son más acertadas para evaluar la temperatura corporal mediante la técnica de termometría infrarroja, tomando como referencia la temperatura rectal obtenida mediante termómetro digital.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Instalaciones y manejo de los animales

Los experimentos realizados en el presente trabajo final de grado se desarrollaron en la Granja Docente de la Universidad Católica de Valencia “San Vicente Mártir”, localizada en el término municipal de Massanassa, durante el mes de Julio de 2020. Esta es una granja multiespecie, donde en el momento de la investigación se presentaba un censo de 72 cabezas de ganado ovino, cruce de raza manchega, y cuyo objetivo productivo es la producción de carne.

En dicha granja el manejo de los animales se basa en el sistema intensivo de estabulación permanente, donde, por tanto, no tienen acceso a pasto y su alimentación depende completamente de insumos externos. Esta alimentación consiste en pienso concentrado y subproductos agrícolas como: paja de cereal, ensilaje, caña de maíz, mazorca sin grano, corona de remolacha, alcachofa, brócoli, coliflor, pulpa y cáscara de naranja, bagazo de limón...

Los animales se encontraban albergados en dos tipos de corrales. Un corral cerrado o semicerrado y otro semiabierto.

El corral cerrado constaba de treinta amarres con sus respectivos comederos lineales, dos forrajeras de chapa y dos bebederos de canal. En dicho corral convivían, por una parte, las ovejas preñadas y, por otra, los carneros, pues estos dos lotes se encontraban separados por cancelas.

Por último, el corral semiabierto, constaba de una parte interior y una exterior con techado en la que se localizaban los treinta amarres con los respectivos comederos lineales, dos forrajeras de chapa y tres bebederos de canal. En este corral convivían las ovejas vacías y las ovejas lactantes con los corderos, los dos lotes separados como en el caso anterior por cancelas.

En ambos corrales la cama era de paja y disponía de varios bloques de sal y minerales.

3.2. Muestreo y variables empleadas

Para llevar a cabo este estudio se contó con el total de ovejas presente en la granja, es decir, setenta y dos ovejas.

El censo ovino empleado se puede dividir en dos grupos teniendo en cuenta el sexo, donde cuatro son machos y sesenta y ocho son hembras. Estas últimas se dividen en vacías, preñadas y lactantes, como puede observarse en la tabla 1.

Tabla 1: clasificación del censo ovino empleado en el experimento. Fuente: elaboración propia.

	<1 año	1 -2 años	2 – 3 años	3 – 4 años	>4 años	TOTAL
Vacía	2	2	3	8	9	24
Preñada	5	5	5	13	8	36
Lactante	-	2	1	3	2	8
Carneros	-	3	-	-	1	4
TOTAL	7	12	9	24	20	72

3.2.1. Termómetro digital

El termómetro digital es un instrumento rectangular, alargado, de unos 15 centímetros que consta de una punta, en la que se sitúa el sensor, y un cuerpo en el que se localiza la pantalla, donde aparecerá la temperatura en grados centígrados, y el botón de encendido. Todo ello se puede apreciar en la figura 2.

Se empleó el termómetro digital VedoPremium de la marca PIC solution, con sonda flexible y modalidad de lectura en grados centígrados, fácil y rápida y un tiempo estimado de espera de 10 segundos.

Para realizar la medición se introdujo la sonda flexible por el orificio anal del animal, hasta obtener la temperatura en grados centígrados.



Figura 2: termómetro digital PIC solution. Fuente: elaboración propia.

3.2.2. Cámara de termografía infrarroja

La cámara de termografía infrarroja, que se puede observar en la figura 3, consta de: un teleobjetivo con el que se mide la energía radiada del cuerpo, una pantalla en la que se muestra la imagen de la superficie a medir en diversidad de colores dependiendo de la temperatura, y un mango con un botón que permite tomar la imagen al pulsarlo.

Se empleó la cámara de termografía infrarroja Testo 868. Esta cámara cuenta con: una cámara digital integrada, calidad de imagen con resolución IR de 160 x 120 píxeles, sensibilidad térmica

Validación de sistemas infrarrojos como método de medición de temperatura corporal en la especie ovina.

desde 0,10°C, función de determinación automática de la emisividad y temperatura reflejada, y conexión por Wi-Fi a la App.



Figura 3: cámara de termografía infrarroja Testo 868. Fuente: Testo Be sure. (2021). Cámaras termográficas Testo: gama, funciones y tecnología. Recuperado de: <https://www.testo.com/es-ES/camara-termografica-testo-868/p/0560-8681>

A diferencia del termómetro rectal, la toma de temperatura mediante esta técnica se realizó acotando distintas regiones del cuerpo del animal, y considerándose dichas regiones como variables del estudio. Estas son: lagrimal, hocico, oreja, vulva, pata y cuello.

Se entiende por región del lagrimal, la zona de alrededor del ojo por el costado de la nariz, que comprende el ángulo formado entre los párpados; por región del hocico, la parte prominente de la cara de la oveja constando de labios inferiores, labios superiores y nariz; por región de la oreja, parte externa del pabellón auricular vista por la cara interna; por región de la vulva, zona externa de la vagina que conforma la entrada al cuello del útero; por región de la pata, la zona de la caña de la extremidad posterior izquierda y por región del cuello, la zona entre la cabeza y el cuerpo, vista de forma lateral.

La diferencia con los otros dos instrumentos empleados es que la cámara de termografía infrarroja proporciona imágenes de cada región tomada que posteriormente deben ser procesadas mediante un Software de análisis, para obtener, como en el caso anterior, la temperatura en grados centígrados.

La metodología de uso se basa en situar la parte del objetivo de la cámara en dirección a la región que se desea estudiar y una vez visualizada la imagen realizar una foto.

Este método se realizó siempre tomando la misma zona en cada región corporal nombrada, con una distancia aproximada de unos 25 cm al cuerpo del animal y un ángulo prácticamente recto a la región a medir.

3.2.3. Termómetro de infrarrojos

El presente dispositivo presenta un diseño tipo pistola, que cuenta con un mango y una pantalla donde se puede leer la temperatura, en grados centígrados, de la región que se esté midiendo en ese momento. Dicha temperatura se obtiene al pulsar el botón del mango, de forma inmediata.

El termómetro de infrarrojos utilizado fue el modelo Testo 830 – T2, como se muestra en la figura 4. Este instrumento consta de indicador láser, óptica 12:1, precisión con resolución de 0,1°C, emisividad ajustable y función Hold que permite retener los valores medidos.



Figura 4: termómetro de infrarrojos Testo 830-T2. Fuente: Testo Be sure. (2021). Termómetros por infrarrojos Testo: muy precisos, seguros y robustos. Recuperado de: <https://www.testo.com/es-ES/termometro-por-infrarrojos-testo-830-t2/p/0560-8312>

Las zonas de medición tomadas como variables de estudio coinciden con las indicadas en la cámara de termografía infrarroja siendo las regiones: lagrimal, hocico, oreja, vulva, pata y cuello.

La metodología de uso del termómetro de infrarrojos se fundamenta en ubicar la parte delantera del instrumento, donde está el indicador láser, hacia la región que se desea estudiar y una vez localizado el puntero láser, se ve reflejada la temperatura.

De la misma forma que con la cámara de termografía infrarroja, el procedimiento de medición se basó en situar el instrumento a una distancia aproximada de unos 25 cm al cuerpo del animal y un ángulo prácticamente recto a la región a medir. Con la diferencia de que, en este caso, aparece la temperatura, en grados centígrados, de forma automática en la pantalla superior.

3.2.4. Procedimiento experimental

Una vez seleccionadas las ovejas para el estudio, la medición se realizó en los corrales donde se albergaba cada lote de ovejas. Es decir, ovejas gestantes y carneros en el corral cerrado y ovejas vacías y lactantes en el corral semiabierto.

Para proceder al amarre de las ovejas se llenaron los comederos con pienso, de tal forma que, cuando el animal coloca la cabeza en el amarre para comer, este permite que la oveja no pueda sacarla, a no ser que una persona lo abra manualmente.

Pese a que el manejo en el amarre facilita la toma de temperatura, en el caso de los carneros y las ovejas lactantes, con motivo de no mezclar lotes, se realizó en el corral donde se ubicaban, pero con inmovilización manual, puesto que su zona de corral no poseía acceso a los amarres.

El procedimiento de toma de temperatura se realizó a cada uno de los animales con los tres métodos de medición que se exponen a comparativa en este estudio, termómetro digital, cámara de termografía infrarroja y termómetro infrarrojo. El orden que se siguió fue por grupos de corral, primero se amarraron las ovejas vacías y se tomó la temperatura, posteriormente se realizó lo mismo con las ovejas preñadas y, por último, se tomó en lactantes y carneros sin ser amarrados.

La toma de temperatura comenzó a las 8:53 de la mañana con la primera oveja, y puesto que se deben tomar todas las mediciones a la vez, intervinieron cuatro personas. Una de ellas se ocupó de la toma de temperatura rectal y frecuencia respiratoria, otra de la toma de temperatura mediante termómetro láser y una tercera de la toma de temperatura mediante cámara de termografía infrarroja, la cuarta se encargó de apuntar todos los datos recogidos por los compañeros y controlar la hora.

La frecuencia respiratoria se consideró una variable del estudio, puesto que nos permite relacionar la temperatura con el estado del animal, a fin de poder decantarnos por un método de medición correcto en caso de que las mediciones entre ellos difieran mucho.

En la figura 5 se puede observar un ejemplo del empleo de la cámara de termografía infrarroja en la región de la oreja, vulva y lagrimal.

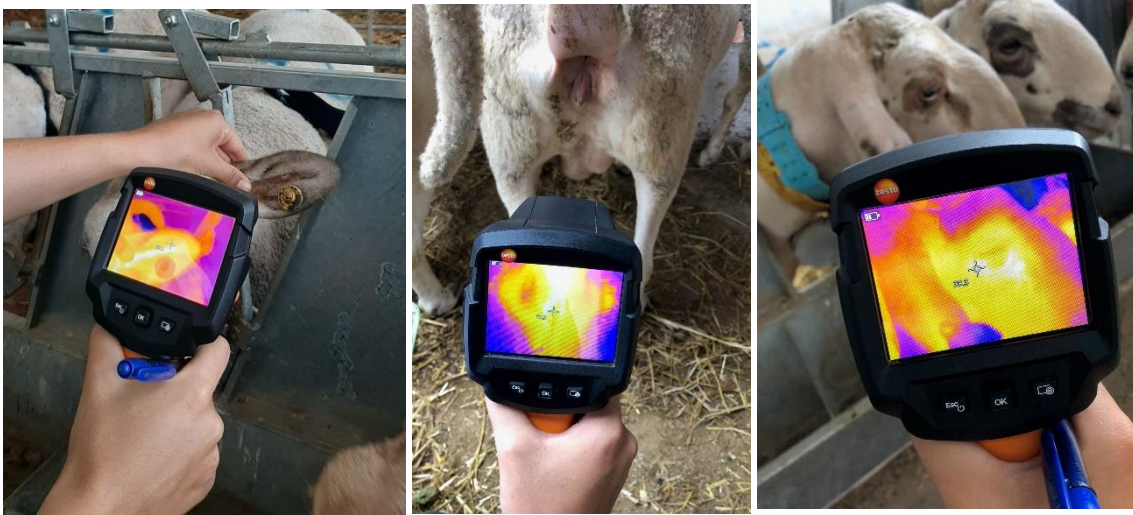


Figura 5: empleo de cámara de termografía infrarroja en las regiones de la oreja, vulva y lagrimal. Fuente: elaboración propia.

Inmediatamente después de realizar la toma de temperatura a las primeras veinticuatro ovejas vacías, se repitió el procedimiento con las treinta y seis ovejas preñadas, pero en este caso al solo disponer de treinta amarres, se separó el corral en dos de tal forma que no se mezclaran con las seis restantes y una vez realizada la toma se amarraron estas últimas, repitiendo la operación hasta muestrear la temperatura de todas las ovejas.

Durante todo el proceso, se anotó de cada animal: su número identificativo, el sexo (H o M), el estado (vacía, preñada, lactante), la hora en la que se tomó la temperatura, la frecuencia respiratoria, temperatura rectal, temperatura mediante termómetro láser en las distintas regiones, número de la imagen de la cámara de termografía infrarroja en las distintas regiones y observaciones tales como jadeo, mocos o caquexia.

Todo lo nombrado anteriormente se dispuso en una hoja de Excel. En el caso de las imágenes de la cámara de termografía infrarroja, se relacionó el número de la imagen con la oveja y la región a la que pertenecía, obteniendo una clasificación por regiones y oveja. Posteriormente se analizó cada una de las imágenes de las distintas regiones, mediante el Software de análisis de Testo para cámara de termografía infrarroja. Dicho análisis se efectuó siguiendo el orden de clasificación por regiones de las imágenes, de esta forma, en cada una de las regiones, se estableció la selección concreta de una zona determinada, para hacer el estudio lo más preciso posible. Al hacer la selección en la imagen, de la zona concretada previamente, el programa facilitó la temperatura mínima, máxima y media, como se puede observar en las figuras 6, 7, 8, 9, 10 y 11.

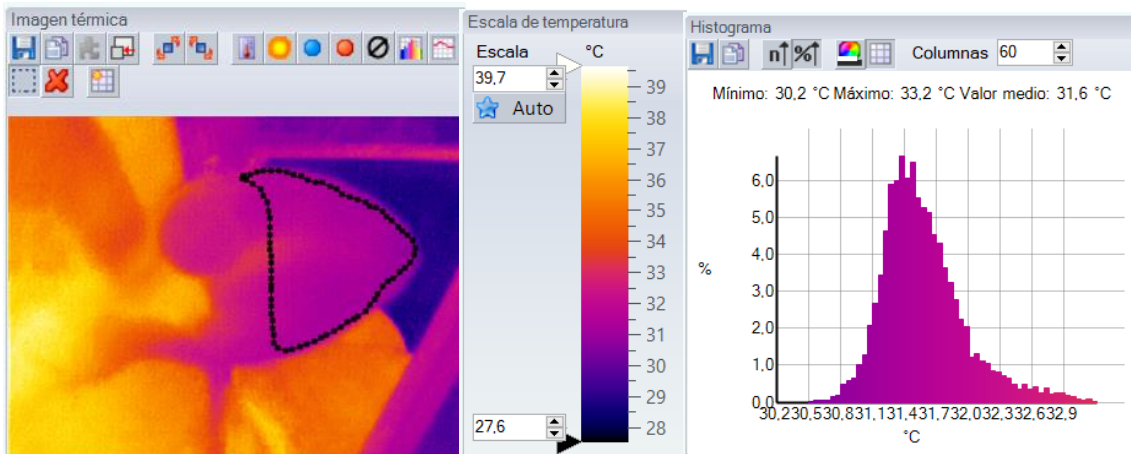


Figura 6: ejemplo 1. Foto número 77, correspondiente a la región de la oreja de la oveja número 101. Fuente: elaboración propia

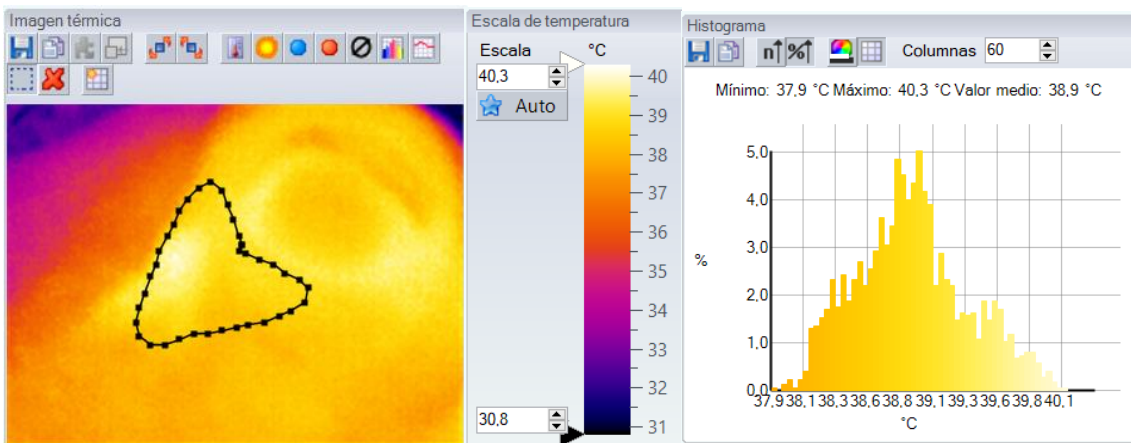


Figura 7: ejemplo 2. Foto número 79, correspondiente a la región lagrimal de la oveja número 101. Fuente: elaboración propia.

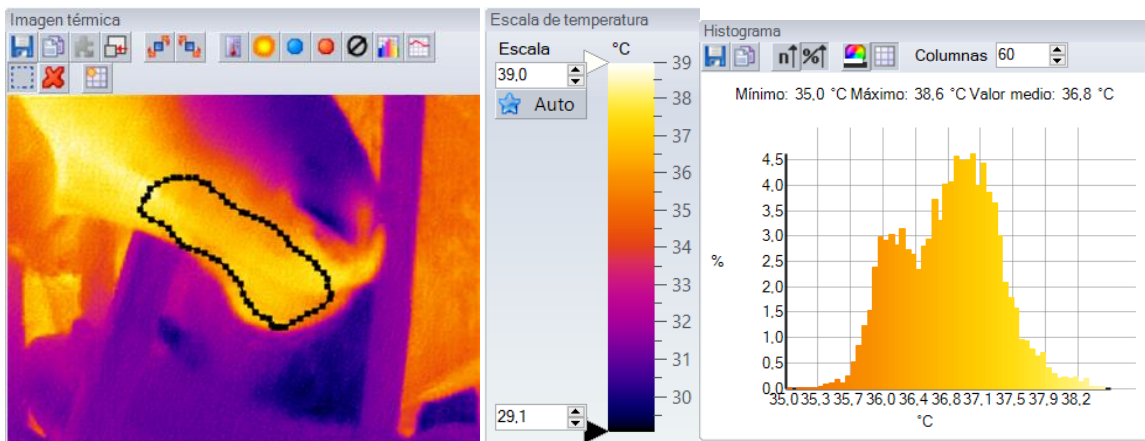


Figura 8: ejemplo 3. Foto número 78, correspondiente a la región del hocico de la oveja número 101. Fuente: elaboración propia.

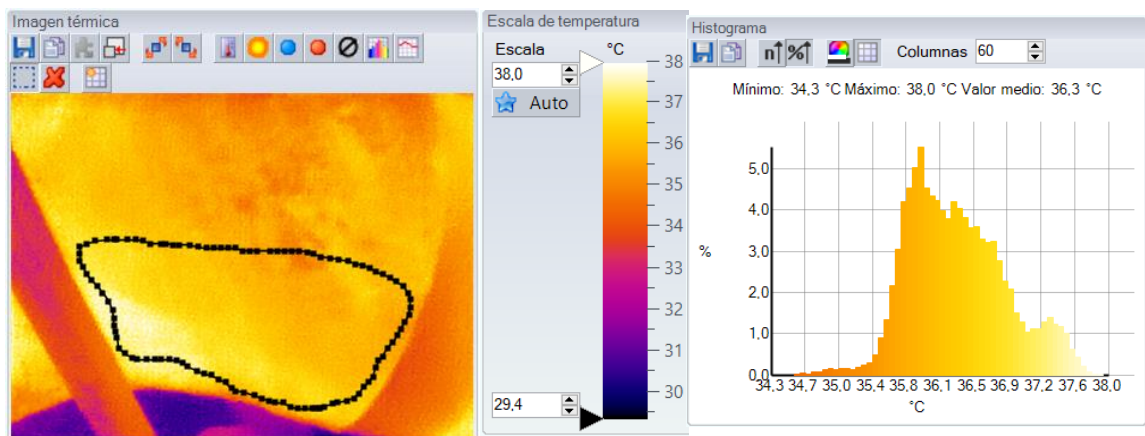


Figura 9: ejemplo 4. Foto número 73, correspondiente a la región del cuello de la oveja número 101. Fuente: elaboración propia.

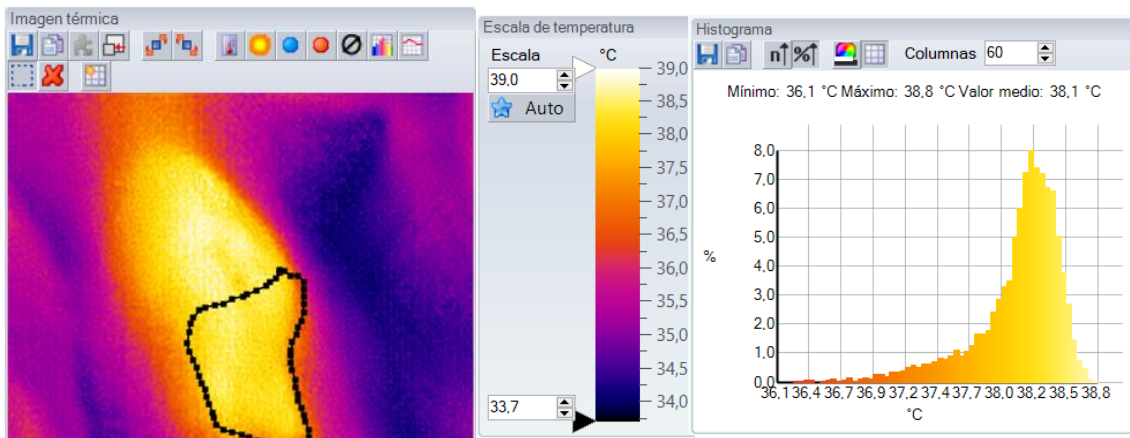


Figura 10: ejemplo 5. Foto número 71, correspondiente a la región de la vulva de la oveja número 101. Fuente: elaboración propia.

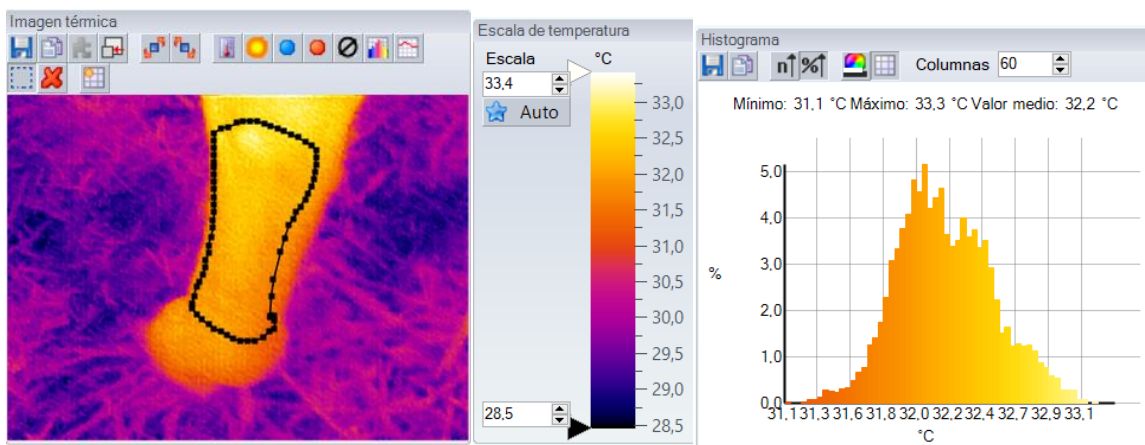


Figura 11: ejemplo 6. Foto número 72, correspondiente a la región de la pata trasera de la oveja número 101. Fuente: elaboración propia

3.3 Análisis estadístico

Para el análisis de las variables del presente estudio se ha empleado el método estadístico de coeficiente de correlación de Pearson. Este coeficiente mide la dependencia lineal o relación estadística que se establece entre dos variables. Al analizarlas toma un rango de valores estableciendo una relación estadística entre estas.

Las variables empleadas en este experimento son: temperatura tomada mediante termómetro digital vía rectal, temperatura tomada mediante cámara de termografía infrarroja y termómetro infrarrojo en las regiones del lagrimal, hocico, oreja, cuello, vulva y pata.

Mediante el coeficiente de correlación de Pearson se analizó la relación estadística existente entre cada una de las variables mencionadas. Dicha relación estadística se ve representada con un rango de valores que van de +1 a -1, donde 0 es el valor intermedio.

Cuando el valor al analizar la relación estadística entre dos variables es igual a 0 o cercano a 0, indica que no hay relación lineal entre las variables.

En cambio, tanto si el valor se acerca a +1 como si se acerca a -1, las variables se encuentran asociadas. En el caso de acercarse a +1 se habla de una asociación positiva, donde al crecer una variable también crece la otra. Por el contrario, si los valores se acercan a -1 se habla de una asociación negativa, donde al crecer una variable se produce el descenso de la otra.

Si al agrupar los elementos en una gráfica se encuentran representados de forma lineal o casi lineal, seguramente la línea generada sea cercana a +1 o -1 y se puede decir que hay una correlación elevada entre las variables, en cambio, cuando la asociación de los elementos, lejos de generar una línea, dibuja una nube de puntos dispersos, seguramente esta se acerque al valor de 0 y se puede decir que entre esas variables hay correlación baja o nula (Consultoría estratégica de investigación de mercados, 2020).

Puesto que el presente estudio busca la comparación de resultados entre la medición de temperatura con termómetro digital rectal y dos métodos de termografía infrarroja, el análisis comparativo de las variables mediante el coeficiente de correlación de Pearson, se considera un método adecuado para evaluar dicho experimento.

Para asumir una correlación significativa entre las variables, el rango aceptable de correlación entre estas, debe ser igual o superior a 0,8, no asumiendo como correlación significativa entre variables un valor inferior a este.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

La figura 12 muestra los resultados del análisis estadístico realizado mediante el coeficiente de correlación de Pearson para evaluar la relación estadística presente entre las variables empleadas, donde se establecieron las siguientes equivalencias en cuanto a términos:

- Rectal: hace referencia a la temperatura registrada mediante el termómetro digital introducido vía rectal.

- L_Ojo, L_Hoc, L_Ore, L_Vul, L_Pata, L_Cue: donde “L” representa la medición de temperatura mediante termómetro infrarrojo, y el término que lo acompaña indica las regiones del ojo, hocico, oreja, vulva, pata y cuello, respectivamente.
- O_mean, H_mean, Or_mean, V_mean, P_mean, C_mean: donde “mean” representa la medición de temperatura mediante cámara de termografía infrarroja, y el término que lo acompaña indica las regiones del ojo, hocico, oreja, vulva, pata y cuello, respectivamente.

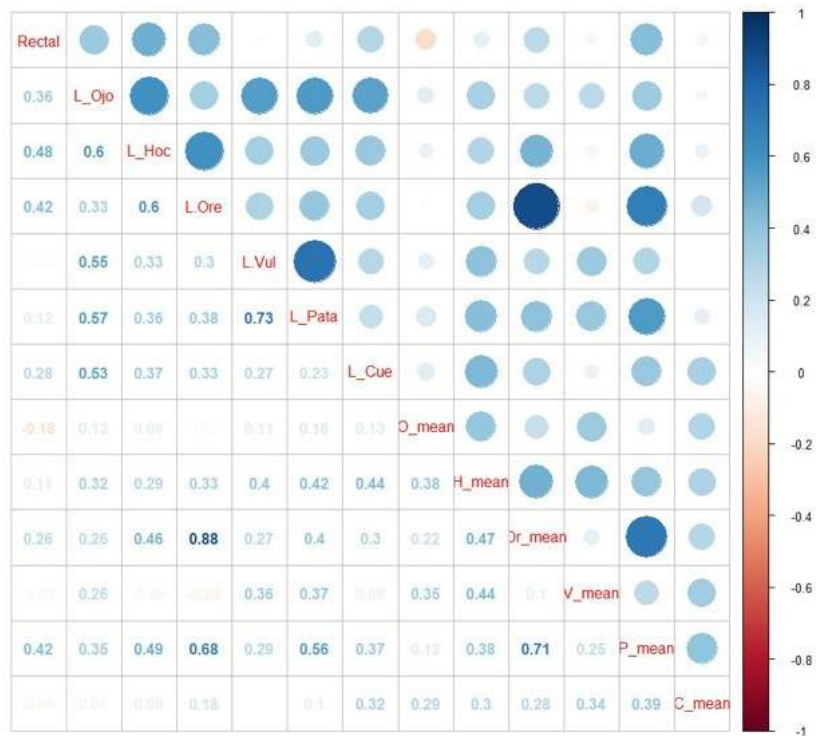


Figura 12: gráfica que representa la relación estadística entre las variables empleadas en el estudio.

Para realizar el análisis de los datos obtenidos mediante la cámara de termografía infrarroja, se tomó como referencia la temperatura media obtenida, pues este método infrarrojo proporcionó tres mediciones de temperatura: alta, media y baja. Inicialmente se realizó el estudio con las tres mediciones, pero al no tener correlación relevante con la temperatura alta y la baja, se optó por realizarlo únicamente con la temperatura media.

En la gradilla de la derecha de la figura 12 se muestran los valores que puede tomar el coeficiente de correlación de Pearson en base a la relación estadística que se establezca entre las variables. La aproximación al valor 0 se representó mediante el color blanco, mientras la aproximación a -1 se representó por el color rojo y a +1 por el color azul.

Dependiendo de la correlación existente entre las variables mencionadas, se puede observar valores que van de +1 a -1, como el 0,88 obtenido entre la variable "L. Ore" y "Or_mean", valor cercano a +1 que indicaría una correlación positiva entre dichas variables y, por ello, se interpretó en diagonal con un punto color azul oscuro. Otro ejemplo es la correlación entre la variable "Rectal" y "L_Pata", en este caso dando un valor de 0,12, cercano a 0 que indicaría una baja correlación positiva y, por ello, se encuentra interpretado en diagonal con un punto azul claro.

La representación mediante un punto rojo claro mostrada entre "Rectal" y "O_mean", es un ejemplo de baja correlación negativa, donde el valor de correlación fue de - 0,18.

Los resultados del análisis estadístico, realizados mediante el coeficiente de correlación de Pearson, mostraron a grandes rasgos una correlación baja entre la variable de toma de temperatura mediante termómetro digital rectal, y las variables de toma de temperatura mediante sistemas de infrarrojos. Siendo el valor de correlación más elevado obtenido, en el rango de +1 a -1, de 0,48, correspondiendo con la medición mediante termómetro láser en la región del hocico.

Por una parte, la correlación existente entre la temperatura tomada mediante termómetro digital rectal y el termómetro de infrarrojos, estableció unos valores que van de 0 a 0,48. Siendo 0 la correlación más baja establecida entre estas dos variables y en correspondencia a la temperatura medida en la región de la vulva. También se acercó a este valor, con una correlación de 0,12, la temperatura tomada en pata. En contraposición, el valor más elevado fue 0,48 y establece que la máxima correlación existente se produjo entre termómetro digital rectal y termómetro de infrarrojos medido en la región del hocico.

Por otra parte, la correlación medida entre temperatura rectal mediante termómetro digital y temperatura tomada mediante cámara de termografía infrarroja, generó un rango de valores que va de -0,18 a 0,42. Donde el valor de -0,18 es referente a la temperatura tomada en la región del lagrimal e indica una correlación negativa baja, es decir, mientras una de las variables aumentó la otra disminuyó. También se establecieron valores cercanos al cero, que indicaron una correlación baja, en referencia a la temperatura medida en: hocico, vulva y cuello.

En contraposición, el valor que indicó mayor correlación es 0,42, referente a la temperatura tomada en pata.

En cuanto al análisis estadístico entre los dos sistemas infrarrojos, termómetro infrarrojo y cámara de termografía infrarroja, únicamente se halló una correlación elevada al evaluar las

temperaturas obtenidas en la región de la oreja, donde el valor de correlación fue de 0,88, sin poder establecer, a su vez, correlación con la temperatura rectal, pues resultó en valores de 0,42, por parte del termómetro de infrarrojos, y 0,26, en referencia a la cámara de termografía infrarroja. Cabe destacar que la correlación más baja, entre los dos sistemas de infrarrojos, se encontró en las regiones: lagrimal, vulva y cuello.

Se asume como correlación significativa entre las variables cuando dicha correlación es igual o superior a 0,8. La temperatura es una constante fisiológica de la que se necesita conocer con exactitud, pues una mínima variación ficticia podría guiar a un diagnóstico poco certero, pudiendo dictaminar casos de hipertermia o hipotermia, es por ello que se establece un rango de correlación tan severo y próximo al +1.

Analizando más en profundidad cada uno de los métodos infrarrojos, como Sellier et al. (2014) refieren, en el dispositivo de termómetro de infrarrojos se ha demostrado un error de 2°C o 0,5% del rango de temperatura. Al estudiar los datos recopilados en el Excel del experimento, referente a la temperatura medida mediante termómetro de infrarrojos y termómetro digital rectal, se observan desviaciones máximas de hasta 13°C y 12,1°C de diferencia, coincidiendo con la toma de temperatura en la región de la pata y la oreja, respectivamente. Siendo la región de la oreja la segunda con mayor correlación respecto al resto de regiones, con un valor de 0,42.

Sin embargo, la mayor correlación asociada mediante el coeficiente de correlación de Pearson, entre la temperatura rectal y el termómetro de infrarrojos, es la tomada en hocico, en la cual se observan desviaciones de 3°C a 8,6°C.

Por otra parte, las desviaciones mínimas se observan con valores de 1,8°C y 0,9°C cuando la temperatura es tomada en ojo y vulva, respectivamente. Además, en la región de la vulva, esta desviación se observa de 0,9°C a 7,3°C, presentando más similitud con la temperatura corporal rectal que en el caso de la región del hocico.

Mientras que la correlación hallada en la región de la vulva comparando termómetro infrarrojo y digital rectal es de 0, la concluida en la región del ojo es de 0,36, ocupando esta última la tercera posición con mayor correlación respecto al resto. Además, presenta el rango de desviación, respecto a la temperatura corporal rectal, más acotado de todos, siendo el error de 1,8°C a 6,4°C.

Por otro lado, la región de la pata que presenta una correlación de 0,12, establece un error de 3,3°C a 7,7°C.

Coincidiendo con los estudios realizados en cobaya (Devalle, 2005), suido (Jara et al. 2016), gato (Kunkle et al. 2004), perro (Omóbòwálé et al. 2017) y macaco Rhesus (Brunell, 2012), en el presente experimento los resultados obtenidos muestran temperaturas más bajas que la temperatura corporal rectal, no coincidiendo, en ninguno de los casos, con esta.

Siguiendo con el análisis de los resultados obtenidos mediante métodos infrarrojos, se exponen los adquiridos por cámara de termografía infrarroja. La medición de temperatura, mediante este dispositivo, en las regiones del hocico, cuello y rabadilla muestran ser puntos de referencia para el ganado ovino en el estudio de McManus et al. (2016). En contraposición a dicho estudio, diversos autores coinciden en que la medición de temperatura en la región del ojo es el método con mayor correlación y que más se acerca a la temperatura corporal central, tanto en ganado ovino (George et al. 2014) y vacuno (Hoffmann et al. 2013), como equino (Johnson et al. 2011). George et al. (2014) también indican, en contraposición a McManus et al. (2016) que la medición en hocico tiene una correlación menor.

No obstante, Katsoulos et al. (2016) no consideran la región del ojo un sitio apropiado pues, pese a tener una correlación importante, muestra resultados visiblemente más bajos y califican el área inguinal como una región más apropiada.

Visto todo lo citado, existe una gran controversia entre los estudios realizados, pues unos aceptan la sustitución del termómetro digital rectal por la cámara de termografía infrarroja, evaluándolo como un método muy fiable, como es el caso de un estudio realizado en 2018, con ratones desnudos (Fiebig et al. 2018), y otros declinan esta posibilidad, determinando su imprecisión en comparación con el termómetro digital rectal, este es el caso de otro estudio realizado en ratones peludos, donde los valores tomados, en ojo y cuello, varían $\pm 0,8^{\circ}$ C respecto a la temperatura rectal (Farrar et al. 2020).

Por una parte, el presente estudio coincide con la baja correlación obtenida entre temperatura rectal y medición de temperatura en hocico, pues esta es de 0,11.

Por otro lado, no coincide con los autores George et al. (2014), Hoffmann et al. (2013) y Johnson et al. (2011), en que la región del ojo sea el método con mayor correlación, ya que los resultados obtenidos muestran una correlación negativa de -0,18.

Esto puede deberse a que las imágenes tomadas con cámara de termografía infrarroja muestran una temperatura máxima, mínima y media, y para realizar el análisis estadístico se ha tomado como referencia la temperatura media.

De acuerdo con Katsoulos et al. (2016), la mayor parte de los resultados obtenidos en la región del ojo, son más bajos que la temperatura rectal medida, pero hay un pequeño porcentaje de resultados que se muestra más altos en comparación a la temperatura rectal, esto puede explicar la obtención de una correlación negativa entre temperatura rectal y cámara termográfica en la región del ojo, como es -0,18.

En cambio, sí coincide con los autores anteriormente nombrados en que la región del ojo ofrece la temperatura que más se acerca a la temperatura corporal central. Si se analizan los datos de temperatura obtenidos en esta región y se compara con la temperatura rectal obtenida, sorprende el descubrir que, en algunos casos la máxima indica exactamente la misma temperatura en la región del ojo que la temperatura corporal rectal. En otros casos muestra una desviación máxima de 3,1°C, en discordancia con Guettier et al. (2014), que indican un grado de error $< 0,1^{\circ}\text{C} \pm 2\%$ del rango de temperatura. Estos datos se pueden observar en la figura 13.

Animal	Sexo	Estado	Hora	Frecuencia respiratoria (15 s)	Tª rectal	Termómetro láser						Ojo			
						Ojo	Hocico	Oreja	Vulva	Pata	Cuello	Nº imag	Tª máx	Tª media	Tª mín.
47	H	Preñada	14:23	14	40	36,3	34,5	31,1	37,1	32,4	34,3	337	36,9	35,2	32,2
93	H	Vacía	10:25	7	38,4	33,9	31,6	30	34,2	29,1	34,4	130	38,4	36,6	33,3

Figura 13: comparativa de medición de temperatura rectal con la tomada en ojo mediante cámara de termografía infrarroja.

El animal nº 93, de la figura 13, muestra una temperatura rectal, medida con termómetro digital, de 38,4°C, coincidiendo con la temperatura máxima obtenida mediante cámara de termografía infrarroja en la región lagrimal. En cambio, el animal 47 muestra una desviación de la temperatura rectal de 3,1°C, siendo esta la máxima desviación encontrada. También se hace visible el amplio rango de grados que hay entre la temperatura máxima y mínima, en ambos animales.

Pese a tener una desviación de muy pocos grados, sigue siendo una desviación importante, por lo que no es un método de aparente utilidad para el diagnóstico concreto de animales que muestran sintomatología, pero sí puede ser un buen método rutinario siempre que se tome como referencia la temperatura máxima obtenida.

Por consiguiente, un rango tan amplio entre temperatura máxima y mínima, (como se puede observar en la figura 13) produce una media que se desvía con respecto a la temperatura rectal. Tan amplio rango puede deberse a que, al realizarse el estudio en el mes de Julio, a una temperatura ambiente de 29 – 34°C, se desencadenase el mecanismo de enfriamiento selectivo del cerebro en la región rostral, reportado por Mitchell, J., Thomalla y Mitchell, G. (1998).

Este mecanismo depende de la temperatura del ambiente, de la mucosa nasal y del cerebro, y se activa cuando el cuerpo del animal incluido su cerebro tiene una temperatura elevada y la mucosa nasal presenta una temperatura más baja que la temperatura corporal. Cuando esto ocurre las venas superficiales operan de tal forma que mantienen la temperatura del cerebro por debajo de la temperatura corporal, por ello la temperatura superficial tomada mediante cámara termográfica a nivel de las venas ocular y nasal puede presentar temperaturas más bajas.

Esto no sólo influye a la región del lagrimal sino también a la región del hocico, pudiendo explicar la baja correlación obtenida en ambos, mediante el método de cámara de termografía infrarroja y también el termómetro de infrarrojos, con el cual pese a obtener una correlación de las más altas, en la región del hocico, se siguen observando desviaciones de 3°C a 8,6°C.

Cabe destacar que los estudios nombrados se realizaron sobre la córnea del ojo, y el presente estudio se realiza tomando la región del lagrimal, pudiendo encontrar varianzas significativas.

Siguiendo con el análisis de los resultados obtenidos, Reyes et al. (2018), indican que la medición de temperatura superficial obtiene resultados semejantes a la temperatura corporal cuando son medidos a nivel del tren posterior del animal. En este experimento, la región de la pata, referente a las extremidades posteriores, es la que mayor correlación ha alcanzado de entre las regiones medidas mediante cámara de termografía infrarroja, con un valor de 0,42, seguida de la región de la oreja con un valor de 0,26. Pese a ello, al analizar los resultados y compararlos con la temperatura rectal, se establece cierta disconformidad con Reyes et al. (2018) pues, como se muestra en la figura del anexo I, el error de la temperatura máxima medida en la región de la pata en comparación con la rectal va de 1,1°C a 7,2°C, el doble que en el caso de la región del ojo. Error que aumenta al realizar la misma evaluación con la temperatura media, siendo de 2,6°C a 8,3°C. Y aumentando mucho más cuando la medición se realiza mediante termómetro de infrarrojos, donde el error alcanza hasta los 13°C.

La figura del anexo I muestra los ejemplos en los que se encuentra una diferencia mínima y máxima de temperatura medida en pata mediante cámara de termografía infrarroja, en

comparación con la temperatura rectal. Dichos ejemplos se han analizado en la temperatura máxima y media.

La región de la vulva junto a la región del cuello, muestran la peor correlación de entre las regiones medidas con cámara de termografía infrarroja con respecto al termómetro digital rectal, siendo las más cercanas al valor 0.

Por un lado, al estudiar los resultados de temperatura obtenidos de la región de la vulva y compararlos con los obtenidos mediante termómetro digital rectal, se hayan ciertas coincidencias y grandes aproximaciones, en este caso con la temperatura media obtenida, donde la máxima desviación observada respecto a la temperatura corporal rectal es de 4,9°C, como se puede observar en la figura del anexo II, siendo incluso menor que la obtenida en la región de la pata, la cual tiene una correlación más alta.

La figura del anexo II muestra una comparación donde los dos primeros resultados son iguales y los restantes difieren un máximo de 0,5°C.

Pese a ello, la correlación nula resultante es natural puesto que, frente a una misma temperatura rectal, como puede ser 38,2, se observan temperaturas medias de la región de la vulva dispares, mostrando un patrón difuso en el que no hay correlación, como se muestra en la figura del anexo III.

Por otro lado, el cuello, región con una correlación nula igual que en el caso anterior, la aproximación a la temperatura rectal al estudiar los resultados es menor, teniendo un error que va de 0,1°C a 6,5°C. Donde se encuentra también temperaturas medias dispares en relación a una misma temperatura rectal.

Después de realizar el análisis estadístico, obteniendo una correlación baja en todas las variables, y estudiar minuciosamente los resultados de los distintos métodos de infrarrojos, se baraja la posibilidad de que todas las regiones recientemente mencionadas, pueden haber estado condicionadas por factores externos, traduciéndose en variables que hacen virar los resultados del análisis estadístico hacia dicha correlación baja.

Las condiciones ambientales externas, como la temperatura y humedad del aire y su desplazamiento, precipitación, radiación solar, así como, otros factores como la presencia de lana o pelo, suciedad en la superficie o distancia y ángulo en el que se toma la temperatura, son factores externos que causan efecto sobre la calidad de la transmisión de radiación que emite el cuerpo que se va a medir y que recibe el detector (Sellier et al. 2014).

Así pues, para calificar la fiabilidad de los sistemas de infrarrojos, cabe tener en cuenta ciertas limitaciones como su empleo en plena luz solar, en condiciones de humedad y viento, por las pérdidas de calor por evaporación, o en superficies considerablemente sucias (McManus et al. 2016).

Son diversos los estudios que muestran que las limitaciones ambientales tienen un papel fundamental, uno de ellos concluye que, al tomar la temperatura en el ojo del ganado, mediante técnica infrarroja, esta disminuyó al elevarse la velocidad del viento, y aumentó al impactar luz solar directa (Church et al. 2014). Resultados que concuerdan también con un estudio realizado en corderos recién nacidos, donde la temperatura corporal, medida por infrarrojos, se correlacionó más con la temperatura dada por las condiciones climáticas y el índice de temperatura-humedad, que con la temperatura rectal (Vicente-Pérez et al. 2019).

Esto pone de manifiesto la necesidad de implantar un estándar con especificaciones técnicas y factores a tener en cuenta durante la medición, pues es posible que, al controlar estos factores, se obtengan resultados más fiables (Sellier et al. 2014).

5. CONCLUSIONES.

En la actualidad se encuentra una colección limitada de estudios en los que se compare la temperatura obtenida mediante los métodos infrarrojos, expuestos en el presente trabajo de final de grado, y el termómetro digital rectal, y todos ellos llegan a resultados poco congruentes.

Los resultados del presente experimento indican que, la cámara de termografía infrarroja y el termómetro de infrarrojos, no presentan una correlación suficiente para utilizarlos como métodos sustitutivos del termómetro digital rectal.

En caso de que por determinada circunstancia el uso del termómetro digital para la toma de temperatura en la especie ovina no fuera posible, se aceptaría el uso del termómetro de infrarrojos en hocico, pues entre estas variables se establece la mayor correlación, con un valor de 0,48.

6. BIBLIOGRAFÍA.

1. Barros de Freitas, A. C., Ortiz, W. H., Quirino, C. R., Bartholazzi, A., Gomes, C. M., Geraldo, A., Silva, M. A., Cipagauta, L. F., Eustáquio de Almeida, J. y Burla, A. J. (2018). Surface temperature of ewes during estrous cycle measured by infrared thermography. *Theriogenology* 119, 245 – 251. Doi: 10.1016/j.theriogenology.2018.07.015
2. Bernabucci, U., Lacetera, N., Baumgard, L. H., Rhoads, R. P., Ronchi, B. y Nardone, A. (2010). Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Animal* 4(7), 1167 – 1183. Doi: 10.1017/S175173111000090X
3. Blomqvist, A. y Engblom, D. (2018). Neural Mechanisms of Inflammation-Induced Fever. *Neuroscientist* 24(4), 381 – 399. Doi: 10.1177/1073858418760481
4. Brunell M. K. (2012). Comparison of noncontact infrared thermometry and 3 commercial subcutaneous temperature transponding microchips with rectal thermometry in Rhesus macaques (*Macaca mulatta*). *Journal of the American Association for Laboratory Animal Science: JAALAS*, 51(4), 479 – 484.
5. Buratovich O. (2010). Eficiencia reproductiva en ovinos: factores que la afectan. Recuperado de: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_ganaderia36_reproduccion_ovina.pdf
6. Cannas, S., Palestini, C., Canali, E., Cozzi, B., Ferri, N., Heinzl, E., Minero, M., Chincarini, M., Vignola, G. y Dalla Costa, E. (2018). Thermography as a non-invasive measure of stress and fear of humans in sheep. *Animals* 8(9), 146. Doi: 10.3390/ani8090146
7. Church, J. S., Hegadoren, P. R., Paetkau, M. J., Miller, C. C., Regev-Shoshani, G., Schaefer, A. L. y Schwartzkopf-Genswein, K. S. (2014). Influence of environmental factors on infrared eye temperature measurements in cattle. *Research in Veterinary Science* 96(1), 220-226. Doi: 10.1016/j.rvsc.2013.11.006
8. Consultoría estratégica de investigación de mercados. (2020) Coeficiente correlación de Pearson: ¿qué es y cómo se interpreta?. Recuperado de: <https://www.cimec.es/coeficiente-correlacion-pearson/>
9. Cugmas, B., Šušterič, P., Gorenjec, N. R. y Plavec, T. (2020). Comparison between rectal and body surface temperature in dogs by the calibrated infrared thermometer. *Veterinary and Animal Science* 9. Doi: 10.1016/j.vas.2020.100120
10. De, K., Kumar, D., Singh, A. K., Sahoo, A. y Naqvi, S. M. K. (2018). Effect of altered ambient temperature through shelter modifications on physiological indicators of Malpura lambs reared in semi-arid region during Winter. *Journal of Thermal Biology* 72, 161 – 167. Doi: 10.1016/j.jtherbio.2018.02.003

11. Devalle J. M. (2005). Comparison of tympanic, transponder, and noncontact infrared laser thermometry with rectal thermometry in strain 13 guinea pigs (*Cavia porcellus*). *Contemporary topics in laboratory animal science*, 44(5), 8 – 35.
12. Farrar, K. L., Field, A. E., Norris, S. L. y Jacobsen, K. O. (2020). Comparison of rectal and infrared thermometry temperatures in anesthetized swine (*sus scrofa*). *Journal of the American Association for Laboratory Animal Science* 59(2), 221-225. Doi: 10.30802/AALAS-JAALAS-19-000119
13. Fiebig, K., Jourdan, T., Kock, M. H., Merle, R. y Thöne-Reineke, C. (2018). Evaluation of infrared thermography for temperature measurement in adult Male NMRI nude mice. *Journal of the American Association for Laboratory Animal Science* 57(6), 715-724. Doi: 10.30802/AALAS-JAALAS-17-000137
14. Filellaa, X., Molina y R. Ballesta AM. (2002). Estructura y función de las citosinas. *Medicina Integral*, 39(2), 63 – 71. Recuperado de: <https://www.elsevier.es/es-revista-medicina-integral-63-articulo-estructura-funcion-citocinas-13026682>
15. Fuchs, B., Sørheim, K. M., Chincarini, M., Brunberg, E., Stubsjøen, S. M., Bratbergsengen, K., Hvasshovd, S. O., Zimmermann, B., Lande, U. S. y Grøva, L. (2019). Heart rate sensor validation and seasonal and diurnal variation of body temperature and heart rate in domestic sheep. *Veterinary and animal science*, 8, 100075. Doi: 10.1016/j.vas.2019.100075
16. George, W. D., Godfrey, R. W., Ketring, R. C., Vinson, M. C. y Willard, S. T. (2014). Relationship among eye and muzzle temperatures measured using digital infrared thermal imaging and vaginal and rectal temperatures in hair sheep and cattle. *Journal of Animal Science* 92(11), 4949 – 4955. Doi: 10.2527/jas.2014-8087
17. Hoffmann, G., Schmidt, M., Ammon, C., Rose-Meierhöfer, S., Burfeind, O., Heuwieser, W. y Berg, W. (2013). Monitoring the body temperature of cows and calves using video recordings from an infrared thermography camera. *Veterinary Research Communications* 37(2), 91 – 99. Doi: 10.1007/s11259-012-9549-3
18. Jara, A., Hanson, J., Gabbard, J., Johnson, S., Register, E., He, B. y Tompkins, S. (2016). Comparison of Microchip Transponder and Noncontact Infrared Thermometry with Rectal Thermometry in Domestic Swine (*Sus scrofa domestica*). *Journal of the American Association for Laboratory Animal Science: JAALAS*, 55(5), 588 - 593.
19. Kahwage, P., Esteves, S., Jacinto, M. A., Barioni Junior, W., Machado, R., Romanello, N., Passeri, L., De Mendonça, K. y Garcia, A. (2018). Assessment of body and scrotal thermoregulation and semen quality of hair sheep rams throughout the year in a tropical environment. *Small Ruminant Research* 160, 72-80. Doi: 10.1016/j.smallrumres.2018.01.015

20. Kataoka, N., Shima, Y., Nakajima, K. y Nakamura, K. (2020). A central master driver of psychosocial stress responses in the rat. *Science* 367(6482), 115 – 1112. Doi: 10.1126/science.aaz4639
21. Katsoulos, P. D., Athanasiou, L. V., Karatzia, M. A., Valasi, I., Boscós, C. y Karatzias, H. (2016). Comparison of a non-contact infrared thermometer with a rectal digital thermometer for use in ewes. *Small Ruminant Research* 143, 84 – 88. Doi: 10.1016/j.smallrumres.2016.09.004
22. Kemper, C. y Bringert, G. (2007). Temperature measurements. *Validation of Pharmaceutical Processes, Third Edition*, 109-127. Doi: 10.1016/b978-0-12-817141-7.00014-1
23. Knížková, I., Gürkan Alp Kağan, G., Kunc P. y Selvi K. C. (2007). Applications of infrared thermography in animal production View project. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/298093153>
24. Kunkle, G. A., Nicklin, C. F. y Sullivan-Tamboe, D. L. (2004). Comparison of body temperature in cats using a veterinary infrared thermometer and a digital rectal thermometer. *Journal of the American Animal Hospital Association* 40(1), 42-46. Doi: 10.5326/0400042
25. 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. y Costa, J. B. G. (2016). Infrared thermography in animal production: An overview. *Computers and Electronics in Agriculture* 123, 10 – 16. Doi: 10.1016/j.compag.2016.01.027
26. McManus, C. M., Faria, D. A., Lucci, C. M., Louvandini, H., Pereira, S. A. y Paiva, S. R. (2020). Heat stress effects on sheep: Are hair sheep more heat resistant?. *Theriogenology* 155, 157-167. Doi: 10.1016/j.theriogenology.2020.05.047
27. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2019). Caracterización del sector ovino y caprino en España. Recuperado de: https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/produccion-y-mercados-ganaderos/caracterizacionovinoycaprinodatos2019_tcm30-559655.pdf
28. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2020). El sector ovino y caprino de carne en cifras: Principales Indicadores Económicos. Recuperado de: https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/produccion-y-mercados-ganaderos/indicadoreseconomicosdelsectorovinoycaprino_carne_tcm30-5114962019_tcm30-511496.pdf
29. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2021). Informe trimestral del sector ovino de carne, marzo 2021. Recuperado de: https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/produccion-y-mercados-ganaderos/dashboardovinodecarnemarzo2021_tcm30-507407.pdf

30. Mitchell, J., Thomalla, L. y Mitchell, G. (1998). Histological Studies of the Dorsal Nasal, Angularis Oculi, and Facial Veins of Sheep (*Ovis aries*). *Journal of Morphology*, 237(3), 275–81. Doi: 10.1002/(SICI)1097-4687(199809)237:3<275::AID-JMOR5>3.0.CO;2-Y
31. Naylor, J. M., Streeter, R. M. y Torgerson, P. (2012). Factors affecting rectal temperature measurement using commonly available digital thermometers. *Research in Veterinary Science* 92(1), 121 – 123. Doi: 10.1016/j.rvsc.2010.10.027
32. Omóbòwálé, T., Ogunro, B., Odigie, E., Otuh, P. y Olugasa, B. (2017). A Comparison of Surface Infrared with Rectal Thermometry in Dogs. *Nigerian journal of physiological sciences: oficial publication of the Physiological Society of Nigeria*, 32(2), 123 – 127.
33. Pedernera-Romano, C., Ruiz de la Torre, J. L., Badiella, L. y Manteca, X. (2010). Effect of perphenazine enanthate on open-field test behaviour and stress-induced hyperthermia in domestic sheep. *Pharmacology Biochemistry and Behavior* 94(3), 329 – 332. Doi: 10.1016/j.pbb.2009.09.013
34. Rani, L., Basnet, B. y Kumar, A. (2019). Mercury toxicity. *Encyclopedia of Environmental Health*, 335 – 332. Doi: 10.1016/B978-0-444-63951-6.00616-1
35. Reyes, J., Herrera, M., Marquina, J. R., Enjoy, D. D. y Pinto-Santini, L. (2018). Physical environment and physiological responses in sheep under shade during hours of higher radiation. *Archivos de Zootecnia* 67(259), 318-323. Doi: 10.21071/az.v67i259.3786
36. Ribeiro, F. y Garófallo, R. (2014). Infrared thermal image for assessing animal health and welfare. *Animal Welfare* 2(3), 66 – 72. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Irenilza-Naeaes/publication/267209432_3730-13725-2-PB/links/544798b60cf2d62c305089fa/3730-13725-2-PB.pdf
37. Ruiz, J., Herrera, P., Barba, R. y Busqué, J. (2019) Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medioambiente. Situación de la ganadería extensiva en España: definición y caracterización de la extensividad en las explotaciones ganaderas en España. Recuperado de: https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/produccion-y-mercados-ganaderos/informesobreganaderiaextensivaenespanaocubre2017nipo_tcm30-428264.pdf
38. Sellier, N., Guettier, E. y Staub, C. (2014). A review of methods to measure animal body temperature in precision farming. *American Journal of Agricultural Science and Technology*, 2 (2), 74-99. Doi: 10.7726/ajast.2014.1008
39. Sian Pugh, D., Kassab, J. Y., Thrush, A. J. y Smith P. (1986). A comparison of mercury and digital clinical thermometers. *Journal of Advanced Nursing* 11(5), 535 – 543. Doi: 10.1111/j.1365-2648.1986.tb01285.x
40. Stewart, M., Webster, J. R., Schaefer, A. L., Cook, N. J. y Scott, S. L. (2005). Infrared thermography as a non-invasive tool to study animal welfare. *Animal Welfare* 14(4). 319 –

325. Recuperado de: <https://chemport.cas.org/cgi-bin/sdcgi?APP=ftslink&action=reflink&origin=npg&version=1.0&coi=1%3ACAS%3A528%3ADC%2BD2MXhtFygsbbF&md5=7bdf4b7d7adaf2c3097504220b1a5a5e>
41. Underwood, W. J., Blauwiel, R., Delano, M. L., Gillesby, R., Mischler, S. A. y Schoell, A. (2015). Laboratory Animal Medicine: Third Edition. Chapter 15 - Biology and Diseases of Ruminants (Sheep, Goats, and Cattle) (623-695). *American College of Laboratory Animal Medicine*. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409527-4.00015-8>
42. Velasco S. y Fernández C. (2015). Un paseo por la historia de la termometría. Notas históricas, 46-56.
43. Vicente, R., Macías, U., Avendaño, L., Correa, A., López, M. y Lara, A. L. (2020). Impacto del estrés por calor en la producción de ovinos de pelo. Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 11(1), 205 – 222. Doi: 10.22319/rmcp.v11i1.4923
44. Vicente-Pérez, R., Avendaño-Reyes, L., Correa-Calderón, A., Mellado, M., Meza-Herrera, C. A., Montañez-Valdez, O. D. y Macías-Cruz, U. (2019). Relationships of body surface thermography with core temperature, birth weight and climatic variables in neonatal lambs born during early spring in an arid región. *Journal of Thermal Biology* 82, 142-149. Doi: 10.1016/j.jtherbio.2019.04.001
45. Vinkers, C. H., Van Bogaert, Meg J.V., Klanker, M., Korte, S. M., Oosting, R., Hanania, T., Hopkins, S. C., Olivier, B. y Groenink, L. (2008). Translational aspects of pharmacological research into anxiety disorders: The stress-induced hyperthermia (SIH) paradigm. *European Journal of Pharmacology*, 585(2-3), 407 - 425. Doi: 10.1016/j.ejphar.2008.02.097

Validación de sistemas infrarrojos como método de medición de temperatura corporal en la especie ovina.

Anexo I. Comparativa de temperatura rectal con la tomada mediante cámara de termografía infrarroja en pata.

T ^a rectal	Termómetro láser						Cámara termográfica																			
	Ojo	Hocico	Oreja	Vulva	Pata	Cuello	Ojo				Hocico				Oreja				Vulva				Pata			
							Nº imag	T ^a máx	T ^a media	T ^a mín.	Nº imag	T ^a máx	T ^a media	T ^a mín.	Nº imag	T ^a máx	T ^a media	T ^a mín.	Nº imag	T ^a máx	T ^a media	T ^a mín.	Nº imag	T ^a máx	T ^a media	T ^a mín.
39,5	36	34,2	35,3	37,5	33,9	33,5	357	38,3	35	31,7	361	38,9	36,5	32,7	358	37,3	35,3	32,1	355	39,4	38,7	36,5	356	38,4	35,5	33,9
39,1	34,3	34,2	30,8	34,2	28	32,9	150	38,9	37	35,1	151	37,1	34,8	31,7	152	33,5	32,3	31,4	155	38,9	37,5	35,7	156	31,9	31,2	30,4
38,6	36	33,7	33,9	35,4	31,2	34,4	284	39,5	37,9	36,1	287	37,7	36,1	34,4	285	38,6	37,3	34,2	281	40,2	39,3	37,2	282	37,7	36	33,4
38,5	34,4	32,5	30,4	34,2	27,2	32,3	37	39,4	38,5	37,1	39	37	34,4	31,4	38	33	30,3	28,1	35	39,7	37,8	35,5	36	31,7	30,2	28,5

Validación de sistemas infrarrojos como método de medición de temperatura corporal en la especie ovina.

Anexo II. Comparativa entre temperatura rectal y temperatura tomada mediante cámara de termografía infrarroja en vulva.

Animal	Sexo	Estado	Hora	Frecuencia respiratoria (15 s)	Tª rectal	Termómetro láser						Cámara termográfica															
						Ojo	Hocico	Oreja	Vulva	Pata	Cuello	Ojo				Hocico				Oreja				Vulva			
												Nº imag	Tª máx	Tª media	Tª mín.	Nº imag	Tª máx	Tª media	Tª mín.	Nº imag	Tª máx	Tª media	Tª mín.	Nº imag	Tª máx	Tª media	Tª mín.
41	H	Vacía	9:32	7	39	34,4	30,4	27,6	34,5	29,6	32,9	61	38,8	37,5	36,1	64	37,1	34,9	32,5	62	32,5	31	30,3	59	40,2	39	37,2
67	H	Preñada	12:03	14	38,4	34,6	34,7	34	35	31,5	33,3	240	38,8	37,4	35,4	242	36,9	35,5	34,4	241	38,6	36,3	33,6	238	39,3	38,4	36,1
13	H	Preñada	11:46	15	38,7	34,7	32,2	33,7	35,4	32,5	33,3	220	38	35,7	34	222	37,2	36	34,5	221	38,7	37,3	35,3	224	39,4	38,6	37,5
83	H	Preñada	11:56	11	39,9	35,5	34,6	34,2	36,3	31,1	34,7	228	39,8	36,8	34,1	230	37	36,2	35,3	229	39	36,5	32,3	226	40,7	39,6	38,2
84	H	Preñada	12:32	13	39,2	34,7	33,2	32,2	35,6	33,1	32,3	291	39,2	37,4	35,9	293	37,3	35,7	34,5	292	37	35,3	33,3	289	39,7	39	37,8
cordera2	H	Preñada	12:35	11	39,2	35,6	34,3	32,5	34,1	30,7	33,3	295	39,8	38,9	37,8	297	37,2	36,3	34,9	296	37,8	35,2	34	299	40,6	39,7	35,4
1	H	Preñada	12:38	10	39,4	35,8	34,4	30,8	34,4	29,5	34,6	305	39,2	37,3	34,7	307	38	36,1	34,2	304	34,9	33	31,7	302	40,2	39,1	37,7

Validación de sistemas infrarrojos como método de medición de temperatura corporal en la especie ovina.

Anexo III. Muestra los diversos resultados de temperatura media medidas en la región de la vulva mediante cámara de termografía infrarroja con respecto al resultado de 38,2 en diferentes ovejas.

Animal	Sexo	Estado	Hora	Frecuencia respiratoria (15 s)	Tª rectal	Termómetro láser						Cámara termográfica															
						Ojo	Hocico	Oreja	Vulva	Pata	Cuello	Ojo				Hocico				Oreja				Vulva			
												Nº imag	Tª máx	Tª media	Tª mín.	Nº imag	Tª máx	Tª media	Tª mín.	Nº imag	Tª máx	Tª media	Tª mín.	Nº imag	Tª máx	Tª media	Tª mín.
89	H	Vacía	8:53	12 jadeo	38,2	33,6	32,8	29,5	34,4	30,1	31,5	2	37,1	36,2	34,2	4	34,2	32,8	30,5	3	33,8	30,8	28,8	7	38,8	36,1	32,9
16	H	Vacía	8:58	14 jadeo	38,2	33,5	33,2	28,6	35	29,5	32,2	9	37,6	35,8	33,7	11	35	33,7	31,4	10	33,4	31,1	29,3	8	38,2	37,4	35,9
19	H	Vacía	10:28	8	38,2	34,7	32,2	28	34,2	28,8	34,2	134	40,1	38,2	35,3	136	38,8	36,9	34,6	135	33,6	32,3	31,6	138	39,9	39,1	38,1