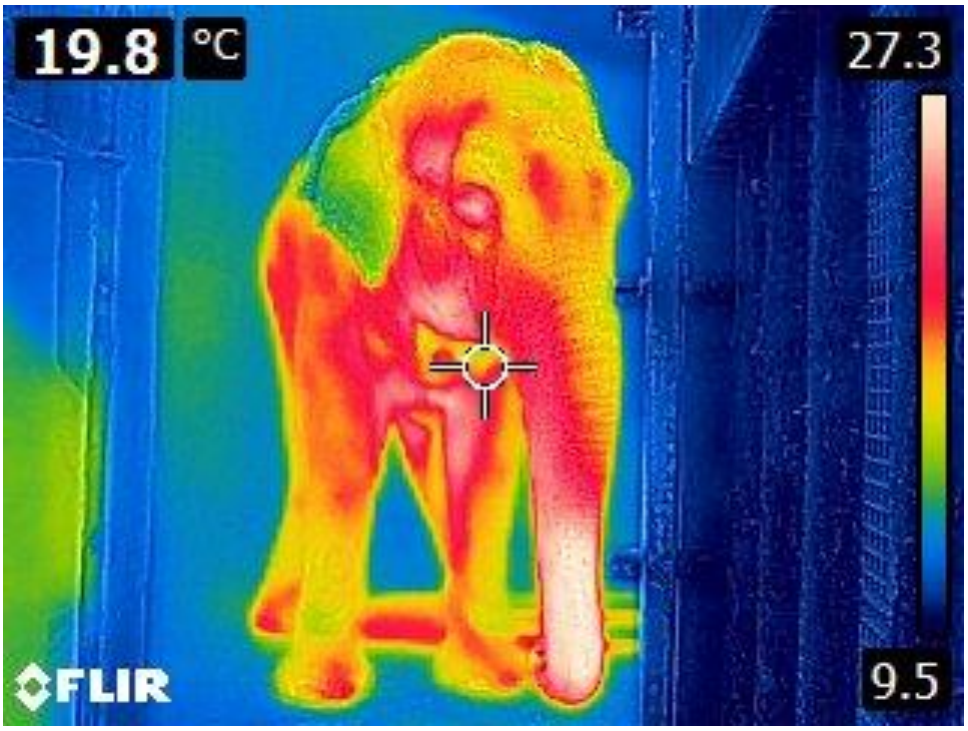
ESTUDIO TERMOGRÁFICO DE ELEFANTE ASIÁTICO (*Elephas maximus)* EN EL PARQUE ZOOLÓGICO DE CÓRDOBA



TRABAJO DE FIN DE GRADO

CARLOS PÉREZ RODRÍGUEZ

Grado en Veterinaria

Curso 2015-2016

Tutores académicos

Evangelina Rodero Serrano

Rafael Guerra Caro

ESTUDIO TERMOGRÁFICO DE ELEFANTE ASIÁTICO (*Elephas* maximus) EN EL PARQUE ZOOLÓGICO DE CÓRDOBA

RESUMEN

La termografía infrarroja permite medir la temperatura superficial de los animales de manera no invasiva y poco o nada estresante. Por ello, su uso puede ser de gran utilidad a la hora de determinar el bienestar animal en los zoológicos. En este trabajo se ha realizado un estudio termográfico de una hembra de elefante asiático, para analizar su simetría térmica, comparar la temperatura de las distintas regiones anatómicas y conocer en qué medida la influencia del medio ambiente afecta al patrón térmico del animal. El estudio de la simetría bilateral regional ha puesto de manifiesto la artropatía que sufre la elefanta en el miembro posterior izquierdo. Los valores termográficos de todas las regiones estudiadas se ven fuertemente afectados por las variaciones climáticas, si bien el rango diferencial entre la temperatura de las regiones y la del medio resultó menor en aquellas más distales y que toman contacto con el suelo. A pesar de los cambios climáticos producidos, el valor de esta diferencia térmica se mantiene constate en todas las regiones.

PALABRAS CLAVE: Termografía, infrarroja, bienestar, zoológico, elefante

THERMOGRAPHIC STUDY OF AN ASIAN ELEPHANT (*Elephas* maximus) IN CORDOVA'S ZOO

ABSTRACT

Infrared thermography is a non invasive or stressful tecnic for the determination of the superficial temperature in animals. Therefore, it can be very useful in determining animal welfare in zoos. We have made a study of thermography in a female Asian elephant, for analyze its thermal symmetry, compare the temperature of different anatomical regions and to know how the influence of the environment affects to the thermal pattern of the animal. The study of regional bilateral symmetry has revealed the presence of arthropathy in the left posterior limb of the animal. Thermographic values of all studied regions are strongly affected by weather variations, although the differential range between the temperature of the regions and the enviroment was lower in the more distal regions which are contacting with the ground. Despite the weather changes, this thermic difference remains constant in all regions.

KEY WORDS: Infrared, termography, welfare, zoo, elephant

AGRADECIMIENTOS

A todas las personas que han hecho posible la realización de este trabajo, en especial a los tutores académicos del mismo, Evangelina Rodero Serrano y Rafael Guerra Caro, a la profesora Ana González Martínez, por su ayuda en el análisis estadístico y a los cuidadores del Parque Zoológico Municipal de Córdoba, por facilitar la toma de datos.

COMPROMISO ÉTICO Y CONFLICTO DE INTERESES

Los procedimientos utilizados para este trabajo han sido aprobados por los servicios veterinarios del Parque Zoológico Municipal de Córdoba y no implican detrimento alguno para el bienestar del animal, estando conformes a lo dispuesto por la normativa de la Unión Europea para el cuidado y uso de animales de experimentación (Directiva 2010/63/EU on the protection of animals used for scientific purposes).

El trabajo que se presenta es original y libre de plagio y las fuentes de información utilizadas han quedado correctamente citadas, no habiendo sido total ni parcialmente previamente publicado.

El autor del trabajo garantiza que todos los directores del trabajo han visto y aprobado la versión final del documento y han acordado su presentación.

No existen conflictos de intereses financieros ni de ninguna otra naturaleza, no habiendo existido fuentes económicas para su ejecución que sean ajenas a la Universidad de Córdoba o al Parque Zoológico Municipal de Córdoba, las cuales han puesto a disposición de este trabajo el personal y los medios en base al convenio firmado entre ambas instituciones.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 6

1.1. ¿Qué es la termografía infrarroja? 6

1.2. Antecedentes históricos de la termografía 7

1.3. Principios físicos de las imágenes termográficas 7

1.4. Fisiología básica del balance térmico 8

1.5. Aplicaciones veterinarias de la termografía 9

1.6. Limitaciones de la termografía en su aplicación a los animales 13

2. OBJETIVOS 15

2.1. Exposición de motivos 15

2.2. Objetivos del trabajo 16

3. DESARROLLO DEL TRABAJO 17

3.1. Material y métodos 17

3.2. Resultados 24

3.3 Discusión 32

4. CONCLUSIONES 34

5. BIBLIOGRAFÍA 35

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ¿Qué es la termografía infrarroja?

La termografía infrarroja consiste en la recepción y medición de las radiaciones infrarrojas, que son emitidas y/o reflejadas en forma de calor por diferentes materiales. Mediante el uso de cámaras termográficas y software informático, estas radiaciones invisibles son transformadas en imágenes termográficas, también denominadas termogramas (Figura 1).

Las radiaciones infrarrojas son emitidas por todos los cuerpos y su intensidad y frecuencia dependen de la temperatura, siendo mayores cuanto mayor sea la temperatura del cuerpo que las emite. Sin embargo, factores como la textura o el color de superficie de un cuerpo pueden afectar a la hora de cuantificar su radiación infrarroja. Por ejemplo, debido a que el color negro es capaz de absorber la totalidad de las radiaciones recibidas, un cuerpo de características similares y a la misma temperatura pero con la superficie de otro color va a presentar una radiación infrarroja aparentemente superior, fruto de la suma de las radiaciones reflejadas y de la radiación emitida por el propio cuerpo. Este y otros factores (que serán explicados con mayor detenimiento más adelante), deberán ser conocidos y tenidos en cuenta a la hora de interpretar las imágenes térmicas obtenidas.

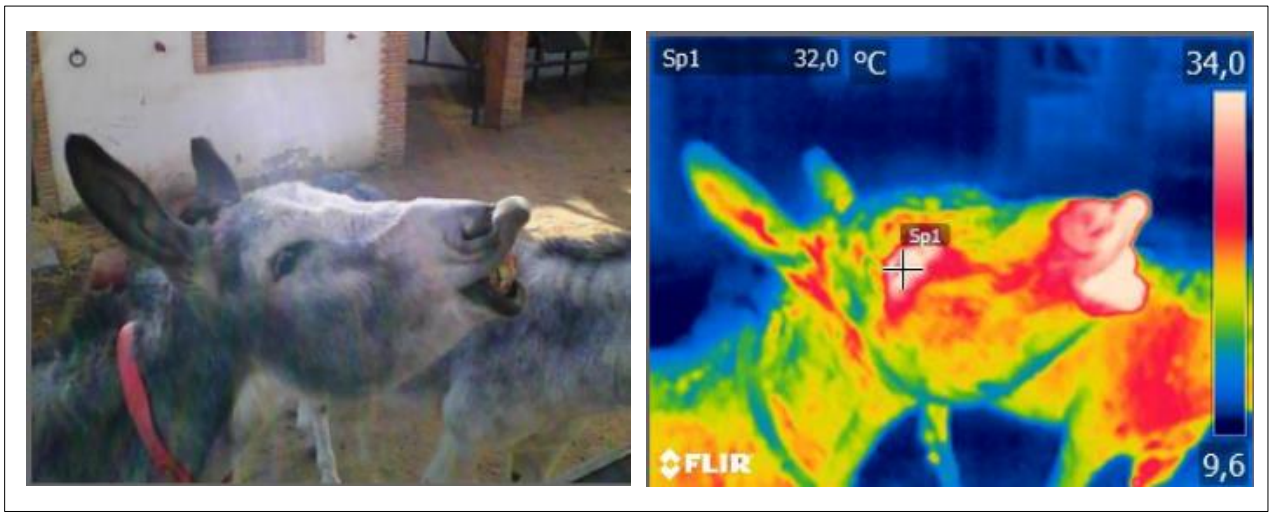


Figura 1. Una imagen digital (izquierda) y su equivalente en imagen termográfica (derecha)

1.2. Antecedentes históricos de la termografía

El primer uso documentado de la termografía con fines médicos data de Hipócrates (460-375 a.C.), que aplicaba una capa de barro sobre la piel de sus pacientes para determinar las zonas más calientes, estudiando la velocidad de secado del barro (Hilsberg-Merz, 2008).

La radiación infrarroja fue descubierta en 1798 por William Herschel (1738-1822), astrónomo del rey Jorge III de Inglaterra y descubridor del planeta Urano. Herschel estudió la radiación solar para verificar el diferente aumento de temperatura que producían los colores en que se descompone la luz. Tras descomponer la luz haciéndola pasar por un prisma, midió la temperatura de la zona en la que incidían cada uno de los diferentes colores y descubrió que todos producían un aumento de temperatura en comparación a la de una zona no expuesta a luz solar directa. No obstante, el verdadero descubrimiento se produjo al comprobar que en la zona cercana a la región del color rojo, a pesar de no apreciarse una luz visible, se producía un mayor calentamiento que en el resto de regiones. Herschel denominó caloricos a los rayos que incidían sobre esta zona, que son los que actualmente conocemos como infrarrojos (Figura 2).

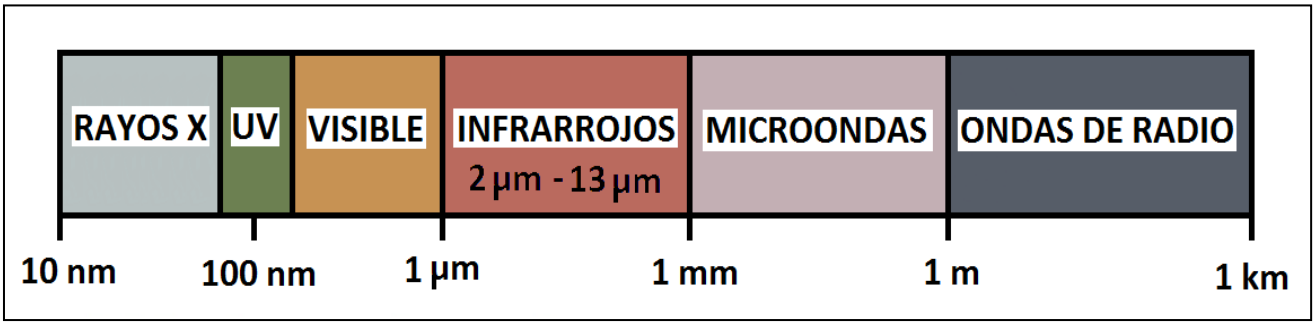


Figura 2. Espectro electromagnético (Las ondas se clasifican en función de su longitud)

1.3. Principios físicos de las imágenes termográficas

La radiación infrarroja está regida por la Ley de radiación de Planck, en la cual entran en escena los siguientes conceptos: Emisividad, reflexividad y transmisibilidad.

1.3.1. Emisividad

Es la cantidad de radiación infrarroja que emite un cuerpo en comparación con la de otro cuerpo negro perfecto que se encuentre a su misma temperatura, siendo 1 el valor de la emisividad para este cuerpo negro y 0 el valor de un cuerpo que refleje toda la radiación. Los valores de emisividad de la piel humana oscilan entre 0,97 y 0,98, pero en los animales este valor puede ser muy variable, debido a sus diversas superficies (pelo, pluma, escamas, etc.).

1.3.2. Reflexibidad

Es la capacidad de un cuerpo para reflejar la radiación infrarroja externa. Depende de las características de la superficie del propio cuerpo y de su temperatura.

1.3.3. Transmisibilidad

Es la capacidad de un cuerpo de permitir el paso de la radiación infrarroja a través de sí mismo. Depende del tipo de material y del grosor del éste. Algunos materiales son completamente impermeables a la radiación infrarroja, como el cristal o los espejos.

1.4. Fisiología básica del balance térmico

Como hemos visto, la termografía infrarroja permite medir la temperatura superficial de un cuerpo. En el caso de los animales, esta temperatura viene determinada principalmente por el metabolismo celular y el grado de vascularización o flujo sanguíneo (Melero *et al.*, 2010). Por ejemplo, con el ejercicio muscular se genera un exceso de calor que es eliminado gracias a la vasodilatación periférica, pero también en determinados procesos patológicos, como la inflamación o las infecciones, se van a producir aumentos de la temperatura superficial. Por otra parte, fenómenos como la atrofia muscular o la necrosis pueden suponer una disminución del metabolismo celular y de la vascularización en las zonas a las que afectan, provocando un descenso de la temperatura de la superficie adyacente. En cuanto al estrés agudo, se ha demostrado que causa vasoconstricción periférica, provocando una rápida caída en la temperatura de la piel de los animales homeotermos (Herborn *et al.*, 2015). Por lo

tanto, la termografía infrarroja ofrece un método no invasivo para medir el nivel de estrés en los animales, a partir de su temperatura cutánea.

En condiciones normales, debe existir una cierta simetría térmica entre ambos lados del cuerpo de un animal (Figura 3). Además, los cambios superficiales de temperatura se suelen producir antes de que haya alteraciones anatómicas observables responsables de dichos cambios. En este sentido, el empleo de la termografía puede jugar un papel fundamental para el diagnóstico precoz de ciertas patologías que de otro modo pasarían desapercibidas, acelerando la toma de decisiones y posibilitando la aplicación de medidas preventivas.

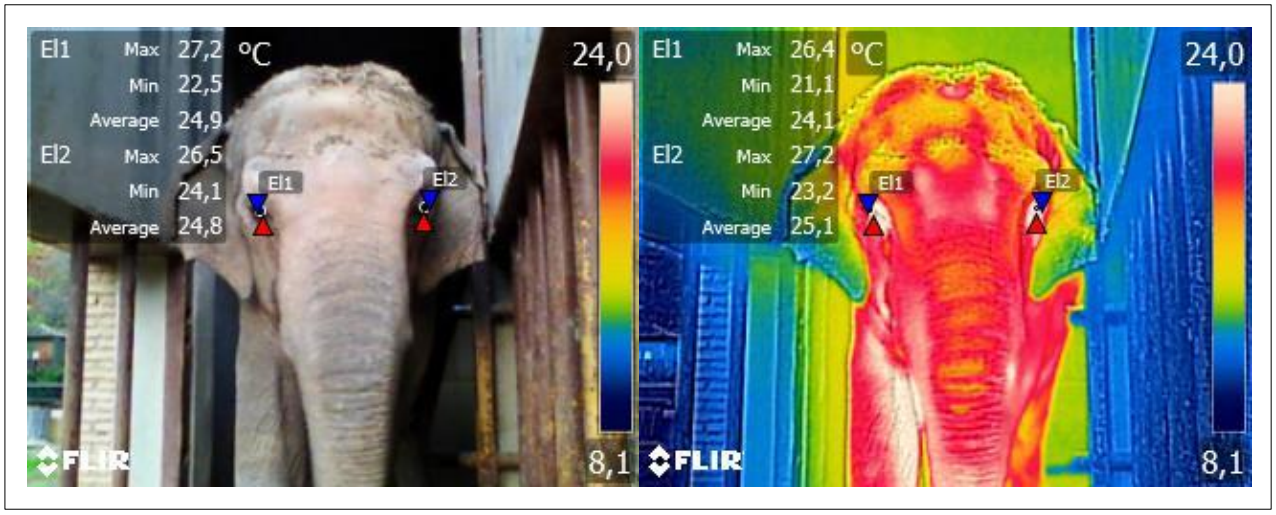


Figura 3. Ejemplo de termograma en el que se observa una simetría térmica fisiológica

1.5. Aplicaciones veterinarias de la termografía

La tecnología infrarroja fue diseñada originalmente con fines militares, pero desde entonces su desarrollo ha avanzado considerablemente. En la actualidad, la termografía tiene una gran importancia en la industria, especialmente en la inspección de equipos eléctricos y sistemas de aislamiento térmico, pero su uso se extiende a muchos otros campos, tales como los equipos de rescate y bomberos o la medicina humana, donde su aplicación va desde la evaluación de la gravedad de las quemaduras hasta la detección del cáncer de mama.

En este sentido, las primeras imágenes termográficas con fines diagnósticos fueron realizadas por R. Lawson en 1957, con el descubrimiento de una temperatura anormal durante un tumor de mama (Vainionpää, 2014).

Desde la década de 1960, la termografía ha cobrado importancia en la medicina veterinaria, principalmente en la clínica equina, pero en los últimos años su aplicación se ha expandido a otros campos como el de los rumiantes, el ganado porcino, las aves o incluso los animales de zoológico (Hilsberg-Merz, 2008).

La principal ventaja de la termografía en comparación con otros métodos de diagnóstico empleados comúnmente, tales como la ecografía, la radiografía o la resonancia magnética, es que es un método no invasivo y no radiactivo, pudiendo realizarse a distancia. Esto permite reducir el estrés del animal, convirtiéndolo además en un método seguro para el técnico. A continuación, se citan las principales aplicaciones veterinarias de la termografía, en especial aquellas más utilizadas en el ámbito de la fauna salvaje y los animales de zoológico.

1.5.1. Establecer puntos termográficos de referencia

La termografía permite medir la temperatura superficial de un gran número de animales en poco tiempo, para determinar cuál es el patrón térmico normal de una especie. En la mayoría de los mamíferos, el ojo es el mejor punto de referencia de la temperatura general por su estabilidad y alta correlación con la temperatura cloacal o rectal (Melero *et al.*, 2009).

1.5.2. Estudio de la termorregulación

En los animales homeotermos (también llamados endotermos), la termorregulación es una función clave para el mantenimiento de la homeostasis, siendo la termografía una técnica muy útil para estudiarla. En este sentido hay numerosos ejemplos de estudios realizados (incluyendo aves, mamíferos, reptiles y anfibios), como por ejemplo los llevados a cabo en zorros (Speakman *et al.*, 1998), gerbil de Mongolia (Klir *et al.*, 1990), nutrias (Kuhn *et al.*, 2009), ratas (Sumbera *et al.*, 2007), tucán toco (Tattersal *et al.*, 2010), casuarios (Aguilar *et al.*, 2012), lémures (Falcó *et a.*, 2014) o hipopótamos (Ruiz *et al.*, 2014).

1.5.3. Control de procesos reproductivos

La termografía es una buena herramienta para el control del ciclo reproductivo, especialmente en aquellos animales donde los métodos habituales son difíciles de realizar. Por ejemplo, la termografía infrarroja se ha empleado con éxito para la detección de la ovulación en elefantes asiáticos y rinocerontes negros (Hilsberg-Merz, 2008), así como para diagnóstico de gestación en pandas gigantes (Durrant *et al.*, 2006), rinoceronte blanco (Sánchez *et al.*, 2014), jirafas (García-Millán *et al.*, 2012) y otros animales de zoológico (Melero *et al.*, 2011).

1.5.4. Determinación de la fertilidad de los huevos

La viabilidad de los huevos puede ser estudiada mediante termografía, a fin de establecer una correlación entre su patrón térmico y su fertilidad. Sin embargo, la precisión de los resultados obtenidos va a depender de las características de la cáscara, especialmente de su grosor, por lo que no es aplicable de forma genérica a todas las especies (Melero *et al.*, 2010).

1.5.5. Detección de lesiones y traumatismos

Una gran ventaja de la termografía es la posibilidad de detectar lesiones, traumatismos y/o procesos inflamatorios en especies en las que la detección visual es difícil, ya sea por su denso pelaje o por su peligrosidad. Esto es posible gracias a que las alteraciones vasculares o en la inervación provocan cambios en el patrón térmico de la zona (Melero *et al.*, 2010).

1.5.6. Diagnóstico de enfermedades

Múltiples estudios demuestran la utilidad de la termografía en el diagnóstico precoz de ciertas enfermedades animales, como detectar aumentos de temperatura en venados con fiebre aftosa (Dunbar *et al.,* 2009) o en ovejas con lengua azul (Pérez de Diego *et al.*, 2013), efectuar la lectura de la IDTB en cabras (Pérez de Diego *et al.*, 2008), diagnosticar sarna sarcóptica en el ibex español (Arenas *et al.*, 2002) , detectar signos de infección de rabia en mapaches (Dunbar e*t al.*, 2006), diagnóstico y evaluación de la pododermatitis plantar en rapaces (Melero *et al.*, 2010), evaluación de electrocuciones en rapaces (Melero *et al.*, 2013) o el diagnóstico del fibrosarcoma felino y de diversas patologías en perros (Sanz *et al.*, 2008).

1.5.7. Análisis del comportamiento

La termografía puede emplearse para estudiar los cambios de temperatura corporal que se producen en los animales cuando estos son expuestos a diferentes situaciones de estrés o cuando realizan diversas actividades o patrones de comportamiento. Estudios en este campo han servido para demostrar como la termografía es capaz de detectar cambios en la temperatura facial de los macacos rhesus ante situaciones de amenaza (Nakayama *et al.*, 2005), cambios en el flujo sanguíneo de los delfines durante su búsqueda de atún (McCafferty, 2007) o la producción de calor durante el canto de las aves (McCafferty, 2007).

1.5.8. Detección de animales y estimación del tamaño de poblaciones

Una de las ventajas de la termografía es que permite estimar poblaciones de animales salvajes de forma rápida, ya que en este caso la temperatura no tiene que ser medida con precisión, sino que los animales aparecerán como puntos calientes sobre el fondo, lo que es suficiente para confirmar su presencia. No obstante, hay que tener en cuenta que el número de animales detectados en una medición no tiene por qué ser representativo del tamaño de la población. Además, la eficacia de estos estudios va a aumentar por la noche, puesto que el contraste térmico entre los animales y el fondo será mayor (Broch *et* al, 2012).

1.5.9. Evaluación del bienestar animal

El bienestar animal supone el correcto equilibrio entre el animal y su entorno, el cual debe proporcionarle salud y comodidad suficiente, así como evitar cualquier tipo de estrés. En numerosas especies mantenidas en cautividad se dan procesos como la hipertermia por estrés o la fiebre psicógena, caracterizados por un aumento de la temperatura corporal en los 10-15 minutos posteriores a la aparición de un factor estresante (Alencar *et al.*, 2014). Por ello, la termografía puede ser muy útil a la hora de detectar estos procesos estresantes, lo que ayuda a determinar el grado de bienestar de los animales en cautividad. Además, al ser una técnica no invasiva no genera estrés adicional en los animales. Por otra parte, la termografía permite estudiar las instalaciones de los animales para determinar posibles fallos o deficiencias en los sistemas de aislamiento, refrigeración y calefacción, que también van a influir de manera directa a la producción y al bienestar animal (Knížková *et al.*, 2007).

1.6. Limitaciones de la termografía en su aplicación a los animales

Ya hemos visto las múltiples ventajas que la termografía puede ofrecer, pero también cuenta con una serie de limitaciones que habrá que tener en cuenta (Cilulko *et al.*, 2012).

1.6.1. Factores climáticos

Algunos factores climáticos pueden afectar en gran medida a las mediciones obtenidas mediante termografía infrarroja. Por ejemplo, la radiación solar calienta la superficie de la piel de los animales, mientras que la lluvia y el viento tienen el efecto contrario. Por su parte, la humedad, la niebla, la nieve y el polvo van a generar una menor permeabilidad atmosférica, al absorber (gases) o disipar (partículas) la radiación infrarroja emitida por los objetos.

1.6.2. Distancia entre el objetivo y la cámara termográfica

Para que los valores de temperatura obtenidos sean precisos, las mediciones deben realizarse a una distancia lo más cercana posible del animal, puesto que a medida que nos alejamos las alteraciones atmosféricas aumentan el error de medición de radiación infrarroja. Además, hay que tener en cuenta el campo de visión de la cámara y el ángulo de medición.

1.6.3. Propiedades físicas del recubrimiento del animal

Factores como el espesor de la capa de pelo o el hecho de presentar una cubierta de plumas afectan significativamente a la hora de registrar la temperatura superficial de la piel de un animal. Así, los animales con un abrigo de piel gruesa, como ovejas y llamas, son débilmente visibles en termogramas, mientras que otros como los elefantes o los rinocerontes, cuya piel apenas está cubierta de pelo, son los modelos ideales para este tipo de estudios (Hilsberg-Merz *et al*., 2008). Pero la temperatura de la piel también se ve afectada por el espesor de la capa de grasa subcutánea, la cual aísla el cuerpo contra la pérdida de calor. Además, otros factores como la suciedad, la presencia de cortes en la piel, la humedad o el color de la capa de pelo también influyen en las mediciones obtenidas (Cilulko *et al.*, 2012). Por todo ello, antes de realizar un estudio termográfico sobre un animal sería ideal limpiar y secar su piel antes de la medición, para eliminar posibles errores (Hilsberg-Merz *et al*., 2008).

1.6.4. Actividad física del animal

Si un animal ha realizado cierta actividad física antes de efectuar una medición, el calor generado por su musculatura se disipa hacia el exterior, de manera que la temperatura registrada en el termograma se verá aumentada. Por el contrario, si el animal ha estado reposando sobre zonas frías o húmedas, su temperatura superficial descenderá (Hilsberg-Merz *et al*., 2008). Para reducir al mínimo la posibilidad de error, los animales no deben realizar actividad física y deben ser mantenidos en instalaciones experimentales antes de la medición.

1.6.5. Estrés y comportamiento del animal

Los factores estresantes afectan al perfil térmico del animal (Nakayama *et al.*, 2005). Por esta razón, el análisis termográfico se debe realizar en un entorno tranquilo, preferiblemente una vez que el animal se haya adaptado al medio ambiente y al examinador. Sin embargo, a veces la respuesta de los animales frente a los cambios introducidos en su entorno no se puede predecir, sobre todo en aquellos individuos poco acostumbrados a la interacción con el ser humano. Por ello, puede resultar difícil llevar a este tipo de mediciones.

1.6.6. Tratamientos que afecten a la temperatura corporal del animal

Los fármacos con efecto sobre el sistema circulatorio pueden provocar cambios en la temperatura de la superficie corporal, por lo que deberán ser tenidos en cuenta a la hora de realizar un estudio termográfico. El uso de vendas, envolturas, mantas o sillas de montar también afecta la temperatura de las partes del cuerpo correspondientes (Cilulko *et al.*, 2012).

2. OBJETIVOS

2.1 Exposición de motivos

Uno de los principales objetivos de los parques zoológicos debe ser garantizar el bienestar de las especies animales que en ellos se mantienen. Sin embargo, estimar el grado de bienestar animal de algunas especies puede ser muy complicado, ya que en muchos casos se trata de animales peligrosos o poco acostumbrados al ser humano, a los que resulta difícil acercarse. Por ello, la posibilidad de emplear métodos diagnósticos que no requieran un contacto directo con los animales puede ser muy favorable. Este es el caso de la termografía, que permite trabajar a distancias lo suficientemente alejadas de los animales, incluso sin la necesidad de entrar en sus instalaciones (Melero *et al.*, 2009).

Se ha demostrado que la medida conjunta de temperatura ocular y frecuencia cardiaca puede sustituir a otros métodos invasivos a la hora de medir el dolor y el estrés, los cuales son dos de los grandes indicadores para evaluar el bienestar animal (Stewart *et al.*, 2008). Por ejemplo, se ha comprobado que el ojo es el mejor punto de referencia termográfica en koalas, en los que el estrés por manejo dificulta los métodos convencionales, (Melero *et al.*, 2009).

En algunos megaherbívoros habitualmente presentes en parques zoológicos, como los elefantes, puede resultar muy difícil detectar y observar posibles lesiones, especialmente si no hay signos externos evidenciables, ya que estos animales tienden a disimular cualquier muestra de dolor de cara a sus depredadores. En estos casos, la termografía puede ser determinante a la hora de detectar ciertas alteraciones osteomusculares de manera temprana.

Por su gran tamaño, los elefantes presentan una baja relación superficie-volumen, lo que, unido a la ausencia de glándulas sudoríparas, genera un importante problema a la hora de disipar el calor corporal, siendo las orejas las principales ventanas térmicas encargadas del intercambio de calor (Weissenböck *et al.*, 2010). Por ello, el sobrecalentamiento supone un gran estrés y riesgo para la salud de los elefantes, especialmente en los elefantes asiáticos, pudiendo llegar a provocar la muerte durante la inmovilización (Hilsberg-Merz, 2008). Debido a que los métodos tradicionales de medición de temperatura son difíciles de emplear en estos animales, el uso de uso de una técnica no invasiva, como la termografía infrarroja, puede ser muy útil para medir la temperatura de la piel de los elefantes (Williams, 1990).

2.2. Objetivos del trabajo

Por el interés que presenta la termografía óptica como un método no invasivo para determinar el bienestar animal en diversas especies, el presente trabajo pretende aportar información de utilidad para su uso en el elefante asiático (*Elephas maximus*). Para ello, hemos querido:

1) Analizar la simetría térmica bilateral en las distintas regiones del animal

2) Evaluar las posibles correlaciones entre la temperatura de las distintas regiones corporales de un mismo animal

3) Analizar los cambios de temperatura de las distintas regiones anatómicas del animal en función de factores térmico-ambientales (identificación de ventanas térmicas)

4) Comprobar la utilidad de la termografía a la hora de evidenciar posibles patologías en el animal

3. DESARROLLO DEL TRABAJO

3.1. Material y métodos

3.1.1. Cámara térmica

Para la toma de mediciones se empleó una cámara térmica FLIR E6, de la compañía FLIR (Forward Looking Infra-Red), cuyas especificaciones se muestran a continuación.

FLIR E6	
Resolución infrarroja	160 x 120 píxeles
Resolución MSX®	320 x 240 píxeles
Sensibilidad térmica	< 0.06 ºC
Rango de temperaturas	- 20 ºC a 250 ºC
Exactitud	± 2 ºC o ± 2 % de lectura
Emisividad	0.1 a 1

MSX® (Multi-espectral dynamic imaging) combina los espectros térmico y visible en la misma imagen, ofreciendo un mayor detalle a las imágenes térmicas obtenidas.

3.1.2. Animal objeto de estudio

El estudio termográfico fue realizado sobre Flavia, una hembra de elefante asiático (*Elephas maximus*) de 43 años de edad, perteneciente al Parque Zoológico Municipal de Córdoba desde 1976. El animal se encuentra en solitario, en un recinto de unos 2.000 m^2, que consta de un cubil de descanso de 97 m^2. Dada la edad del animal, las características de sus instalaciones y su actividad a lo largo de estos años, Flavia ha desarrollado alteraciones graves de locomoción. El animal presenta anquilosis en la articulación femorotibial de ambas rodillas, más acusada en lado izquierdo. Además, se sospecha de procesos osteoartrósicos a nivel lumbar. A pesar que en los últimos años se ha instaurado un programa de entrenamiento y arreglo rutinario de manos y pies, la historia clínica del animal indica el desarrollo de fenómenos inflamatorios en la región podal.

3.1.3. Características térmicas de las instalaciones

Se llevaron a cabo un total de 52 mediciones térmicas a lo largo de diferentes puntos de las instalaciones del animal, incluyendo la zona de descanso, el agua de bebida y la calefacción. Las mediciones arrojaron una temperatura media de 23,36 ± 2,47 (76,17) ºC, con máximas de 29,47 ± 4,16 (101,81) ºC y mínimas de 18,46 ± 0,75 (29,11) ºC. Las condiciones climáticas a las que fueron llevadas estas medidas fueron de 13,37 ± 0,54 (29,12) ºC, con una humedad relativa del 73,9 ± 1,44 (14,07) %. El cubil de descanso del animal cuenta con tres pequeñas ventanas, dos de ellas orientadas hacia el norte y otra orientada hacia el noroeste. Para paliar las bajas temperaturas durante el otoño-invierno, el cubil cuenta con un sistema de calefacción mediante foco de calor situados en el techo (Figura 4). Sin embargo, este sistema parece ser insuficiente, puesto que las mediciones de temperaturas registradas en el interior del cubil muestran como el calor de los focos no llega al nivel de suelo y paredes (Figura 5).

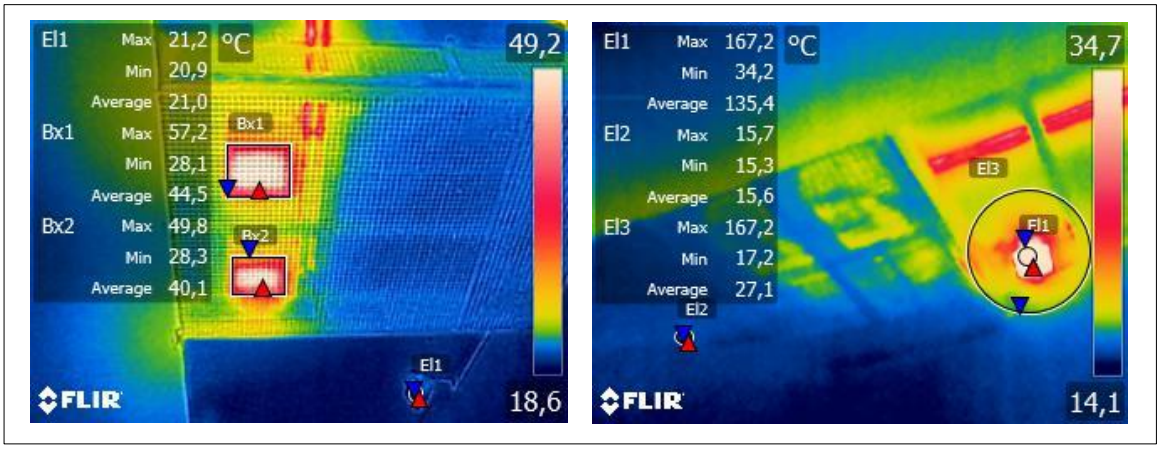


Figura 4. Sistema de calefacción del cubil y área de calentamiento de los focos

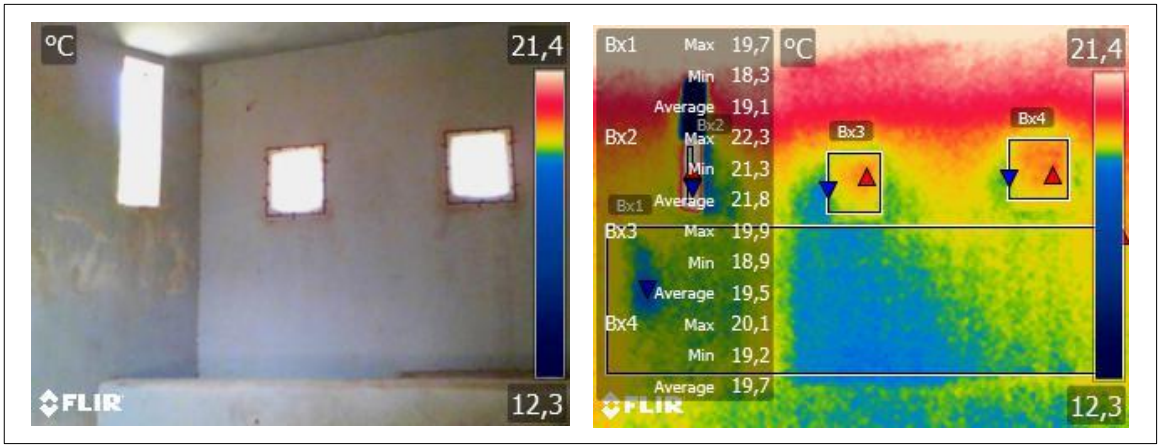


Figura 5. Interior del cubil de Flavia, donde se aprecia un área de menor temperatura

3.1.4. Registros sobre el animal

A fin de obtener un perfil térmico general del Flavia, se llevaron a cabo mediciones en diferentes regiones anatómicas, a ambos lados del animal. La lista de regiones analizadas y la denominación abreviada asignada a cada una de ellas se exponen a continuación (Tabla 1).

Tabla 1. Regiones corporales del animal analizadas termográficamene y sus abreviaturas

OD	Ojo Derecho	PDL	Palma Derecha Limpia
OI	Ojo Izquierdo	PIL	Palma Izquierda Limpia
OJD	Oreja Derecha	DMD	Dedos Mano Derecha
OJI	Oreja Izquierda	DMI	Dedos Mano Izquierda
MAD	Miembro Anterior Derecho	MPD	Miembro Posterior Derecho
MAI	Miembro Anterior Izquierdo	MPI	Miembro Posterior Izquierdo
MD	Mano Derecha	PI	Pie Izquierdo
MI	Mano Izquierda	PD	Pie Derecho
PDS	Planta Derecha Sucia	DPD	Dedos Pie Derecho
PIS	Planta Izquierda Sucia	DPI	Dedos Pie Izquierdo

A continuación se muestran ejemplos de los termogramas obtenidos para cada una de las regiones del animal, en las que se observa el área de medición seleccionado para cada una de ellas (Figuras 6, 7, 8, 9 y 10).

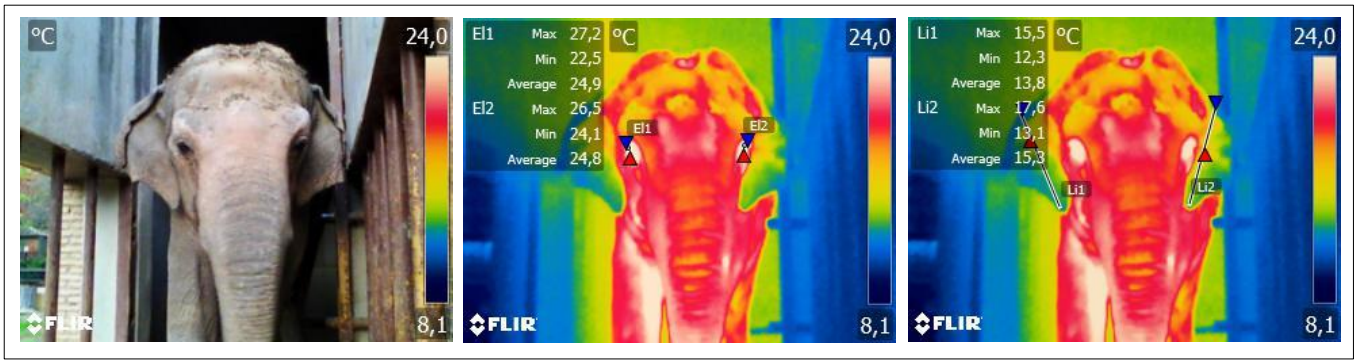


Figura 6. Imagen real, termograma de los ojos y termograma de las orejas

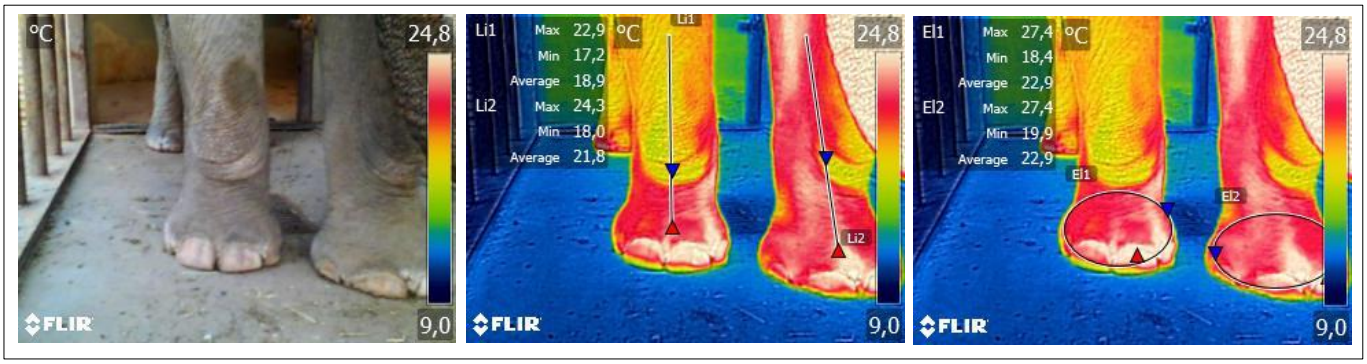


Figura 7. Imagen real, termograma de miembros anteriores y termograma de las manos

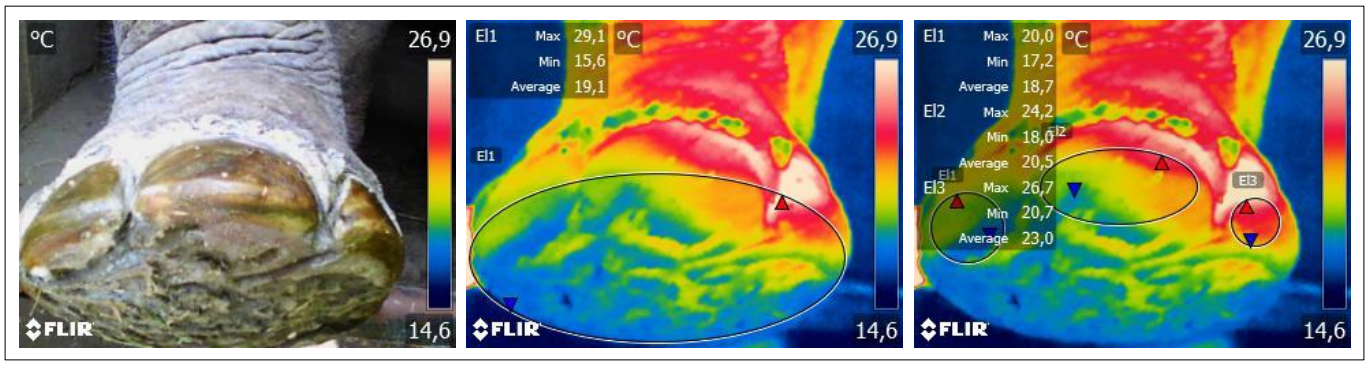


Figura 8. Imagen real y termogramas de la palma y de los dedos de la mano derecha

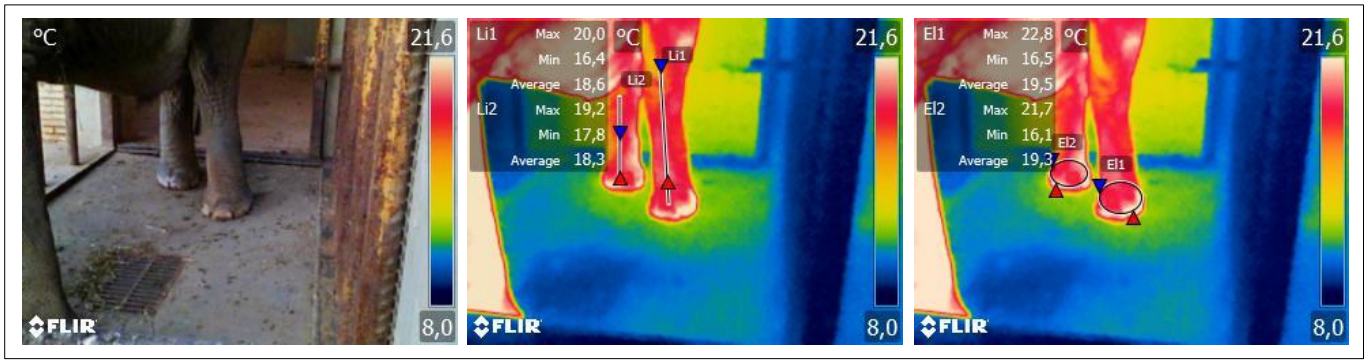


Figura 9. Imagen real, termograma de los miembros posteriores y termograma de los pies

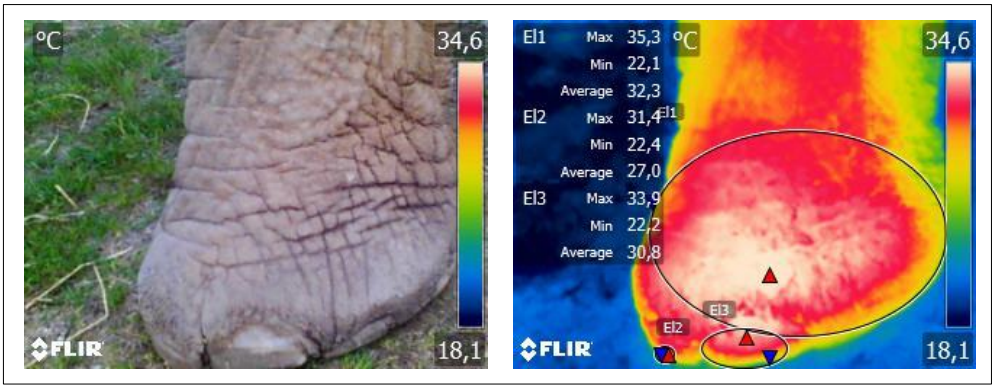


Figura 10. Imagen real y termograma del pie y de los dedos del pie derecho

3.1.5. Protocolos para la toma de datos

Las imágenes térmicas fueron tomadas en el Parque Zoológico Municipal de Córdoba en diferentes sesiones, entre los meses de Diciembre de 2015 y Abril de 2016, a las 09.00 h de la mañana, previo a las prácticas de manejo que habitualmente se realizan sobre el animal. Las mediciones se realizaron a distancias inferiores a un metro, en las propias instalaciones exteriores de la elefanta y aprovechando las sesiones de adiestramiento y corrección de pies y manos que se le realizan al animal de manera semanal.

Al estar sujetos a las limitaciones que imponen el tener que adaptarnos a la programación de las rutinas habituales y a la difícil accesibilidad al animal cuando éste se encontraba dentro del cubil, no en todas las sesiones fue posible obtener la toma a menos de un metro de distancia, por lo que algunas medidas debieron ser desestimadas. Por este motivo, no todas las regiones cuentan con registros térmicos dentro de la misma sesión de entrenamiento.

Para comprobar el efecto que la higiene de las plantas pudiera tener sobre los registros termográficos, se realizó una toma previa a la limpieza de las plantas y otra posterior.

Se han realizado un total de 7 sesiones de medición y cada región fue registrada un mínimo de 3 veces.

3.1.6. Obtención de datos climáticos

Junto a cada medición se registró la fecha, la hora, la temperatura ambiente y la humedad relativa existentes en el momento de cada captura, a partir de los datos publicados por la Estación meteorológica 84100 (LEBA), situada en el Aeropuerto de Córdoba, cuyos datos se pueden consultar en: http://www.tutiempo.net/clima/Cordoba_Aeropuerto/84100.htm

3.1.7. Software de tratamiento de imágenes

Las imágenes térmicas obtenidas fueron analizadas y tratadas con el programa informático Flir Tools, que permite delimitar zonas a medir y calcular los puntos de máxima y mínima temperatura, así como la temperatura media correspondiente a la zona seleccionada.

3.1.8. Análisis estadístico

Para evaluar la simetría térmica del animal se calcularon, en primer lugar, los estadísticos descriptivos básicos de la temperatura media obtenida en cada región, y se realizó una Prueba T de Student comparando las mitades izquierda y derecha del animal (Tabla 2). Estos resultados fueron expuestos gráficamente en Diagrama de Caja y Patillas (Gráfica 3).

En los posteriores análisis, para aquellas variables que no habían mostrado diferencias significativas entre ambos lados de una misma región, se optó por trabajar sólo con uno de los lados del animal como referencia (lado derecho).

Para identificar aquellas regiones que actúan como principales ventanas térmicas del animal, se analizó, en primer lugar, la correlación entre la temperatura media de cada una de las regiones, mediante coeficiente de Pearson para un nivel de confianza $\alpha < 0.05$, (Tabla 3). A continuación, se analizó la evolución de la temperatura de cada región a lo largo del estudio comparándola con la del medio.

Dado que el periodo de estudio resultó muy amplio y las variaciones climáticas a lo largo del mismo fueron muy marcadas, nuestro estudio se completó con un análisis más refinado de la evolución de la temperatura corporal con relación a la del medio, para lo cual se procedió a dividir todo el tiempo de duración del estudio en 5 periodos diferentes, los cuales fueron determinados en función de su homogeneidad térmica a partir de la curva de variación de las temperaturas y humedades relativas ambientales (Gráficas 1 y 2). Así, se establecieron los siguientes periodos:

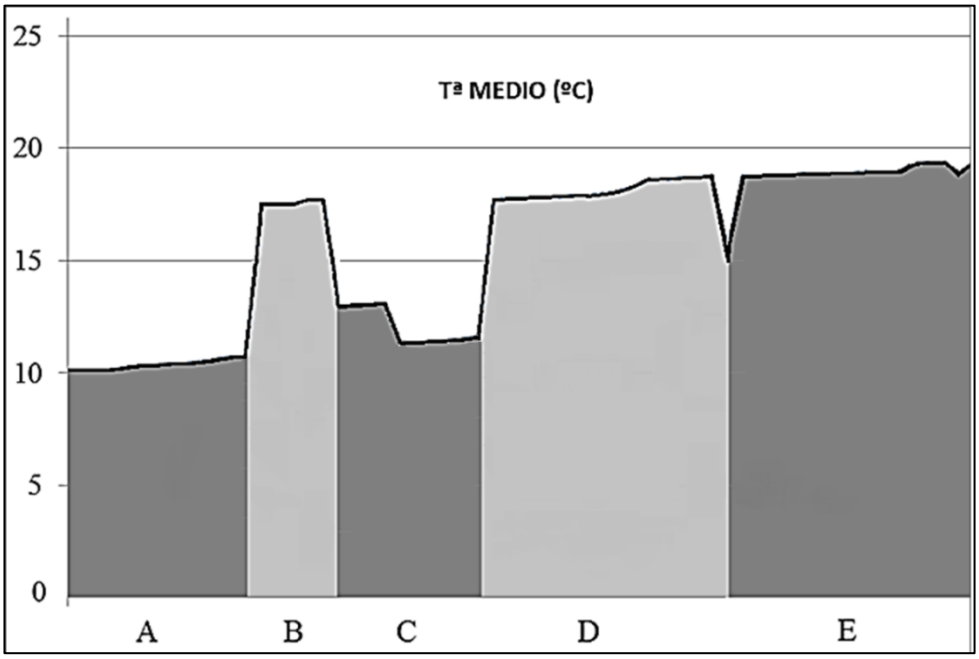
· Periodo A: Primer periodo de bajas temperaturas

· Periodo B: Primer periodo de altas temperaturas

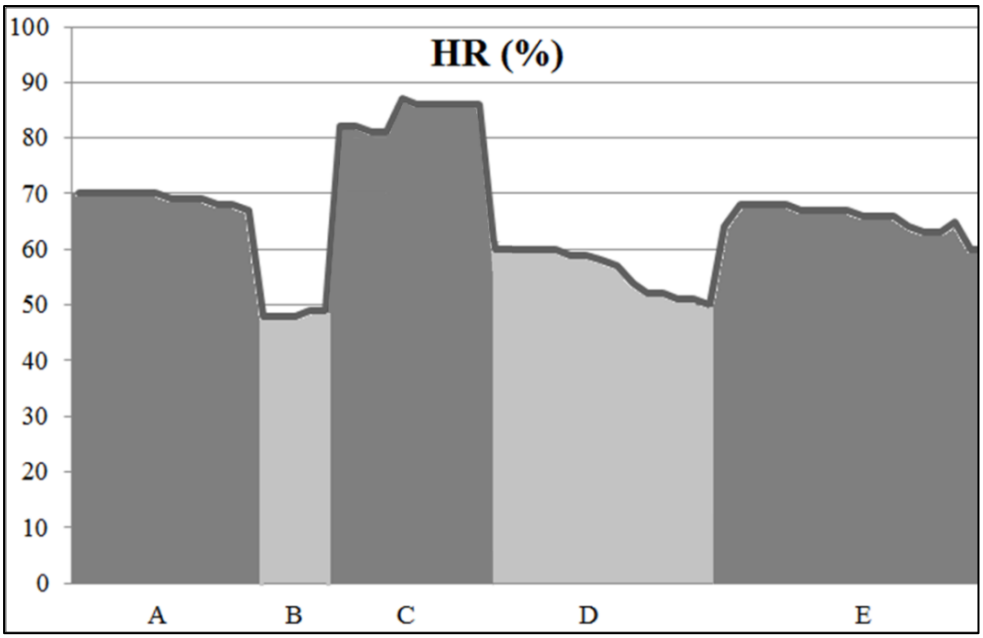
· Periodo C: Segundo periodo de bajas temperaturas

· Periodo D: Segundo periodo de altas temperaturas

· Periodo E: Tercer periodo de altas temperaturas



Gráfica 1. Evolución de la Temperatura del medio a lo largo del estudio y demarcación de los periodos térmicos establecidos



Gráfica 2. Evolución de la Humedad Relativa del medio a lo largo del estudio y demarcación de los periodos térmicos establecidos

Las diferencias de las temperaturas de cada región entre cada uno de los periodos se contrastó mediante análisis de varianza (ANOVA). En los casos en los que se detectaron diferencias significativas, se llevó a cabo ad Hoc un Test HSD (Honestly Significant Difference) de Tukey para identificar cuál es el periodo que más afecta a la variación de temperatura de cada región, con valores de influencia significativos para un p-value < 0.05.

Para detectar si existían regiones que se ven más afectadas por los cambios ambientales, se testó, mediante ANOVA entre los diferentes periodos, el valor de la diferencia entre la temperatura de la región y la del medio (diferencial térmico, DT). De este modo se pudo analizar si la homeostasis térmica del animal estaba más comprometida en algunas regiones que en otras, con independencia del periodo térmico en el que se mida.

Todos los dados obtenidos fueron analizados mediante el programa STATISTICA 7.0 para Windows.

3.2. Resultados

3.2.1. Estudio de la simetría térmica del animal

La comparación de la temperatura media entre la mitad derecha e izquierda del animal (Tabla 2) mostró una elevada simetría bilateral para la mayor parte de las regiones y sólo se detectaron diferencias significativas ($p<0,05$) entre los lados para las palmas de las manos cuando habían sido limpiadas, así como entre los miembros posteriores. Este hecho no es de extrañar si tenemos en cuenta la propia fricción de la piel durante la limpieza de las palmas de las manos y la patología articular que padece Flavia en su extremidad posterior.

Tabla 2. Estadísticos simples de la temperatura registrada en las diferentes regiones corporales del animal y comparación entre ambos lados mediante la prueba T de Student

Regiones anatómicas	Lado derecho	Lado Izquierdo	t-value	df	p	Valid N
Ojos	27,52 ± 0,69 (2,49)	27,73 ± 0,57 (2,04)	-0,24	24,00	0,81	13
Orejas	17,34 ± 1,28 (3,39)	19,69 ± 2,41 (6,38)	-0,86	12,00	0,41	7,00
Miembros anteriores	23,20 ± 1,13 (3,58)	25,09 ± 1,28 (4,25)	-1,10	19,00	0,29	10,00
Manos	25,17 ± 1,72 (4,54)	25,86 ± 2,26 (5,97)	-0,24	12,00	0,81	7,00
Palmas limpias	20,17 ± 1,98 (3,43)	23,89 ± 0,65 (1,85)	-2,39	9,00	0,04	3,00
Palmas sucias	21,15 ± 2,01 (4,01)	21,67 ± 2,61 (4,52)	-0,16	5,00	0,88	4,00
Dedos de las manos	24,26 ± 0,65 (3,97)	23,89 ± 0,60 (3,58)	0,42	71,00	0,67	37,00
Miembros posteriores	28,69 ± 1,03(4,37)	31,97 ± 1,16 (4,93)	-2,11	34,00	0,04	18,00
Pies	30,57 ± 1,24 (4,29)	32,92 ± 1,80 (6,24)	-1,07	22,00	0,29	12,00
Dedos de los pies	28,40 ± 0,88 (1,75)	29,68 ± 0,66 (1,86)	-1,14	10,00	0,28	4,00

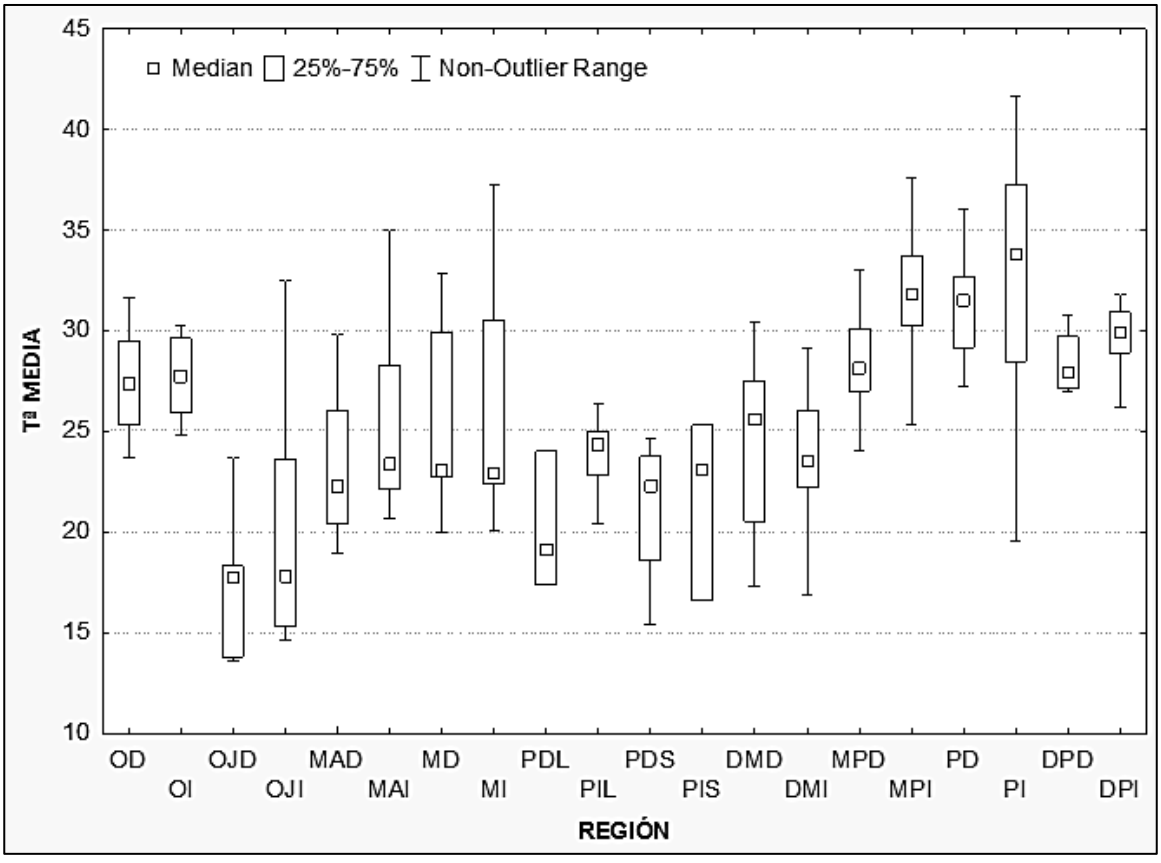
Valores marcados resultan significativos para $p < 0.05$

3.2.2. Análisis de la temperatura media por regiones anatómicas

A continuación, mediante Diagrama de Caja y Patillas (Gráfica 3) se muestran las temperaturas medias obtenidas en cada una de las regiones seleccionadas y para ambos lados del animal, durante el tiempo total del estudio. Aunque para la mayoría de las regiones los valores medios resultaron muy similares entre ambos lados, los rangos de variación pueden ser bastante dispares, lo cual se pone de manifiesto especialmente en las orejas y en los pies.

Las temperaturas medias también resultaron muy variables entre las diferentes regiones, siendo las orejas la región que muestra una menor temperatura, y el pie izquierdo y el miembro posterior izquierdo las que más.

Se aprecia también una diferencia notable entre la temperatura media de los miembros posteriores derecho e izquierdo, siendo en este último unos 3ºC más elevada. Lo mismo ocurre entre las palmas de la mano limpias, siendo también mayor la temperatura del lado izquierdo.



Gráfica 4. Temperaturas registradas a lo largo del estudio en diferentes regiones del animal

El estudio de correlación de Pearson (Tabla 3) entre la temperatura de las distintas regiones del lado de referencia (derecho), al que se han unido también las del lado izquierdo para aquellas regiones diferentes significativamente (MPI y PIS), ha reflejado una correlación positiva entre las temperaturas de la mano (MAD) y de la oreja (OD), así como entre la palma izquierda limpia de suciedad y los dedos del pie derecho, y entre éstos y el miembro posterior derecho. Además, hay una correlación negativa entre la temperatura del pie derecho y de los dedos de la mano derecha. Las correlaciones detectadas no parecen guardar una relación de proximidad regional, puesto que la temperatura de la planta del animal no se ve correlacionada con la de los dedos de ese mismo pie.

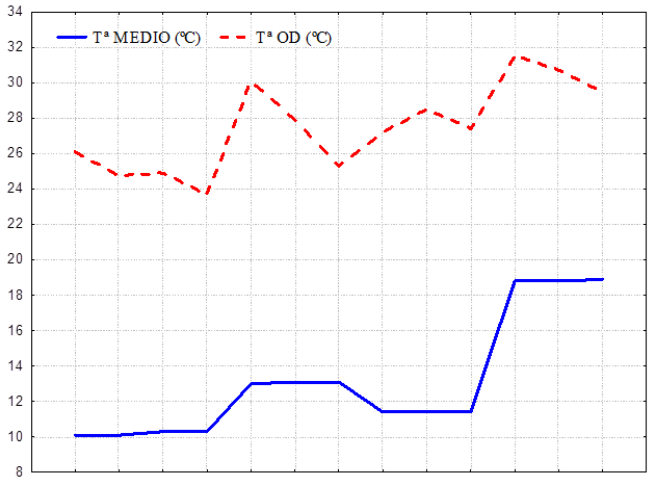
Tabla 2. Coef. de correlación de Pearson entre la temperatura de las diferentes regiones

	OD	OJD	MAD	MD	PDL	PIL	PDS	DMD	MPD	MPI	PD	DPD
OD	1.00	-0.44	-0.84	-0.41	-0.94	-0.44	-0.19	0.62	-0.55	-0.35	-0.68	-0.48
OJD		1.00	0.86	1.00*	0.10	-0.61	0.96	-0.98	-0.51	-0.69	0.96	-0.57
MAD			1.00	0.84	0.59	-0.12	0.69	-0.95	0.00	-0.22	0.97	-0.07
MD				1.00	0.07	-0.63	0.97	-0.97	-0.53	-0.71	0.95	-0.60
PDL					1.00	0.73	-0.17	-0.32	0.80	0.65	0.39	0.76
PIL						1.00	-0.80	0.42	0.99	0.99	-0.35	1.00*
PDS							1.00	-0.88	-0.72	-0.86	0.85	-0.77
DMD								1.00	0.31	0.51	-1.00*	0.38
MPD									1.00	0.98	-0.24	1.00*
MPI										1.00	-0.45	0.99
PD											1.00	-0.31
DPD												1.00

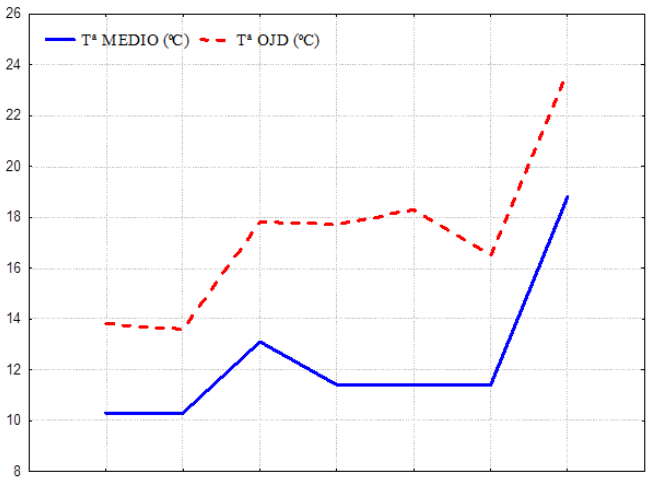
*: p-value < 0.05

3.2.3. Evolución de la temperatura media del animal a lo largo del estudio

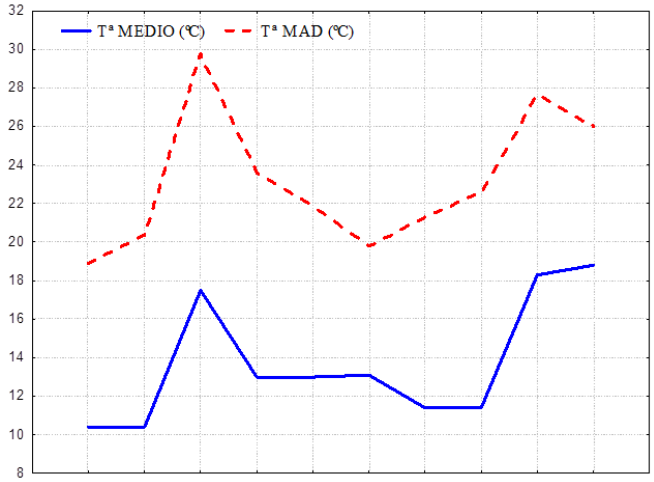
A lo largo del estudio, se ha observado que la temperatura de las diferentes regiones guarda una estrecha relación con la temperatura del medio (Gráficas 5 a 16). La temperatura ocular es la que más dista con la del medio y la temperatura de la parte más distal de los miembros la que más se aproxima. No obstante, en coincidencia con la lesión que padece Flavia, en los registros del miembro posterior izquierdo del animal se presentan picos de temperatura anormalmente altos (Gráfica 14), que no aparecen tan marcados en el lado derecho (Gráfica 13).



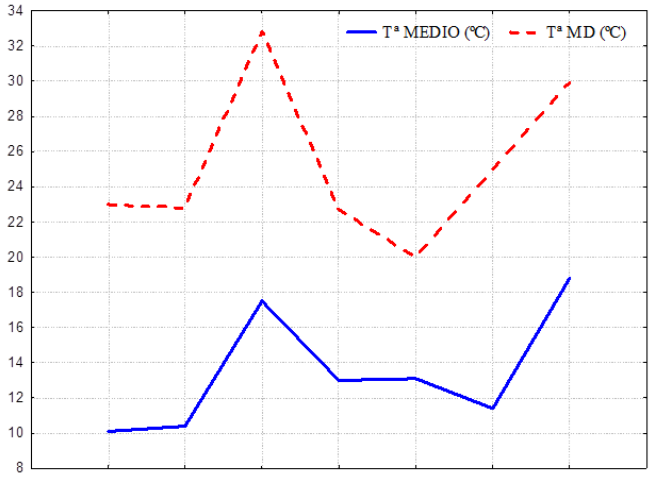
Gráfica 5. Ojo derecho (OD)



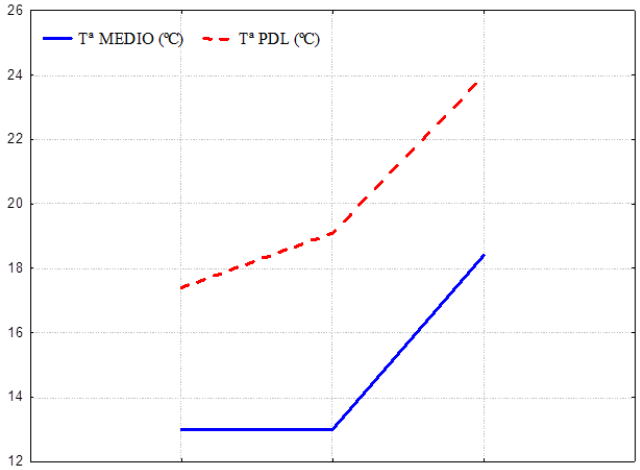
Gráfica 6. Oreja derecha (OJD)



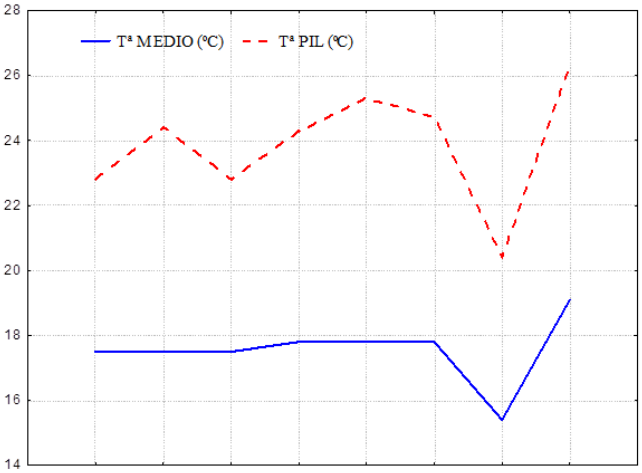
Gráfica 7. Miembro anterior derecho (MAD)



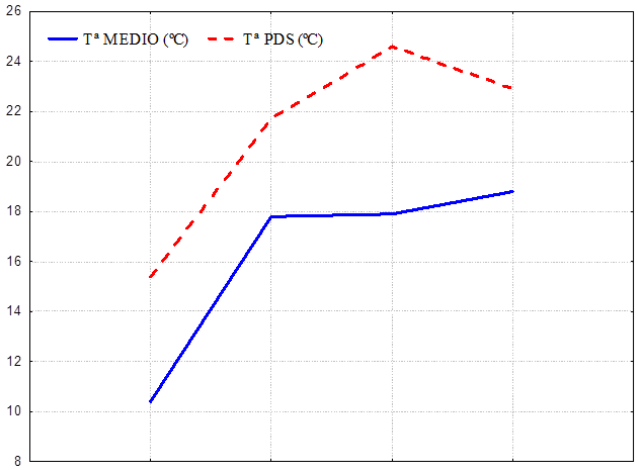
Gráfica 8. Mano derecha (MD)



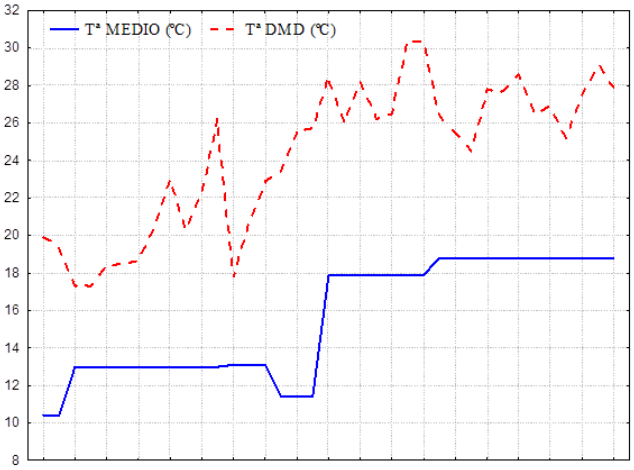
Gráfica 9. Palma derecha limpia (PDL)



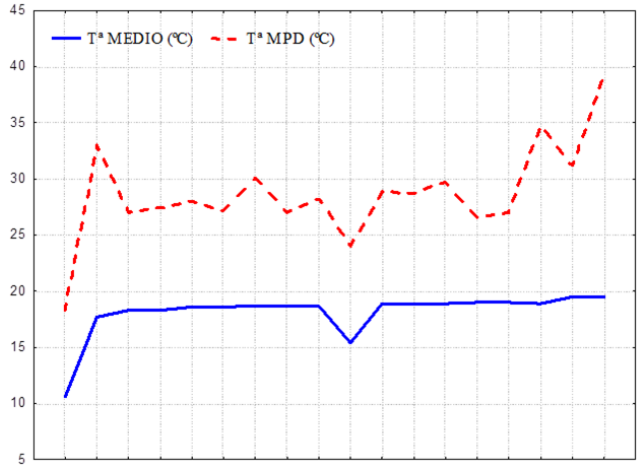
Gráfica 10. Palma izquierda limpia (PIL)



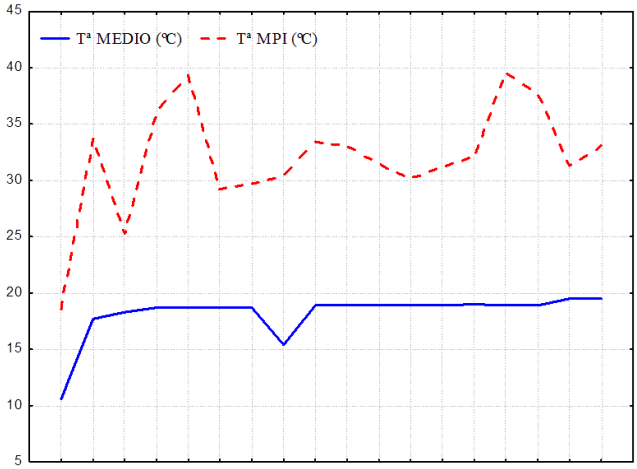
Gráfica 11. Planta derecha sucia (PDS)



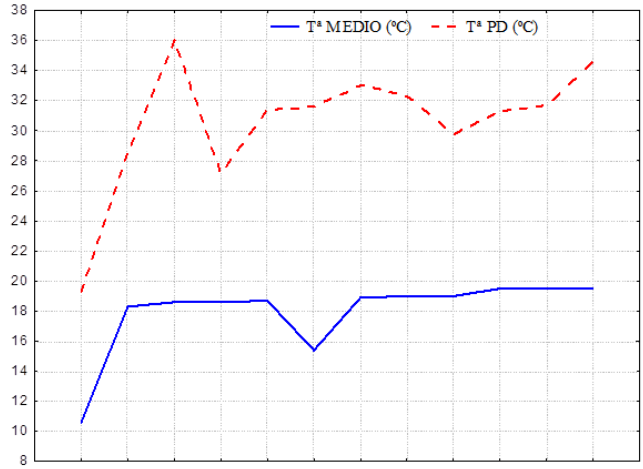
Gráfica 12. Dedos mano derecha (DMD)



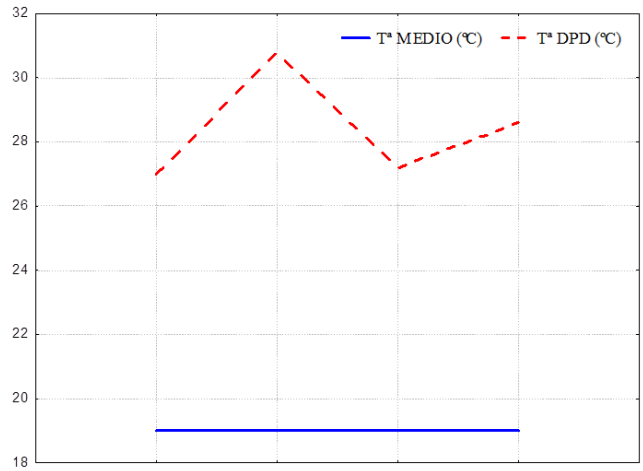
Gráfica 13. Miembro post. derecho (MPD)



Gráfica 14. Miembro post. izquierdo (MPI)



Gráfica 15. Pie derecho (PD)



Gráfica 16. Dedos del pie derecho (DPD)

3.2.4. Influencia de la estación sobre la temperatura media del animal

Al contrastar las diferencias de temperatura corporal entre periodos para cada región mediante ANOVA (Tabla 4), encontramos que el periodo de medición ha influido de manera significativa en todas las regiones excepto en las orejas, el miembro anterior (salvo porción distal) y los dedos de los pies.

Sobre cada una de las regiones que han dado diferencias significativas entre periodos, se realizó ad Hoc un Test HSD de Tukey dos a dos para determinar entre qué periodos climáticos se establecen dichas diferencias de temperatura corporal (Tablas 5, 6, 7, 8 y 9).

Tabla 4. ANOVA de la temperatura de cada región del animal a causa del periodo de medición

Regiones estudiadas	SS	df	MS	SS Error	df Error	MS Error	F-test	p-value
OD	46.82	3	15.61	27.54	9	3.06	5.10	0.02*
OJD	38.41	2	19.20	30.53	4	7.63	2.52	0.20
MAD	84.10	4	21.03	31.26	5	6.25	3.36	0.11
MD	120.11	4	30.03	3.67	2	1,83	16.39	0.06
PDS	44.13	2	22.06	4.21	1	4.21	5.25	0.29
PDL	22.04	1	22.04	1.45	1	1.45	15.25	0.16
PIL	7.41	2	3.71	16.51	5	3.30	1.12	0.40
DMD	413.80	3	137.93	152.93	33	4.63	29,76	< 0.01*
MPD	175.40	3	58.47	149.91	14	10.71	5.46	0.01*
MPI	200.20	3	66.73	212.28	14	15.16	4.40	0.02*
PD	142.36	2	71.18	59.89	9	6.65	10.70	< 0.01*
DPD	0.00	0	-	9.20	3	3.07	0.00	-

SS = Suma de Cuadrados df = Grados de Libertad MS = Media cuadrática (Varianza)

*: p-value < 0.05

Tabla 5. Influencias del periodo sobre la temperatura del ojo derecho (OD)

Periodo	A	B	C	D	E
A		…	0.20	0.05	**0.03***
B			…	…	…
C				0.90	0.50
D					0.78
E					

Tabla 6. Influencias del periodo sobre la temperatura de los dedos de la mano derecha (MD)

Periodo	A	B	C	D	E
A		…	0.98	**<0.01***	**<0.01***
B			…	…	…
C				**<0.01***	**<0.01***
D					…
E					

Tabla 7. Influencias del periodo sobre la temperatura del miembro posterior derecho (MPD)

Periodo	A	B	C	D	E
A		**0.03***	…	0.09	**0.01***
B			…	0.40	0.92
C				…	…
D					0.21
E					

Tabla 8. Influencias del periodo sobre la temperatura del miembro posterior izquierdo (MPI)

Periodo	A	B	C	D	E
A		0.07	…	**0.03***	**0.01***
B			…	0.96	1.00
C				…	…
D					0.85
E					

Tabla 9. Influencias del periodo sobre la temperatura del pie derecho (PD)

Periodo	A	B	C	D	E
A		…	…	**0.01***	**<0.01***
B			…	…	…
C				…	…
D					0.73
E					

Como es lógico, todas las regiones mostraron diferencias significativas entre aquellos periodos más distantes temporalmente y más dispares térmicamente (A y E). El periodo D, muy similar térmicamente al E, también resultó en temperaturas corporales significativamente distintas (<0.01) a las del periodo A para MD, MPI y PD.

Para intentar discernir si la diferencias de las temperaturas corporales encontradas entre los periodos son exclusivamente de tipo climático o si existe alguna otra causa subyacente relacionada con una diferente capacidad homeostática en cada región, hemos repetido el análisis comparativo (ANOVA) entre periodos, pero esta vez tomando como variable dependiente el diferencial de temperatura entre la región y el entorno (Tabla 10). En ningún caso encontramos diferencias en función de los periodos, aunque la oreja ofreció un valor $p = 0.07$, muy próximo a la significación ($p < 0.05$). El mayor diferencial térmico (DF) se observa en el ojo y los menores en las palmas, lo cual resulta lógico por estar directamente en contacto con el medio, incluso si no han sido limpiadas previamente. El bajo DF encontrado en la oreja nos muestra claramente su papel como ventana térmica. El DF medio de la extremidad lesionada (posterior izquierda) resultó muy elevado, consecuencia del proceso inflamatorio que probablemente sufre el animal. Especial atención merece el valor relativamente elevado encontrado en el pie derecho, que pudiera estar indicando alguna alteración subyacente o ser resultado de la sobrecarga compensatoria consecuente a la artrosis de la extremidad izquierda.

Tabla 10. Valores medios de la diferencia térmica entre el cuerpo del animal y el medio (DF) en las diferentes regiones para el tiempo total del estudio y análisis comparativo de varianzas (ANOVA) entre los cinco periodos climáticos establecidos

Regiones	Valid N	Mean	Std.Dev.	Standard Error	F	p
OD	13,00	14,38	2,06	0,57	2,80	0,10
OJD	7,00	4,96	1,33	0,50	5,58	**0,07**
MAD	10,00	9,47	1,73	0,55	1,95	0,24
MD	7,00	11,70	2,77	1,05	5,17	0,17
PDS	4,00	4,93	1,28	0,64	0,12	0,90
PDL	3,00	5,37	0,87	0,50	0,06	0,85
PIL	8,00	6,34	0,99	0,35	0,86	0,48
DMD	37,00	8,71	2,61	0,43	0,39	0,68
MPD	18,00	10,57	3,29	0,77	1,43	0,28
MPI	18,00	13,80	3,85	0,91	0,68	0,62
PD	12,00	12,60	2,80	0,81	1,36	0,32
DPD	4,00	9,40	1,75	0,88	-	-

3.3. Discusión

Al no ser posible tomar la temperatura rectal del animal, para interpretar los resultados obtenidos se ha considerado emplear el valor de referencia de la especie. Así, dependiendo del método de medición, se estima que la temperatura corporal en los elefantes de ambas especies (asiática y africana) está entre 35,0 y 37,5 ° C (Weissenböck *et al.*, 2010).

Melero *et al* (2009) considera que, en mamíferos, la temperatura del ojo registrada por termografía es la de mayor correspondencia con la temperatura rectal. En nuestro caso, los valores termográficos medios tomados en el ojo oscilaron entre 24 y 32 ºC, cifras sensiblemente inferiores a lo anteriormente referido, lo cual sugiere que podría requerirse delimitar con mayor precisión el área de registro de la imagen.

Los niveles térmicos que hemos registrados a nivel superficial en nuestra elefanta asiática son muy variables según las regiones y circunstancias climáticas, pero pueden llegar a medir hasta 10ºC menos que la temperatura corporal de referencia, sin duda influida por el nivel de grasa corporal y el espesor de la piel propia de esta especie (Cilulko *et al.*, 2012).

Una de las aplicaciones de la termografía infrarroja en el estudio de los animales es la determinación de sus ventanas térmicas. Por ventana térmica se entiende aquella zona del animal que es capaz de disipar una gran cantidad de calor corporal con respecto a otras áreas del animal. Estudios de termografía en elefantes africanos (*Loxodonta* africana), han demostrado que las orejas constituyen la principal ventana térmica en estos animales, con diferencias de hasta más de 5 ºC por debajo del resto de regiones (Weissenböck *et al.*, 2010). Pese a que las orejas del elefante asiático son de menor tamaño que su pariente africano, este estudio ha demostrado que tienen una importante función termorreguladora y que podrían ser consideradas como la principal ventana térmica en estos animales, ya que han presentado temperaturas de entre 17 y 19ºC, bastante por debajo del resto de regiones (25-30 ºC).

Los factores climáticos, en especial la temperatura del medio, influyen de manera directa sobre la temperatura superficial de los animales, lo que supone una clara limitación a la hora de interpretar los datos obtenidos con un estudio termográfico (Cilulko *et al.*, 2012). Esto ha podido comprobarse en el presente trabajo, ya que la temperatura media de todas las regiones del animal ha cambiado de manera casi proporcional a la temperatura del medio,

manteniendo constante la diferencia térmica (DF) a través de los distintos periodos climáticos que se han sucedido en la prueba.

Por otra parte, ciertas patologías pueden provocar inflamación y un aumento del flujo sanguíneo, lo que va a aumentar a la temperatura superficial de la zona lesionada (Melero *et al.*, 2010). El análisis de la simetría térmica revela diferencias entre los miembros posteriores del animal, con una mayor temperatura en la extremidad posterior izquierda. Conociendo de antemano la existencia de una lesión de carácter osteoarticular en esta región del animal, el presente trabajo no hace sino reafirmar la capacidad de la termografía a la hora de detectar posibles alteraciones existentes, incluso cuando estas no son evidentes a simple vista.

En cuanto a la diferencia de temperatura entre las palmas de las manos, ésta podría deberse a su propio arreglo, ya que en algunas ocasiones se ha realizado con limas y en otras con una radial, la cual aumenta considerablemente la temperatura de la superficie. No obstante, no se puede descartar la presencia de lesiones en las manos y sería recomendable realizar un estudio más pormenorizado de la zona visiblemente afectada, así como valorar la posible afectación del pie derecho, dado que hemos encontrado algo elevado su valor de diferencia térmica con relación al medio.

Finalmente, recalcar la importancia de mantener unos rangos de temperatura adecuados en la zona de descanso del animal, ya que, de acuerdo a las directrices de gestión para el bienestar de los animales de parques zoológicos publicados por la BIAZA (British and Irish Association of Zoos & Aquariums), la temperatura mínima de estas instalaciones debe ser de 15 ºC, o de 21 ºC para el caso de elefantes enfermos o debilitados.

4. CONCLUSIONES

La asimetría térmica es un buen indicativo de la presencia de alteraciones en el animal, aunque puede estar debida a factores externos.

No se ha podido demostrar que el ojo sea un punto térmico de referencia en el elefante asiático, aunque sí es una de las regiones anatómicas que menor variación térmica presenta.

Los factores térmico-ambientales influyen en gran medida en los resultados obtenidos mediante termografía infrarroja, lo que refleja la importancia de estandarizar las mediciones.

La termografía infrarroja ha demostrado ser un método eficaz a la hora de detectar posibles alteraciones y lesiones de manera no invasiva, así como las adaptaciones al medio para mantener el balance térmico y la homeostasis, por lo que es un método valido para el estudio del bienestar animal.

En conclusión, este trabajo puede servir de base a la hora de profundizar más en el empleo de la termografía infrarroja en el elefante asiático y en otros animales de zoológico.

5. BIBLOGRAFÍA

Aguilar L, García-Millán I, Melero M, Rodríguez-Prieto V, Delclaux M, Sánchez-Vizcaíno JM (2012). Aplicación de la termografía infrarroja al estudio de la termorregulación en lémures de cola anillada y casuarios (VII Jornadas Complutense, VI Congreso Nacional de Investigación para Alumnos de Pregrado en Ciencias de la Salud y XI Congreso de Ciencias Veterinarias y Biomédicas; Madrid)

Alencar I, Garófallo R, Ribeiro F (2014). Infrared thermal image for assessing animal health and welfare

Arenas A, Gomez F, Salas R, Carrasco P, Borge C, Maldonado A, O'Brien D, Martinez-Moreno FJ (2002). An evaluation of the application of infrared thermal imaging to the tele-diagnosis of sarcoptic mange in the Spanish ibex (*Capra pyrenaica*) Vet Parasitol 109:111-117

BIAZA (British and Irish Association of Zoos & Aquariums) - Management Guidelines for the Welfare of Zoo Animals (Elephants) (ISSN 0963-1712) (2006)

Broch H, Melero M, Sánchez-Vizcaíno JM (2012). Aplicación de la termografía al estudio de la fauna europea (ISSN: 1989-5003)

Castro A (2013) Aplicación de la termografía infrarroja y de sensores de pH y temperatura en rumiantes

Cilulko J, Janiszewski P, Bogdaszewski M, Szczygielska E (2012). Infrared thermal imaging in studies of wild animals

Dunbar MR, MacCarthy KA (2006). Use of infrared thermography to detect sings of rabies infection in raccoons (Procyon lotor). J Zoo Wildl Med 37(4):518–523

Dunbar MR, Johnson SR, Ryan JC, McCollum M (2009). Use of infrared thermography to detect thermographic changes in mule deer (Odocoileus hemionus) experimentally infected with footand- mouth disease. J Zoo Wildl Med 40(2):296–301

Durrant BS, Ravida N, Spady T, Cheng A (2006). New technologies for the study of carnivore reproduction. Theriogenology 66:1729– 1736

Falcó L, Melero M, Delclaux M, Alcántara G, Sánchez-Vizcaíno JM. (2014). "Estudio de la termorregulación en lémures mediante termografía". IX Jornadas Complutense, VIII Congreso Nacional de Investigación para Alumnos de Pregrado en Ciencias de la Salud y XIII Congreso de Ciencias Veterinarias y Biomédicas. Madrid.

García-Millán I, Aguilar L, Rodríguez-Prieto V, Melero M, Delclaux M, Sánchez-Vizcaíno JM (2012). Termografía aplicada al diagnóstico de gestación en jirafas. VII Jornadas Complutense, VI Congreso Nacional de Investigación para Alumnos de Pregrado en Ciencias de la Salud y XI Congreso de Ciencias Veterinarias y Biomédicas. Madrid.

Geburt K (2014). Evaluation of non-invasive biomarkers for behaviour traits in beef and dairy cattle

Herborn KA, Graves JL, Jerem P, Evans NP, Nager R, McCafferty DJ, McKeegan, DEF (2015). Skin temperature reveals the intensity of acute stress

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)

Klir JJ, Heath JE, Bennani N (1990). An infrared thermographic study of surface temperature in relation to external thermal stress in the Mongolian gerbil, Meriones unguiculatus. Comp Biochem Physiol A 96(1):141–146

Knížková I, Kunc P, Gürdil GAK, Pinar Y, Selvi KÇ (2007). Applications of infrared thermography in animal production

Kuhn RA, Meyer W (2009). Infrared thermography of the body Surface in the Eurasian otter Lutra lutra and the giant otter Pteronura brasiliensis. Aquat Biol 6:143–152

McCafferty DJ (2007). The value of infrared thermography for research on mammals: previous applications and future directions. Mammal Rev 37(3):207–223

Melero M, Delclaux M, Sánchez-Vizcaíno Rodríguez JM (2009). Aplicación de la termografía para el estudio de los koalas (ISSN: 1988-2688 / RCCV 3(2):51-59)

Melero M, López I, Sánchez-Vizcaíno, JM (2010). "Aplicación de la termografía en el diagnóstico y valoración de la pododermatitis plantar en rapaces". Revista Complutense de Ciencias Veterinarias, 4(2):61-68.

Melero M, Sánchez-Vizcaíno Rodríguez JM (2010). Aplicación de la termografía a la fauna salvaje. Profesión Veterinaria 74: 78-83.

Melero M, Aguilar L, García-Millán I, Delclaux M, Sánchez-Vizcaíno JM (2011). "Aplicación de la termografía al diagnóstico y seguimiento de gestación en animales de zoo". VI Jornadas Complutense, V Congreso Nacional de Investigación para Alumnos de Pregrado en Ciencias de la Salud y X Congreso de Ciencias Veterinarias y Biomédicas. Madrid.

Melero M, García-Millán I, Aguilar L, Delclaux M, Sánchez-Vizcaíno JM (2011). "Aplicación de la termografía al estudio de diferentes mecanismos de termorregulación en animales de zoo". VI Jornadas Complutense, V Congreso Nacional de Investigación para Alumnos de Pregrado en Ciencias de la Salud y X Congreso de Ciencias Veterinarias y Biomédicas. Madrid.

Melero M, González F, Nicolás O, López I, Jiménez Mde L, Jato-Sánchez S, Sánchez-Vizcaíno JM (2013). "Detection and assessment of electrocution in endangered raptors by infrared thermography". BMC Vet Res. 9:149. 7/2013.

Nakayama K, Goto S, Kuraoka K, Nakamura K (2005) Decrease in nasal temperature of rhesus monkeys (Macaca mulatta) in negative emotional state. Physiol Behav 84:783–790

Pérez de Diego AC, Ortega C, Domínguez L, Sánchez-Vizcaíno JM (2008)."Potencial Utilización de la termografía infrarroja para la lectura de la IDTB en cabras". RCCV, Vol2 (2). ISSN:1988-2668.

Pérez de Diego AC, Sánchez-Cordón PJ, Pedrera M, Martínez-López B, Gómez-Villamandos JC, Sánchez-Vizcaíno JM (2013). "The use of infrared thermography as a non-invasive method for fever detection in sheep infected with bluetongue virus". The Veterinary Journal. In press (Online 9/2013).

Ruiz AC, Sánchez R, Melero M, Delclaux M, Sánchez-Vizcaíno JM (2014). "Aplicación de la termografía al estudio de la termorregulación de hipopótamos". IX Jornadas Complutense, VIII Congreso Nacional de Investigación para Alumnos de Pregrado en Ciencias de la Salud y XIII Congreso de Ciencias Veterinarias y Biomédicas. Madrid.

Sánchez R, Ruiz AC, Melero M, Delclaux M, Sánchez-Vizcaíno JM (2014). "Aplicación de la termografía en el diagnóstico de gestación de rinoceronte blanco". IX Jornadas Complutense, VIII Congreso Nacional de Investigación para Alumnos de Pregrado en Ciencias de la Salud y XIII Congreso de Ciencias Veterinarias y Biomédicas. Madrid.

Sanz A, Vicente M, Barneto A, Sánchez-Vizcaíno, JM (2008). "Diagnóstico de Fibrosarcoma Felino por imagen termográfica". RCCV, Vol2 (2). ISSN:1988-2668

Sanz A, Vicente M, Castaño M, Sánchez-Vizcaíno, JM (2008). "Utilización de imagen termográfica en el diagnóstico de patologías caninas". RCCV, Vol2 (2). ISSN:1988-2668.

Speakman JR, Ward S (1998). Infrared thermography: Principles and applications. Zoology 101: 224-232

Stewart M, Webster JR, Schaefer AL, Stafford KJ (2008). Infrared thermography and heart rate variability for non-invasive assessment of animal welfare

Sumbera R, Zelova J, Kunc P, Knizkova I, Burda H (2007). Patterns of surface temperatures in two male-rats (Bathyergidae) with different social system as revealed by IR-thermography. Physiol Behav 92(3):526–532

Tattersal GJ, Cadena V (2010). Insight into animal temperatura adaptations revealed through thermal imaging. Imaging Sci J 58:281–286

Vainionpää M (2014). Thermographic Imaging in Cats and Dogs: Usability as a Clinical Method ISBN 978-952-10-9942-7

Weissenböck NM (2010).Thermoregulation of african (loxodonta africana) and asian (elephas maximus) elephants: Heterothermy as an adaptation of living in hot climates

Weissenböck NM, Weiss CM, Schwammer HM, Kratochvil H (2010). Thermal windows on the body surface of african elephants (loxodonta africana) studied by infrared thermography

Williams TM (1990). Heat transfer in elephants: Thermal partitioning based on skin temparature profiles (Journal of Zoology; London)