



Universidad Nacional Autónoma De México
Facultad De Estudios Superiores Cuautitlan

**Detección del estro en hembras caprinas por medio de una cámara
termográfica**

Tesis

para obtener el título de Medica Veterinaria Zootecnista

PRESENTA:

Sánchez Hernández Zaira Angélica

Asesora: M.P.A Rosalba Soto González

Co-asesor: M en C. Paolo César Cano Suárez

Cuautitlán Izcalli, Estado de México, enero de 2022.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Índice

Resumen

1.Introducción

Capítulo 1 Termografía infrarroja

1.1 Antecedentes de la termografía infrarroja

1.2 Definición de termografía infrarroja

1.3 Función de la termografía infrarroja

1.4 Usos de la termografía infrarroja

Capítulo 2 Aplicación de la termografía infrarroja en animales

2.1 Uso de la termografía infrarroja para el diagnóstico de patologías en diferentes especies

2.1.1 Uso de la termografía para procesos inflamatorios y detección de enfermedades

2.1.2 Uso de la termografía infrarroja en el estrés animal

2.1.3 Uso de la termografía infrarroja en la reproducción

2.2 Uso de la termografía infrarroja para la detección del estro en los animales

2.3 Factores a considerar cuando se usa la termografía infrarroja

2.4 Ventajas y desventajas del uso de la termografía infrarroja para la detección del estro en hembras

Capítulo 3 Fisiología reproductiva de las cabras

3.1 Antecedentes

3.2 Fisiología del ciclo estral

3.3 Métodos de detección del celo en las cabras

3.4 Sincronización del esto

2.Objetivo general

2.1. Objetivos particulares

3.Hipótesis

4.-Materiales y Métodos

4.1. Lugar de estudio

4.2. Animales de experimentación

4.3. Proceso experimental

5.Análisis estadístico

6. Resultados

7.Discusión

8.Conclusiones

9.Referencias

10.Anexos

Índice de anexos

Figura 1: Comparación de las temperaturas medias de cada una de las fases del ciclo estral

Figura 2: Representación de las diferentes temperaturas que tuvieron las cabras en el diestro, estro y metaestro de la zona vulvar

Figura 3: Correlación entre la temperatura vulvar y la temperatura rostral

Tabla 1: Temperatura media de la zona vulvar y ocular

Tabla 2: Correlación entre la zona vulvar y ocular

Tabla 3: Variación en la zona vulvar de las cabras

Tabla 4: Variación en la zona ocular

Tabla 5: Media y desviación estándar de la temperatura de la vulva y la cara

Tabla 6: Valores de la varianza en la temperatura de la vulva

Tabla 7: Valores de la varianza en la temperatura de la cara

Imagen 1: Módulo de caprinos

Imagen 2: Animales usados en la investigación

Imagen 3: Uso de la cámara infrarroja

Imagen 4: Cámara infrarroja utilizada

Imagen 5: Obtención de la temperatura

Imagen 6 a la 11: Termograma de la cabra en la etapa de diestro

Imagen 12 a la 17: Termograma de la cabra en la etapa de estro

Imagen 18: Software Smart view 4.3 con el que se analizaron los termogramas

Imagen 19: Interacción del macho con las hembras

Resumen

La detección del estro en los caprinos es uno de los procesos más importantes en una unidad de producción pero a veces puede ser un poco complicado identificarlo debido a que durante esta etapa no se observa hiperemia y edematización en la región vulvar de manera marcada a diferencia de otras especies de mamíferos, es por eso que se han implementado varias técnicas para su diagnóstico como la conducta de la cabra, el uso de machos con delantal, machos con peto marcador y las concentraciones hormonales en el plasma etc. Sin embargo, no todas las técnicas son exactas y de fácil ejecución. La cámara termográfica es una alternativa rápida, no invasiva, que no genera molestias en los animales y se puede utilizar para el diagnóstico reproductivo.

En el presente estudio se evaluó la cámara infrarroja como una herramienta para la detección del estro en las hembras caprinas. Se sincronizó el estro de 72 cabras por el método de esponjas intravaginales impregnadas con Acetato de flourogestona (50 mg), tres días antes de retirarlas (diestro) se tomaron fotografías de la zona de la cara y de la zona vulvar, posteriormente al retiro de las esponjas se tomaron cuatro tomas más (estro y metaestro) en los días siguientes con la finalidad de obtener la temperatura en el diestro, estro y metaestro, esperando una variación en la temperatura en las diferentes etapas. Los resultados obtenidos fueron: el último día del diestro las hembras presentaron una temperatura de 32.9°C, a las 24 horas del estro la temperatura aumentó a 34.7°C y al iniciar el metaestro disminuyó a 29.9°C. En el caso de la temperatura de la zona de la cara las temperaturas fueron de 28.9°C en el diestro, 30.3°C a las 24 horas del estro y 27.9°C en el metaestro. Se obtuvo una correlación de $r=0.03$ entre las temperaturas de la cara y de la vulva concluyendo que si hay un aumento de temperatura en la zona vulvar cuando las hembras entran en celo y que no hay relación alguna entre la temperatura de la cara y la de la zona vulvar.

La termografía infrarroja es una técnica efectiva para la detección del celo en las hembras caprinas.

1.Introducción

1.1 Antecedentes de la termografía infrarroja

En el año 1800, Sir William Herschel, astrónomo alemán, al momento de buscar un filtro óptimo para su telescopio con el fin de lograr reducir el brillo de la imagen del sol para poder realizar observaciones solares, notó que ciertos cristales con color dejaban pasar más calor solar que otros (Morales *et al.*, 2011).

Posteriormente a este descubrimiento se dedicó a buscar los diferentes haces de colores en que se descompone la luz solar al atravesar un prisma de Newton. Al principio oscureció el bulbo de un termómetro de mercurio con tinta y lo usó como un detector de radiación, procedió a probar el efecto calorífico de los diferentes colores del espectro que se formaba encima de una mesa haciendo pasar la luz del sol a través de un prisma de cristal (Morales *et al.*, 2011).

Al mover lentamente el termómetro oscurecido a lo largo de los colores del espectro, las medidas de la temperatura mostraban un incremento desde el extremo violeta hasta el rojo. Fue entonces cuando observo que al seguir moviendo el termómetro en la región oscura más allá del extremo rojo del especto, confirmó que el calor seguía aumentando. A esto se le denominó espectro termométrico o calor oscuro, pero en la actualidad se le conoce como radiación infrarroja, donde esta radiación se encuentra entre los $0,7\mu\text{m}$ y $1.0\mu\text{m}$ de longitud de onda (Morales *et al.*, 2011).

En 1830 el investigador italiano Melloni descubrió que la sal de roca que se encontraba de manera natural en el ambiente en grandes tamaños podía ser utilizada como material óptico para los infrarrojos, estos cristales se usaron por mucho tiempo hasta que en los años 30 se creó el cristal sintético (Melgosa 2011).

Para poder medir la radiación se siguieron usando los termómetros hasta que se inventó los termopares este dispositivo era 40 veces más sensible a la radiación calorífica y podía detectar el calor de una persona a una distancia de 3 metros (Melgosa 2011).

La primera captura de la termografía infrarroja fue lograda en el año de 1840 como resultado del trabajo del Sir John Herschel. Se basó en una fina capa de aceite que, al exponerlo a un patrón de calor enfocado hacia ella, la imagen térmica podría verse por la luz que se reflejaba en los lugares en los que los efectos de interferencia de la capa de aceite hacían que la imagen fuese visible, posteriormente consiguió un registro primitivo de la imagen en papel y lo llamó termografía (Melgosa 2011). Cabe mencionar que la termografía infrarroja se usó por primera vez en medicina veterinaria hace 35 años y su uso se ha limitado a hospitales universitarios (Turner, 2001).

1.2 Definición de termografía infrarroja

Etimológicamente la termografía infrarroja significa infrarrojos “más allá del rojo” y termografía “imagen térmica”. Por definición la termografía por infrarrojos es una “imagen térmica más allá del rojo”.

La termografía infrarroja es la ciencia que detecta la energía infrarroja que emite un objeto, la convierte en temperatura aparente y ofrece el resultado como una imagen por infrarrojos (FLUKE Ti125, 2022).

Permite a distancia y sin ningún contacto, medir y visualizar temperaturas de superficie con precisión. Los ojos humanos no son sensibles a la radiación infrarroja emitida por un objeto, pero las cámaras termográficas, son capaces de medir la energía con sensores infrarrojos, capacitados para "ver" en estas longitudes de onda. Esto nos permite medir la energía radiante emitida por objetos y, determinar la temperatura de la superficie a distancia en tiempo real. La radiación infrarroja es la señal de entrada que la cámara termográfica necesita para generar una imagen de un espectro de colores, en el que cada uno de los colores, según una escala determinada, significa una temperatura distinta, de manera que la temperatura medida más elevada aparece en color blanco (Neita y Peña, 2011)

Las cámaras infrarrojas actuales son portátiles, fáciles de manejar y con una velocidad de respuesta alta, la imagen que se produce es presentada en la pantalla de la cámara como una imagen de colores (Neita y Peña, 2011)

1.3 Función de la termografía termográfica

La termografía es una técnica que permite medir temperaturas a distancia sin necesidad del contacto físico con el objeto a estudiar, esta capta la radiación infrarroja del espectro electromagnético. Este es el rango de todos los tipos de radiación electromagnética clasificados por la longitud de onda. La onda es la propagación de una perturbación que trasfiere energía progresivamente de un punto a otro a través de un medio (Melgosa 2011).

Se puede adquirir una imagen termográfica por medio de una cámara termográfica, es un equipo complejo que tiene como función medir la emisión natural de radiación infrarroja de un objeto (Neita y Peña, 2011). La óptica de la cámara hace converger sobre su detector a radiación infrarroja que emite el objeto, obtiene una respuesta que será leída por los elementos electrónicos de la cámara y esto da como resultado un termograma (Melgosa 2011). En este podemos observar la distribución térmica de todos los componentes de un sistema y establece la temperatura presente en cada punto de la superficie del objeto de interés, en el caso de la medicina veterinaria la termografía proporciona información sobre la ubicación del área patológica por medio de imágenes térmicas asociadas al aumento del flujo arterial o estasis venosa como en el caso de traumas agudos e inflamación, por otro lado en casos de hipotermia se observa una disminución de la temperatura provocado por un menor flujo sanguíneo y tono de los vasos como sucede en un proceso degenerativo (Redaelli *et al.*, 2015)

Las medidas de temperatura que obtengamos del termograma serán adquiridas por medio de un software, de esta manera se podrá adquirir más información de las variaciones de temperatura y será más fácil identificar el lugar en donde va iniciando el problema. En el caso de ser usado como un método de diagnóstico de alguna enfermedad se debe tomar en cuenta que el animal debe tener el mismo patrón de temperatura o simetría, por lo que cuando observemos una variación en la temperatura en ciertas zonas pueden indicar procesos inflamatorios, daños neurológicos o falta de irrigación (Alva, 2011).

1.4 Usos de la termografía infrarroja

El uso más importante de la termografía infrarroja es a nivel industrial, con ayuda de la cámara termográfica se puede analizar y evaluar:

Sistemas eléctricos, mecánicos, construcción y visualizaciones de flujo. Se utiliza para detectar anomalías y fallas en sistemas de alta tensión en conexiones mal fijadas, defectos de aislantes y conexiones sobrecalentadas, en sistemas de baja tensión, su uso es para identificar conexiones de alta resistencia, daños en fusibles internos, conexiones de cables sueltos, etc. También se aplica en construcciones de edificios para inspeccionar pérdida de energía térmica, evalúa la humedad de los edificios, inspeccionar la integridad del concreto e identificar fugas de energía (Neita y Peña, 2011).

Por otro lado, en el ámbito ambiental se implementa para la localización de áreas de acumulación de desechos antiguos, localización de tanques bajo tierra en zonas industriales y para daños en arquitecturas o esculturas (Neita y Peña, 2011).

Las cámaras térmicas también han sido utilizadas por los militares, estas les permiten volar aviones sin tripular en la oscuridad total, detectar objetos a través del humo y las nubes. En la actualidad estos aviones se utilizan para detectar incendios forestales, las áreas más calientes pueden indicar el inicio de un incendio (Alva, 2011).

La termografía es una herramienta precisa y fiable para la evaluación y diagnóstico médico, se pueden detectar quemaduras, ulceraciones cutáneas, injertos, detección temprana del cáncer en la piel, identificar zonas inflamadas, fiebre etc. Esto se logra porque la termografía nos proporciona el mapa térmico de la superficie corporal en tiempo real, además de que se puede realizar sin tener contacto físico, no genera dolor y no es invasiva (Neita y Peña, 2011).

El uso de la termografía en la medicina veterinaria es más reciente, sus principales usos son: para la monitorización de la perfusión tisular de los órganos trasplantados, en estudios de termorregulación de animales, el diagnóstico de enfermedades de cascos de algunos ungulados, detección de mastitis en vacas lecheras, para detectar cambios en el sistema locomotor de caballos. Esta tecnología también nos puede auxiliar para evaluar el bienestar animal dentro de los corrales de los animales, identificando la calidad del intercambio térmico con respecto a las sombras disponibles y nos muestra un mapeo de la distribución térmica de estructuras de edificios y animales. En los últimos años se ha implementado la termografía para detectar cambios de temperatura vulvar entre estro y diestro en diferentes animales (Benicio *et al.*, 2011, Fernandes, *et al.*, 2014 y Rydygier *et al.*, 2018).

2.1 Uso de la termografía infrarroja para el diagnóstico de patologías en diferentes especies

Comúnmente se usan métodos invasivos para evaluar los parámetros biológicos y metabólicos en los animales, como la recolección de sangre, medición de temperatura por vía rectal, frecuencia respiratoria y frecuencia cardíaca. Estos métodos al ser invasivos tienden a generar estrés a los animales, provocando una respuesta ansiogénica provocando una alteración en los resultados, además de que estos procedimientos requieren mucho tiempo y recursos.

Debido a esto cada vez es más frecuente el uso de la termografía infrarroja ya que es un método de teledetección no invasivo que puede ser utilizado para medir los cambios en la transferencia de calor y del flujo sanguíneo mediante la detección de pequeños cambios en la temperatura corporal (McManus *et al.* 2016).

Hay tres maneras en las que se puede utilizar la termografía, la primera es como una herramienta diagnóstica donde por medio de imágenes fisiológicas, si hay diferencia de 1° C entre dos regiones anatómicas simétricas nos podría indicar una región de inflamación, sin embargo, se debe complementar con un ecografía

radiografía para determinar el diagnóstico definitivo. El segundo método es para mejorar el examen físico, se identifican cambios en el calor y localiza áreas sospechosas y por último en el tercer método nos puede auxiliar al implementar un programa de bienestar animal (Turner, 2001).

2.1.1 Uso de la termografía para procesos inflamatorios y detección de enfermedades

Equinos

La termografía en equinos es una técnica muy utilizada que permite identificar y documentar una lesión antes de que sea demasiado tarde. Según Alva, (2011) los cambios de temperatura en los patrones de circulación pueden indicar serios problemas, lesiones y claudicaciones. Una región con aumento de temperatura indica inflamación o incremento en la circulación, los puntos calientes por lo general se ven directamente en la piel que cubre la lesión.

Cuando hay una elevación de la temperatura de 1°C más de lo normal en comparación con el miembro colateral, se encuentra una lesión y se le denomina punto caliente sin embargo la inflamación también puede presentarse como un punto frío si en una parte de la lesión hay presencia de edemas, esto provoca una disminución de la circulación capilar y trombosis capilar local

Martínez, (2015), determino que la termografía puede auxiliar en el diagnóstico de artritis en caballos ya que observó un aumento de temperatura específicamente en la articulación interfalángica proximal generando cojera en el animal. También puede ser utilizada para el diagnóstico de osteítis plantar ya que provoca un aumento en la temperatura en la zona del casco, en la parte inferior derecha de la ranilla. Para el diagnóstico de laminitis crónica la temperatura de la zona se observaba normal debido a que esta enfermedad se caracteriza por una reducción en el flujo sanguíneo en el casco.

La termografía en caballos ayuda para el diagnóstico de problemas en las articulaciones, tendones, ligamentos, músculos, problemas en el casco y para el diagnóstico de lesiones de la columna vertebral como exudaciones, subluxaciones y fracturas, tomando en cuenta que nunca debe usarse por sí sola durante un examen físico (Turner, 2001 y Martínez, 2015).

El uso de la termografía en rumiantes y pequeños rumiantes

Se ha usado la termografía infrarroja en vacas lecheras para el diagnóstico de mastitis, aunque tiene ciertos inconvenientes. Rodríguez et al. (2008), nos dice que la termografía en la ubre de las vacas lecheras presenta una serie de inconvenientes que pueden afectar los resultados como es el pelo, la suciedad, la zona del pliegue inguinal y factores ambientales por lo cual esta técnica no es muy recomendada para diagnóstico de mastitis.

En las cabras esta herramienta se usó para determinar los cambios que genera la ordeña mecánica en la ubre obteniendo como resultado un aumento en la temperatura del pezón, así como un espesor en el extremo del pezón y las paredes. Sin embargo, se necesitan hacer otras pruebas para determinar si hay factores infecciosos o no infecciosos relacionados con el aumento de la temperatura (Alejandro, 2013)

La termografía infrarroja de escroto en toros ha demostrado que puede predecir la calidad del semen y a la fertilidad, en toros de un año la concentración espermática era mejor cuando el gradiente térmico estaba entre 1.8 - 3°C y era más pobre cuando el gradiente era inferior a 1.2°C. Cabe mencionar que algunos toros que presentaban una mala calidad de semen mostraron una termografía normal. En toros con orquitis unilateral, la temperatura de la superficie del escroto era mayor en los testículos afectados en comparación con el testículo sano, por lo cual la termografía se puede utilizar como diagnóstico para esta enfermedad (Rydygier, 2014).

Caninos

En el caso de los perros la termografía es una herramienta que puede ayudar a delimitar los contornos en lesiones de la piel con precisión. Se ha usado en animales con pioderma donde se observó un aumento de temperatura en las zonas donde se encontraba inflamación. También se utilizó para delimitar masas generando un aumento de temperatura donde se encontraba el tumor y se observaron otras zonas más, con una alta temperatura confirmando la presencia de hematomas. Esto quiere decir que la termografía es útil como método complementario para el estudio de lesiones en epidermis y dermis tanto difusas como delimitadas. (Sanz *et al.* 2008)

2.1.2 Uso de la termografía infrarroja en el estrés animal

Por medio de imágenes termográficas se puede observar cambios en el flujo sanguíneo como resultado de un aumento de temperatura corporal relacionado con el estrés por cambios en las condiciones ambientales. Las imágenes se toman en zonas como los ojos, cuello, hocico, costilla, grupa, flanco, vientre, etc. Se ha utilizado en cabras para medir el estrés en un sistema agrícola semi-intensivo tomando las fotografías en la zona del ojo, para medir el estrés de los caballos durante competencias, en pollos para medir el estrés que genera la sobrepoblación, las aves que se encontraban en un población alta o media presentaban una mayor temperatura en el cuerpo, cabeza y cuello comparados con pollos que se encontraban en poblaciones bajas. (Mc Manus *et al.* 2016)

Los animales siempre deben estar en confort térmico, por medio de la termografía se pueden evaluar las instalaciones ya que nos muestra un mapeo de la distribución térmica de las estructuras de los edificios y los animales, la caracterización de los diferentes tipos de instalaciones zootécnicas, en cuanto al tipo de material y el equilibrio térmico, identifica la calidad del intercambio térmico con respecto a las sombras disponibles para los animales y la identificación de las mejores razas que presenten un mayor grado de adaptación a las condiciones ambientales. (Benicio *et al.* 2011).

2.1.3 Uso de la termografía infrarroja en la reproducción

Hay poca información sobre el uso de la termografía en este ámbito, su uso más común es para identificar las hembras en estro, las imágenes termográficas se obtienen de la vulva y del hocico donde se observa un aumento de la temperatura días antes de la ovulación, lo que puede mejorar la detección del estro regular o el silencioso. (Mc Manus, 2016)

Este método se ha experimentado en varias especies, vacas lecheras, cabras ovejeras, cerdos, búfalos y animales exóticos evitando el estrés en los animales al ser una herramienta no invasiva.

2.2 Uso de la termografía infrarroja para la detección del estro en los animales

La reproducción es uno de los factores determinantes en la organización de los sistemas de producción. El manejo de la misma va a depender la programación de prácticamente todas las demás acciones de manejo, por lo tanto, las variables que puedan incidir deben ser analizadas exhaustivamente, buscando ajustar cada detalle, para lograr los objetivos planeados (De la Rosa, 2011).

El manejo principal que se realiza en la reproducción animal es la inseminación artificial, inducción del estro hormonalmente, sincronizar a las hembras y ultrasonidos, para lograr esto se realizan técnicas invasivas que pueden generar estrés en los animales que generan repercusiones en la producción.

Debido a esto se han realizado diversas investigaciones en diferentes especies para utilizar un método diagnóstico en la reproducción que no sea invasivo, que no le genere molestias al animal, que se pueda aplicar en cualquier grupo de edad y que no provoque cambios en su fisiología al ser utilizado. La técnica de termografía infrarroja aparece como una alternativa para hacer un rápido diagnóstico reproductivo en varias especies. Ya que utiliza la captura de la radiación emitida por los tejidos de los animales y son convertidas en imágenes termográficas o

termogramas y pueden servir como un mapa de temperatura superficial de las diferentes áreas investigadas (Fernandes *et al.*, 2014).

El evento más importante en la reproducción es la etapa de estro, dependiendo la especie será la duración de este, en esta etapa la hembra modifica su conducta y acepta la monta en varias oportunidades. Los signos principales que podemos observar son: enrojecimiento, edema vulvar, homosexualidad, cambios en la temperatura, moco vaginal, inquietud y vocalizaciones, sin embargo, en algunas especies estos signos no son tan notorios ya que la detección del celo se realiza por medio de la observación, convirtiéndose en una minuciosa y ardua tarea en grandes rebaños. Por lo tanto, con el propósito de mejorar este proceso de detección es importante la incorporación de tecnología que sirva de herramienta para identificar el momento en el que inicia la ovulación. (Scolar *et al.*, 2010, Fernandes *et al.*, 2014 y Ramírez *et al.*, 2020).

La detección del estro por medio de la termografía infrarroja es posible debido al aumento en la circulación sanguínea durante el estro y consecuentemente el aumento de la temperatura de la superficie vulvar. Barros *et al* (2018) estudio la temperatura superficial del ano, la vulva, hocico, oreja izquierda y derecha de 20 ovejas para evaluar la viabilidad de la termografía infrarroja para identificar patrones en la temperatura corporal durante el ciclo estral, donde observo un aumento de temperatura vulvar desde el inicio del estro hasta la ovulación y post ovulación, concluyendo que la termografía es eficiente para detecta pequeñas variaciones de temperatura durante las fases del ciclo estral.

En cerdos la predicción del tiempo de ovulación es difícil y tiene un impacto considerable en la fertilidad del rebaño y el tamaño de la camada. Recientemente se ha utilizado la termografía infrarroja para detectar los cambios en la temperatura de la piel vulvar de las cerdas durante el periodo periovulatorio, dando como resultado un aumento significativo en la temperatura debido al aumento de estradiol

y tiene el potencial para ser usada como un marcador predictivo de la ovulación (Simões et al. 2014)

El uso de la termografía en cabras está más relacionado con la medición de la termorregulación en los cambios de temperatura de la superficie y el impacto que tienen las condiciones ambientales en su bienestar. Hay muy pocas investigaciones sobre la aplicabilidad de esta técnica en el diagnóstico reproductivo. Evangelista et al. (2018) evaluaron diferentes áreas (vulva y región perivulvar) para detectar el estro en cabras Canindé por medio de una cámara infrarroja, llegando a la conclusión de que esta técnica es muy prometedora para la detección del estro, así como para evaluar la temperatura de la piel de las cabras.

Durante el periodo estral Stelletta, et al. (2017) nos indica que hay un aumento de temperatura en el área vulvar seguido de una disminución cuando ya se acercaba más la ovulación.

Este método también puede ser usado para el diagnóstico de gestación en cabras ya que posterior a la ovulación y la formación del cuerpo lúteo, los niveles plasmáticos de progesterona aumentan provocando una elevación de la temperatura ventral superficial y la rectal (Fernandes *et al.*, 2014)

El uso de dispositivos dentro de la cavidad vaginal o rectal para medir las variaciones en la temperatura corporal durante el estro en vacas puede causar malestar y estrés alterando las mediciones. Por medio de la termografía se puede detectar el estro, cuando se observa una disminución de la temperatura 48 horas antes de la ovulación debido a la regresión del cuerpo lúteo, cuando hay un aumento de temperatura 24 horas antes de la ovulación es cuando se da inicio al estro (Talukder *et al.*, 2014).

Los informes sobre el uso de la termografía en la detección del estro en las yeguas son limitados. Stelletta, et al. (2014) realizaron la medición de la temperatura en la zona vulvar y perivulvar por medio de una cámara infrarroja en nueve yeguas durante su ciclo estral, los resultados que obtuvieron fue un aumento de la

temperatura perivulvar y vulvar durante el crecimiento folicular y una disminución en la temperatura durante el establecimiento del cuerpo lúteo. Los cambios son relacionados a que las yeguas al estar bajo la influencia de los estrógenos presentan un aumento en la hiperemia de la región vulvar. Los autores de este artículo llegaron a la conclusión de que es posible el uso de la termografía infrarroja como método auxiliar no invasivo durante el ciclo estral en las yeguas.

A pesar de ser una técnica relativamente nueva es muy común su uso en animales exóticos para evaluar su temperatura corporal y los cambios que se puedan presentar debido a alguna patología. En el caso del diagnóstico reproductivo se ha usado en búfalos para determinar la temperatura superficial en las fases del ciclo estral en la zona vulvar, en el área orbitaria y en el hocico para identificar el momento de la ovulación y llevar a cabo la inseminación artificial exitosamente para mejorar su genética por medio de la selección animal (Rydygier *et al.*, 2018). En koalas se observó un aumento de la temperatura en la zona abdominal durante la etapa de celo seguido de una disminución al finalizar esta etapa (Melero *et al.*, 2009).

De Olivera (2019) aplicó la termografía infrarroja como método de detección del celo en preás, haciendo mediciones en la región vulvar y en el hocico concluyendo que este método es difícil de usar en estos animales debido al estrés que se generaba al momento de ser capturados generando un aumento de temperatura corporal afectando el análisis de la temperatura vulvar.

El uso de la termografía infrarroja en el ámbito reproductivo todavía es algo desconocido principalmente en la variación de la temperatura debido a la presencia de los folículos ováricos (Radigonda, 2016).

2.3 Factores a considerar cuando se usa la termografía

La inspección termográfica puede verse afectada por varios factores que pueden provocar errores en la detección de exposiciones térmicas, es por eso que deben controlarse el movimiento, energía radiante extraña, la temperatura ambiental,

distancia y los artefactos, para producir imágenes termográficas fiables (Turner, 2001).

El movimiento se puede controlar inmovilizando al animal mediante el uso de cuerdas o con ayuda de un manejador calificado. Cabe mencionar que no se deben usar agentes químicos para inmovilizar ya que estos fármacos afectan la circulación periférica y el sistema cardiovascular provocando la aparición de patrones térmicos falsos (Turner, 2001).

Para reducir el efecto de la energía radiante se deben tomar las imágenes termográficas en un lugar cubierto del sol, las capturas se deben tomar en zonas oscuras o con poca luz para evitar que el animal se estrese por el calor, así mismo no deben estar a temperaturas muy bajas ya que pueden causar vasoconstricción o vasodilatación (Turner, 2001).

El área termográfica ideal debe tener un flujo de aire uniforme y constante, debido a que la velocidad del viento es un factor que se comporta como una fuente de enfriamiento por convección que afecta la medición de temperatura, a una mayor velocidad del viento, mayor es la pérdida de calor por efecto de la convección forzada y la temperatura medida será más baja comparada con la real, lo cual implica errores en la medida y diagnósticos erróneos.

Otro aspecto a considerar es la distancia, a una mayor distancia, la radiación absorbida será mayor y dependerá de la resolución de la cámara si registra y determina la posición de una anomalía. Por lo que es recomendable establecer criterios técnicos para la distancia entre la cámara y el objeto de medición (Neita y Peña, 2011).

Un artefacto es un hallazgo anormal en un procedimiento diagnóstico, que no es producido por el problema médico del paciente. Estos artefactos tienen dos orígenes, el paciente y el equipo.

Los artefactos no intencionados son los provocados por el paciente como: edema, anomalías en la piel por inflamación, cicatrices, marcas de nacimiento, rasguños, alguna enfermedad dérmica, etc. Generando cambios en los resultados termográficos y deben ser modificados. El exceso de pelo bloquea la imagen térmica de la piel generando una disminución de la temperatura al compararla con la piel sin pelo (Martínez, 2015 y Alva, 2011).

La aplicación de un medicamento o vacuna puede producir un área de calor que dura cierto tiempo, dependiendo de la sustancia inyectada. El contacto entre dos partes del cuerpo da como resultado el aumento de temperatura en las regiones de contacto. Los objetos metálicos pueden interferir con la imagen termográfica y por lo tanto deben quitarse. Los ungüentos, aceites y polvos aplicados en la piel pueden cambiar y alterar los resultados del estudio y no deben usarse antes del mismo. Los artefactos producidos por el equipo termográfico no tienen gran importancia debido a que son fáciles de identificar y evitar (Alva, 2011).

2.4 Ventajas y desventajas del uso de la termografía infrarroja para la detección del estro en las hembras

La termografía infrarroja tiene la principal ventaja de ser poco invasiva, puede ser usada con facilidad, no requiere el contacto directo con el animal, las mediciones de la temperatura se pueden realizar a distancia y de esta manera se evita el estrés.

Como ya se mencionó la detección del estro en las diferentes especies se puede realizar por medio de implantes intravaginales o termómetros rectales que generan estrés al momento de usarlo provocando una lectura errónea en el momento de la ovulación para evitar esto se opta por la detección de este por medio de la signología que exprese la hembra pero en algunas especies esto tiende a ser difícil como en el caso de las cabras que no muestran una considerable hiperemia e hinchazón de la vulva afectando la predicción de la ovulación y a la larga afecta la rentabilidad en los rebaños que se rigen por la inseminación artificial. El uso de la termografía infrarroja combinada con una detección visual del estro es una buena opción para

los productores porque es una técnica rápida y precisa disminuyendo el rango de error en la detección exacta del estro (Evangelista *et al.*, 2018 y Fernandes *et al.*, 2014).

Sin embargo, en diversas investigaciones se menciona que esta técnica es muy sensible a los cambios en las condiciones ambientales, factores como el flujo del aire, la humedad, fluctuaciones en la temperatura ambiental, el nivel de actividad física, el pelaje y la postura del animal, pueden inducir una variación considerable en las lecturas, lo que puede limitar la aplicabilidad de la termografía en condiciones de campo donde estos factores son difíciles de controlar. Es por eso que se recomienda el uso de pruebas complementarias como niveles hormonales y ecografías de ovario para determinar con mayor precisión el momento de la ovulación (Simões *et al.* 2014).

Rydygier F. (2018), dice que la termografía digital infrarroja tiene potencial para su uso en investigaciones, pero se debe considerar que la temperatura del animal puede verse afectada por la temperatura del ambiente, el aire y la suciedad, él recomienda que la temperatura ambiental debe ser menor a los 30° C para evitar mediciones erróneas.

Las variaciones de temperatura y la humedad afectan directamente la precisión de la termografía ya que la temperatura más alta en los animales generalmente se presenta en las épocas calurosas. Cuanto más largo sea el periodo de recopilación de datos mayor será el efecto de la temperatura (Barros *et al.* 2018).

3.1 Antecedentes

En México las principales razas caprinas lecheras son la Alpina Francesa, Anglonubia y Saanen produciendo 160 mil litros de leche al año, por otra parte, las razas cárnicas son: Angora, Bóer, Toggenburg y la criolla. Estas razas producen 77 mil toneladas de carne en un periodo de un año (SAGARPA, 2017). Las cabras presentan una estacionalidad reproductiva que puede limitar significativamente la productividad dentro de todos los sistemas de producción caprina en México, lo cual

impide la generación constante de producto y por ende una escasez en algunos periodos del año. Esto depende fundamentalmente de la estacionalidad ovulatoria que presenta el ganado caprino, aunque también puede verse afectada por otros factores como la condición nutricional de la hembra ocasionando un efecto negativo sobre la estacionalidad ovulatoria al favorecer la prolongación del periodo anovulatorio (Agrego, 2018).

3.2 Fisiología del ciclo estral

Los mamíferos se clasifican de acuerdo con su comportamiento reproductivo, en estacionales o continuos, de acuerdo a la manifestación del celo, en una época determinada o durante todo el año. Los animales estacionales a su vez se dividen en estacionales de fotoperiodo ascendente (entran en celo en primavera) o descendente (entran en celo en otoño). Los caprinos están considerados como reproductores poliestricas estacionales de fotoperiodo descendente (De la Rosa, 2011).

El comienzo y duración de la época reproductiva de las cabras está suspendida a la ubicación geográfica del hato. Es prolongada en la región tropical y se reduce a medida que se incrementa la latitud. La manifestación del celo es cíclica y estacional, pero puede verse afectada por las condiciones ambientales, raciales y nutricionales (De la Rosa, 2011).

El inicio de la vida sexual de la hembra caprina tiene origen en la liberación de óvulos viables y la manifestación conductual del celo, sin embargo, no necesariamente se deben presentar al mismo tiempo, ya que puede existir ovulación sin celo (ovulación saliente o silenciosa). La pubertad se puede ver afectada por el ambiente y la raza, aunque la mayoría de las veces se presenta entre los 4 y los 14 meses de edad.

La pubertad de las cabras es un proceso gradual e interactivo que supone la maduración del eje hipotálamo-hipofisiario-gonadal y da como resultado la manifestación del ciclo estral que es la demostración del celo o el comportamiento

de aceptación del macho en un periodo determinado y la repetición de este comportamiento después de un periodo sin receptibilidad, en caso de no haber quedado gestante. Su duración normal es de 19 a 21 días y comprende de 4 periodos (Álvarez y Ducoing, 2006).

El proestro es el día previo al celo, este corto periodo se caracteriza por un comportamiento de inquietud en la cabra, no hay aceptación del macho y huye de la copula. Los signos externos que se pueden observar son vulva edematizada y rojiza con descargas de moco, estos signos se pueden observar más en las hembras adultas que en la cabrilla. En esta etapa inicia el crecimiento folicular con altos niveles de la hormona FSH y disminuyendo el nivel de estrógenos (Vera, 1993)

La siguiente etapa es la más importante es el periodo estral o celo, es el único momento en donde la hembra se encuentra más receptiva al macho y aceptara la copula en varias ocasiones, esta etapa tiene que ser aprovechada para obtener una mejor fertilidad, tiene una duración aproximada de 24 a 48 horas. En esta fase habrá un máximo desarrollo del folículo y la mayor producción de estrógenos, a nivel hipotalámico se producirá que las hormonas liberadoras de gonadotropinas se eleven para estimular a la hipófisis y posteriormente estimular a las células encargadas de la producción de la hormona folículo estimulante y la producción de la hormona luteinizante para inducir la ovulación de los folículos maduros y poder ser fertilizados (Soto y Medrano, 2008 y De la Rosa, 2011).

El metaestro es la etapa posterior al estro, el animal cesa su calor, los folículos maduros formarán los cuerpos hemorrágicos o cuerpos lúteos, estos serán transformados mediante la luteinización de las células de la granulosa y de la teca. Este periodo es ideal para la implantación del ovulo fecundado y para su nutrición durante la primera mitad de la preñez. (Soto y Medrano, 2008 y De la Rosa, 2011).

La etapa donde vamos a encontrar la mayor concentración de progesterona es la del diestro esto se debe a que las células de la membrana de la granulosa modificaran sus características enzimáticas y sintetizaran la progesterona bajo

efecto de la hormona luteinizante. En dado caso de que no haya quedado gestante el endometrio iniciará la producción de prostaglandinas $F2\alpha$ y generará la lisis del cuerpo lúteo (Soto y Medrano, 2008 y De la Rosa, 2011).

La última etapa es el anestro este se caracteriza por la inactividad del ovario hasta la siguiente estación de reproducción. En el caso de los machos también se encuentran en reposo sexual (Vera, 1993 y Soto y Medrano, 2008).

Hay dos tipos de anestro en los caprinos, el anestro estacional que tiene que ver con el fotoperiodo, este se define como la variación estacional de la duración del número diario de horas luz. Este es muy importante para que se establezca su periodo de actividad reproductiva, ya que las hembras paren en las estaciones más favorables (Mogedas, 2016).

El otro tipo de anestro es que se genera posteriormente al parto, el intervalo entre el parto y la primera ovulación después del parto esta condicionado por diferentes factores como son la raza, la edad, la alimentación, el estado corporal de la cabra, el momento del parto, la duración de la lactación o la presencia de machos (Mogedas, 2016).

La influencia del momento del parto está determinada por un efecto estacional a través del fotoperiodo. De este modo, cuando el parto ocurre al final del periodo reproductivo, el anestro postparto se continúa con el anestro estacional, no recuperando la ciclicidad hasta la siguiente época reproductiva, pero cuando el parto se produce dentro de la estación reproductiva, el anestro postparto puede tener una duración media de 40 días (Mogedas, 2016).

El ciclo estral está regulado principalmente por 4 hormonas: la folículo estimulante y la hormona luteinizante se producen en la hipófisis anterior y el estrógeno y progesterona en los ovarios. (De la rosa, 2011)

La hormona folículo estimulante (FSH) tiene la función principal de intervenir en la estimulación y desarrollo de los folículos del ovario para la producción de oocitos y la hormona luteinizante (LH) actúa en la fase final del crecimiento y de los folículos y desencadenan la ovulación. (De la rosa, 2011)

El estrógeno es liberado por los folículos que están en proceso de maduración y estos generan el comportamiento en el celo de las cabras. Al momento de la ovulación se forma el cuerpo lúteo (Cueto *et al.*, 2000).

3.3 Métodos de detección del celo en las cabras

La principal manera de detectar el celo en las cabras es por medio de los signos que presentan, este proceso se puede realizar tanto en el campo como en los corrales. (Solís y Fuentes, 2014)

Los signos que se pueden observar a simple vista son: el movimiento de la cola, aumento de la frecuencia del líquido, edematización y enrojecimiento de la vulva, balidos fuertes, agitación constante, pérdida de apetito y orinan frecuentemente en presencia de un semental. (Vera, 1993 y Balcázar y Porras, 2013)

Sin embargo, estos signos son difíciles de apreciar en todas las hembras es por eso por lo que se requiere la presencia de un semental, un macho celado o una hembra androgenizada. (Balcázar y Porras, 2013)

En el momento en el que introducimos al macho al corral, el comenzara a oler los genitales de las hembras de manera individual para identificar si están en estro o no, inmediatamente la hembra en celo abre los miembros posteriores y orina, el macho toma una poca cantidad de orina con sus belfos y arquea el cuello para detectar las hormonas por medio del órgano vomeronasal (signo de Flehmen). Si la hembra está en la fase de estro aceptará la monta y permanecerá inmóvil y esto se considera un signo 100% seguro de estro. (Balcázar y Porras, 2013)

Al usar sementales o machos enteros para la detección del celo se corre el riesgo de que haya montas en momentos indeseables, para evitar esto se utiliza un mandil de tela que cubre la región ventral y el pene del macho sujetándose con tiras. Los mandiles deben revisarse con frecuencia para evitar lesiones, deben permitir que el animal se mueva libremente y así pueda detectar a la hembra sin dificultad. La proporción de machos respecto a las hembras debe ser de 1 a 20 o de 1 a 25 (Balcázar y Porras, 2013)

Otra técnica para detectar el celo es con el uso de arnés marcadores o chin ball, este se coloca en un macho (vasectomizado) como un chaleco en la zona torácica con tinta indeleble. Una vez que el macho tenga el arnés se introduce en el corral de las hembras y se deja libremente, aquella que esté en estro aceptará la monta y será marcada por la tinta en la región de la cruz para ser identificada. La detección de estros se lleva a cabo preferentemente 2 veces al día intercalando a los machos para evitar que se cansen (Cueto *et al.*, 2000 y Balcázar y Porras, 2013).

Cabe mencionar que hay algunas cabras que presentan estros silenciosos o sea que no pueden ser detectados debido a que el animal presenta un desequilibrio hormonal o alguna enfermedad ovárica, como cuerpo lúteo persistente, quiste luteínico debido a un folículo que no ha ovulado y estas hembras tendrán que ser desechadas (Vera, 1993).

3.4 Sincronización del estro

El aspecto reproductivo es uno de los más importantes en la producción, de tal forma que, si la reproducción es manejada adecuadamente o con deficiencia los resultados se observaran en un corto, mediano o largo plazo.

Cuando el hato es manejado sin ningún esquema de manipulación reproductiva, la estacionalidad reproductiva se transforma en una estacionalidad productiva, esto generara problemas en la comercialización porque están inmersos en un mercado que exige producto todo el año e incrementa su demanda durante la estación que corresponde a la menor producción de la especie. Es por eso que se debe tener

conocimiento de la fisiología sexual de la especie y de las estrategias de manejo reproductivo que permitan mejorar la productividad (Álvarez y Ducoing, 2006).

La sincronización del estro es una estrategia de manejo que consiste en lograr que un alto porcentaje de las hembras de un hato presenten un estro simultáneamente, de esta manera las cabras pueden recibir servicio en cualquier época del año, programando el estro, el servicio y la parición para la época más conveniente dependiendo el objetivo de la producción. Los métodos para sincronizar pueden ser naturales o por medio de fármacos (Raso, 2005 y De la Rosa, 2011).

El efecto macho es un método natural que consiste en tener a las hembras separadas del macho, por al menos 60 días antes del servicio (Raso, 2005). El aislamiento debe ser de todos los estímulos sexuales posibles: olor, visión, y vocalización. Posteriormente el macho será introducido al corral de las hembras generando la manifestación de celos concentrados (alrededor del 50% al 60% de las hembras del hato, sin embargo, este porcentaje se puede ver afectado por factores como el estado nutricional, edad de las hembras y la cantidad de machos) (Rodríguez, 2018).

Este método natural es muy económico y se puede usar para realizar un servicio dirigido a corral o para la inseminación artificial. La sincronización del estro se logra por la acción de las feromonas que influyen sobre la función del generador de pulsos de la LH, esta aumentara rápidamente después de la introducción del macho lo que da como resultado el crecimiento folicular (Álvarez y Ducoing, 2006).

Los estros se empiezan a presentar en un rango de tiempo que puede ser de los 3 hasta los 15 días después de que el macho fue introducido, sin embargo, las primeras hembras en responder a la ovulación con una conducta estral más intensa son las dominantes, ya que esta especie tienden a competir por la prioridad del contacto con el macho. (Álvarez y Ducoing, 2006)

El uso correcto del efecto macho ha demostrado que tiene una eficiencia similar a la de cualquier estrategia hormonal. Con esta técnica se logra reducir de forma importante el costo de los tratamientos, además de que se puede disminuir la cantidad de progestágenos y gonadotropinas en los tratamientos inductores-sincronizadores sin afectar negativamente las características de la respuesta (Álvarez y Ducoing, 2006).

Las cabras que se encuentran en anestro pueden inducirse al estro por medio de la manipulación del fotoperiodo. Se puede realizar alojando a las cabras en lugares totalmente cerrados de tal forma que permitan controlar el fotoperiodo a 8 horas luz 16 horas de oscuridad lo que se busca es alternar los días largos y días cortos para inducir cambios similares a los observados cuando estos se producen naturalmente. Este método se puede implementar en los sistemas intensivos debido a que los animales permanecen estabulados, y por lo tanto es posible manipular fácilmente la cantidad de horas de luz que reciben (Álvarez y Ducoing, 2006 y Ungerfeld, 2015). Los métodos farmacológicos tienen la ventaja de concentrar un alto porcentaje de celos en un periodo de tiempo corto lo que facilita la propagación y realizar la monta o los trabajos de inseminación artificial. Los métodos más usados son: las esponjas intravaginales con progesterona o progestágenos y las hormonas inyectables (Rodríguez, 2018).

Las esponjas intravaginales impregnadas con progesterona o progestágenos fueron desarrolladas en Australia por Robinson en 1956. Las esponjas de poliuretano de alta densidad impregnadas con progestágenos sintéticos como el acetato de medroxiprogesterona o acetato de fluorogestona, son los dispositivos de elección debido a la practicidad de uso y su bajo costo (Rodríguez, 2018).

Las esponjas se colocan en la vagina por 15 – 17 días impregnadas con una dosis de 30 a 40 mg de acetato de fluorogestona o 60 mg de acetato de medroxiprogesterona. Lo que se busca es generar un efecto similar al producido naturalmente por la progesterona, genera una inhibición del ciclo estral, como si la

cabra estuviera preñada, al retirarse las esponjas se anula la inhibición y las cabras se sincronizan, entrando la mayoría de ellas en celo en un periodo de tiempo corto (Cueto *et al.*,2000).

Al momento de retirar las esponjas se utiliza una dosis de gonadotrofinas coriónica equina (eCG) inyectada por vía intramuscular, en la época reproductiva. Esto genera un importante pico de estrógenos, induciendo la aparición de un pico preovulatorio de LH y la ovulación. Las dosis que normalmente se usan van a variar entre 200 y 600 UI dependiendo del peso corporal, de la raza y de la época del año. Se debe tomar en cuenta que si se usan dosis elevadas de eCG pueden generar ovulaciones y gestaciones múltiples provocando altas pérdidas por mortalidad perinatal (Cueto *et al.*,2000).

Este método permite alcanzar una elevada concentración de estros y llevar a cabo la inseminación artificial a un tiempo fijo sin necesidad de detectar el celo, también facilita el servicio dirigido a corral y permite la concentración de los estros fuera de la estación reproductiva. El estro se presenta a las 24 o 48 horas posterior al retiro de las esponjas en un 85 a 95% de las cabras (Cueto *et al.*,2000).

La progesterona inyectable es la hormona más usada para la sincronización del estro. Se aplican dos inyecciones por vía intramuscular con una dosis de 20 mg cada una, con dos días de diferencia. La etapa de estro se van a presentar entre el tercer o cuarto día de la segunda aplicación, el 50 al 80 % de las cabras entraran en estro (De la Rosa, 2011).

Personalmente considero que el uso de la termografía infrarroja como una herramienta auxiliar en la medicina veterinaria para el diagnóstico de enfermedades o en el ámbito reproductivo es muy favorable debido a que es una técnica no invasiva y fácil de utilizar, además nos proporciona una imagen clara de la zona de interés. De esta manera se nos facilita ubicar más rápidamente la zona del cuerpo afectada en caso de que el animal este cruzando por un cuadro infeccioso.

En el aspecto reproductivo le encuentro muchos beneficios a esta técnica ya que la mayoría de los métodos de diagnóstico del estro son invasivos, estresantes y poco específicos para los animales como es el caso de la medición de la concentración de las hormonas reproductiva en el plasma, el uso de machos y los signos que llegue a presentar la hembra al inicio del estro. La termografía nos permite visualizar las diferentes temperaturas que presentan los animales en las diferentes etapas de su ciclo estral permitiéndonos conocer el momento exacto de la ovulación (estro) de la cabra sin generarle ningún estrés. Por estas razones considero que es una herramienta que se debería usar día a día en la medicina veterinaria.

2.Objetivo General: Evaluar el uso de la termografía infrarroja como una herramienta para la detección del estro en las hembras caprinas

2.1. Objetivos particulares:

- Evaluar la efectividad de la termografía infrarroja para detectar el estro en las cabras
- Identificar las variaciones en la temperatura de la zona vulvar y de la zona de la cara de las cabras en las diferentes etapas del ciclo estral por medio de la termografía infrarroja

3.-Hipótesis

El uso de la cámara termografía permitirá identificar el estro en las hembras caprinas por medio de la variación de la temperatura de la zona vulvar y de la zona de la cara para realizar montas exitosas.

4.-Materiales y Métodos

4.1. Lugar de estudio

La investigación se realizó en el módulo de caprinos del centro de enseñanza agropecuario de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM, ubicada en Teoloyucan Km 2.5, San Sebastián Xhala, 54714 Cuautitlán Izcalli, México a una latitud norte 19°45´ y longitud oeste 99°45´, a una altitud de 2250 m.s.n.m.

4.2. Animales de experimentación

El presente estudio se realizó en 72 cabras hembras de la raza alpina francesa de 5 años en promedio, divididas en 4 grupos. En los tres primeros corrales se encontraban hembras adultas en el mismo rango de edad con historial de gestación y en el último corral se encontraban cabras primaras o primerizas.

4.3. Proceso experimental

- La investigación inicio con la sincronización de las 72 cabras, por medio de una esponja intravaginal impregnadas con 50 mg de acetato de fluorogestona (FGA lab. Intervet).
- Las primeras tomas con la cámara termográfica (FLUKE Ti125) se tomaron 14 días después por tres días seguidos, para registrar los cambios de temperatura en la etapa de diestro, en la zona de la cara y de la zona vulvar.
- El retiro de las esponjan se realizó 17 días después y se les administro 350UI de eCG (Follion, lab Intervet) en las tablas del cuello (IM) para que de esta manera la hembra genere una alta cantidad de estrógenos y un pico preovulatorio de LH y la ovulación, entrando todas al mismo tiempo a la etapa de estro, además se tomaron fotografías posteriormente al retiro de las esponjas.

- Al día siguiente se tomaron 2 fotografías más, en días diferentes con la cámara termográfica (zona de la cara y zona vulvar) para evaluar los cambios de temperatura durante todo el estro. Estos días las hembras estuvieron en contacto con el macho, el cual tenía un arnés para marcar a aquellas que estaban receptivas y que fueron montadas.
- Una vez que se obtuvieron las imágenes termográficas (termograma) se analizaron por medio de un programa de computadora “SmartView 4.3”, por el cual se obtuvo las diferentes temperaturas. Estos datos fueron analizados por medio de las pruebas estadísticas Pearson y Friedman considerando cada una de las diferentes etapas del ciclo estral estudiadas.
- El programa “SmartView 4.3” nos permite visualizar la temperatura máxima, mínima y media en cualquier zona del termograma, siendo de mayor interés la temperatura media para poder ser analizada estadísticamente.

5. Análisis estadístico

Los resultados obtenidos de la vulva y la zona de la cara fueron comparados para obtener su correlación por medio de la prueba de Pearson, esta es una prueba no paramétrica que mide la discrepancia entre dos variables. En el caso de las temperaturas adquiridas de las diferentes fases del ciclo estral se compararon y se obtuvo la varianza por medio del test de Friedman empleando el programa estadístico Systat 13.

6. Resultados

Las 72 cabras de raza alpina francesa sometidas a sincronización del celo por medio de esponjas intravaginales impregnadas con Acetato de fluorogestona para medir la temperatura vulvar y la de la cara con una cámara termográfica en la etapa de diestro, estro y metaestro de su ciclo estral mostraron los siguientes resultados:

Se representó la media de las temperaturas obtenidas en el diestro, estro y metaestro en la zona vulvar y en la zona de la cara. Mostrando diferencias en las tres etapas, en el diestro (con esponja) se observa una temperatura constante en los dos primeros días y un aumento en el último día cercano al estro. Al momento de iniciar el estro (sin esponja) la temperatura no cambio comparado con el diestro, 24 horas después se observa un gran aumento de la temperatura (2.5°C) y al paso de 48 horas disminuyo 2.7°C en el momento en que las cabras entrar en la etapa del metaestro (sin esponja) la temperatura disminuye significativamente (4.8°C) indicándonos el término del estro. En cambio, la temperatura de la cara muestra pocos cambios, el más notorio se observa en la etapa del estro a las 24 horas aumentando un poco la temperatura (33.8°C) para posteriormente disminuir después de 48 horas alcanzando una temperatura de 29.5°C y 27.9°C al inicio de metaestro

La temperatura de la cara en las diferentes etapas del ciclo estral fue menor en comparación con la temperatura vulvar a pesar de que fueron tomadas en la misma hora y bajo las mismas condiciones ambientales. Lo que nos indica que no hay una relación entre la temperatura de estas zonas al momento de la ovulación.

Temperatura media de la vulva y la cara

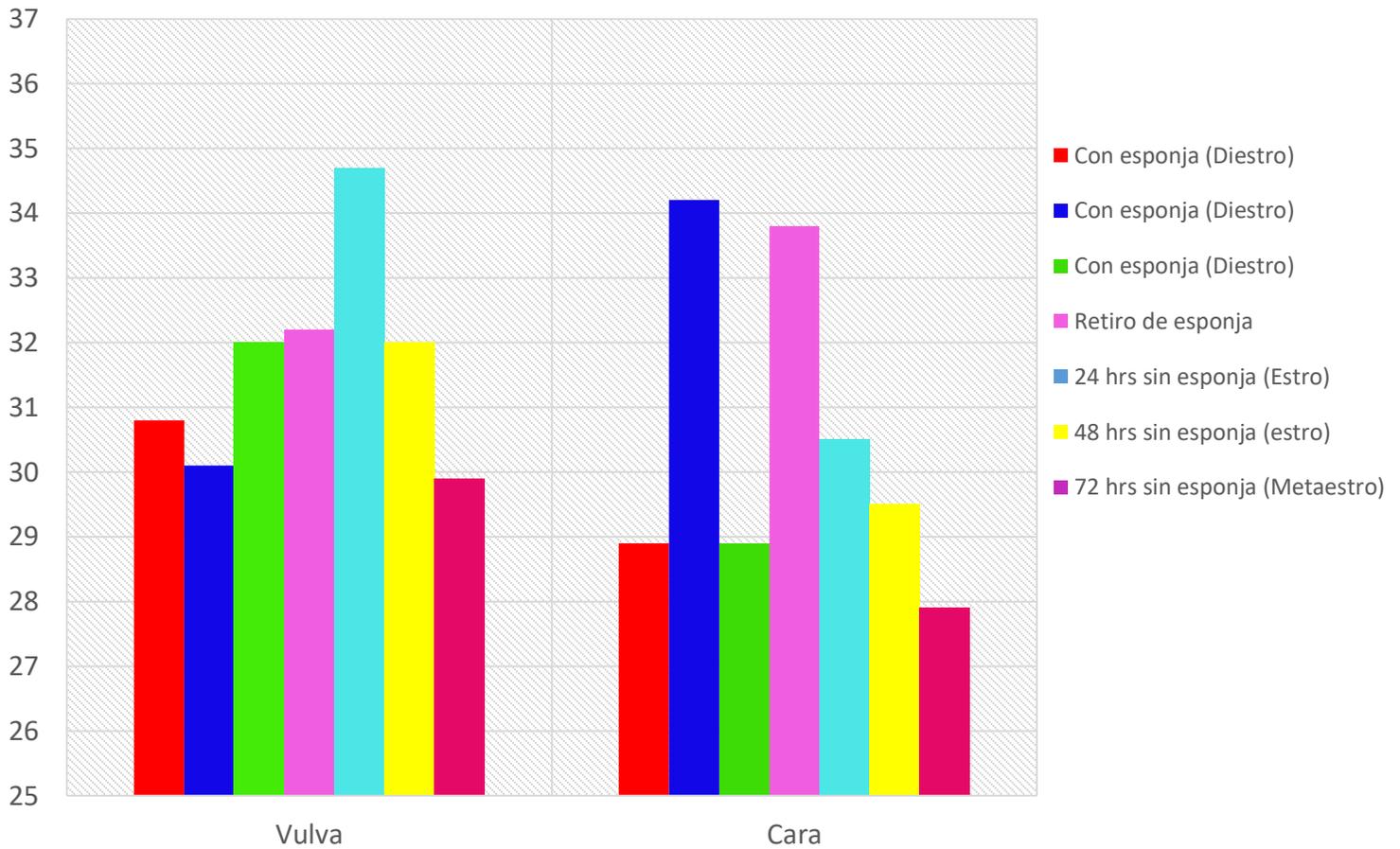


Figura 1: En esta figura podemos observar las temperaturas medias de cada una de las fases del ciclo estral, de vulva y de la cara. La temperatura vulvar esta más elevada que la temperatura de la cara

Las temperaturas de la zona vulvar mostraron diferencias en las tres etapas de interés, habiendo mayor variación en la temperatura vulvar y un aumento significativo comparadas con las de la cara que fueron menores y con poca variación, esto se muestra representado en la siguiente grafica (Figura 2)

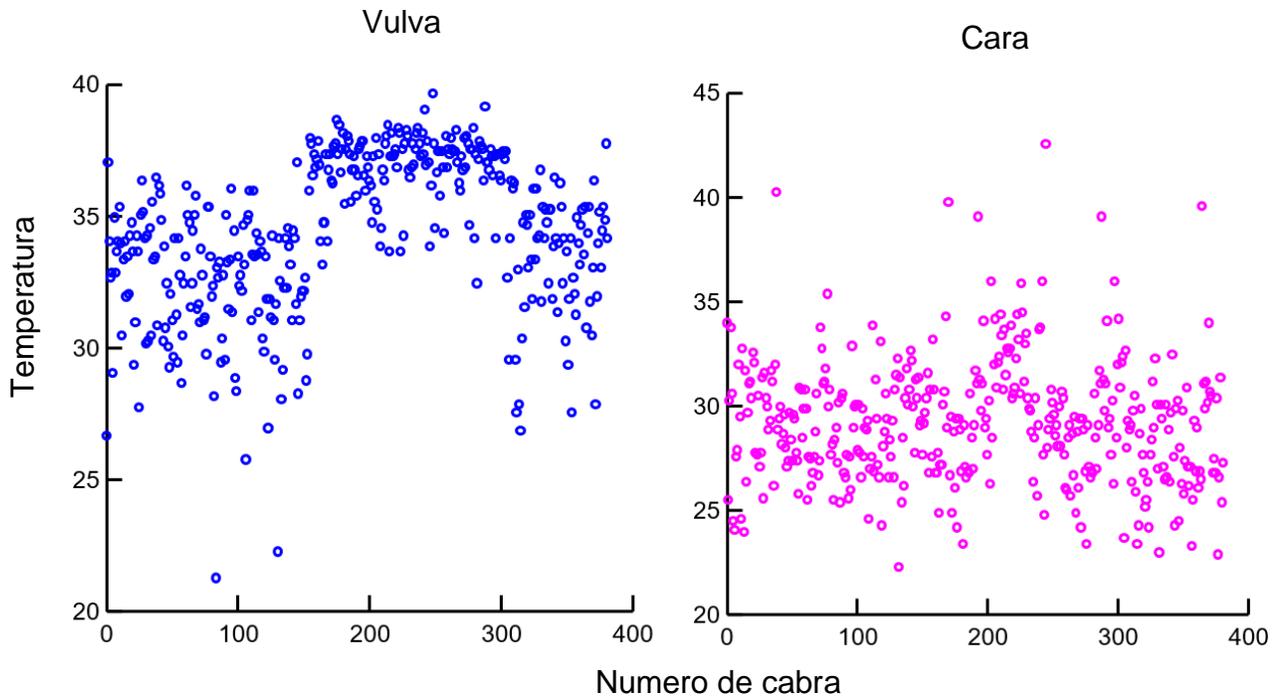


Figura 2: Representacion de las diferentes temperaturas que tuvieron las cabras en el diestro, estro y metaestro de la zona vulvar y de la zona de la cara. Mostrando menores temperaturas en el rostro.

La temperatura de la vulva y de la zona rostral mostraron una correlación de $r= 0.03$ siendo nula debido a su comportamiento en el grafico (Figura 3). Esto se debe a que no hay dependencia de ningún tipo entre las temperaturas. Es decir que para saber si la cabra está en celo se debe tomar en cuenta solo la temperatura de la zona vulvar.

Esto se obtuvo por medio del coeficiente de correlación de Pearson, este método nos permite analizar la relación que existe entre dos variables (temperatura de la cara y la vulvar). Para calcularse se requiere que las dos variables tengan el mismo número de datos.

El coeficiente de Pearson puede variar de -1.00 a +1.00, si el resultado es positivo las variables se correlacionan directamente, pero si el resultado es negativo las variables se relacionan inversamente. El coeficiente que se obtuvo fue de 0.03 y se interpreta como que no existe correlación entre las variables estudiadas

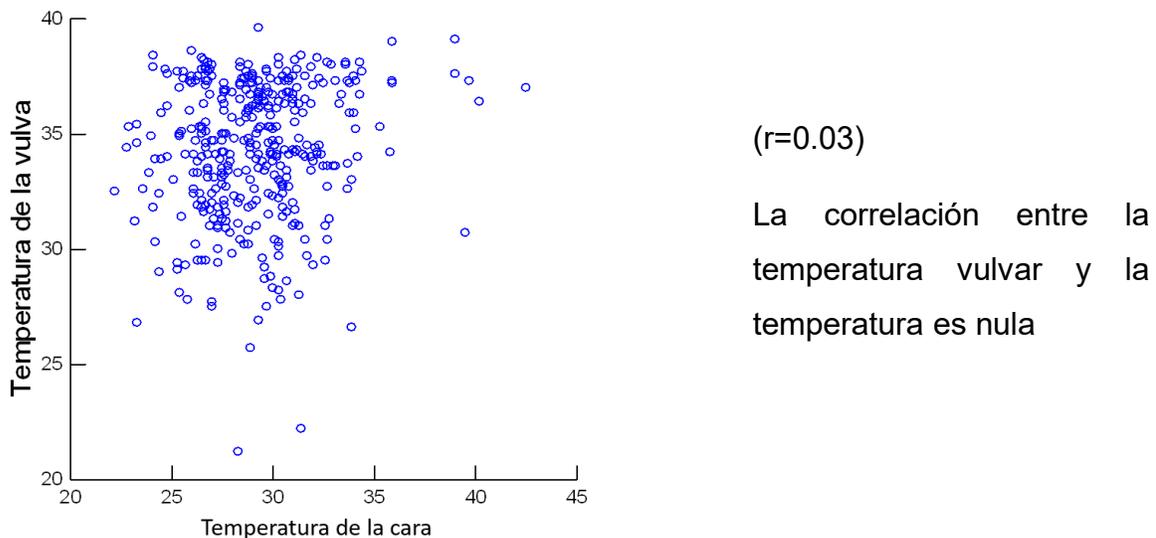


Figura 3: La correlación entre la temperatura vulvar y la temperatura rostral es nula ya que ambas son independientes y no tienen relación alguna en las diferentes etapas del ciclo estral de las cabras

Las temperaturas de la vulva en la etapa del diestro (con esponja) mostraron poca diferencia aumentado dos grados (30.8°-32.9°C) debido a las concentraciones de progesterona que caracteriza dicha fase. La media más alta en la zona vulvar se obtuvo en el estro 34.7° C y fue disminuyendo al término del mismo debido a los

cambios en las concentraciones de estrógeno con el paso del tiempo, llegando a una temperatura de 29.9°C en el metraestro (sin esponja).

La desviación estándar nos permite medir el grado de dispersión o variabilidad de una población, entre más grande sea el valor de la desviación más grande es la dispersión en nuestra población. En nuestra investigación los valores de la desviación estándar en la zona vulvar fueron bajos comparados con las medias lo que nos indica que hay una mínima variación entre todas las temperaturas obtenidas en los 7 días de la experimentación. Lo cual es normal ya que las cabras deben mantener una temperatura corporal constante.

Sin embargo, la temperatura en la zona del rostro mostro un comportamiento diferente, en el diestro el segundo día aumento drásticamente 6°C y fue disminuyendo gradualmente. En el estro inicio con una temperatura de 33.8 y termino con una temperatura de 29.5°C y en la etapa del metaestro llego a los 27.9°C. no tiene una variación establecida como en el caso de la temperatura vulvar donde la temperatura inicio baja y con los cambios fisiológicos de cada etapa del ciclo estral fue aumentando hasta llegar al estro y al termino de este disminuyo significativamente.

En la etapa del estro podemos notar que el valor de la desviación estándar es el más alto comparado con los otros días del ciclo estral, esto se interpreta como una mayor variabilidad entre las temperaturas tomadas en este día y hay una menor variación en las temperaturas en los otros días y además son muy similares entre ellas y debido a esto todas muestra una desviación estándar parecida.

Tabla 5

	Con esponja 14 días (Diestro)	Con esponja 15 días (Diestro)	Con esponja 16 días (Diestro)	Retiro de esponjas	24 hrs sin esponja (Estro)	48 hrs sin esponja (Estro)	72 hrs sin esponja (Metaestro)
Vulva	30.8±2.2	30.1±1.5	32.9±2.8	32.2±2.5	34.7±1.3	32±1.1	29.9±2.4
Cara	28.9±2	34.2±2.1	28.9±2.3	33.8±1.9	30.5±3.2	29.5±2.9	27.9±2.8

Tabla 5: temperatura media y desviación estándar de la zona vulvar y la zona de la cara de los diferentes días de experimentación

Para la validación de los resultados de la investigación se requiere el uso del análisis de varianza para poder identificar cuantitativamente las variaciones en los diferentes días de experimentación. El análisis que se usó fue el test de Friedman, esta es una prueba no paramétrica que nos permite comparar grupos de dos en dos. Si el valor de ($P \leq 0.05$) se rechaza la hipótesis nula y se concluye que si hubo variación en los datos, en cambio si es ($P > 0.05$) se acepta la hipótesis nula.

Se compararon las diferentes etapas del estro buscando una variación significativa en los resultados (tabla 3), mostrando una diferencia importante entre el estro (24hrs) y el metaestro, estro (48 hrs) y metaestro, diestro (14 días) y el inicio del estro y por último el diestro (15 días) y el inicio del estro. Esto nos indica que si hay variación en las temperaturas vulvares de las tres fases del ciclo estral estudiadas por medio de la termografía.

Tabla 6 Test de Friedman en la temperatura vulvar

Etapa fisiológica		Variación	P
Estro (24 hrs)	Estro (48 hrs)	No hay variación	0.250
Estro (24 hrs)	Metaestro	Si hay variación	0.000
Estro (48 hrs)	Metaestro	Si hay variación	0.000
Diestro (14 días)	Diestro (15 días)	No hay variación	0.120
Diestro (14 días)	Inicio del estro	Si hay variación	0.000
Diestro (15 días)	Inicio del estro	Si hay variación	0.000

Tabla 7: En esta tabla observamos las etapas del ciclo estral donde se obtuvo una diferencia por medio del cálculo de la varianza ($P < 0.05$).

Como ya se mencionó en los gráficos anteriores la temperatura de la cara presenta pocas variaciones es por eso que en la tabla 4 se observa que solo hubo diferencia entre el estro (24 hrs) y el metaestro, en todos los demás días la temperatura fue la misma o no tuvo una variación importante. De esta manera se determinó que la

temperatura en la zona del rostro no cambia en las diferentes etapas del ciclo estral y no es una toma confiable para la detección del celo en las cabras.

Tabla 7 Test de friedman en la temperatura de la cara

Etapa fisiológica		Variación	P
Estro (24 hrs)	Estro (48 hrs)	Si hay variación	0.023
Estro (24 hrs)	Metaestro	Si hay variación	0.000
Estro (48 hrs)	Metaestro	No hay variación	0.250
Diestro (14 días)	Diestro (16 días)	No hay variación	0.086
Diestro (15 días)	Diestro (16 días)	Si hay variación	0.011
Diestro (16 días)	Inicio del estro	No hay variación	0.480

Tabla 8: En la tempertura de la cara no hubo variacion significativa en los diferentes días del ciclo estral

7. Discusión

La finalidad del presente estudio fue evaluar la eficacia del uso de la termografía infrarroja como método de diagnóstico para la identificación del estro en hembras caprinas. Los resultados obtenidos al comparar la temperatura vulvar y la temperatura de la zona del rostro mostraron diferencias significativas en las etapas del ciclo estral evaluadas, la temperatura vulvar y la de la cara presentaron una mayor temperatura en la etapa del estro.

Estos resultados también se observan en ovejas (Barros *et al.*, 2018) ya que al retiro de las esponjas intravaginales la temperatura aumento gradualmente en la zona vulvar mostrando una mayor temperatura en la fase de estro, en el caso de la temperatura de la cara las ovejas aumentaron su temperatura desde que se les aplico la esponja y la mayor temperatura se obtuvo al momento de la ovulación y disminuyo poco después tal y como paso en los resultados de esta investigación, en el inicio del estro aumento la temperatura y al termino de este la temperatura bajo drásticamente.

Esta situación también se observó en búfalos (Rydygier *et al.*, 2018) al término del diestro los animales mostraron una elevación de la temperatura en la zona vulvar y la zona de la cara. La variación en la temperatura vulvar probablemente se deba al aumento del flujo sanguíneo debido a los cambios de la concentración de la progesterona y estrógeno que se producen durante el ciclo estral.

Las temperaturas más elevadas se observaron en la zona vulvar alcanzando los 34.7°C en la etapa del estro sin embargo la temperatura máxima de la zona de la cara fue de 33.8°C, además en las tres fases del ciclo estral estudiadas presentaron una menor temperatura y una variabilidad significativa en comparación de la zona vulvar. Esto se debe a que el pelo bloquea la imagen térmica, generando una disminución de la temperatura comparada con la de la piel.

Lo antes mencionado nos explica porque al momento de realizar la correlación de Pearson obtuvimos un valor muy bajo ($p \leq 0.004$) indicándonos que no existe una relación entre la temperatura de la vulva y la temperatura de la cara. Diversos artículos realizados en especies como ovinos (Barros *et al.*, 2018) y búfalos (Rydygier *et al.*, 2018) mencionan que hay una alta correlación entre la temperatura vulvar y la temperatura de la cara, esto es totalmente contrario a los resultados de la presente investigación debido a que las cabras tienen una menor capacidad de termorregulación a causa de la ausencia de las glándulas sudoríparas que presenta el ovino y los bovinos, es por eso que la temperatura en estos animales es constante en todo momento, en cambio en las cabras hay una mínima relación entre las zonas donde fueron tomadas las temperaturas.

Se obtuvo la temperatura media de la etapa de diestro, estro y metaestro de la zona vulvar. En la fase del diestro se realizaron tres mediciones en diferentes días, la temperatura fue aumentando de manera gradual, el primer día las cabras tenían 30.8°C , el día dos fue de 30.1°C , el tercer día del diestro aumento a 32.9°C . posteriormente se obtuvo la temperatura del estro mostrando un comportamiento parecido al del diestro, se obtuvieron dos mediciones en tres días diferentes, al inicio del estro la temperatura fue de 32.2°C , 24 horas después aumento a 34.7°C y a las 48 horas disminuyó a 32.0°C . la última medición se obtuvo en la fase de metaestro donde se generó una baja drástica en la temperatura vulvar llegando a los 29.9°C .

Los cambios más significativos en la temperatura se observaron en el momento en que las cabras entran en estro y cuando terminan el mismo, hubo un aumento de temperatura de 1.8°C a las 24 horas que se retiró la esponja intravaginal, 48 horas después bajo 2.7°C y al inicio del metaestro disminuyó 2.0°C . Estos cambios eran los esperados ya que las hormonas características de cada etapa del ciclo estral disminuyen y aumentan conforme van pasando las fases.

Evangelista *et al.* (2018), Fernandes *et al.* (2014) y Stelletta *et al.* (2017) obtuvieron los mismos cambios en la temperatura vulvar en cabras, primero se observó un

aumento en la temperatura durante el periodo estral seguido por una caída de correspondiente al tiempo más cercano a la ovulación, al mismo tiempo externamente la vulva se encontraba edematizada ligeramente y enrojecida, las cabras presentan un cambio en su comportamiento, hubo un aumento en las vocalizaciones, inquietud y se quedaban quietas cuando se les tocaba la zona lumbar. Estos tres autores confirmaron que el uso de la cámara termográfica combinada con la detección visual es una buena opción para los criadores por ser una técnica rápida y precisa disminuyendo errores al momento de la detección del estro.

En el caso de los cerdos Scolari et al. (2011) nos dice que durante el estro las cerdas de raza Yorkshire X Landrace alcanzaron una temperatura máxima de 35.6°C y disminuyó drásticamente a 33.9°C 8 horas antes de la ovulación. Asimismo, Sykes et al. (2012) identificó que durante el diestro las cerdas primerizas mostraban una temperatura de 35.6°C y en la etapa del estro aumentó a 36.6°C. Cabe señalar que esto también sucedió en nuestras cabras, se generó un aumento de temperatura en el momento en el que estaban en la etapa de estro.

La detección del estro por medio de una cámara termográfica también ha sido utilizada en yeguas, aunque la información en esta especie es limitada Calabria et al. (2010) señaló que la temperatura vulva y perivulvar aumentó durante el crecimiento folicular y hubo una disminución durante el establecimiento del cuerpo lúteo.

Lo fauna silvestre no está exenta de estos cambios de temperatura en su estro, las hembras koalas alcanzan una temperatura de 34.2°C y progresivamente va disminuyendo hasta estabilizarse a su temperatura normal de 30.3°C al término de este (Melero et al. 2009).

Los autores nos indican que este aumento de la temperatura en la etapa del estro es causado por la elevación del estrógeno plasmático, provocando vasodilatación y

aumenta el flujo sanguíneo del útero y otras estructuras del tracto reproductivo como la vagina y la vulva, dando como resultado el aumento de la temperatura de la zona vulvar. Este proceso hormonal nos deja claro por qué se genera un aumento y posteriormente una disminución en la temperatura al momento de la ovulación en la temperatura de las cabras.

De acuerdo con nuestros resultados los días de mayor variación de temperatura en la zona vulvar fue en la etapa de diestro a la etapa de estro y también hubo variación entre la fase de estro y el metaestro. Algo similar paso en cerdos Sykes et al. (2012) investigo la variación de la temperatura entre la etapa de diestro y el estro y observo que la temperatura en el diestro era menor en comparación con el estro.

Por otro lado, Simões et al. (2014) comparo la fase de diestro y estro en cerdas y concluyo que la temperatura en el diestro fue constante y disminuyo en el momento en que las hembras entraron en celo, en el caso de nuestras cabras, en el diestro las hembras mantuvieron una temperatura constante al igual que las cerdas, pero en las cabras posteriormente aumento. Esto se debe a que en la etapa de diestro la hormona que se encuentra en mayor concentración es la progesterona y es la encargada de preparar al endometrio para la llegada del embrión, cabe mencionar que esta es la función que realiza la esponja intravaginal y por eso se considera que las hembras están en diestro.

Es importante señalar que en la mayoría de los artículos revisados había un factor en común, el medio ambiente, se sabe que la termografía infrarroja es muy sensible a los cambios de las condiciones ambientales principalmente el flujo del aire, la actividad física que tuvo el animal antes de tomar las fotografías y la postura del animal. Estos factores pueden provocar una variación considerable en los datos obtenidos generando errores que conducen a una detección del celo erróneo, es por eso que se debe de realizar la toma de la temperatura vulvar en un ambiente totalmente controlado, en corrales cerrados, que el animal no este estresado, que

no esté en una zona con mucho sol o este muy frío el ambiente, de esta manera se puede aprovechar mejor la sensibilidad de esta herramienta.

8. Conclusión

Uno de los factores más importantes en la producción caprina es el reproductivo, debido a esto se deben usar las técnicas más confiables para poder realizar la detección del celo en las cabras de manera eficaz y precisa.

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación podemos concluir que si hay un cambio en la temperatura vulvar en el momento en que las hembras caprinas entran en la etapa de estro y la cámara termografía es una herramienta útil que nos permite detectar el momento en que las hembras se encuentran en estro.

El uso de la cámara termográfica es un método muy fácil y sobre todo no invasivo con alta sensibilidad a factores externos que se deben tomar en cuenta al momento de obtener las mediciones, pero a pesar de eso, esta técnica es muy prometedora en el ámbito reproductivo.

9.Referencias

- Agredo, J. (2018). *Efecto del estrés nutricional sobre la función lútea post-servicio en cabras inducidas a ovular durante el anestro estacional*. [Tesis de maestría]. Universidad Autónoma de Querétaro.
- Alejandro, M., Romero, G., Sabater, J. y Diaz J. (2013). Infrared thermography as a tool to determine teat tissue changes caused by machine milking in Murciano-Granadino goats, *Livestock Science*, 160, 178-185.
- Alva, M. (2011). Evaluación termográfica de las extremidades del caballo de salto. [Tesis de licenciatura]. Universidad Veracruzana.
- Álvarez, L. y Ducoing, A. (S/A). Aspectos reproductivos en el ganado caprino. Centro de enseñanza práctica e investigación en producción y salud animal.
- Balcázar, J. y Porras, A. (2013). *Manual de prácticas en manejo reproductivo de ovinos y caprinos*. UNAM.
- Andrade, H. (2017). Producción de caprino en México. *Tierras Caprino*, 18, 1-25.
- Barros, A., Ortiz, W., Quirino, C., Bartholazzi, A., Gomes, C., Torres, A., Silva, M. Cipaguata, L., De Almeida, J. y Burla, A. (2018). Surface temperature of ewes during estrous cycle measured by infrared thermography. *Theriogenology*, 119, 245-251.
- Benicio, B., De Assis, G., André, C. y Nunes, E. (2011). Termografia: avaliação a adaptação de caprinos leiteiros e conforto térmico das instalações. *Farmpoint*. 1-4.
- Calabria, A., Corcillo, G., Valentini, S. y Stelletta, C., (2010). Utilizzo della termografia durante la determinazione dell'estro e del momento di ovulazione nella cavalla. Congresso Nazionale SIRA Ozzano dell'Emilia VIII.
- Cueto, M., Gibbons, A. y Abad, M. (2000). *Reproducción en caprinos*. EEA Bariloche.
- De la Rosa, S. (2011). *Manual de producción caprina*. Formosa.
- De Oliveira, N. (2019). Termografia infravermelha na detecção do estro em preás. [Tesis de licenciatura]. Universidade federal rural do semi-árido.
- Evangelista, D., Xavier, G., Borges, J., Rufino, J., Macedo, R. y Fernandes, A. (2018). Detecting estrus in Caprine goats by two infrared thermography methods. *Acta Veterinaria Brasilica*, 12, 49-54.

Fernandes, A., Evangelista, D. y De Macedo, L. (2014). Possibilidades Na Utilização Da Termografia Infravermelha No Diagnóstico Reprodutivo De Caprinos. *Acta Veterinaria Brasilica*, 8(2), 380-384.

FLUKE. (s.f.). ¿Qué significa infrarrojos? <https://www.fluke.com/es-es/informacion/blog/termografia/que-significa-infrarrojos>

Martínez, J. (2015). *Uso de la termografía en la clínica de caballos de deporte*. Universidad de Zaragoza.

McManus, C., Tanure, C., Peripolli, V., Seixas, L., Fischer, V., Gabbi, A., Menegassi, S., Stumpf, M., Kolling, G., Dias, E. y Batista, J. (2016). Infrared thermography in animal production: An overview. *Computers and Electronics in Agriculture*, 123, 10-16.

Melero, M., Real, M. y Sanchez, J. (2009). Aplicación De La Termografía Para El Estudio De Los Koalas. *RCCV*, 3(2), 51- 59.

Melgosa, S. (2011). *Guía de la termografía infrarroja*. **Consejería de economía y hacienda comunidad de Madrid**.

Morales, M., Medina, E., Carnevali, A. y Orozco, E. (2011). Termografía infrarroja y el estudio de riesgos de lesiones músculo esqueléticas. *Ingeniería industrial*. 1, 55-67.

Mogedas, M. (2016). Sincronización de la ovulación y el ciclo inducido por el efecto "macho" mediante la administración de progesterona por vía intravaginal en cabras en período de anestro estacional. **[Tesis de doctorado]**. Universidad complutense de Madrid.

Neita, L. y Peña, E. (2011). Principios básicos de la termografía infrarroja y su utilización como técnica para mantenimiento predictivo. **[Tesis de especialidad]**. Universidad pontificia bolivariana.

Radigonga, V. (2016). Investigaçãõ da temperatura da pele vulvar, folículos e taxa de prenhez em vacas braford usando termografia infravermelha. [Tesis de maestría]. Universidade Estadual de Londrina.

Ramírez, J., Restrepo, A., Montilla, D. y Fabara, K. (Agosto, 2020). Análisis y procesamiento de imágenes termográficas en el proceso de detección de celo en el

ganado bovino. [conferencia]. congreso Internacional de Ciencias Básicas e Ingeniería CICI. Colombia.

Raso, M. y Bottaro, H. (2005). Manejo reproductivo caprino. *Ganadería*. 18, 75-80.

Redaelli, V., Nanni, L. y Luzi, F. (2015). La termografía: teoría e applicazioni. *Point Veterinaire Italie*. Pág. 199-230.

Rodríguez, D. (2018). *Efecto de esponjas vaginales sobre la microbiota vaginal e impacto en la eficiencia reproductiva en cabras*. [Tesis de licenciatura], Universidad Autónoma De Nuevo León.

Rydygier, F. (2014). Termografía digital por infravermelho do escroto e qualidade de semen em touros Nelore (*Bos Taurus indicus*). [Tesis de maestría]. Universidade do Oeste Paulista.

Rydygier, F., Yamada, P., Bicas, L., Mungai, M., Pinheiro, J., Tonizza, N., Milani, G., Codognoto, V. y Oba, E. (2018). Effect of estrous cycle phase on vulvar orbital area and muzzle surface temperatures as determined using digital infrared thermography in buffalo. *Animal Reproduction Science*, 197, 154-161.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2017). La caprinocultura en México. <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/la-caprinocultura-en-mexico>. 04 de enero del 2022

Sanz, A., Vicente, M., Castaño, M., y Sanchez, J. (2008). Utilización De Imagen Termográfica En El Diagnóstico De Patologías Caninas. *RCCV*, 2(2), 141- 147.

Scolari, S., Clark, S., Knox, R. y Tamassia, M. (2011). Vulvar skin temperature changes significantly during estrus in swine as determined by digital infrared thermography, *Journal of Swine Health and Production*, 19(3), 151-155.

Simões, V., Lyazrhi, F., Picard, N., Gayraud, V., Martineau, G y Waret, A. (2014). The vulvar temperature of sows during proestrus and estrus as determined by infrared thermography and its relation to ovulation, *Theriogenology*, 82, 1080-11085.

Solis, K. y Fustes, J. (2014). Manejo Reproductivo De La Cabra. *Entorno ganadero*, 37. 1-6.

Soto, R. y Medrano, J. (2008). Reproducción de ovejas y cabras. Comité.

Stelletta, C., Flore, E., Vencato, J. y Glanesella, M. (2014). Infrared thermography in reproduction. **Università degli Studi di Padova**.

Stelletta, C., Tekin, K., Tirpan, B., Alemdar, H., Cil, B., Stelletta, O., Olgac, K., Inanc, M. y Daskin, A. (2017). Vulvar thermal pattern following synchronization of estrus is linked to fertility after timed artificial insemination in goat, *Theriogenology*, 1-10.

Sykes, D., Couvillion, J., Cromiak, A., Bowers, S., Schenck, E., Crenshaw, M. y Ryan, P. (2012). The use of digital infrared thermal imaging to detect estrus in gilts. *Theriogenology*, 78, 147-152.

Talukder, S., Kerrisk, K., Ingenhoff, L., Thomson, P., Garcia S, y Celi, P. (2014). Infrared technology for estrus detection and as a predictor of time of ovulation in dairy cows in a pasture-based system. *Theriogenology*, 81, 925-935.

Turner, T. (2001). Diagnostic thermography. *Veterinary clinics of north america: equine practice*, 17(1). 95-113.

Ungerfeld, R. (2015). Manejo de la estacionalidad reproductiva en pequeños rumiats. Universidad de la república. Uruguay.

Vera, T. (1993). *Reproducción de ganado Caprino*. **Universidad autónoma de Nuevo León**.

Anexos



Imagen 1: Módulo de caprinos, lugar en donde se realizó la investigación.



Imagen 2: Hembras caprinas usadas como modelos de experimentación.



Imagen 3: Uso de la cámara infrarroja para obtener las temperaturas en la zona vulvar.



Imagen 4: Cámara infrarroja usada en la investigación.

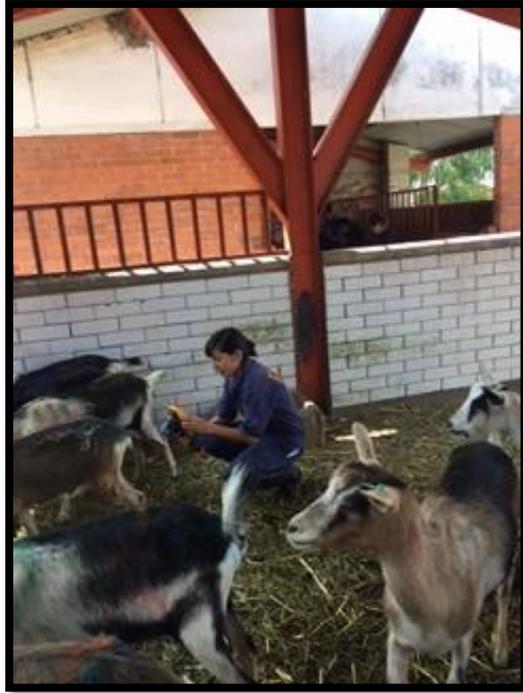
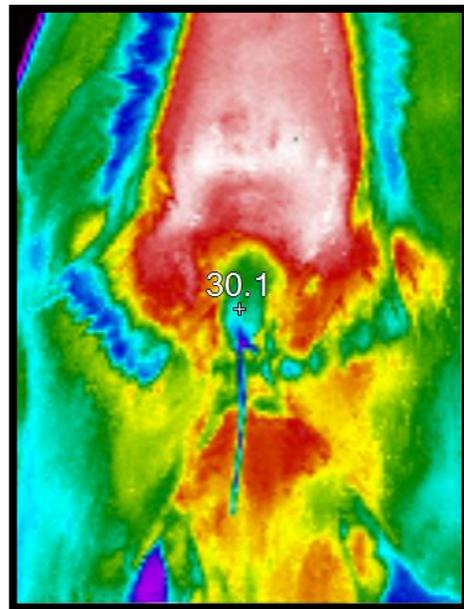
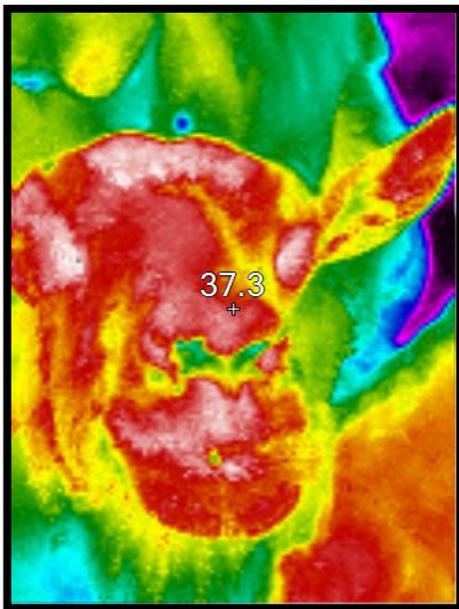


Imagen 5: Obtención de las mediciones con la cámara infrarroja.



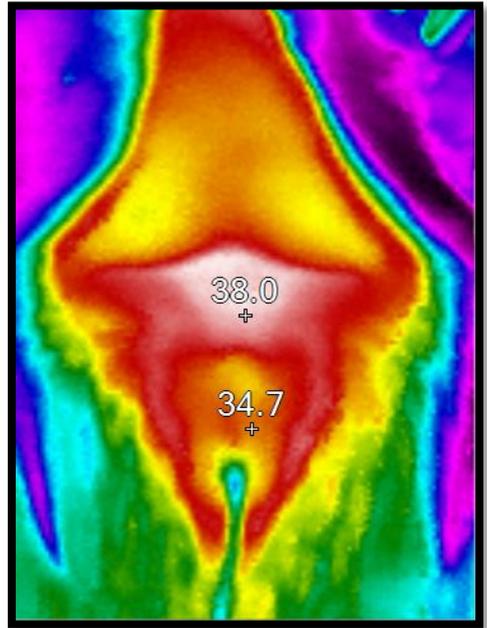
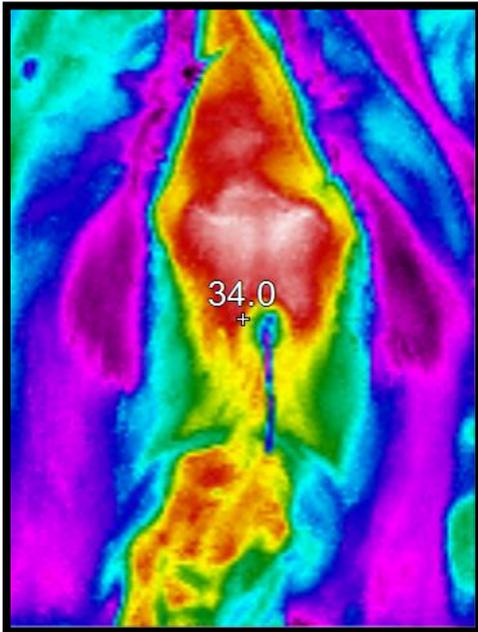
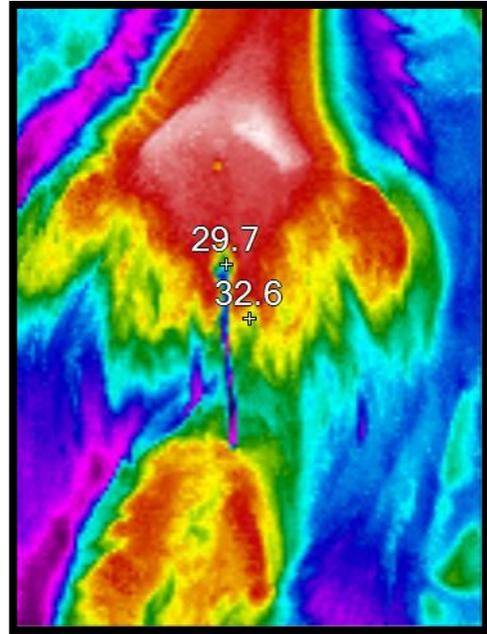
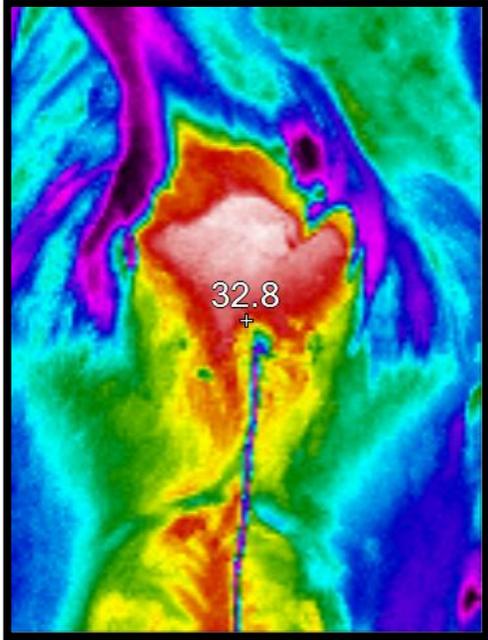
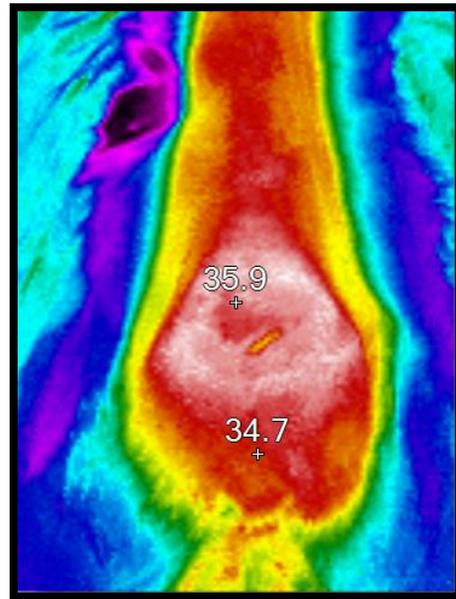
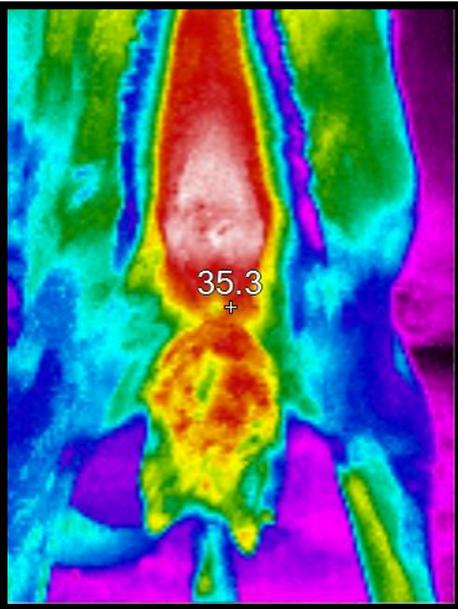
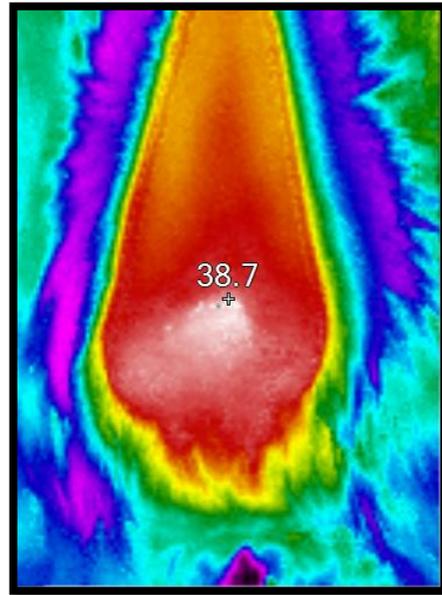
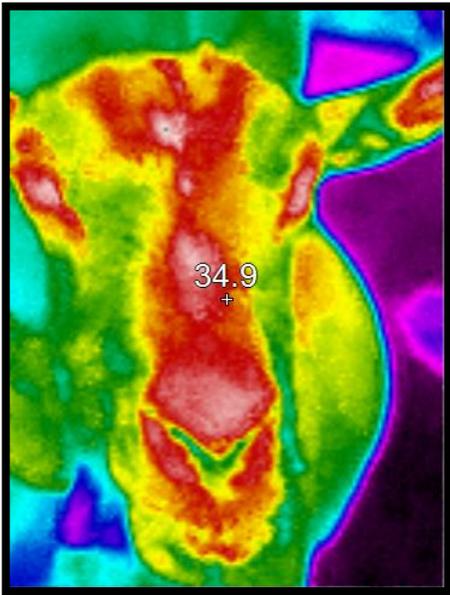


Imagen 6, 7, 8, 9, 10, 11: Termograma de una cabra en la zona de la cara y de la vulva en la etapa de diestro.



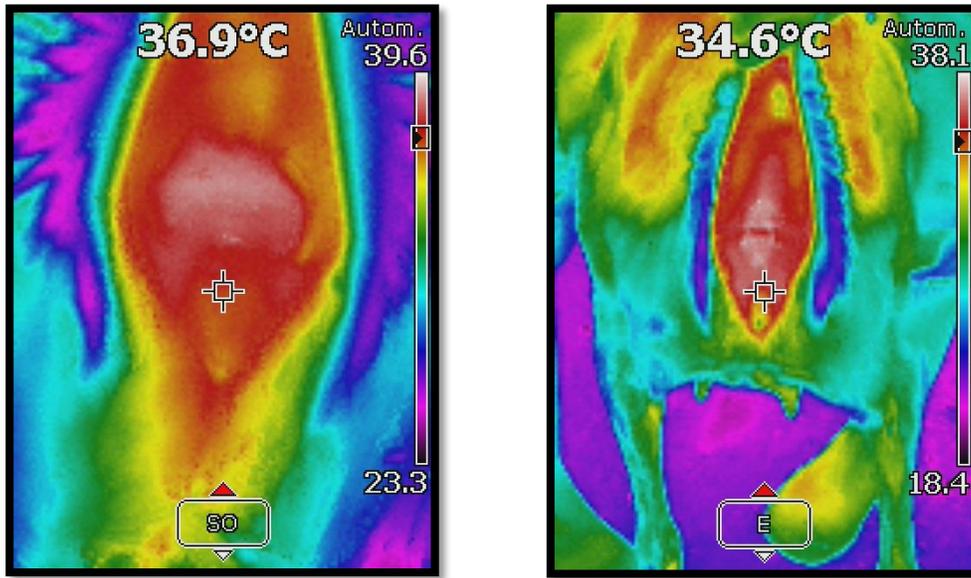


Imagen 12, 13, 14, 15,16, 17: Termograma de una cabra en la zona de la cara y de la vulva en la etapa de estro.

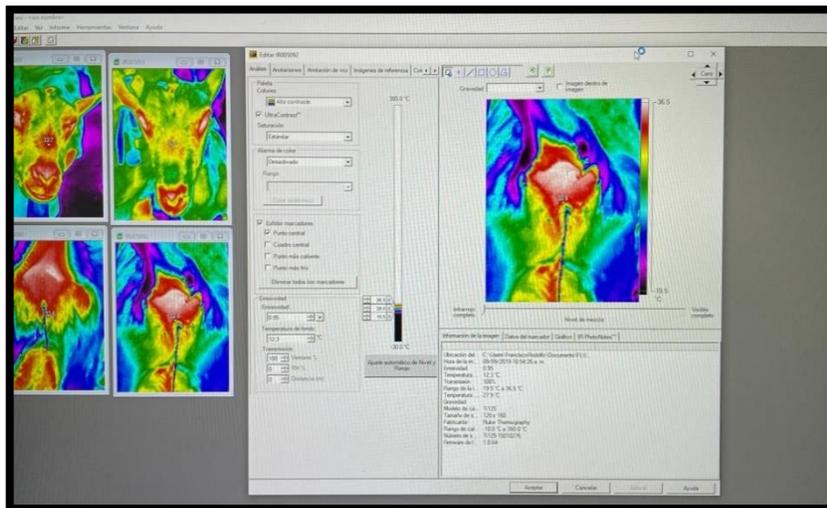


Imagen 18: Software Smart view 4.3 con el que se analizaron las imágenes termográficas



Imagen 19: Interacción entre un macho y las hembras posterior a las fotografías termográficas.