



UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

Facultad de Veterinaria

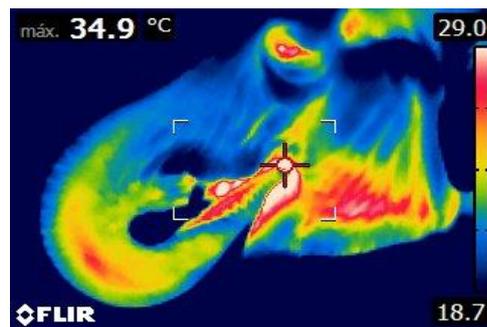


Grado de Veterinaria

Trabajo Fin de Grado

Seguimiento mediante termografía infrarroja de osteoartritis en elefante asiático (*elephas maximus*)

Monitoring by infrared thermography of osteoarthritis in Asian elephant (*elephas maximus*)



Autor: Ángela Martín-Doimeadios Sáenz

Director/res: Ana M^a González Martínez y Rafael Guerra Caro

13/09/2018



Universidad de Córdoba



Facultad de Veterinaria

FACULTAD DE VETERINARIA
TRABAJO DE FIN DE GRADO: DOCUMENTO 4

INFORME DEL/LOS DIRECTOR/ES DEL TRABAJO FIN DE GRADO

DIRECTOR/ES:

Ana M^a González Martínez, Profesora Sustituta Interina, Departamento de Producción Animal.

Rafael Guerra Caro, Veterinario Titular Parque Zoológico Municipal de Córdoba.

INFORMA

Que el trabajo presentado por Dña. ANGELA MARTIN-DOIMEADIOS SAENZ Con NIF 45887250-L, bajo el Título SEGUIMIENTO MEDIANTE TERMOGRAFÍA INFRARROJA DE OSTEOARTRITIS EN ELEFANTE ASIÁTICO (*ELEPHAS MAXIMUS*)

Si No Reúne los requisitos para su lectura y defensa, estando adaptado en contenido, profundidad y duración a la asignación de créditos ECTS del Plan de Estudios del Título de Graduado/a en Veterinaria de la Universidad de Córdoba.

Córdoba, a 11 de septiembre de 2018


Fdo. El/Los directores del Trabajo Fin de Grado
(Ana M^a González Martínez y Rafael Guerra Caro)

ÍNDICE GENERAL

.....	1
Índice general.....	2
Índice de tablas	4
Índice de figuras	4
Resumen.....	5
Abstract	6
Introducción	7
1. ¿Qué es la termografía?.....	7
2. Historia de la termografía.....	7
3. Datos físicos.....	8
4. Aplicación en veterinaria.	8
5. Limitaciones de la termografía.	9
Objetivos	11
Material y métodos.....	12
1. Material.....	12
1.1 Cámara termográfica:	12
1.2 Animal en estudio:	12
1.3 Programa informatico FLIR TOOLS:	17
2. METODOS.....	17
2.1 Cronología en el estudio.	17
2.2 Protocolo de toma de registros.....	17
2.3 Selección de registros.....	18
2.4 Procesado de los termogramas.....	18
2.5 Creación de base de datos.	20
2.6 Análisis estadístico.	20
Resultados.....	21
1. Efecto de la temperatura ambiental.....	21
1.1 Temperatura estival valorada por el efecto “Mes”.....	21
1.2 Temperatura en función de la franja horaria valorada por el efecto “Registro”.	23
2. Localización y expansión de la inflamación.	25
2.1 Vista.....	25
3. Evolución temporal de la lesión y efecto del tratamiento aplicado.	25
3.1 Semana	25

3.2 Tratamiento	28
Discusión	32
Conclusiones	37
Compromiso ético y conflicto de intereses.....	38
Agradecimientos	38
Bibliografía	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de las características de la cámara.....	12
tabla 2. Problemas podales más frecuentes en elefantes.....	15
tabla 3. Coeficientes de correlación de pearson para las diferentes temperaturas consideradas en cada uno de los meses estudiados (sobre la diagonal febrero y abril/bajo la diagonal marzo y mayo).....	23
tabla 4. Coeficientes de correlación de pearson para las temperaturas consideradas en cada una de las franjas horarias estudiadas (sobre la diagonal registro de mañana/bajo la diagonal registro de tarde).....	24
tabla 5. Coeficientes de correlación de pearson para las temperaturas consideradas en cada una de las semanas estudiadas (sobre la diagonal semanas 1, 3, 5, 7,9 ,11/ bajo la diagonal semanas 2, 4, 6, 8, 10 y 12).	27
tabla 6. Coeficientes de correlación de pearson para las temperaturas consideradas en cada uno de los diferentes periodos de tratamiento estudiados (sobre la diagonal post t1, t2 y t3/bajo la diagonal post t2 y post t3).	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cámara termográfica empleada en el estudio.....	12
figura 2. Instalaciones en las que se encuentra flavia.	12
figura 3. Imagen anatómica de la parte distal de las extremidades del elefante	13
figura 4. Corte longitudinal pata de elefante asiático.	13
figura 5. Detalle de la toma de registros sobre el animal.	18
figura 6. Imagen termográfica de la extremidad posterior izquierda de flavia. Localización de la lesión y zonas en las que se realiza el estudio.....	19
figura 7. Representación gráfica lineal para el efecto “mes”.....	22
figura 8. Representación gráfica de columnas para el efecto “registro”.....	24
figura 9. Representación gráfica de columnas para el efecto “vista”.....	25
figura 10. Representación gráfica lineal para el efecto “semana”.....	26
figura 11. Representación gráfica lineal para el efecto “tratamiento”.....	29
figura 12. Regresión entre la temperatura media del foco y la del suelo para cada uno de los periodos de tratamiento considerados.....	31
figura 13. Diferencia entre imágenes obtenidas en horarios de mañana y tarde.	33
figura 14. Imágenes termográficas de las distintas vistas estudiadas de la extremidad posterior izquierda de flavia.	35

RESUMEN

En este trabajo se realiza un seguimiento mediante termografía infrarroja de una osteoartritis que presenta Flavia, una hembra de elefante asiático (*elephas maximus*) perteneciente al parque zoológico municipal de Córdoba. La toma de registros de temperaturas se realiza en el periodo de tiempo transcurrido entre el 14/02/2018 y el 29/05/2018, realizándose los mismos diariamente en dos franjas horarias (mañana y tarde). En las imágenes obtenidas se tiene en cuenta la temperatura media del foco inflamatorio en cuestión junto con la de la zona inflamada circundante, zona sana de la misma extremidad y suelo. Se calcularon también unos diferencias de temperatura entre el foco inflamatorio con la zona inflamada circundante, con la zona sana y el suelo. Se tuvieron en cuenta los efectos mes y franja horaria para valorar la influencia de la temperatura ambiental, vista para valorar la eficacia en la localización de la lesión, y semana y tratamiento para valorar la progresión de la misma. Tras el estudio de los termogramas y su análisis estadístico en este trabajo se demuestra la valía de la técnica a la hora de localizar lesiones que conlleven un aumento de temperatura y una fuerte influencia de la temperatura ambiental en nuestros termogramas. Una vez localizada la lesión con éxito, no se pudo evaluar con claridad la progresión de la misma a lo largo del periodo de estudio en base a un tratamiento instaurado debido a éstos factores climáticos, obteniendo como resultado la gran influencia que tienen los mismos a la hora de utilizar esta técnica. La termografía es una técnica excelente para el diagnóstico precoz de procesos inflamatorios, siendo siempre una herramienta complementaria, con la que nunca podríamos dar un diagnóstico definitivo.

Palabras clave: Termografía; osteoartritis; elefante; localización foco inflamatorio; condiciones ambientales.

ABSTRACT

In this work, an osteoarthritis presented by Flavia, a female Asian elephant (*elephas maximus*) belonging to the municipal zoo of Córdoba, is monitored using infrared thermography. Temperature records are taken between 14/02/2018 and 29/05/2018, and are taken daily in two time slots (morning and afternoon). The images obtained take into account the average temperature of the infamous outbreak in question together with that of the surrounding inflamed area, healthy area of the same limb and soil. Temperature differences were also calculated between the inflammatory focus and the surrounding inflamed zone, with the healthy zone and the soil. The effects of month and time zone were taken into account to assess the influence of the ambient temperature, view to assess the efficacy in the location of the lesion, and week and treatment to assess the progression of the same. After the study of the thermographs and their statistical analysis in this work, the value of the technique in locating lesions that lead to an increase in temperature and a strong influence of the environmental temperature in our thermographs is demonstrated. Once the lesion was successfully located, it was not possible to clearly evaluate its progression throughout the study period on the basis of an established treatment due to these climatic factors, obtaining as a result the great influence they have at the time of using this technique. Thermography is an excellent technique for the early diagnosis of inflammatory processes, being always a complementary tool, with which we could never give a definitive diagnosis.

Keywords: Thermography; osteoarthritis; elephant; location of inflammatory focus; environmental conditions.

Introducción

1. ¿Qué es la termografía?

Toda sustancia emite energía radiante como consecuencia de su temperatura absoluta, siempre siendo esta superior a 0°K (-273 °C), dependiendo su intensidad de la naturaleza y textura de la superficie a valorar.

Se le llama radiación térmica a la porción de espectro electromagnético que se extiende desde 0.1 a 100 mm, aproximadamente (el espectro visible y el infrarrojo). La radiación es una forma de pérdida de calor a través de rayos infrarrojos que implican la transferencia de calor de un objeto a otro sin contacto físico.

La termografía infrarroja no es una técnica destructiva, es una tecnología de prueba que se puede utilizar para determinar la temperatura superficial de los objetos, basada en la medición de radiaciones infrarrojas tanto emitidas como reflejadas. Para ello se ponen en uso cámaras térmicas que coleccionan la radiación infrarroja emitida por una superficie, convirtiéndola en señales eléctricas y creando finalmente una imagen térmica que muestra la temperatura superficial del cuerpo medido.

2. Historia de la termografía.

La radiación infrarroja fue descubierta por Williams Herschel (1738-1822) en el año 1798, quien estudió la radiación solar para verificar su hipótesis sobre el aumento de temperatura que producían los colores al descomponerse la luz.

El experimento fue llevado a cabo midiendo la temperatura de las distintas zonas en las que incidían cada uno de los colores tras descomponer la luz al pasar por un prisma. De esta forma descubrió que todos los colores producían un aumento de temperatura respecto a una zona sin luz solar de manera creciente desde el tono violeta al rojo.

Sin embargo, el gran descubrimiento fue el aumento de temperatura en la zona contigua al color rojo donde no se aprecia luz visible, denominando a estos rayos como “calóricos” con la misma forma de transmisión, reflexión y refracción que la luz visible y que actualmente hacen referencia a los infrarrojos.

3. Datos físicos.

La termografía presenta las siguientes características físicas:

Emisividad: Es el parámetro más importante a ajustar. Es una medida de la cantidad de radiación emitida por el objeto en comparación con la de un cuerpo negro perfecto a la misma temperatura. La emisividad más común en los cuerpos oscila entre 0.1 y 1.1, siendo éste último el valor del cuerpo negro.

Reflexividad o índice de reflexión: Cantidad de radiación reflejada por un objeto con respecto a la radiación recibida. Se expresa en un rango entre 0 y 1.

Transmisibilidad: Cantidad de radiación que pasa a través del cuerpo. Se expresa también entre 0 y 1. Varía en función del material y el grosor del mismo.

Emitancia: Energía emitida por un cuerpo por unidad de tiempo y área (W/m^2).

4. Aplicación en veterinaria.

En los años 60 la termografía comenzó a utilizarse en la Medicina Veterinaria, principalmente en clínica equina (Yanmaz *et al.*, 2007). En los últimos años la aplicación de esta técnica ha abarcado más ámbitos en esta profesión, por ejemplo en rumiantes (Pérez de Diego *et al.*, 2008), en porcino (Rodríguez *et al.*, 2008) y en aves (Wilcox *et al.*, 2009).

La aplicación de la termografía en la ciencia veterinaria debe tener en cuenta que la temperatura de la superficie corporal depende significativamente del tegumento, así, si nos encontramos ante plumas, pelo, páas o piel desnuda obtendremos grandes variaciones, pudiendo ser inútil el uso de termografía en algunas especies (Fowler *et al.*, 2007). Otro factor importante en el uso de esta técnica es el grado de vascularización, existiendo variaciones entre distintas zonas (McCafferty, 2007).

En cuanto a la fauna salvaje, la termografía presenta la gran ventaja de poder realizar mediciones a grandes distancias. De esta forma podemos estudiar animales en libertad de una forma menos invasiva, evitando hacerlos pasar por momentos de estrés y adquiriendo mayor seguridad por parte del operario.

Otra de las ventajas que presenta esta técnica es la posibilidad de estudiar agrupaciones de animales en poco tiempo, tanto en cautividad como en libertad, donde se tiene la posibilidad de hacer una selección observando características como la hipertermia,

determinar el tamaño de la agrupación o hacer otros ejercicios como el censo de animales y la búsqueda de los mismos.

Determinar estados fisiológicos o patológicos es una de las aplicaciones más demandadas de esta técnica. Para poder detectarlos, previamente es necesario establecer patrones térmicos normales de la especie en estudio, así como, aquellas variaciones que puedan tener lugar en función de las condiciones ambientales. Sin embargo, no es posible controlar estas condiciones ambientales, sobre todo la temperatura y la humedad, siendo esto un gran inconveniente. Por ello, es necesario realizar previamente un estudio de la especie a estudiar en cautividad, controlando la condiciones ambientales y realizando mediciones en distintas situaciones (Melero *et al.*, 2009).

En el estudio termográfico resulta de gran utilidad establecer un punto térmico de referencia, en la mayoría de las especies el ojo se utiliza para ello por su estabilidad y su alta correlación con la temperatura rectal (Melero *et al.*, 2009).

En cuanto a elefantes, partiendo de que este es el animal terrestre más grande del mundo, podemos decir que es un buen ejemplo en términos de regulación del calor. La aplicación de la termografía a esta especie ha permitido el estudio de su termorregulación mediante las denominadas ventanas térmicas. Las ventanas térmicas son aquellas partes del cuerpo encargadas del intercambio del calor gracias a su vascularización, sufriendo ésta modificaciones en el flujo sanguíneo mediante vasoconstricción y vasodilatación. Según Weissenboeck *et al.* (2012) las ventanas térmicas *“Incluyen tanto órganos completos (oído), como pequeños puntos calientes independientes, en la superficie de los animales, que se definen como área restringida [...] que difería en más de 5.0°C de sus regiones adyacentes”*.

Esta técnica ha demostrado también dar buenos resultados en la detección de procesos asociados a cambios locales o generales de temperatura, pudiendo detectar de esta forma inflamaciones, problemas podales e incluso evaluación de las cojeras (Hilsberg, 2002).

5. Limitaciones de la termografía.

Es muy importante conocer las limitaciones que presenta la termografía. La mayor limitación que presenta la técnica en el ámbito veterinario es que en muy pocas ocasiones se realiza con condiciones medio ambientales controladas. La luz solar, aire, humedad y temperatura ambiental interfieren en las imágenes. Frente a esto se aconseja que la toma de

registro se realice bajo lugares techados, evitando así la radiación solar. También es de preferencia realizar la toma de imágenes a primera hora de la mañana y/o en lugares oscuros y, si es posible, a menos de 30°C. Para realizar esto, es necesario dejar que el animal se acostumbre o aclimate a la zona durante unos 20 minutos, ya que el estrés que se pueda llegar a causar también influye en dichas imágenes.

Otro factor a tener en cuenta es el movimiento del paciente que, sobre todo en la fauna salvaje, es difícil de controlar.

El uso de fármacos o métodos de contención química puede afectar a nuestro termograma. Todos aquellos que afecten a la circulación periférica y al sistema cardiovascular pueden dar falsos positivos o negativos.

El propio tegumento del animal mostrará variaciones, así el pelo, las plumas o las púas nos darán distintos resultados. La temperatura de la superficie de la piel y la del cabello son temperaturas interfaz determinadas por la temperatura del cuerpo y de los factores ambientales. La suciedad o cualquier objeto que esté en la piel del animal causará grandes variaciones en los datos (Vázquez, 2006).

La temperatura superficial del cuerpo de los animales se ve afectada por diversos factores en los termogramas. Estas variaciones hacen que la comparación entre las distintas imágenes sea difícil.

La distancia entre la cámara y el cuerpo a estudiar hace que existe una variación de temperatura, así, a más distancia se obtiene menos temperatura. Esto es debido a la concentración de gases que existen en el aire. El CO₂ tiende a absorber más radiación infrarroja. Por este motivo es muy importante realizar fotografías a la misma distancia a lo largo de un estudio. Dentro de esta limitación, si usamos la técnica en fauna salvaje y en situaciones no controladas, esta distancia es difícil de guardar (Okada *et al.*, 2013).

Además de la composición del aire, también afecta su velocidad, disminuyendo la temperatura en las extremidades en poco tiempo cuando este incide (Westermann *et al.*, 2012).

Objetivos

En este trabajo planteamos el estudio mediante termografía de una lesión que desde hace tiempo presenta Flavia, la elefanta del Parque Zoológico Municipal de Córdoba. Para ello nos planteamos como objetivo principal **la localización de la zona de inflamación de la lesión y su expansión** y como objetivos específicos:

1. Evolución de la lesión en base al tratamiento
2. Progresión de la lesión a lo largo del tiempo
3. Puesta a punto y valoración de la técnica termográfica

Material y métodos

1. Material

1.1 Cámara termográfica:

Toma y medición de imágenes de la radiación infrarroja emitida por un cuerpo. Calcula y visualiza la temperatura que dicho cuerpo emite, ya que la radiación es una función de la temperatura. Para ello se empleó la cámara FLIR E 6 (Figura 1) de la compañía Forward Looking Infra-Red (FLIR). Las características de dicha cámara se muestran en detalle en la Tabla 1.

Tabla 1. Descripción de las características de la cámara.



Tipo de detector	Microbolómetro no enfriado
Resolución	160*120 píxeles
Resolución MSX	320*240 píxeles
Sensibilidad térmica	<0.06°C
Rango T ^a	-20°C-250°C
Exactitud	± 2°C o ± 2% de lectura.
Emisividad	0.1-1

Figura 1. Cámara termográfica empleada en el estudio

1.2 Animal en estudio:

Especie *Elepha maximus*, de nombre Flavia y con una edad de 48 años. El animal se encuentra en el Parque Zoológico Municipal de Córdoba España, desde el año 1976. El animal se encuentra solitario en un recinto de 2000m² junto con un cubil de de 97m³.



Figura 2. Instalaciones en las que se encuentra Flavia.

Los elefantes están clasificados como animales subungulados, digitígrado en extremidades delanteras y semiplantígrado en extremidades traseras. El elefante asiático cuenta con 5 uñas en las patas delanteras y 4 en las patas traseras. La para trasera presenta 5 metatarsales (Figura 2): D-1, que presenta una falange sin hueso sesamoideo, D-2 con tres falanges en el elefante asiático, D-3 y D-4 que son más largos y también presentan 3 falanges y D-5 sólo presenta 2 falanges. De D-2 a D-5 presentan huesos sesamoideos, con localización plantar a la articulación metatarsal-falangeal. Las uñas de las patas traseras del elefante asiático corresponden a D-2 a D-5.

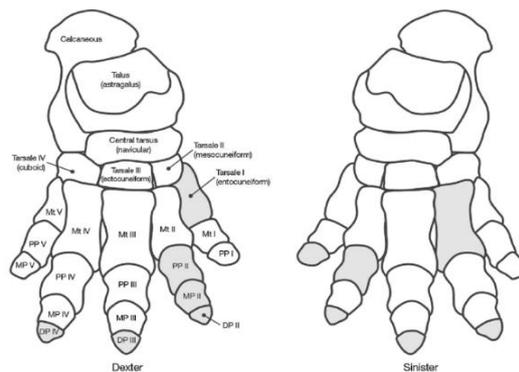


Figura 3. Imagen anatómica de la parte distal de las extremidades del elefante

Entre la piel circundante a este material de soporte se encuentran las siguientes capas (Figura 3): Tejido subcutáneo, Corium, Cojín digital, Epidermis, Dermis, Segmento perioplico, Segmento coronario, pared, suela y cojinete.

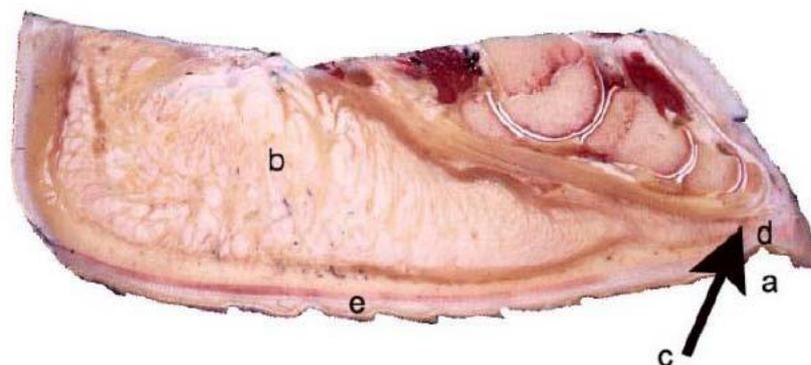


Figura 4. Corte longitudinal pata de elefante asiático.

a-surco entre a suela y el cojinete y diferenciación de la altura de ambos; b-cojín digital y tejido subcutáneo del cojinete; c-inicio del tejido subcutáneo del cojinete; d-epidermis de la suela; e-epidermis del cojinete.

En cuanto a la fisiología, el pie del elefante está diseñado para soportar el peso del mamífero terrestre más grande. Elefantes en cautiverio cuando se encuentran en estación realizan el movimiento de oscilación, es decir, alternar el peso de una pierna a otra. Este es un comportamiento natural que facilita la circulación de la sangre hacia el corazón. La sangre fluye periféricamente con facilidad, pero el retorno venoso debe superar el estancamiento gravitatorio de la sangre en las extremidades. Esta superación se logra comprimiendo el cojín digital, que actúa como una “bomba” que facilita el retorno de la sangre en la pierna.

Al caminar, el elefante alterna cada pie al pisar, facilitando la circulación. Un estudio realizado en varios elefantes demostró que al soportar el peso éstos aumentan la circunferencia del pie justo por encima de las uñas, teniendo su explicación en que el cojín digital se comprime y empuja al resto de estructuras periféricamente, lo que causa el aumento de la circunferencia además de comprimir las venas del pie.

Las patologías podales constituyen el mayor problema de los elefantes en cautividad. Las patologías podales más frecuentes que podemos encontrar en elefantes son las siguientes clasificándose tal y como aparece en la tabla 2 :

Tabla 2. Problemas podales más frecuentes en elefantes.

Problemas en la piel	<ul style="list-style-type: none"> - Laceraciones. - Cuerpo extraño. - Abrasiones. - Maceraciones - Hiperqueratosis secundaria - Pododermatitis secundaria
Enfermedades infecciosas en piel y pies	<ul style="list-style-type: none"> -Pododermatitis traumática superficial y profunda, o absceso -Pododermatitis aséptica difusa -Pododermatitis crónica supurativa o proliferativa -Fiebre aftosa -Viruela
Uñas	<ul style="list-style-type: none"> -Sobrecrecimiento excesivo -Grietas -Sobrecrecimiento de la cutícula -Contusión -Infección de la uña -Exangulación
Suela	<ul style="list-style-type: none"> -Desgaste anómalo -Cuerpos extraños -Laceraciones -Grietas y fisuras -Maceraciones -Ablandamiento de la queratina -Contusión -Abscesos subsolares
Problemas músculo-esqueléticos	<ul style="list-style-type: none"> -Traumatismo -Osteomielitis -Artritis micoplasmática -Tendosinovitis séptica -Osteoartritis

Flavia presenta como patología una osteoartritis localizada en la extremidad izquierda trasera que se agudiza en el mes de diciembre del año 2017, desarrollándose un foco inflamatorio de tipo infeccioso entre los dedos 2 y 4. La osteoartritis o enfermedad degenerativa de las articulaciones (DJD) se puede considerar como un grupo de trastornos caracterizados por una etapa final común: deterioro del cartílago articular junto con cambios en el hueso y tejidos circundantes. Es probable que no se trate de una enfermedad específica, sino de diferentes afecciones que terminan de la misma manera.

Entre los factores predisponentes encontramos falta de ejercicio, alojamiento en superficies duras, ataduras...pero la mayor influencia la tiene el envejecimiento, conllevando un desgaste del cartilago articular. También la mala conformacion o lesiones hacen que el

animal cambie su forma de moverse y de andar, por lo que los patrones de presión dentro de la articulación se ven afectados, influyendo en las superficies articulares.

Los signos clínicos se presentan en animales que se mueven o trabajan, los elefantes que tienen poca actividad o movimiento no suelen mostrar cojera. Una observación exhausta puede detectar cambios sutiles en la forma de andar o moverse del animal, además de disminuir su actividad física.

En el diagnóstico es esencial el uso de radiografía, siendo la principal técnica que se utiliza en el diagnóstico de esta patología y el empleado en el caso de Flavia. Los hallazgos radiográficos obtenidos incluyen estrechamiento del espacio articular, esclerosis subcondral ósea, osteofitos marginales y proliferación ósea perióstica. La observación de la cojera también nos puede aportar información en la diagnosis, así, en casos agudos el movimiento de la articulación disminuye notablemente, hecho que podemos observar en Flavia desde diciembre del pasado año. La artroscopia es una herramienta diagnóstica para esta patología en caballos, pero no se ha descrito para elefantes.

La elección del tratamiento debe ser acorde con el tipo de osteoartritis y la etapa en la que se encuentra la misma. En elefantes no hay estudios publicados acerca del tratamiento de la osteoartritis de las patas (Fowler and Mikota, 2006). En caballos se basa en prevención, tratamiento de tejidos blandos y finalmente, si es posible, tratamiento de la degeneración del cartilago, junto con el control del dolor.

El tratamiento administrado a Flavia consiste en la administración de los siguientes fármacos: Dexametasona (Fortecortin 8 mg comprimidos) 6 unidades durante 5 días y Bencilpenicilina sódica (Penilevel 10⁹ UI) 5 “botes” (50⁹ UI) intramuscular en la zona del encuentro en días alternos, diluido en 20 ml. Con el fin de analizar el efecto del tratamiento mediante la termografía consideramos los siguientes periodos:

- Post tratamiento 1 (**POST T1**): comprendido desde el inicio del estudio (14/02/2018) hasta 20/02/2018.
- Tratamiento 2 (**T2**): 21/02/2018-28/02/2018.
- Post tratamiento 2 (**POST T2**): 01/03/2018-03/04/2018.
- Tratamiento 3 (**T3**): 04/04/2018-11/04/2018.
- Post tratamiento 3 (**POST T3**): 12/04/2018-29/05/2018.

El Tratamiento 1 fue administrado desde el 22/01/2018 al 28/01/18, quedando fuera de nuestro periodo de estudio, ya que la toma de registros se inició el día 14/02/2018.

1.3 Programa informatico FLIR TOOLS:

Se empleó un software diseñado específicamente para proporcionar un método más sencillo de actualizar la cámara y generar informes de las inspecciones. Importando las imágenes al ordenador se puede trabajar sobre ellas usando herramientas de rediseño, movimiento, cambio de tamaño, etc. Este programa fue utilizado para editar las imágenes registradas durante el estudio, de esta manera se obtuvieron las variables para un posterior análisis estadístico.

2. METODOS

2.1 Cronología en el estudio.

La toma de imágenes tuvo lugar desde el 14 de febrero al 29 de mayo de 2018, obteniendo registros diarios al comienzo de este periodo. Aproximadamente a la mitad de del estudio los registros se fueron espaciando en el tiempo al no detectarse cambios aparentes diariamente mediante termografía en la lesión de Flavia.

2.2 Protocolo de toma de registros.

Los registros se dividieron en dos franjas horarias, una franja por la mañana y otra por la tarde. La primera franja estuvo comprendida entre las 7:00 y las 9:00 horas y la segunda entre las 14:00 y las 16:00 horas. Los parámetros a destacar son la distancia de 1 metro, aproximadamente, entre la cámara y el animal (Figura 4), la emisividad de 0.98 y cámara en modo MSX (Sistema de Imagen Dinámica Multiespectral) En cada toma de registros (mañana y tarde) se realizan unas 30 fotografías (60 cada día), una tercera parte de ellas con vista rostral, otro tercio lateral y un último tercio caudal.



Figura 5. Detalle de la toma de registros sobre el animal.

La toma de estas imágenes se realizó en todo momento de una forma segura, siempre con la presencia tanto del veterinario del parque zoológico de Córdoba como de los cuidadores y entrenadores de Flavia y atendiendo en todo momento a sus indicaciones (Figura 4). Es de resaltar el buen carácter del animal.

2.3 Selección de registros.

De todos los registros obtenidos en un mismo día (60) se seleccionaron 18, de los cuales 9 pertenecían a la franja horaria de mañana y otros 9 a la de tarde). En cuanto a la vista de cada una de las imágenes, 6 de ellas eran rostrales (3 en horario de mañana y otras tres en horario de tarde), 6 laterales (3 en horario de mañana y otras tres en horario de tarde) y 6 caudales (3 en horario de mañana y otras tres en horario de tarde). A la hora de seleccionar las imágenes se tuvo en cuenta la calidad de la misma, la aproximación al animal y la influencia de factores ambientales externos.

2.4 Procesado de los termogramas.

Tras la selección de las imágenes se procedió a su edición en el programa FLIR TOOLS®. En cada imagen termográfica se marcaron 4 zonas: foco inflamatorio, zona de inflamación circundante, zona sana y área ambiental. En esta última se recoge del suelo por proximidad a la zona lesionada y por la perspectiva de las imágenes tomadas.

a) Registro de temperaturas

Los registros se tomaron en condiciones ambientales no controladas, por lo que es muy importante tener en cuenta la temperatura ambiental, ya que ésta afecta a la temperatura del animal a la hora de realizar un estudio termográfico, especialmente en una zona del cuerpo como es la parte distal de la extremidad que se encuentra en contacto directo con el suelo. Por este motivo, como referencia de la temperatura ambiental, hemos registrado la temperatura media del “suelo” (T^a Suelo).

En el estudio llamamos “foco” (**F**) a la zona central de la lesión, donde nos encontramos una temperatura mayor y “zona inflamada” (**ZI**) al área que rodea el foco pero que presenta una temperatura también anormal pero menor a la temperatura central. Finalmente, llamamos “zona sana” (**ZSA**) a aquella que rodea la lesión pero que registra una temperatura similar a la de la extremidad no afectada por la patología podal.

De cada imagen se obtiene la temperatura media del foco y suelo y se calculan las diferencias de temperatura entre el foco y la zona inflamada circundante ($\Delta F-ZI$), entre el foco y la zona sana ($\Delta F-ZSA$) y entre el foco y el suelo ($\Delta F-SU$).

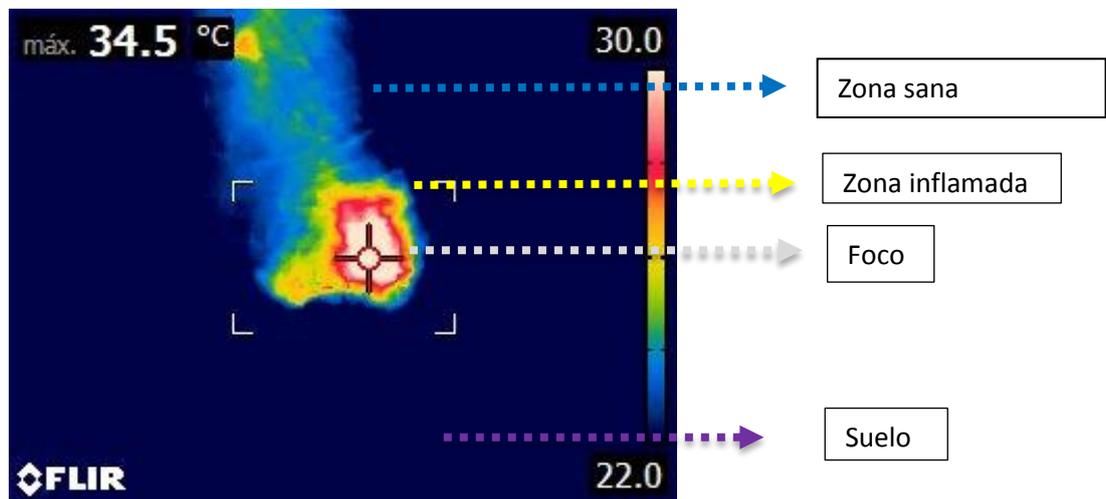


Figura 6. Imagen termográfica de la extremidad posterior izquierda de Flavia. Localización de la lesión y zonas en las que se realiza el estudio.

2.5 Creación de base de datos.

En el programa Microsoft Excel de Windows se crea una base de datos donde se recogen los parámetros obtenidos en cada uno de los registros fotográficos procesados a lo largo del estudio para posteriormente realizar el análisis estadístico. En dicha base de datos se incluye las variables consideradas en el estudio: temperatura máxima, mínima y media del foco inflamatorio, los diferenciales de temperatura considerados y descritos con anterioridad ($\Delta F-ZI$, $\Delta F-ZSA$ y $\Delta F-ZSU$) y la temperatura del suelo.

2.6 Análisis estadístico.

En primer lugar se obtuvieron los estadísticos descriptivos simples de las variables consideradas (temperaturas y diferencias térmicas) diferenciándolos para cada uno de los efectos considerados (mes, registro, vista, semana y tratamiento) y representándolo gráficamente por medio de gráficas lineales y de columnas. En un segundo paso se hizo un análisis de varianza simple (ANOVA) para comprobar cada uno de dichos efectos.

Para analizar las posibles relaciones entre las variables se procedió a la obtención de las correlaciones de Pearson.

Por último se realizó un análisis de regresión con el fin de evaluar la evolución de la temperatura media a lo largo de la duración del estudio.

En todos los casos el nivel de significación se estableció en $P < 0.05$.

Para el análisis de datos se ha utilizado el programa Statiscal 12.0 for Windows®.

Resultados

1. Efecto de la temperatura ambiental.

Para evaluar las consecuencias que podría tener la temperatura ambiental en nuestros termogramas, valoramos los efectos “Mes” y “Registro” con el fin de destacar la interferencia que se llega a obtener a lo largo del estudio.

1.1 Temperatura estival valorada por el efecto “Mes”.

Los registros de temperatura tomados a lo largo del periodo de estudio muestran variación entre los diferentes meses que se relaciona con la evolución de la temperatura ambiental hacia la época estival (Figura 6). Así, encontramos que la mayor temperatura media en el foco inflamatorio se obtuvo en el mes de mayo con $31,28 \pm 2,59^{\circ}\text{C}$, seguida de abril y marzo (29°C , aproximadamente), mientras que en febrero se registro el valor más bajo de temperatura ($28,05 \pm 3,04^{\circ}\text{C}$). La temperatura media de suelo (SU) asciende conforme va transcurriendo el tiempo del estudio, partiendo en febrero de $11,10 \pm 4,90^{\circ}\text{C}$ y finalizando con $21,70 \pm 2,08^{\circ}\text{C}$ en mayo, asciendo aproximadamente 2°C cada mes.

En relación a las variables de diferencia de temperatura, $\Delta\text{F-ZI}$ se mantiene en cierta medida a lo largo del estudio ($1,54^{\circ} \pm 0,79^{\circ}\text{C}$ en febrero, $1,05^{\circ} \pm 0,65^{\circ}\text{C}$ en marzo, $1,18 \pm 0,65^{\circ}\text{C}$ en abril y $1,08 \pm 0,36^{\circ}\text{C}$ en mayo). Sin embargo, los valores medios de $\Delta\text{F-ZSA}$ y $\Delta\text{F-SU}$ disminuyen progresivamente ($7,58 \pm 3,33^{\circ}\text{C}$ en febrero, $5,48 \pm 2,71^{\circ}\text{C}$ en marzo, $5,43 \pm 2,45^{\circ}\text{C}$ en abril y $3,98 \pm 1,00^{\circ}\text{C}$ en mayo). En cuanto a $\Delta\text{F-SU}$, el valor obtenido para este gradiente fue de $16,94 \pm 4,49^{\circ}\text{C}$ en febrero, seguido de $13,48 \pm 3,62^{\circ}\text{C}$ en marzo y terminando con $11,16 \pm 3,75^{\circ}\text{C}$ y $9,58 \pm 2,62^{\circ}\text{C}$ en abril y mayo, respectivamente. El efecto mes fue altamente significativo para todas las variables ($P < 0,001$).

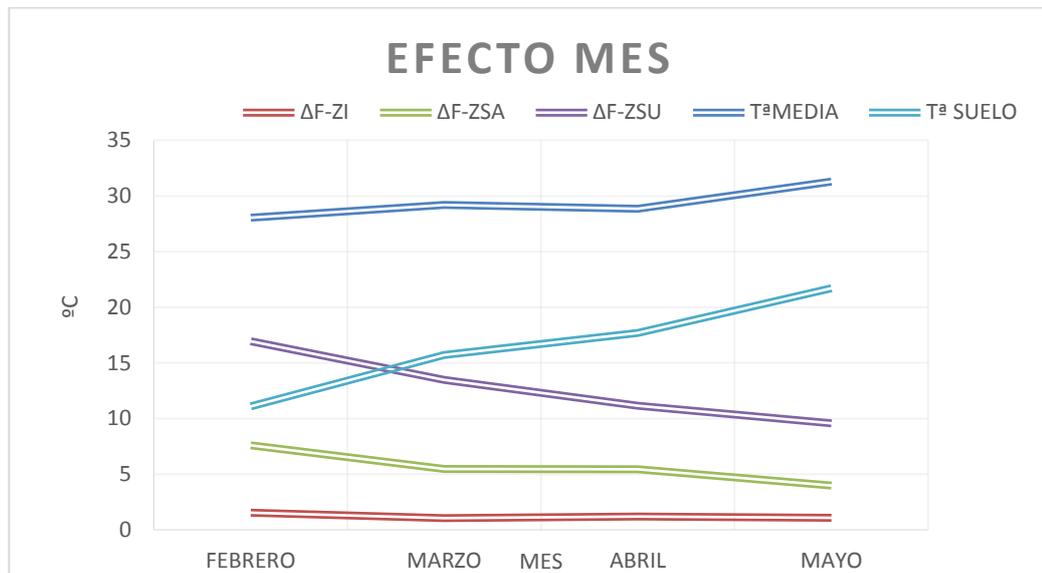


Figura 7. Representación gráfica lineal para el efecto “Mes”.

$T^{\text{ª}} \text{ MEDIA}$: temperatura media del foco; $\Delta F-ZI$: diferencia de temperatura entre el foco inflamatorio y la zona inflamada circundante, $\Delta F-ZSA$: diferencia de temperatura entre el foco inflamatorio y la zona sana y $\Delta F-SU$: diferencia de temperatura entre el foco inflamatorio y el suelo, $T^{\text{ª}} \text{ SUELO}$: temperatura del suelo.

Para evaluar el efecto que la temperatura estival puede tener sobre las temperaturas obtenidas del foco o lesión se obtuvieron los coeficientes de correlación de Pearson (Tabla 3). Para los meses de febrero, marzo y abril se obtuvo una correlación positiva y significativa ($P < 0,05$) entre la temperatura del suelo y del foco. En relación a los incrementos de temperatura las correlaciones fueron negativas entre la temperatura del suelo y $\Delta F-ZI$, $\Delta F-ZSA$, $\Delta F-SU$, siendo no significativa la correlación con $\Delta F-ZI$ ($P > 0,05$). Por último las correlaciones entre las variables $\Delta F-ZI$, $\Delta F-ZSA$, $\Delta F-SU$ resultaron todas positivas. También fue positiva la correlación entre estas variables con la temperatura media del foco.

Sin embargo, en el mes de mayo la correlación entre temperatura del suelo con $\Delta F-ZI$ y $\Delta F-ZSA$ resultó positiva, aunque no significativa ($P > 0,05$). Las correlaciones entre las variables $\Delta F-ZSA$, $\Delta F-SU$ para este mes resultó negativa al igual que la correlación entre la temperatura del foco y $\Delta F-ZI$, siendo estas significativas ($P < 0,05$).

Tabla 3. Coeficientes de correlación de Pearson para las diferentes temperaturas consideradas en cada uno de los meses estudiados (sobre la diagonal Febrero y Abril/bajo la diagonal Marzo y Mayo).

	FEBRERO/MARZO					ABRIL/MAYO				
	T ^a MEDIA	ΔF-ZI	ΔF-ZSA	ΔF-ZSU	T ^a SUELO	T ^a MEDIA	ΔF-ZI	ΔF-ZSA	ΔF-ZSU	T ^a SUELO
T ^a MEDIA	1,00	0,12	0,17	0,20	0,44	1,00	0,34	0,36	0,31	0,48
ΔF-ZI	0,28	1,00	0,34	0,23	-0,14	0,09	1,00	0,72	0,63	-0,32
ΔF-ZSA	0,42	0,56	1,00	0,72	-0,56	-0,34	0,72	1,00	0,78	-0,44
ΔF-ZSU	0,56	0,39	0,65	1,00	-0,79	0,68	0,63	0,78	1,00	-0,68
T ^a SUELO	0,49	-0,11	-0,23	-0,46	1,00	0,39	-0,32	-0,44	-0,68	1,00

T^a MEDIA: temperatura media del foco; ΔF-ZI: diferencia de temperatura entre el foco inflamatorio y la zona inflamada circundante, ΔF-ZSA: diferencia de temperatura entre el foco inflamatorio y la zona sana y ΔF-SU: diferencia de temperatura entre el foco inflamatorio y el suelo. T^a SUELO: temperatura del suelo. Las correlaciones significativas (P < 0.05) son indicadas en color rojo.

1.2 Temperatura en función de la franja horaria valorada por el efecto “Registro”.

La diferencia existente en la temperatura del foco y del suelo así como los gradientes de temperatura entre los registros de la mañana y la tarde se puede observar claramente en la Figura 7, obteniéndose una temperatura del foco en los registros de la franja horaria de mañana de 28,25±3,56°C, mientras que por la tarde el valor ascendió a 30,18±2,79°C. La temperatura del suelo fue de 14,08±4,81°C y 18,17±3,67°C, respectivamente.

En cuanto a los incrementos de temperatura los valores obtenidos fueron de 1,29±0,68°C, 6,61±2,96°C, 14,17±4,71°C en el horario de mañana y 1,04±0,66°C, 4,58±2,26°C y 12,01±3,53°C en la franja horaria de tarde para ΔF-ZI, ΔF-ZSA y ΔF-SU, respectivamente. Como puede observarse, se obtuvo un incremento de aproximadamente 2°C en casi todos los termogramas procesados de los registros tomados por la tarde, con la excepción de ΔF-ZI donde solo se obtiene una diferencia de 0,2°C entre el registro de por la mañana y por la tarde. Esas diferencias fueron significativas (P < 0,001).

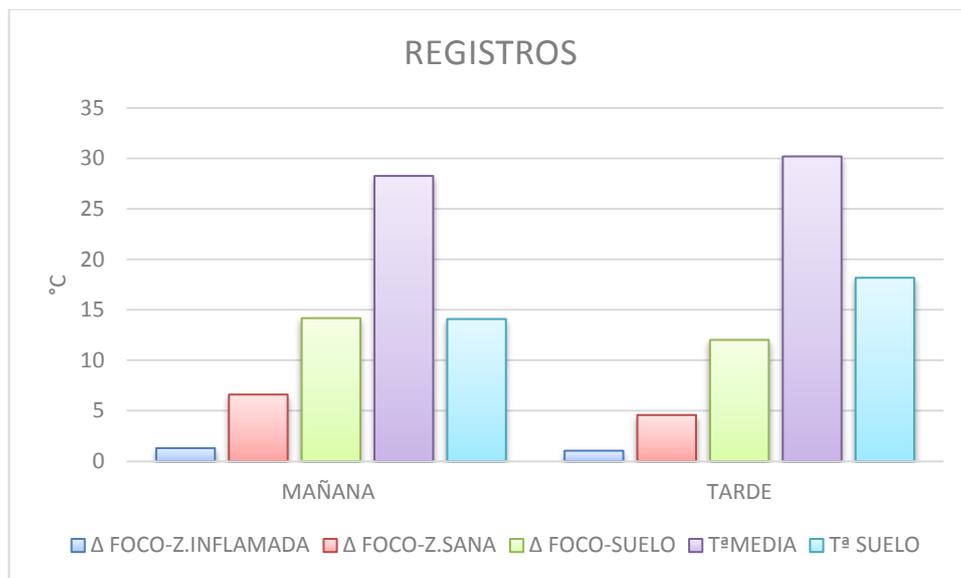


Figura 8. Representación gráfica de columnas para el efecto “Registro”.

Tª MEDIA: temperatura media del foco; ΔF-Z.INFLAMADA: diferencia de temperatura entre el foco inflamatorio y la zona inflamada circundante, ΔF-Z.SANA: diferencia de temperatura entre el foco inflamatorio y la zona sana y ΔF-SUELO: diferencia de temperatura entre el foco inflamatorio y el suelo, Tª SUELO: temperatura del suelo.

Al igual que para cada uno de los meses, se obtuvieron las correlaciones de Pearson para cada uno de los registros, mañana y tarde. En este sentido, todas las correlaciones obtenidas fueron estadísticamente significativas ($P < 0,05$) con la excepción de aquella existente entre ΔF-ZI y ΔF-SU en el registro de la tarde (tabla 4).

Tabla 4. Coeficientes de correlación de Pearson para las temperaturas consideradas en cada una de las franjas horarias estudiadas (sobre la diagonal registro de mañana/bajo la diagonal registro de tarde).

MAÑANA/TARDE					
	Tª MEDIA	ΔF-ZI	ΔF-ZSA	ΔF-ZSU	Tª SUELO
Tª MEDIA	1,00	0,31	0,41	0,35	0,40
ΔF-ZI	0,12	1,00	0,62	0,55	-0,31
ΔF-ZSA	0,21	0,37	1,00	0,80	-0,48
ΔF-ZSU	0,35	0,08	0,38	1,00	-0,72
TªSUELO	0,43	0,43	-0,21	-0,70	1,00

Tª MEDIA: temperatura media del foco; $\Delta F-ZI$: diferencia de temperatura entre el foco inflamatorio y la zona inflamada circundante, $\Delta F-ZSA$: diferencia de temperatura entre el foco inflamatorio y la zona sana y $\Delta F-SU$: diferencia de temperatura entre el foco inflamatorio y el suelo, Tª SUELO: temperatura del suelo. Correlaciones significativas ($P < 0,05$) son indicadas en color rojo.

2. Localización y expansión de la inflamación.

2.1 Vista.

Los registros estudiados también presentan diferencias significativas ($P < 0,001$) en función de la vista tomada (rostral, caudal y lateral). Los registros de temperatura del foco más elevados se obtuvieron en la vista rostral ($30,63 \pm 2,01^\circ\text{C}$), seguidos de la vista lateral ($30,11 \pm 2,30^\circ\text{C}$) y caudal ($26,31 \pm 3,79^\circ\text{C}$) de temperatura media, observándose una diferencia de 4°C entre la vista rostral y lateral con respecto a la caudal (Figura 8).

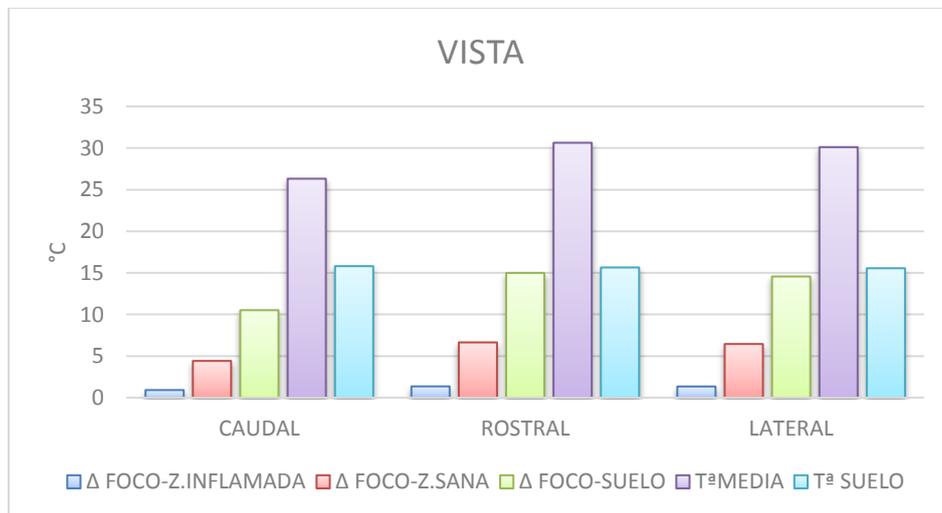


Figura 9. Representación gráfica de columnas para el efecto “Vista”.

Tª MEDIA: temperatura media del foco; $\Delta F-Z.INFLAMADA$: diferencia de temperatura entre el foco inflamatorio y la zona inflamada circundante, $\Delta F-Z.SANA$: diferencia de temperatura entre el foco inflamatorio y zona inflamada circundante; $\Delta F-Z.SANA$: incremento de temperatura entre foco de inflamación y zona sana del mismo miembro; $\Delta F-SUELO$: incremento de temperatura entre foco de inflamación y temperatura del suelo. Tª SUELO: temperatura del suelo.

3. Evolución temporal de la lesión y efecto del tratamiento aplicado.

3.1 Semana.

A lo largo del estudio hallamos variaciones de temperatura entre las 12 semanas que abarca el periodo de estudio (Figura 9), al igual que sucede con los meses y la vista. La temperatura del foco fue aumentado progresivamente durante las primeras 6 semanas de estudio ($27,75 \pm 3,70 - 30,06 \pm 4,10$), descendiendo en $1,5^\circ\text{C}$, aproximadamente, en la séptima

semana ($28,58 \pm 2,81$) con respecto a la anterior semana. Este parámetro sigue decreciendo hasta que en la semana 9 ($29,75 \pm 2,05$) vuelve seguir una tendencia creciente, volviendo de nuevo a descender en $2,5^{\circ}\text{C}$, aproximadamente, entre la última semana (12) con respecto a la su precesora, la onceava ($29,33 \pm 3,26$ vs. $31,94 \pm 2,00$). Sin embargo, las variables $\Delta\text{F-ZI}$ y $\Delta\text{F-ZSA}$ presentaron una disminución significativa ($P < 0,05$) entre el inicio ($1,63 \pm 1,04$ y $8,35 \pm 3,13$, respectivamente) y final del periodo de estudio ($1,13 \pm 0,28$ y $4,96 \pm 0,70$, respectivamente), ya que se obtuvo una disminución progresiva en las primeras 6 semanas para luego aumentar hasta la semana 9 produciéndose un nuevo descenso. Sin embargo, tanto $\Delta\text{F-SU}$ como la temperatura del suelo sigue una trayectoria diferente, incrementándose y disminuyendo a lo largo de todo el periodo.

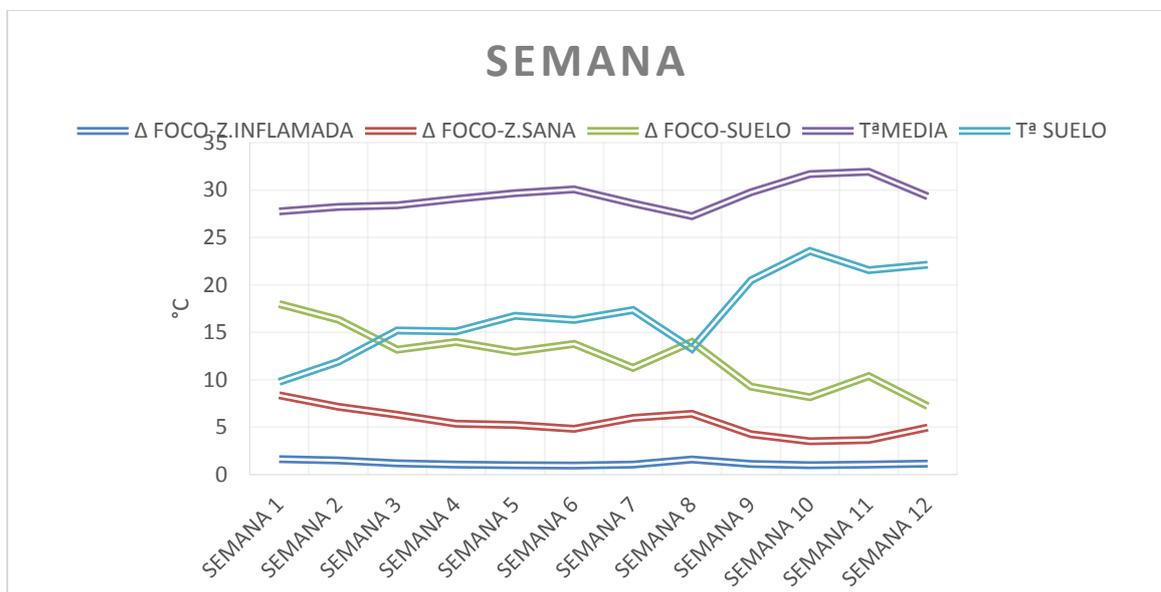


Figura 10. Representación gráfica lineal para el efecto “Semana”.

Variables Tª MEDIA: temperatura media del foco; $\Delta\text{F-ZI}$: diferencia de temperatura entre el foco inflamatorio y la zona inflamada circundante, $\Delta\text{F-ZSA}$: diferencia de temperatura entre el foco inflamatorio y la zona sana y $\Delta\text{F-SU}$: diferencia de temperatura entre el foco inflamatorio y el suelo. Tª SUELO: temperatura del suelo.

Los coeficientes de correlación para cada semana del estudio son mostrados en la tabla 5, destacando la gran cantidad de correlaciones significativas ($P < 0,05$) entre las diferentes variables. Sin embargo, no sigue una tendencia similar a lo largo del periodo de estudio, observándose que con forme se va avanzado semanalmente el número de correlaciones significativas ($P < 0,05$) va disminuyendo, obteniendo en el periodo final (semana 9 a la 12) tan sólo 10 coeficientes de correlación significativos de los 21 posibles.

SEGUIMIENTO TERMOGRÁFICO DE OSTEOARTRITIS EN ELEFANTE

Tabla 5. Coeficientes de correlación de Pearson para las temperaturas consideradas en cada una de las semanas estudiadas (sobre la diagonal Semanas 1, 3, 5, 7, 9, 11/ bajo la diagonal semanas 2, 4, 6, 8, 10 y 12).

SEMANA 1/2						SEMANA 3/4					SEMANA 5/6				
	TªMEDIA	ΔF-ZI	ΔF-ZSA	ΔF-ZSU	Tª SUELO	TªMEDIA	ΔF-ZI	ΔF-ZSA	ΔF-ZSU	Tª SUELO	TªMEDIA	ΔF-ZI	ΔF-ZSA	ΔF-ZSU	Tª SUELO
TªMEDIA	1,00	0,30	0,49	0,36	0,46	1,00	0,34	0,64	0,63	0,47	1,00	0,37	0,62	0,76	0,17
ΔF-ZI	-0,14	1,00	0,38	0,24	0,01	0,29	1,00	0,49	0,43	-0,08	0,27	1,00	0,57	0,43	-0,16
ΔF-ZSA	-0,04	0,32	1,00	0,61	-0,19	0,49	0,53	1,00	0,76	-0,11	0,18	0,68	1,00	0,64	-0,15
ΔF-ZSU	0,10	0,22	0,77	1,00	-0,66	0,82	0,33	0,78	1,00	-0,39	0,07	0,49	0,51	1,00	-0,51
Tª SUELO	0,43	-0,27	-0,72	-0,85	1,00	0,36	-0,05	-0,44	-0,24	1,00	0,72	-0,14	-0,22	-0,22	1,00

SEMANA 7/8						SEMANA 9/10					SEMANA 11/12				
	TªMEDIA	ΔF-ZI	ΔF-ZSA	ΔF-ZSU	Tª SUELO	TªMEDIA	ΔF-ZI	ΔF-ZSA	ΔF-ZSU	Tª SUELO	TªMEDIA	ΔF-ZI	ΔF-ZSA	ΔF-ZSU	Tª SUELO
TªMEDIA	1,00	0,57	0,48	0,56	0,27	1,00	0,52	0,86	0,70	0,60	1,00	0,13	-0,04	0,82	0,03
ΔF-ZI	0,60	1,00	0,81	0,67	-0,25	-0,13	1,00	0,62	0,53	0,13	0,19	1,00	0,44	-0,03	0,24
ΔF-ZSA	0,82	0,83	1,00	0,73	-0,40	-0,35	-0,18	1,00	0,73	0,37	-0,31	0,41	1,00	-0,25	0,38
ΔF-ZSU	0,91	0,67	0,82	1,00	-0,65	0,15	-0,41	0,48	1,00	-0,15	0,09	0,79	0,71	1,00	-0,54
Tª SUELO	0,10	-0,25	-0,11	-0,33	1,00	0,38	0,32	-0,63	-0,86	1,00	0,87	-0,21	-0,63	-0,41	1,00

TªMEDIA: temperatura media; ΔF-ZI: diferencia de temperatura entre el foco inflamatorio y la zona inflamada circundante, ΔF-ZSA: diferencia de temperatura entre el foco inflamatorio y la zona sana y ΔF-ZSU: diferencia de temperatura entre el foco inflamatorio y el suelo. Tª SUELO: temperatura del suelo. Correlaciones significativas (P < 0,05) son indicadas en color rojo.

3.2 Tratamiento.

Para proseguir con el análisis del termograma de Flavia consideramos los diferentes periodos de tratamiento y postratamiento, con el fin de evaluar si presentaba algún efecto sobre los parámetros considerados (Figura 10). Así la temperatura media del foco en el primer periodo de tratamiento considerado (Post T1) es de $27,75\pm 3,70$, aumentado de manera progresiva en los distintos periodos de tratamiento hasta alcanzar un valor de $30,02\pm 3,09^{\circ}\text{C}$ en el periodo Post T3, y por lo tanto un aumento de algo más de 2°C , aunque este aumento no fue significativo ($P > 0,05$). Los incrementos de temperatura $\Delta\text{F-ZI}$ y $\Delta\text{F-ZSA}$ siguen una tendencia similar, mostrando una disminución progresiva entre el periodo Post T1 hasta Post T2 ($1,63\pm 1,04$ vs. $1,05\pm 0,65$ y $8,36\pm 3,14$ vs. $5,49\pm 2,71$, respectivamente) para luego sufrir un pequeño aumento de temperatura ($1,18\pm 0,67$ y $6,11\pm 2,25$, respectivamente) y finalmente volver a decrecer ($1,15\pm 0,51$ y $4,5\pm 2,14$, respectivamente); si bien las diferencias tan solo fueron estadísticamente significativas ($P < 0,05$) para el caso de $\Delta\text{F-ZI}$. Sin embargo, $\Delta\text{F-SU}$ sigue una tendencia decreciente a lo largo de todas las pautas de tratamiento ($17,98\pm 4,40$ vs. $10,3\pm 3,39$), aunque las diferencias no fueron estadísticamente significativas ($P > 0,05$). Por último, la temperatura del suelo sigue una dinámica de aumento significativo ($P < 0,05$) partiendo de un valor de $9,77\pm 4,62$ en el periodo Post T1 hasta alcanzar un valor de $19,72\pm 4,02$ en el periodo Post T3.

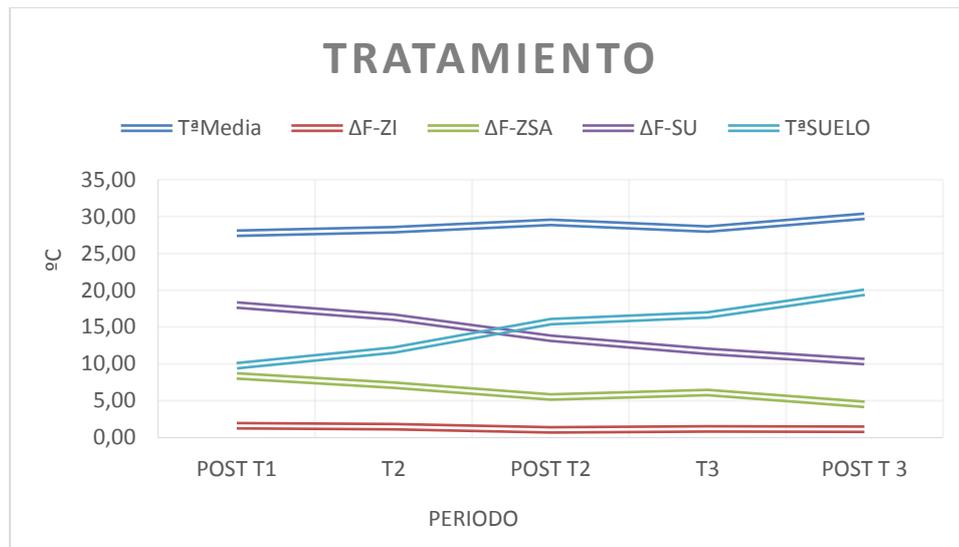


Figura 11. Representación gráfica lineal para el efecto “Tratamiento”.

Tª MEDIA: temperatura media; **ΔF-ZI:** diferencia de temperatura entre el foco inflamatorio y la zona inflamada circundante, **ΔF-ZSA:** diferencia de temperatura entre el foco inflamatorio y zona inflamada circundante; **ΔF-ZSA:** incremento de temperatura entre foco de inflamación y zona sana del mismo miembro; **ΔF-SU:** incremento de temperatura entre foco de inflamación y temperatura del suelo; **Tª SUELO:** temperatura del suelo.

En cuanto las relaciones existente entre las diferentes variables mediante la obtención de los coeficientes de correlación de Pearson (Tabla 6) se obtiene una alta presencia de relaciones significativas ($P < 0,05$) en los diferentes periodos de tratamiento considerados. Las correlaciones no significativas ($P > 0,05$) se obtienen en el periodo de tratamiento POST T1 para $\Delta F-ZI$ con temperatura media del foco, $\Delta F-SU$ y temperatura del suelo, así como en el periodo T2 entre temperatura media del foco con $\Delta F-ZI$, $\Delta F-ZSA$ y $\Delta F-SU$ y $\Delta F-ZI$ con $\Delta F-SU$.

Tabla 6. Coeficientes de correlación de Pearson para las temperaturas consideradas en cada uno de los diferentes periodos de tratamiento estudiados (sobre la diagonal POST T1, T2 y T3/bajo la diagonal POST T2 y POST T3).

	POST T1					T2-POST T2					T3-POST T3				
	TªMEDIA	ΔF-ZI	ΔF-ZSA	ΔF-SU	TªSUELO	TªMEDIA	ΔF-ZI	ΔF-ZSA	ΔF-SU	TªSUELO	TªMEDIA	ΔF-ZI	ΔF-ZSA	ΔF-SU	TªSUELO
TªMEDIA	1	0,30	0,49	0,36	0,46	1	-0,14	-0,04	0,10	0,43	1	0,3	0,45	0,51	0,32
ΔF-ZI		1	0,38	0,24	0,01	0,28	1	0,32	0,22	-0,27	0,28	1	0,77	0,66	-0,46
ΔF-ZSA			1	0,61	-0,19	0,42	0,56	1	0,77	-0,72	0,24	0,70	1	0,73	-0,41
ΔF-ZU				1	-0,66	0,56	0,39	0,65	-0,72	-0,85	0,24	0,50	0,67	1	-0,65
TªSUELO					1	0,49	-0,11	-0,23	-0,46	1	0,57	-0,21	-0,39	-0,66	1

Tª MEDIA: temperatura media; ΔF-ZI: diferencia de temperatura entre el foco inflamatorio y la zona inflamada circundante, ΔF-ZSA: diferencia de temperatura entre el foco inflamatorio y la zona sana y ΔF-SU: diferencia de temperatura entre el foco inflamatorio y el suelo. Tª SUELO: temperatura del suelo. Correlaciones significativas (P < 0,05) son indicadas en color rojo.

Cuando se realiza una regresión simple entre la temperatura media del foco y la del suelo para cada uno de los periodos de tratamiento considerado se observa como el tratamiento afecta de manera significativa ($P < 0,05$) a dicha relación (Figura 11). La curva que sigue es ascendente, con una mayor pendiente en el caso de T2 ($b=0,8204$). En todos los casos el coeficiente de regresión (R^2) fue significativo ($P < 0,05$), obteniendo el valor de R^2 mas alto en el periodo T3 (0,89).

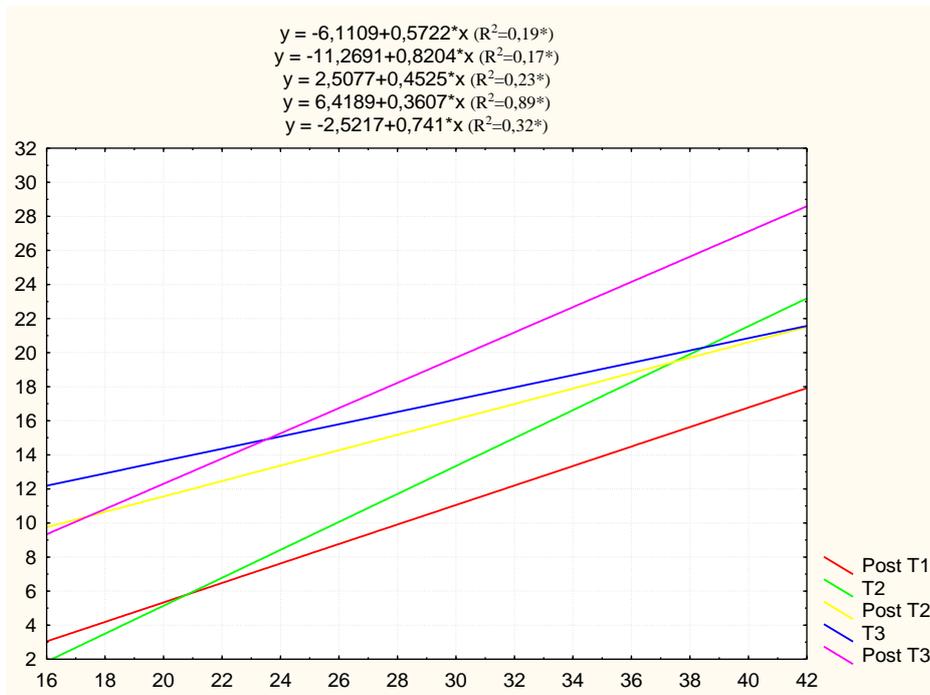


Figura 12. Regresión entre la temperatura media del foco y la del suelo para cada uno de los periodos de tratamiento considerados.

Discusión

La temperatura que nos muestra la cámara depende de la circulación sanguínea y del metabolismo de los tejidos. Un cambio en el flujo sanguíneo altera la cantidad de calor irradiada (Alsaad y Büscher, 2012). Las áreas más frías en un termograma se representan de color azul, y las más calientes en rojo seguido del color blanco (Eddy *et al.*, 2001).

La termografía infrarroja se ha utilizado para la evaluación de lesiones en cojeras en bovinos, pudiendo evaluar con esta técnica piel, músculos, ligamentos, tendones, pezuñas, laminitis, infecciones y abscesos de origen desconocido (Gil, 2009). Stokes *et al.* (2012) destacan que es un método fiable para la detección de cojeras en vacas lecheras cuando estas están asociadas a una alta temperatura, pero que no es lo suficientemente sensible para la detección específica de una lesión. Las extremidades o miembros afectados muestran significativamente una temperatura mayor que los miembros sanos, detectando la lesión con más rapidez en las primeras etapas de la enfermedad (Alsaad *et al.*, 2014). Alsaad y Büscher (2012) hablan de que este método, sumándolo a un examen clínico, puede llegar a ser de gran utilidad para la prevención de cojeras, evitando de esta manera problemas y complicaciones posteriores.

Evaluación de la influencia de la temperatura ambiental en función de la época estival y el horario de toma de registros.

Según Okada (2013) "*la imagen de la termografía infrarroja muestra la temperatura de la superficie corporal generada por la combinación de la producción de calor en el interior del cuerpo y los factores ambientales*". La temperatura superficial del cuerpo de los animales se ve afectada por diversos factores en los termogramas, y uno de los más importantes es la temperatura ambiental. Esto nos hace difícil la comparación entre distintas imágenes. Las condiciones climáticas, como por ejemplo la luz solar, precipitaciones, viento, humedad, etc., afectan a los resultados de la medición. Así, Okada (2013) detecto que la presencia de viento o humedad afecta de manera significativa ($P < 0,05$) a la temperatura. En nuestro caso hemos trabajado en dos épocas estivales, invierno y primavera.

La luz solar calienta la superficie de la piel, siendo la intensidad dependiente del color de la capa, por lo que se cuestiona la fiabilidad del análisis cuando hay incidencia de luz solar (Hilsberg-Merz 2008). En nuestro estudio esta incidencia solar la encontramos con más intensidad y frecuencia en el mes de mayo. Quizás ésta sea la explicación de que el animal presente una mayor temperatura en este mes en comparación con los meses anteriores, a pesar de que no ha habido empeoramiento de la lesión de Flavia. Sin embargo, las precipitaciones disminuyen la temperatura de los cuerpos y objetos, lo que también puede

llegar a provocar errores en la medición (Kissel y Tappe, 2004), así como la presencia de aire que incide sobre un cuerpo, lo enfría e interfiere en el calor disipado por el mismo.

Como se ha indicado en el apartado de “limitaciones de la termografía” los experimentos de campo, es decir, en condiciones climáticas no controladas, se deben realizar poco antes del amanecer o por la noche. (Cilulko *et al.*, 2012). Al haber tomado las fotografías en dos franjas horarias diferentes, se han podido detectar las diferencias que muestran los termogramas de nuestro animal. Para una misma imagen, es decir, mismo animal, rango de temperatura y ajustes realizados en la cámara, en horario de mañana la temperatura superficial que muestran las imágenes termográficas es menor, aumentado considerablemente cuando trabajamos en una franja horaria con mayor presencia de luz. Ello se pone de manifiesto en la figura 12, donde se muestran dos fotografías tomadas a Flavia, la primera en la franja horaria de la mañana y la segunda en la de la tarde. Ya que tal y como dice *“la luz solar calienta la superficie de la piel, siendo la intensidad dependiente del color de la capa, por lo que se cuestiona la fiabilidad del análisis cuando hay incidencia de luz solar”*. (Hilsberg-Merz, 2008)

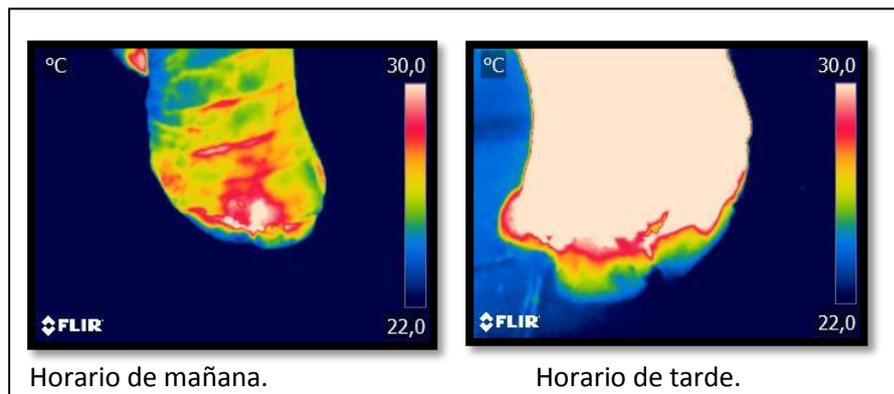


Figura 13. Diferencia entre imágenes obtenidas en horarios de mañana y tarde.

El desarrollo de un factor de corrección puede solventar este problema de diferencias de temperaturas a distintas horas del día. Este método se empleó en un estudio realizado sobre la ubre de vacas frisonas utilizando la temperatura mínima del suelo y la máxima de la ubre, de forma que el aumento de 1°C en el suelo corresponde a un aumento de 0'4°C en la ubre, de modo que se igualaron todas las “temperatura ambiente” en cada una de las imágenes. (Rodríguez *et al.*, 2008). Sin embargo, en nuestro estudio no se realizó factor de corrección porque separamos los horarios entre mañana y tarde. Esta división la hicimos con el fin de valorar la técnica y observar si había mejoría en la lesión de Flavia a lo largo del día, debido al calentamiento de la extremidad con forme aumentaba la temperatura ambiental

aunque no lo hemos podido valorar mediante análisis estadístico, ya que habría que haber considerado los efectos ambientales.

El movimiento o la actividad física del animal es algo que también debemos de tener en cuenta a la hora de valorar un termograma. El ejercicio físico hace que los músculos esqueléticos disipen calor, por lo que habrá un aumento de la temperatura superficial de todo el cuerpo del animal y sobre todo de las zonas más ejercitadas. Así, en los registros tomados en horario de tarde, afectan tanto las condiciones climáticas como la actividad física del animal. Sin embargo, en los registros de franja horaria de mañana estas dos interferencias se eliminan, por lo que quizás sean más fiables los primeros registros tomados en el día, disminuyendo de esta manera la posibilidad de error (Cilulko *et al.*, 2012). En un estudio de Michael Ford Rowe (2012) se prueba específicamente que existe una relación funcionalmente significativa entre el almacenamiento de calor y la locomoción en los elefantes, y que esta relación es sensible al nivel de calor ambiental.

Si la temperatura ambiente influye, en nuestro estudio tras la realización de la correlación de Pearson tanto para el efecto “Mes” como para el efecto “Registro”, la temperatura del suelo debería mostrar una correlación positiva con la temperatura del foco y una correlación negativa con las tres variables restantes (ΔF -ZI, ΔF -ZSA y ΔF -SU), ya que aumentaría la temperatura del foco inflamatorio a la par que la temperatura ambiente, y por consiguiente habría una disminución de diferencia de temperatura entre zonas, aumentando también la temperatura de éstas. Tras la obtención de los coeficientes de correlación de Pearson se detecta la existencia de una relación significativa ($P < 0,05$) entre los valores obtenidos en los registros con la influencia ambiental.

Eficacia de la termografía para la localización de lesiones

De acuerdo con Hilsberg (2002) *“en caso de evaluación de cojera en megahervíboros la termografía infrarroja parece ser una herramienta indispensable hoy en día, ya que puede proporcionar información en la localización de un problema que no se puede obtener con casi ningún otro medio”*. El calor y la hinchazón en la parte delantera del pie son signos notables de osteoartritis (Murray *et al.*, 2006), proceso patológico que presenta Flavia. Un estudio realizado por Hilsberg (2002) pone de manifiesto que esta técnica ha demostrado dar buenos resultados en la localización de zonas que puedan ser el origen de una cojera, o en el proceso de curación de un elefante con pododermatitis. La termografía infrarroja permite detectar procesos patológicos en fases tempranas además de permitir una evaluación de la terapia aplicada. Sin embargo, factores como la posición de las extremidades pueden interferir en los termogramas por la distribución desigual de peso (en los animales de zoológico es

prácticamente imposible por la dificultad de colocar las patas exactamente una al lado de la otra). Dicho autor prosigue indicando que en animales de zoológico sólo deben evaluarse los cambios en los resultados si estos son superiores a 1°C con respecto a las demás extremidades.

En base a los resultados obtenidos en nuestro estudio podemos deducir que la inflamación que presenta Flavia se encuentra en la zona rostral de la extremidad, además de demostrarse esto mismo en las propias imágenes (Figura 13). Por otro lado, los resultados muestran que la temperatura de suelo se mantiene, por lo que, para estas variables en función de estos parámetros, dejamos a un lado la interferencia ambiental.

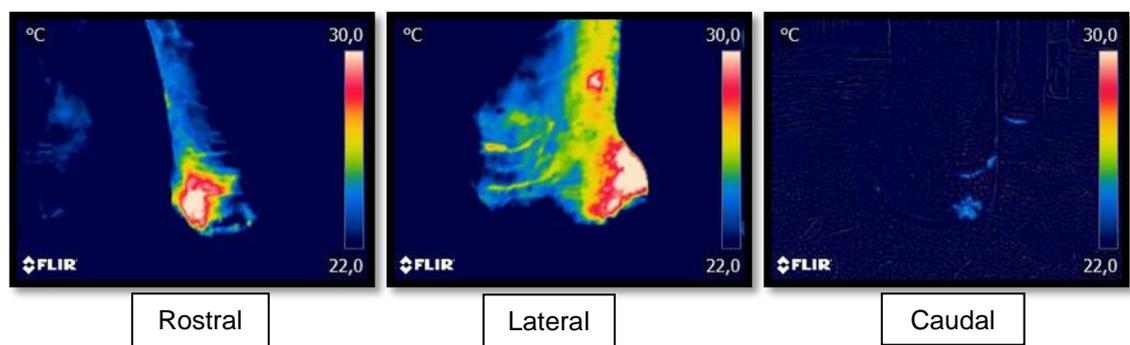


Figura 14. Imágenes termográficas de las distintas vistas estudiadas de la extremidad posterior izquierda de Flavia.

Progresión de la lesión

La termografía puede utilizarse como método complementario para el diagnóstico y seguimiento, controlando así recidivas, de la aparición de pequeños tumores, ya que lo ideal es tener un diagnóstico precoz de los mismos (Sanz Tolón *et al.*, 2008). En medicina humana se ha demostrado que procesos de dolor agudo o crónico pueden evaluarse mediante variaciones de temperatura corporal, debido a los cambios fisiopatológicos producidos (Hidalgo *et al.*, 2014).

En el caso de Flavia, no vemos una clara progresión de la lesión. Aquí debemos tener en cuenta dos factores: la temperatura ambiental y la eficacia del tratamiento instaurado. Como anteriormente se ha dicho y demostrado, sabemos que la temperatura ambiental tiene alta influencia sobre la temperatura obtenida y procesada en nuestros termogramas. Sin embargo, en cuanto al tratamiento, no obtenemos de manera clara que este haya resultado efectivo desde el punto de vista de la termografía, ya que las diferencias térmicas detectadas no fueron estadísticamente significativas ($P > 0,05$). Sin embargo, si lo fueron en el efecto

semana, detectando diferencias térmicas entre las 12 semanas que duró el estudio y por tanto, podríamos pensar en la existencia de una mejoría térmica (bajada del calor del foco inflamatorio) debida al tratamiento que se pone de manifiesto de forma más aparente en el análisis semanal de los termogramas.

Conclusiones

1. La técnica es válida para la localización de una lesión o zona de inflamatoria. El proceso patológico que presenta Flavia es una osteoartritis en la extremidad posterior izquierda. Las imágenes tomadas delimitan la zona lesionada mostrando el resto de la extremidad con una temperatura normal.

2. La evaluación de la progresión temporal de la lesión y su evolución en base al tratamiento instaurado está influenciada por los factores ambientales. Para observar una mejora o empeoramiento de una lesión solamente utilizando la técnica termográfica, ésta tiene que realizarse en unas condiciones totalmente controladas y repetitivas a lo largo del estudio del progreso de cualquier lesión.

3. En cuanto a la puesta a punto y valoración de la técnica, se pone de manifiesto que la termografía es una herramienta de gran utilidad para el diagnóstico precoz de inflamaciones o cualquier proceso, ya sea fisiológico o patológico, que curse con aumento de temperatura y que en un principio “no están a simple vista”, siendo una de las principales ventajas que presenta a la hora de utilizarla en animales con los que es difícil un contacto físico, como son los animales de cualquier zoológico.

4. La termografía debe utilizarse de manera complementaria a otros métodos diagnósticos a la hora de ponerle nombre a cualquier proceso patológico, ya que con esta técnica no podemos dar un diagnóstico definitivo.

Compromiso ético y conflicto de intereses.

Los procedimientos utilizados para la realización de este estudio han sido aprobados por el servicio veterinario del Parque Zoológico Municipal de Córdoba-España. Estos procedimientos no causaron ningún quebranto en el bienestar de Flavia, estando conformes a lo dispuesto en la Directiva 2010/63/EU sobre la protección de animales utilizados con fines científicos.

El trabajo presentado es original, fuera de plagio, estando citada la bibliografía utilizada para la realización del mismo.

La autora garantiza el estudio y el aprobado de la versión fina de los Directores acordando finalmente su presentación.

No existen conflictos de intereses de ningún tipo, sin haber existido financiación ajena a la Universidad de Córdoba o al Parque Zoológico Municipal de Córdoba, entidades que han puesto a disposición de este trabajo el personal y los medios necesarios establecidos en el convenio firmado entre ambas instituciones.

Agradecimientos

A mis directores y tutores del trabajo, Dña. Ana González Martínez y D. Rafael Guerra Caro, y a Dña. Evangelina Rodero Serrano, por su apoyo tanto profesional como personal y por hacer posible la realización de este trabajo.

A Víctor (Apellido), compañero veterinario, Javier Blanco y Francisco Sentella cuidadores-entrenadores de Flavia y demás trabajadores del Parque Zoológico Municipal de Córdoba por prestarme toda la ayuda que estaba en sus manos.

A mi familia, por su apoyo en la realización de éste trabajo y durante todos estos años.

A Miguel, parte de este trabajo es tuyo.

A mis amigas, Laura Pulgarín Cabezas, Marta García Campos, y en especial a M^a Jesús Dueñas Mas por entenderme y ayudarme sin esperar nada a cambio.

BIBLIOGRAFÍA.

- Alsaad, M., Buscher, W., 2012. Detection of hoof lesions using digital infrared thermography in dairy cows. *J. Dairy. Sci.* 95 (2): 375-742.
- Alsaad, M., Syring, C., Dietrich, J., Doherr, MG., Gujn, T., Steiner, A., 2014. A field trial of infrared thermography as a non-invasive diagnostic tool for early detection of digital dermatitis in dairy cows. *Vet. J.* 199 (2): 281-285.
- Benz, A. 2005. The elephant's hoof: Macroscopic and microscopic morphology of defined locations under consideration of pathological changes.
- Cilulko J, Janiszewski P, Bogdaszewski M, Szczygielska E., 2012. Infrared thermal imaging in studies of wild animals.
- Eddy, A. L., van Hoogmoed, L. M., Snyder. Review, J. R., 2001. The role of thermography in the management of equine lameness, *Vet J.* 162:172-181.
- Ford Rowe, M., 2012. Seasonal biophysical variations in resting and exercising elephants: Energetic, thermoregulatory, and behavioral adaptations.
- Fowler, M.E., Miller, R.E., 2007. *Zoo and Wild Animal Medicine, Current Therapy.* W.B. Saunders Company. Philadelphia.
- Gil, A., 2009. Correlación entre la termografía escrotal y la calidad seminal en toros del trópico de la región central del Estado de Veracruz. Tesis Médico Veterinario Zootecnista. Veracruz, México. U. Veracruzana, Fac. Medicina Veterinaria y Zootecnia. 42 p.
- Hidalgo, E., Álvarez, F., Salvador, A., 2014. Aplicación de la termografía infrarroja en medicina legal. ¿Prueba válida para la objetivación de los síndromes dolorosos? *Disfunción temporomandibular. Cuad. Med. Forense.* 20 (2-3): 77-84.
- Hilsberg-Merz, S., 2002. Clinical application of infrared-thermography in inflammation diagnosis in mega-herbivores.
- Hilsberg-Merz, S., 2008. Infrared thermography in zoo and wild animals (Flower ME, Eric Miller R (eds) *Zoo and wild animal medicine current therapy, volume six.* Saunders, Elsevier, St. Louis, pp 20–33).
- Kissell, Robert E. Jr., Tappe, Philip A., 2004. Assessment of Thermal Infrared Detection Rates Using White-Tailed Deer Surrogates. *J. Arkan Aca Sc.* 58: 70-73.
- McCafferty, D. J., 2007. The Value of Infrared Thermography for Research on Mammals: Previous Applications and Future Directions. *Mammal Review* 37 (3): 177-255.
- Melero Asensio, M., Delclaux Real de Asúa, M., Sánchez-Vizcaíno, JM., 2008. Potencial Utilización de la Termografía para el Estudio de los Koalas. *RCCV* 3 (2): 51-59.
- Melero, M., Sánchez-Vizcaíno Rodríguez, J. M., 2010. Aplicación de la termografía a la fauna salvaje. *Profesión Veterinaria* 74: 78-83.
- Melgosa, S., 2011. Guía de la termografía infrarroja. Aplicaciones en ahorro y eficiencia energética. <https://www.flir.com/products/e6/>
- Fowler, M. E., Mikota, S. K., 2006. *Biology, Medicine and Surgery of Elephants.* Wiley-Blackwell. 565 pp.

- Okada, K., Takemura, K., Sato, S., 2013. Investigation of various essential factors for optimum infrared thermography. *J Vet Med Sci.* 75 (10): 1349-1353.
- Rodríguez Prieto, V., Rubio García, A., Sánchez-Vizcaíno, J.M., 2008. Utilización de la Termografía en el Ganado Porcino. VII Congreso de Ciencias Veterinarias, Facultad de Veterinaria, UCM (Madrid).
- Rodríguez, PC., Sánchez Matamoros, A., Carvajal Valilla, J., Blanco Murcia, J., 2008. Aplicación de la termografía en el estudio de la ubre de los grandes rumiantes y sus posibles complicaciones patológicas. *RCCV* 2 (2): 66-72.
- Sanz, A., Vicente, M., Barneto, A., Sánchez-Vizcaíno, J. M., 2008. Diagnóstico de Fibrosarcoma Felino por imagen termográfica. *RCCV*, Vol2 (2). ISSN: 1988-2668.
- Stokes, J., Leach, H., Main, D., Whay, H., 2012. An investigation into use infrared thermography (IRT) as a rapid diagnostic tool for foot lesions in dairy cattle. *Vet. J.* 193 (3): 674-678.
- Vázquez, JL., 2003. El uso de la termografía como herramienta complementaria de diagnóstico. *Revista Albeitar.*
- Weissenboeck NM, Weiss CM, Schwammer HM, Kratochvil H (2010). Thermal windows on the body Surface of African elephants (*Loxodonta africana*) studied by infrared thermography
- Westermann, S., Stanek, C., Schramel, J., Ion, A., Buchner, H., 2012. The effect of airflow on thermographically determined temperature of the distal forelimb of the horse. *Equine Vet J.* 45: 637-641.
- Wilcox, C. S., Patterson, J., Cheng, H. W., 2009. Use of Thermography to Screen for Subclinical Bumblefoot in Poultry. *Poultry Science:* 1176-1180.
- Yanmaz, L. E., Okumus, Z. E., 2007. Instrumentation of Thermography and its Applications in Horses. *Journal of Animal and Veterinary Advances* 6: 858-862.