

ETOLOGÍA Y BIENESTAR ANIMAL EN LA ESPECIE CUNÍCOLA: TERMOGRAFÍA APLICADA A LA VALORACIÓN DEL ESTRÉS EN CONEJOS

TESIS DOCTORAL



Juan Antonio Jaén Téllez

Sevilla, 2022



**Grupo de Investigación MERAGEM
PAI AGR-273**



**Departamento de Agronomía
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica
Universidad de Sevilla**



Universidad de Sevilla

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica

Programa de Doctorado Interuniversitario en Ingeniería Agraria, Alimentaria,
Forestal y del Desarrollo Rural Sostenible

Línea de investigación: Producción Animal

TESIS DOCTORAL

“ETOLOGÍA Y BIENESTAR ANIMAL EN LA ESPECIE CUNÍCOLA:
TERMOGRAFÍA APLICADA A LA VALORACIÓN DEL ESTRÉS EN
CONEJOS”

Autor: Juan Antonio Jaén Téllez

Directores:

Dra. María Mercedes Valera Córdoba

Dr. Pedro González Redondo

Dra. María José Sánchez Guerrero

Tutora: Dra. María Mercedes Valera Córdoba

Sevilla, 2022



Universidad de Sevilla

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica

Programa de Doctorado Interuniversitario en Ingeniería Agraria, Alimentaria, Forestal y del
Desarrollo Rural Sostenible

Línea de investigación: Producción Animal

TESIS DOCTORAL

TÍTULO DE LA TESIS DOCTORAL:

**“ETOLOGÍA Y BIENESTAR ANIMAL EN LA ESPECIE CUNÍCOLA:
TERMOGRAFÍA APLICADA A LA VALORACIÓN DEL ESTRÉS EN CONEJOS”**

DOCTORANDO: **JUAN ANTONIO JAÉN TÉLLEZ**

La presente Tesis Doctoral cumple con los requisitos establecidos por la Universidad de Sevilla para su presentación por compendio de publicaciones, al estar integrada por tres artículos publicados en revistas científicas incluidas en los tres primeros cuartiles de la lista de revistas del ámbito de la especialidad y referenciadas en los últimos datos publicados por el Journal Citations Reports (JCR):

- **Jaén-Téllez JA**, Sánchez-Guerrero MJ, López-Campos JI, Valera M, González-Redondo P. 2020. Acute stress assessment using infrared thermography in fattening rabbits reacting to handling under winter and summer conditions. Span. J. Agric. Res., 18: e0502. <https://doi.org/10.5424/sjar/2020182-15706>

Índice de Impacto: 1,238 (JCR, 2020). 3^{er} cuartil (2º tercil)

Área: Agriculture, Multidisciplinary - SCIE (2020). Posición 31/57

- **Jaén-Téllez JA**, Sánchez-Guerrero MJ, Valera M, González-Redondo P. 2021. Influence of stress assessed through infrared thermography and environmental parameters on the performance of fattening rabbits. *Animals*, 11: 1747. <https://doi.org/10.3390/ani11061747>

Índice de impacto: 2,752 (JCR 2020). 1^{er} cuartil (1^{er} tercil)

Área: Veterinary Sciences - SCIE (2020). Posición 19/146

- **Jaén-Téllez JA**, Bartolomé E, Sánchez-Guerrero MJ, Valera M, González-Redondo P. 2021. Relationship between rectal temperature measured with a conventional thermometer and the temperature of several body regions measured by infrared thermography in fattening rabbits. Influence of different environmental factors. *World Rabbit Sci.*, 29: 263-273. <https://doi.org/10.4995/wrs.2021.15556>

Índice de impacto: 1,233 (JCR 2020). 3^{er} cuartil (2^o tercil)

Área: Agriculture, Dairy & Animal Science - SCIE (2020). Posición 40/63

El Conejo

El conejo se tiene en todas las casas pal gasto, porque es mu buen apaño y no se vende, a no ser un compromiso mu grande con algún vecino o un familiar. Antes se les daba solo hierba; pero ahora se les pone también pienso y grano y rasca, una planta bravía. Los gitanos se ganaban la vida con la rasca, la cortaban y hacían canastos, unas cestas estupendas, y de caña también las hacían; pero esas grandes pa la fruta eran de rasca. La rasca se coge en haces y se lleva a la casa y se le va echando a los conejos, que van dejando solo el corazón, la cáscara de los tallejos es lo más válido pal conejo.

La coneja cría todos los meses, antes tenía tres conejos en cada uno (camada), pero ahora tienen hasta ocho y nueve en cada cría, es que han cogió ellos (los conejos) un control que les da resultado. Hay que tener macho bueno y echárselo a la coneja a su tiempo y quitárselo también, porque ellas crían solas; poco después de tener las crías se le quitan y se ponen juntas con las de las otras conejas y a toas se le vuelve a meter el patrón (el macho) pa que críen otra vez.

La mujer va por hierba todas las mañanas, o a por alfalfa al huerto de la familia, si está cerca del pueblo; la alfalfa se pone a secar al sol sobre unas tablas y se les echa oreá y es mu buena pa que se la coman. Por el verano, con la calor, no se les puede echar por las mañanas, porque se mueren, además escasea la hierba de los alrededores y luego los huertos están ocupaos, así que los hombres, cuando venimos del campo, traemos un haz de hierba o de rasca, si hemos tenío lugar de arrecogerlo y, si no, se les da un poco de pienso o grano.

Navarro Alcalá-Zamora.

Tratadillo de Agricultura Popular

Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible.

Junta de Andalucía.

*“...ningún animal es más difícil de domesticar que el gazapo del conejo silvestre;
y casi ningún animal es más dócil que el gazapo del conejo doméstico”*

Charles Darwin.

AGRADECIMIENTOS

Llevar a cabo este trabajo ha supuesto no solo un gran esfuerzo, también un motivo de satisfacción y sentimiento constante de apoyo de las personas que me han rodeado durante estos años.

En primer lugar quiero dar mi agradecimiento sincero a mis directores de Tesis, Mercedes Valera Córdoba, Pedro González Redondo y a María José Sánchez Guerrero. Me ha permitido conocer a unas personas con unos grandes valores personales y profesionales. Gracias por vuestra paciencia, la disponibilidad en cualquier momento, por vuestro estímulo. Ha sido una suerte teneros como directores. Sin vuestros conocimientos y apoyo hubiera sido difícil andar este camino. Muchas gracias a los tres por la oportunidad que me habéis dado, ha sido una verdadera suerte contar con vosotros. Sois fuente de sabiduría, esfuerzo y amabilidad.

A mi familia, un sentido agradecimiento. A mis padres, por haber confiado en mí siempre, no solo en esta etapa, sino en todas las que me han llevado hasta aquí, lo que ha supuesto siempre una motivación para hacer todo aquello que me he propuesto. Siempre he tenido el aliento de ellos. Aunque en estos últimos años mi madre no ha estado a mi vera, sí la ha sentido muy cerca, transmitiéndome el ánimo y cariño que le caracterizaba. A mi mujer y a mis hijos, motivos de mi gran felicidad. A Isabel por haberme apoyado y estimulado en las fases de crisis para que llevara a buen puerto este proyecto. A Andrés, Isabel y Cayetana que a pesar de no entender muy bien por qué y para qué dedicaba tantas horas al estudio y la lectura, estaban ahí diciendo “papá está con la Tesis”. Les tengo que agradecer que sí supieran respetar que en esos momentos no les dedicara el tiempo a ellos y sí a los conejos. Espero que esas “ausencias” sean una motivación para su vida personal y académica. A mis hermanos, Curri, Maripili y Alfonso, que son un gran apoyo.

A mis amigos y compañeros de trabajo, especialmente a Rafa, Pablo, Pilar, Juan Javier y Ricardo que han vivido de cerca la preparación de esta Tesis, por estar ahí, por vuestro apoyo y cariño. A mi entrañable amigo Sebastián Guzmán Guzmán, compañero de muchas batallas y horas dedicadas a nuestra común pasión, el perro Ratonero Bodeguero Andaluz, siempre le estaré agradecido por su confianza y amistad sincera.

No puedo terminar sin hacer un reconocimiento a la pieza básica de esta Tesis, el conejo. Animal que ha supuesto una importante fuente alimento durante toda la historia de nuestra querida tierra, no solo para las personas, sino para otras especies que hacen que la biodiversidad de España sea tan rica. Es más que merecido que nuestro país se denomine Tierra de Conejos, su animal insignia.

ÍNDICE



Índice de Contenidos

LISTADO DE ABREVIATURAS UTILIZADAS.....	17
RESUMEN.....	21
ABSTRACT.....	21
INTRODUCCIÓN	31
OBJETIVOS.....	41
CAPÍTULOS	45
1. CAPÍTULO 1. EVALUACIÓN DEL ESTRÉS AGUDO EN CONEJOS DE ENGORDE REACCIONANDO A LA MANIPULACIÓN	45
2. CAPÍTULO 2. INFLUENCIA DEL ESTRÉS Y PARÁMETROS AMBIENTALES EN EL RENDIMIENTO DE CONEJOS DE ENGORDE.....	62
3. CAPÍTULO 3. RELACIÓN ENTRE LA TEMPERATURA RECTAL Y LA TEMPERATURA DE VARIAS REGIONES DEL CUERPO MEDIDA POR TERMOGRAFÍA INFRARROJA EN CONEJOS DE ENGORDE	79
DISCUSIÓN GENERAL	97
CONCLUSIONES.....	113
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	117
MÉRITOS RELACIONADOS CON LA TESIS	117
1. PUBLICACIONES EN REVISTAS JCR.....	135
2. PUBLICACIONES EN REVISTAS DE DIVULGACIÓN	136
3. LIBROS COMPLETOS.....	138
4. CONGRESOS INTERNACIONALES	139
5. CONGRESOS NACIONALES	140
6. CURSOS IMPARTIDOS	141

LISTADO DE ABREVIATURAS UTILIZADAS

ADG: Ganancia media diaria

DFI: Ingesta diaria de pienso

DIF: Diferencia de temperatura tomada por termografía infrarroja en el oído interno de los animales, antes y después de ser manipulados

EFSA: Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria

ETT: Temperatura del ojo obtenida mediante termografía infrarroja

FAOSTAT: Base de datos estadística institucional de la Organización para la Agricultura y la Alimentación

FCR: Índice de conversión alimentaria

HPA: Hipotálamo-hipófisis-adrenocortical

IETT: Temperatura del oído obtenida mediante termografía infrarroja

IRT: Termografía infrarroja

MAPA: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación

NTT: Temperatura de la nariz obtenida mediante termografía infrarroja

OETT: Temperatura de la oreja obtenida mediante termografía infrarroja

RT: Temperatura rectal

TBW: Peso corporal total

TFI: Ingesta total de pienso

THI: Índice temperatura-humedad

TWG: Ganancia total de peso

RESUMEN / ABSTRACT



RESUMEN

La temperatura corporal de los animales es un indicador fisiológico que permite valorar su estado de salud y el nivel de estrés. Los conejos a menudo experimentan estrés cuando perciben ciertos estímulos, como la manipulación realizada por el hombre en las granjas cunícolas. La respuesta fisiológica de los conejos al estrés está asociada con la eficiencia de la alimentación, siendo los animales con menor capacidad de reacción al estrés los que muestran el mayor rendimiento. La temperatura corporal ha sido medida tradicionalmente vía rectal mediante termómetro convencional, existiendo actualmente alternativas como la termografía infrarroja. Para la realización de la presente Tesis Doctoral, se establecieron tres estudios sobre conejos fenotípicamente similares a la raza autóctona Antiguo Pardo Español durante un período de engorde de 38 días.

En el primero de los estudios se evaluó el estrés agudo midiendo, mediante termografía infrarroja (IRT) en las estaciones cálida (primavera) y fría (invierno), la temperatura del ojo (ETT), del oído externo (OETT), del oído interno (IETT) y de la nariz (NTT) en 40 conejos durante la fase de engorde. Las medidas se realizaron dos veces por semana y dos veces al día, antes y después de que un manipulador sostuviera a los conejos con los brazos durante un minuto. También se registraron la temperatura ambiente y la humedad relativa, evaluándose su influencia en la temperatura corporal. Para las cuatro partes anatómicas, en donde se tomó la temperatura infrarroja, se calculó la variación de la temperatura entre el conejo manipulado y no manipulado. También se estimó la diferencia entre la temperatura de cada región anatómica del conejo no manipulado y la temperatura ambiente.

La variación de temperatura entre los conejos manipulados y no manipulados osciló entre $0,25 \pm 0,04$ °C para ETT y $3,09 \pm 0,22$ °C para OETT en la estación cálida (primavera) y de $-0,41 \pm 0,18$ °C para NTT a $2,09 \pm 0,18$ °C para OETT en la estación fría (invierno). El día del transcurso del período de engorde influyó en todos los rangos de temperatura durante las estaciones cálida (primavera) y fría (invierno), a excepción del IETT en el invierno. En primavera, a diferencia del invierno, la variación de temperatura al final del período de engorde, entre conejos manipulados y no manipulados, fue menor que al destete ($-0,04$ a $1,94$ °C vs $0,54$ a $5,52$ °C). Las temperaturas en conejos no manipulados se correlacionaron positivamente y de forma significativa ($p < 0,05$, excepto en nariz) con la temperatura ambiente.

En el segundo estudio se evaluó, durante dos épocas del año (primavera e invierno), el impacto, sobre los parámetros de rendimiento en 39 conejos de engorde, del estrés por calor (índice

temperatura-humedad; THI) y del estrés del conejo debido a la manipulación. Este estrés fue evaluado mediante la diferencia de temperatura tomada por termografía infrarroja en el oído interno, antes y después de ser manipulados (DIF). Para ello, se estableció una escala en función del valor DIF: nivel 1 (no estresado): $DIF \leq 0$ °C; nivel 2 (levemente estresado): $0 < DIF \leq 5$ °C; nivel 3 (estresado): $5 < DIF \leq 10$ °C y nivel 4 (muy estresado): $DIF > 10$ °C.

Los rendimientos productivos obtenidos en los conejos fueron bajos, al tratarse de una raza rústica no mejorada. La ingesta diaria de pienso (DFI) fue de $77,80 \pm 1,34$ g/d, la ganancia media diaria (ADG) fue de $25,80 \pm 0,46$ g/d, el peso corporal total (TBW) fue de $1383,38 \pm 40,42$ g, la ingesta total de pienso (TFI) fue de $2956,57 \pm 94,85$ g, la ganancia total de peso (TWG) fue de $940,18 \pm 30,91$ g y el índice de conversión alimenticia (FCR) fue de $3,18 \pm 0,06$. Los animales fueron más productivos en la estación fría, ya que los valores obtenidos para la DFI ($80,30 \pm 2,63$ g/d temporada fría vs $76,21 \pm 1,42$ g/d temporada cálida), la ADG ($27,39 \pm 0,83$ g/d vs $24,79 \pm 0,52$ g/d), el TBW ($1445,39 \pm 61,36$ g vs $1335,49 \pm 52,66$ g), la TFI ($3027,35 \pm 50,31$ g vs $2901,87 \pm 119,90$ g) y la TWG ($961,72 \pm 17,79$ g vs $924,94 \pm 35,60$ g) fueron mayores, mientras que el FCR fue mayor en la estación cálida ($3,08 \pm 0,09$ vs $3,24 \pm 0,07$). El THI influyó significativamente en la ADG y DFI. Los conejos con niveles más altos de estrés mostraron valores más altos de ADG, DFI y FCR. Cuanto mayor era el estrés debido al manejo, menos eficientes eran los animales. El FCR aumentó al incrementarse el THI.

En el tercer estudio se buscaron alternativas a la tradicional medición de la temperatura rectal (RT) que es usada habitualmente en el examen clínico de los conejos. En estos exámenes clínicos la temperatura se suele registrar con un termómetro digital introducido por vía rectal, siendo un procedimiento invasivo que podría producir estrés por manipulación. Para buscar alternativas que no perturben el bienestar del conejo, se evaluó la temperatura corporal, mediante el uso de una cámara de IRT, dos veces por semana en las mismas cuatro áreas de la anatomía del conejo utilizadas en los dos estudios anteriores: ETT, OETT, IETT y NTT. Se establecieron 3 lotes de engorde en función del periodo del año en que se realizaba: abril-mayo, junio-julio y enero-febrero. Y además se controlaron, para cada uno de los lotes, los factores madre de la que proceden los conejos (8 conejas madres), semana del periodo de engorde (4 a 5 semanas) y el tamaño del grupo de conejos de engorde, en función del número de conejos alojados en cada jaula (individuales con un solo conejo por jaula, grupos pequeños que contenían de 2 a 4 conejos por jaula y grupos grandes que contenían de 5 a 7 conejos por jaula). El número total de conejos controlados fue de 48.

Los resultados mostraron unos valores medios de $38,48 \pm 0,02$ °C para RT, de $37,31 \pm 0,05$ °C para ETT, de $29,09 \pm 0,26$ °C para OETT, de $30,53 \pm 0,25$ °C para IETT y de $33,29 \pm 0,11$ °C para NTT. Se observaron correlaciones positivas moderadas y estadísticamente significativas ($p < 0,001$) entre la RT y las cuatro temperaturas medidas con IRT (IETT, OETT, ETT y NTT), tanto en general (0,39 a 0,49) como intraclase (0,36 a 0,39) corregidas por los factores lote, tamaño del grupo, semana de engorde y madre. Las medidas termográficas que mostraron mayor correlación con la RT fueron OETT (0,49), IETT (0,47) y NTT (0,47). También se estudiaron los efectos que podrían influir en las variables de temperatura evaluadas por IRT y RT dentro de cada lote (semana del período de engorde, tamaño del grupo y madre de los conejos). Se encontraron diferencias significativas ($p < 0,001$) entre semanas de engorde (tendencia positiva que evidenció un incremento de la temperatura de los conejos a medida que avanzaba el período de engorde). También se observó una tendencia hacia temperaturas más altas a medida que aumentaba el tamaño del grupo, observándose solo diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) para las variables IETT y OETT en un lote de engorde (lote 1), con los animales del grupo pequeño mostrando los valores de temperatura más altos para ambas variables en comparación con los del grupo grande. El efecto coneja madre no mostró diferencias estadísticamente significativas dentro de los lotes.

En conclusión, la IRT es una herramienta eficaz para evaluar la temperatura corporal de los conejos de engorde, correlacionándose positivamente con la RT y evitando el estrés de manipulación que ocasiona la RT. La medición de la temperatura corporal con una cámara de IRT es una alternativa útil para evaluar el estrés agudo en conejos manipulados, siendo el IETT y el ETT las partes del cuerpo del conejo más adecuadas para su medición. Los cambios en el bienestar animal causados por la reactividad de los conejos a factores climáticos y el estrés por manipulación afectan la productividad animal, evidenciándose que cuanto mayor era el estrés debido al manejo, menos eficientes eran los animales. El FCR aumentó de forma paralela al incremento del THI.

PALABRAS CLAVE

Conejo, estrés, *Oryctolagus cuniculus*, periodo de engorde, rendimiento productivo, temperatura corporal, termografía infrarroja, termorregulación.

ABSTRACT

The body temperature of animals is a physiological indicator of their health status and stress level. Rabbits often experience stress when they perceive certain stimuli, such as handling by humans on rabbit farms. The physiological response of rabbits to stress is associated with feed efficiency, with those rabbits with the lowest stress responsiveness showing the highest performance. Body temperature has traditionally been measured rectally by conventional thermometer, but nowadays there are alternatives such as infrared thermography. For this Doctoral Thesis, three studies were carried out on rabbits phenotypically similar to the native breed Antiguo Pardo Español (Spanish Common rabbit) during a fattening period of 38 days.

In the first study, acute stress was assessed by measuring eye (ETT), outer ear (OETT), inner ear (IETT) and nose (NTT) temperature in 40 rabbits during the fattening phase using infrared thermography (IRT) in the warm (spring) and cold (winter) seasons. Measurements were taken twice a week and twice a day, before and after a handler held the rabbits in his arms for one minute. Ambient temperature and relative humidity were also recorded and their influence on body temperature was assessed. For the four anatomical parts, where the infrared temperature was taken, the temperature variation between the handled and unhandled rabbit was calculated. The difference between the temperature of each anatomical region of the unmanipulated rabbit and the ambient temperature was also estimated.

Temperature variation between handled and unhandled rabbits ranged from 0.25 ± 0.04 °C for ETT to 3.09 ± 0.22 °C for OETT in the warm season (spring) and from -0.41 ± 0.18 °C for NTT to 2.09 ± 0.18 °C for OETT in the cold season (winter). The day of the fattening period influenced all temperature ranges during the warm (spring) and cold (winter) seasons, with the exception of IETT in the winter. In spring, in contrast to winter, the variation in temperature at the end of the fattening period, between handled and non-manipulated rabbits, was smaller than at weaning (-0.04 to 1.94 °C vs 0.54 to 5.52 °C). Temperatures in unmanipulated rabbits correlated positively and significantly ($p < 0.05$, except for nose) with ambient temperature.

In the second study, the impact of heat stress (temperature-humidity index; THI) and rabbit stress due to handling, assessed by the difference in temperature taken by infrared thermography in the inner ear before and after handling (DIF), on performance parameters in 39 fattening rabbits was evaluated during two periods of the year (spring and winter). For this purpose, a scale was established according to the DIF value: level 1 (not stressed): $DIF \leq 0$ °C;

level 2 (slightly stressed): $0\text{ }^{\circ}\text{C} < \text{DIF} \leq 5\text{ }^{\circ}\text{C}$; level 3 (stressed): $5\text{ }^{\circ}\text{C} < \text{DIF} \leq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ and level 4 (highly stressed): $\text{DIF} > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

The productive performances obtained in the rabbits were low, being a non-improved hardy breed. Daily feed intake (DFI) was 77.80 ± 1.34 g/d, average daily gain (ADG) was 25.80 ± 0.46 g/d, total body weight (TBW) was 1383.38 ± 40.42 g, total feed intake (TFI) was 2956.57 ± 94.85 g, total weight gain (TWG) was 940.18 ± 30.91 g and the feed conversion ratio (FCR) was 3.18 ± 0.06 . The animals were more productive in the cool season, as the values obtained for DFI (80.30 ± 2.63 g/d cool season vs 76.21 ± 1.42 g/d warm season), ADG (27.39 ± 0.83 g/d vs 24.79 ± 0.52 g/d), TBW (1445.39 ± 61.36 g vs 1335.49 ± 52.66 g), TFI (3027.35 ± 50.31 g vs 2901.87 ± 119.90 g) and TWG (961.72 ± 17.79 g vs 924.94 ± 35.60 g) were higher, while FCR was higher in the warm season (3.08 ± 0.09 vs 3.24 ± 0.07). THI significantly influenced ADG and DFI. Rabbits with higher levels of stress showed higher values of ADG, DFI and FCR. The higher the stress due to management, the less efficient the animals were. FCR increased with increasing THI.

In the third study, alternatives to the traditional rectal temperature (RT) measurement commonly used in the clinical examination of rabbits were sought. In these clinical examinations, the temperature is usually recorded with a digital thermometer introduced rectally, which is an invasive procedure that could cause stress due to manipulation. In order to look for alternatives that do not disturb the welfare of the rabbit, body temperature was assessed, using an IRT camera, twice a week in the same four areas of the rabbit anatomy used in the two previous studies: ETT, OETT, IETT and NTT. Three fattening batches were established according to the time of year: April-May, June-July and January-February. In addition, for each of the batches, the mother from which rabbits originate (8 doe rabbits), the week of the fattening period (4 to 5 weeks) and the size of the group of fattening rabbits according to the number of rabbits housed in each cage (individual rabbits with only one rabbit per cage, small groups containing 2 to 4 rabbits per cage and large groups containing 5 to 7 rabbits per cage) were also controlled. The total number of rabbits monitored was 48.

The results showed mean values of 38.48 ± 0.02 °C for RT, 37.31 ± 0.05 °C for ETT, 29.09 ± 0.26 °C for OETT, 30.53 ± 0.25 °C for IETT and 33.29 ± 0.11 °C for NTT. Moderate and statistically significant ($p < 0.001$) positive correlations were observed between RT and the four temperatures measured with IRT (IETT, OETT, ETT and NTT), both overall (0.39 to 0.49) and intraclass (0.36 to 0.39), according to batch, group size, fattening week and doe.

The thermographic measures that showed the highest correlation with RT were OETT (0.49), IETT (0.47) and NTT (0.47). The effects that could influence the temperature variables assessed by IRT and RT within each batch (week of fattening period, group size and mother of rabbits) were also studied. Significant differences ($p < 0.001$) were found between weeks of fattening (positive trend showing an increase in temperature of the rabbits as the fattening period progressed). A trend towards higher temperatures was observed as group size increased, with only statistically significant differences ($p < 0.05$) observed for IETT and OETT variables in one fattening batch (batch 1), with animals in the small group showing the highest temperature values for both variables compared to those in the large group. The mother rabbit effect did not show statistically significant differences within batches.

In conclusion, IRT is an effective tool to assess body temperature in fattening rabbits, correlating positively with RT and avoiding the handling stress caused by RT. Measuring body temperature with an IRT camera is a useful alternative to assess acute stress in handled rabbits, with the IETT and ETT being the most suitable body parts for measurement. Changes in animal welfare caused by the rabbits' reactivity to climatic factors and handling stress affect animal productivity. The higher the stress due to handling, the less efficient the animals were. The FCR increased in parallel with the increase in THI.

KEY WORDS

Body temperature, fattening period, infrared thermography, *Oryctolagus cuniculus*, production efficiency, rabbit, stress, thermoregulation.

INTRODUCCIÓN



INTRODUCCIÓN

Los conejos son animales originarios de la Península Ibérica donde surgieron a mediados del Pleistoceno (Ferrand, 2008), teniendo actualmente una distribución por numerosos territorios del mundo y estando adaptados a distintos ecosistemas (Thompson y King, 1994). El término “España” derivado de la palabra *Hispania*, procede de la latinización de *I-Sapham-Im* o *tierra de conejos* que dieron los fenicios (Rougerot, 1981). La domesticación del conejo se produjo durante la Edad Media, en los monasterios del sur de Francia (Clutton-Brock, 1999), siendo la única especie de mamíferos que se ha domesticado en zonas distintas a Asia y América (Clutton-Brock, 1999; Diamond, 2002; Bruford et al., 2003), extendiéndose posteriormente hacia África, Australia, Nueva Zelanda y América del Sur y numerosas islas, entre ellas las Canarias y Azores (Flux y Fullagar, 1992; Flux, 1994).

Aunque algunas razas de conejos se mantienen como mascotas y otras se explotan con diversos fines (piel, pelo, etc.), el principal uso productivo de la especie es para la producción de carne, ya que ésta posee unas cualidades nutritivas saludables (Samkol y Lukefahr, 2008; Para et al., 2015), incluyendo bajo contenido de grasa, alto contenido de proteínas, alta digestibilidad y bajo contenido de sales minerales, como sodio y potasio (Dalle-Zotte, 2002; Combes, 2004). Además de las cualidades nutricionales de su carne, los conejos tienen un alto potencial reproductivo, ya que alcanzan la madurez sexual rápidamente, tienen un período de gestación corto y una tasa de crecimiento rápida. Por tanto, tienen un gran potencial como fuente de proteína animal, principalmente para los países en desarrollo (Para et al., 2015).

A nivel mundial, con respecto a la producción animal, los conejos constituyen la cuarta especie animal con más censo y la segunda en la Unión Europea, con casi 160 millones de animales sacrificados por año para la producción de carne según el censo de 2019 (FAOSTAT, 2022). Más de tres cuartas partes de la producción de conejos se encuentran en países mediterráneos como Italia, España y Francia (FAOSTAT, 2022), que suponen alrededor del 85% de la producción cunícola de toda la Unión Europea (MAPA, 2022a). El consumo de carne de conejo forma parte de la cultura gastronómica de estos países mediterráneos (Pettracci y Cavani, 2013) y se encuentra tradicionalmente vinculada a determinadas zonas de España.

La producción de conejos ha estado muy vinculada con el mundo rural, siendo muchas explotaciones de propiedad familiar (Roca, 2009) o empresas cunícolas pequeñas-medianas. Este tipo de ganadería ha contribuido a la incorporación de la mujer al trabajo, siendo un gran número de mujeres titulares de este tipo de explotaciones ganaderas en España (Langreo y Benito, 2010). Sin embargo, en los últimos años ha tenido una evolución hacia la profesionalización del sector, disminuyendo la producción de autoconsumo y de abastecimiento cercano a la propia explotación (MAPA, 2022a).

En España han desaparecido prácticamente todas las razas autóctonas de conejos, como la Andaluza, Moruna y el Lebril Español (López y Sierra, 1998). Otras como el Conejo Común o Conejo del País (López y Sierra, 1998), el Conill Eivissenc (Payeras, 2009) o el Gigante de España (Sierra y López, 1990) se encuentran en peligro de extinción, siendo sustituidas por cruces con razas extranjeras y estirpes y líneas derivadas de ellas. Enfermedades como la mixomatosis y la neumonía hemorrágica vírica también han contribuido a su desaparición o la reducción drástica de sus censos (Vega, 2008). El Conejo Común, oficialmente reconocido como Antiguo Pardo Español, tuvo una gran difusión por todo el país hasta el segundo tercio del siglo XX que, con el desarrollo de la cunicultura intensiva, su uso quedó relegado a la cría rural y familiar (González-Redondo, 2016). Esta deriva ha contribuido a que no estuviera incluido en el Catálogo de Razas de Ganado de España hasta el año 2016, momento en el que la Comisión Nacional de Coordinación para la conservación, mejora y fomento de razas ganaderas, informó favorablemente sobre su incorporación en el citado Catálogo, en el punto 1 de Razas Autóctonas, del apartado b) y catalogada como “en peligro de extinción” en el número 8º de otras especies (MAPA, 2016). Es una raza muy utilizada en la modalidad de cunicultura urbana de traspatio, en explotaciones de autoconsumo. Este tipo de ganaderos prefieren un morfotipo rústico, de capa parda y formato mediano como es el caso del Antiguo Pardo Español (González-Redondo, 2014). Al igual que el resto de las razas autóctonas, su gran virtud es la enorme adaptación al medio y su resistencia a las enfermedades, aunque tiene el hándicap de que puede estresarse con facilidad (Sierra y López, 1991). Actualmente su censo poblacional es bajo, manteniéndose en explotaciones familiares del sureste español, en Galicia, Asturias y algunas localidades de Aragón y Castilla y León (MAPA, 2022b). Esta raza, de producción cárnica, tiene un crecimiento algo más lento que las otras razas cunícolas integradas en nuestro país, aunque por su rusticidad podría ser de las que mejor se adecuen al sistema de producción ecológica. Además, el color pardo de su capa se asocia fácilmente al

carácter rústico y campero propio de este tipo de producciones ecológicas. A la edad mínima establecida por la normativa de producción ecológica para el sacrificio (90 días), se obtienen canales del tamaño que el mercado de nuestro país demanda (González-Redondo, 2016).

Los sistemas actuales de cría intensiva de conejos, al igual que en otras especies productivas, dependen en gran medida de la manipulación realizada por el hombre, ya que las personas son las encargadas de la alimentación, del control del fotoperíodo, del manejo reproductivo, etc. Además, una de las mayores desventajas de estas producciones es que los conejos siguen percibiendo a los humanos como depredadores y están predispuestos a asociar su presencia con estímulos negativos, lo que suele constituir un factor de estrés y miedo (Trocino y Xiccató, 2006), ya que son animales de presa por naturaleza (Benato et al., 2019). Cabe añadir que la timidez es uno de los principales atributos de los conejos, siendo animales esquivos e independientes (Trocino y Xiccató, 2006), lo que hace más difícil percibir su miedo o estrés agudo. Todo esto se contrapone a las características preferenciales que se seleccionan a la hora de domesticar animales, como la docilidad y el no tener miedo a las personas (Parsons, 1988). Estas características comportamentales propias de los conejos pueden ser debidas a que fueron domesticados mucho más tarde que otras especies (Morton, 2002) y los efectos de la domesticación en ellos no son tan marcados, conservándose aún muchas características de sus ancestros salvajes, como cavar madrigueras y hacer nidos (Stodart y Myers, 1964; EFSA, 2005). También, hay que destacar que, aunque pueden ser animales tranquilos y dóciles, tienden a ser asustadizos (Ward, 2006). Para intentar adaptar estas características propias de los conejos a los sistemas productivos, un trato adecuado por parte de los criadores puede ayudar a disminuir el miedo y contribuir a su bienestar (Csatádi et al., 2005). El manejo correcto tiene efectos extremadamente positivos en esta especie, especialmente si comienza poco después del nacimiento (Zucca et al., 2012), ya que el período crítico para la socialización ocurre cuando los gazapos abren los ojos por primera vez en el nido, alrededor de los 10 días de edad (Schoen y Wynn, 1998).

El estrés es un fenómeno de adaptación en la respuesta de un animal a los cambios que se producen en su entorno (Veissier y Boissy, 2007) e implica la respuesta del organismo a un estímulo que desencadena la activación del eje hipotálamo-hipófisis-adrenocortical (HPA) y del sistema simpático-adrenomedular (Möstl y Palme, 2002). Diferentes estudios han demostrado que esto ocurre activando una serie de cambios de comportamiento, principalmente

fisiológicos y de escape (Temple et al., 2014). Estas alteraciones fisiológicas son respuestas rápidas que garantizan la supervivencia de los animales (Wingfield et al., 1997). A corto plazo, una respuesta a un estímulo estresante se desencadena por la activación del sistema nervioso simpático, que libera catecolaminas (norepinefrina y epinefrina) de la médula suprarrenal (Cunningham, 1999). Según Axelrod y Reisine (1984), la actividad motora y las contracciones del corazón y el bazo aumentan en esta fase, liberando más glóbulos rojos. Se producen ajustes vasomotores y dilatación de la pupila, aumenta la coagulación sanguínea y los linfocitos se neutralizan para reparar el daño tisular, mientras que la energía aumenta mediante la glucólisis y la lipólisis (Axelrod y Reisine, 1984). Más a largo plazo, a través del HPA, actúan la hormona liberadora de corticotropina, la hormona adrenocorticotrópica y los corticosteroides (en conejos, principalmente corticosterona y cortisol) (Kataoka et al., 2014).

Los animales pueden tener diferentes respuestas conductuales a la manipulación; esto es lo que se llama temperamento (Burrow y Corbet, 2000). Los animales pueden estresarse más fácilmente si son más excitables (Richardson y Herd, 2004). Además, la capacidad de cada animal para hacer frente a situaciones estresantes y adversas es diferente (Monclús, et al., 2006; Broom, 2011). Los cambios fisiológicos provocados por el estrés pueden tener efectos adversos sobre el rendimiento productivo de los conejos, afectando parámetros como el consumo de alimento, el incremento del peso corporal, la conversión alimenticia y la calidad de la carne obtenida (Kowalska et al., 2011). La eficiencia alimenticia está asociada al temperamento y a la respuesta de los animales al estrés, siendo los animales con menor capacidad de reacción al estrés los más efectivos (Cafe et al., 2011). Estos efectos adversos inciden en la viabilidad de la producción comercial de carne de conejo, ya que la alimentación de una explotación cunícola representa aproximadamente el 45% del coste total y en el caso concreto de los gazapos durante el engorde en torno al 26% del coste total (Cartuche et al., 2014).

Las condiciones ambientales, especialmente la temperatura y la humedad relativa, también afectan tanto al estado fisiológico como a la productividad de los animales (Ogunjimi et al., 2008). Los conejos son particularmente sensibles al calor, ya que tienen pocas glándulas sudoríparas y les resulta difícil reducir el calor corporal (Finzi et al., 2000; Marai et al., 2002). El conejo se adapta bien a una zona termoneutra, comprendida entre 18 y 21 °C, en la que no hace ningún esfuerzo por subir o bajar su temperatura (Fayez et al., 1994; Zeferino et al., 2011)

y en la que no sufre ningún estrés por intentar mantener su temperatura corporal ni necesita ninguna energía extra para regularlo, en detrimento de los índices de producción (Bianca, 1976). Sin embargo, el estrés por calor en los conejos tiene una influencia negativa en la producción (Pla et al., 1994), siendo las altas temperaturas el factor principal que afecta la producción de conejos en las regiones con un clima cálido (Asemota et al., 2017).

El estrés se puede estimar a través de biomarcadores y cambios en la temperatura corporal y estos se pueden analizar utilizando diferentes técnicas, como mediante el análisis de los parámetros bioquímicos en la sangre (Möstl y Palme, 2002) y en las excretas (Von der Ohe y Servheen, 2002) o mediante cambios en la temperatura corporal central (Chen y White, 2006). Los cambios en la temperatura de la superficie corporal, como consecuencia del estrés tanto agudo como crónico, pueden detectarse correctamente usando la temperatura rectal (Marai et al., 2002), pero esta metodología, además del tiempo que requiere para su medición, es invasiva y podría afectar negativamente el bienestar de los animales (Chung et al., 2010; Vicente-Pérez et al., 2019). A pesar de ello, la medición de la temperatura corporal, usando termómetro convencional, es una práctica usual en las visitas clínicas a las granjas (caso de los conejos de producción) y en las clínicas veterinarias (caso de los conejos de compañía). Para solucionar estos inconvenientes se está estudiando el uso de la cámara de termografía infrarroja (IRT) para la medición de la temperatura (Nakayama et al., 2005; Stewart et al., 2005; Unruh et al., 2017). La energía electromagnética se mide mediante una cámara de infrarrojos y detecta las diferentes frecuencias de onda emitidas por cada valor de temperatura (Stewart et al., 2005). Se obtiene una imagen conocida como fotografía termográfica, que representa la temperatura de la superficie estudiada. Cada región del animal que es captada por la cámara emite una radiación infrarroja diferente, que es interpretada como un color acorde a una banda de distintas tonalidades, asociadas a las variaciones de la temperatura. Las imágenes son posteriormente analizadas con ayuda de softwares específicos, obteniéndose las temperaturas superficiales de cada una de las partes anatómicas del animal que son objeto de estudio.

La principal fortaleza de la IRT es que es un método no invasivo y sin contacto que puede medir la temperatura de la superficie de los animales (McCafferty, 2013). Se ha utilizado con éxito en rumiantes (Stewart et al., 2005), porcinos (Weschenfelder et al., 2013), perros (Travain et al., 2015), caballos (Sánchez et al., 2016; Bartolomé et al., 2021) y burros (Silva et al., 2015). En conejos, el uso de la termografía infrarroja se ha usado en distintos trabajos. Así,

Ludwig et al. (2006 y 2007) monitorizaron la temperatura de los conejos en una situación de estrés crónico, Vadlejch et al. (2010) estudiaron los cambios de temperatura en conejos con parasitosis, Rafel et al. (2012) evaluaron el estrés térmico mediante la comparación de la evolución de las temperaturas de diferentes zonas del cuerpo, De Lima et al. (2013) evaluaron las diferencias de la temperatura corporal superficial cuando se somete a los animales a dos temperaturas ambientales diferentes fuera de la zona de confort, Silva et al. (2014) han estudiado la temperatura de los gazapos en los nidos con diferentes materiales y Silva et al. (2015) estimaron la relación de la temperatura con el peso vivo de los conejos durante el periodo de engorde. Sin embargo, no hay trabajos que hayan investigado el uso de la termografía en situaciones de estrés agudo debido al manejo y la correlación que existe entre la temperatura corporal de los conejos medida mediante termografía infrarroja y la temperatura rectal medida con un termómetro convencional, por lo que se ha considerado interesante acometer la presente investigación.

Esta Tesis Doctoral se estructura en tres capítulos, conectados entre sí, que abordan distintos aspectos de la evaluación del estrés, sus repercusiones sobre la productividad y la medición de la temperatura corporal en conejos de engorde, de una estirpe fenotípicamente similar a la raza autóctona Antiguo Pardo Español. Cada uno de estos capítulos está integrado por un artículo científico que presenta los resultados obtenidos durante el desarrollo de esta Tesis.

En el primer capítulo se evalúa el estrés agudo mediante la medición de la IRT durante dos estaciones, una cálida (primavera) y otra fría (invierno), en cuatro zonas corporales del conejo de engorde, antes y después de la manipulación por la persona que actuó de controlador: el ojo (ETT), el oído externo (OETT), el oído interno (IETT) y la nariz (NTT). Este capítulo está integrado por el siguiente trabajo:

Jaén-Téllez JA, Sánchez-Guerrero MJ, López-Campos JI, Valera M, González-Redondo P. 2020. Acute stress assessment using infrared thermography in fattening rabbits reacting to handling under winter and summer conditions. Span. J. Agric. Res., 18: e0502. <https://doi.org/10.5424/sjar/2020182-15706>

En el segundo capítulo se evalúa el impacto del estrés por calor (índice temperatura-humedad; THI) o por manipulación (inmovilización humana), evaluado mediante termografía infrarroja,

sobre los parámetros de rendimiento de engorde. Este capítulo está integrado por el siguiente trabajo:

Jaén-Téllez JA, Sánchez-Guerrero MJ, Valera M, González-Redondo P. 2021. Influence of stress assessed through infrared thermography and environmental parameters on the performance of fattening rabbits. *Animals*, 11: 1747. <https://doi.org/10.3390/ani11061747>

En el tercer capítulo se evalúa la relación entre la temperatura tomada con cámara de IRT en las mismas cuatro partes diferentes de la anatomía en conejos de engorde (ETT, OETT, IETT y NTT), con la temperatura rectal medida utilizando un termómetro convencional, con el fin de validarla como alternativa de uso. También se ha determinado la influencia de diferentes efectos ambientales (madre, semana de engorde y tamaño del grupo) dentro de tres lotes de engorde en función del periodo del año en que se realizaba: abril-mayo, junio-julio y enero-febrero. Este capítulo está integrado por el siguiente trabajo:

Jaén-Téllez JA, Bartolomé E, Sánchez-Guerrero MJ, Valera M, González-Redondo P. 2021. Relationship between rectal temperature measured with a conventional thermometer and the temperature of several body regions measured by infrared thermography in fattening rabbits. Influence of different environmental factors. *World Rabbit Sci.*, 29: 263-273. <https://doi.org/10.4995/wrs.2021.15556>

OBJETIVOS



OBJETIVOS

El objetivo general de esta Tesis Doctoral es la evaluación de la temperatura corporal del conejo mediante termografía infrarroja frente a la temperatura rectal y como método de medición del estrés agudo. Así mismo, se analiza cómo el estrés agudo por manipulación o por cambios ambientales (la temperatura y la humedad relativa) afecta a la productividad de los conejos de engorde.

Este objetivo general se articula en tres objetivos específicos, que coinciden con los tres capítulos en los que se ha estructurado la presente Tesis Doctoral:

1. Estimar los niveles de estrés en conejos de engorde en dos estaciones meteorológicas (primavera e invierno), a través de la diferencia de la temperatura corporal medida por termografía infrarroja en cuatro áreas del cuerpo (ojo, oído interno, oído externo y nariz), antes y después de ser manipulados por una persona (Capítulo 1).
2. Determinar, durante la fase de engorde y en dos estaciones climáticas (primavera e invierno), el efecto del estrés por calor y del estrés por manipulación, obteniendo con una cámara de termografía infrarroja variaciones de temperatura a nivel del oído interno de los conejos, sobre los parámetros de rendimiento (ingesta diaria de pienso, ganancia media diaria e índice de conversión alimenticia) (Capítulo 2).
3. Evaluar, como alternativa de uso para disminuir el estrés por manipulación, la relación existente entre la temperatura tomada con cámara de termografía infrarroja, en cuatro partes diferentes de la anatomía de los conejos de engorde (ojo, oído externo, oído interno y nariz), con la temperatura rectal medida utilizando un termómetro convencional y determinar la influencia de diferentes efectos ambientales (madre, semana de engorde y tamaño del grupo) sobre las distintas temperaturas en tres lotes de conejos, en función del periodo del año en que se realizaba el cebo: abril-mayo, junio-julio y enero-febrero (Capítulo 3).

CAPÍTULOS



CAPÍTULOS

1. CAPÍTULO 1. EVALUACIÓN DEL ESTRÉS AGUDO EN CONEJOS DE ENGORDE REACCIONANDO A LA MANIPULACIÓN

El primer capítulo de la Tesis Doctoral está constituido por el siguiente artículo científico:

Título en inglés: Acute stress assessment using infrared thermography in fattening rabbits reacting to handling under winter and summer conditions

Título en español: *Evaluación del estrés agudo mediante termografía infrarroja en conejos de engorde que reaccionan a la manipulación en condiciones de invierno y de verano*

Autores: Jaén-Téllez JA, Sánchez-Guerrero MJ, López-Campos JI, Valera M, González-Redondo P

Afiliación: Departamento de Agronomía, Universidad de Sevilla, Ctra. Utrera km 1, 41013 Sevilla, España

Revista: Spanish Journal of Agricultural Research, 2020, 18: e0502.
<https://doi.org/10.5424/sjar/2020182-15706>

Índice de impacto: 1,238

Categoría y cuartil: Agriculture, Multidisciplinary. Q3

Resumen

El primer capítulo de la presente Tesis Doctoral aborda el estudio de los niveles de estrés en conejos de engorde mediante la temperatura medida por termografía infrarroja (IRT) en cuatro partes distintas del cuerpo: el ojo (ETT), el oído externo (OETT), el oído interno (OITT) y la nariz (NTT). La evaluación se realizó durante dos estaciones del año (primavera e invierno) y en dos situaciones, antes y después de ser manipulados por una persona.

Para realizar este estudio, se han usado 40 conejos domésticos destetados, fenotípicamente similares a la raza autóctona recientemente reconocida Antiguo Pardo Español, antes y después de la manipulación. Se registraron las temperaturas termográficas corporales (ETT, OETT, IETT y NTT) durante un período de engorde de 38 días, dos veces por semana y dos veces al día (antes y después de que un mismo operario sostuviera a los conejos en sus brazos durante un minuto). También se registraron la temperatura ambiente y la humedad relativa y se evaluó su influencia sobre la temperatura corporal medida con cámara infrarroja. Se calculó las diferencias entre la temperatura ambiental y las temperaturas del conejo antes y después de la manipulación.

Los conejos mostraron una temperatura infrarroja media que osciló desde $16,22 \pm 0,13$ °C para la OETT en conejos no manipulados durante la estación fría (enero-febrero) hasta $38,08 \pm 0,04$ °C para la ETT en conejos manipulados durante la estación cálida (abril-mayo). Asimismo, la variación de temperatura entre los conejos manipulados y no manipulados fluctuó entre $0,25 \pm 0,04$ °C para ETT a $3,09 \pm 0,22$ °C para OETT en la temporada cálida y entre $-0,41 \pm 0,18$ °C para NTT a $2,09 \pm 0,18$ °C para OETT en la estación fría. El transcurso del período de engorde influyó en todas las temperaturas, tanto en la estación fría como en la cálida, a excepción de la IETT en la estación fría. Al final del período de engorde durante la estación cálida, a diferencia de la fría, la variación de temperatura, entre conejos manipulados y no manipulados, fue menor que al comienzo del periodo de cebo ($-0,04$ a $1,94$ °C vs $0,54$ a $5,52$ °C, respectivamente). Las temperaturas en conejos no manipulados se correlacionaron positivamente y de forma significativa ($p < 0,05$, excepto en nariz) con la temperatura ambiente.

En conclusión, se ha visto que la medición de la temperatura corporal con cámara de IRT es una herramienta útil para evaluar el estrés agudo en conejos manipulados, siendo el oído interno (IETT) y el ojo (ETT) las partes del cuerpo más adecuadas para medirlo.



Acute stress assessment using infrared thermography in fattening rabbits reacting to handling under winter and summer conditions

Juan A. Jaén-Téllez (Jaén-Téllez, JA), María J. Sánchez-Guerrero (Sánchez-Guerrero, MJ), José I. López-Campos (López-Campos, JI), Mercedes Valera (Valera, M) and Pedro González-Redondo (González-Redondo, P)
Universidad de Sevilla, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Dept. Ciencias Agroforestales, 41013 Sevilla, Spain

Abstract

Aim of study: This study assesses acute stress by measuring, through infrared thermography in summer and winter, the temperature of the eye, outer ear, inner ear and nose in 40 fattening rabbits before and after handling.

Area of study: Seville (Spain).

Material and methods: Body thermographic temperatures were recorded during a 38-day fattening period twice weekly and twice a day, before and after the handler held the rabbits in their arms for one minute. Ambient temperature and relative humidity were also recorded, and their influence on body temperatures was assessed. For each anatomical part, the variation of the temperature between the handled and undisturbed rabbit, and the differential temperature between the anatomical part in the undisturbed rabbit and the ambient temperature were calculated.

Main results: The variation in temperatures between handled and undisturbed rabbits ranged from 0.25 ± 0.041 °C for eye to 3.09 ± 0.221 °C for outer ear in summer and -0.41 ± 0.182 °C for nose to 2.09 ± 0.178 °C for outer ear in winter. The day of the fattening period influenced all the temperature traits during summer and winter, except for the inner ear in winter. In summer, unlike winter, the temperature variation at the end of fattening period between handled and undisturbed rabbits was lower than at weaning (-0.04 to 1.94 °C vs. 0.54 to 5.52 °C, respectively). The temperatures in undisturbed rabbits were correlated with ambient temperature.

Research highlights: Measuring body temperature with infrared thermography is a useful tool to evaluate acute stress in handled rabbits, with the inner ear and eye the most reliable body parts for measuring it.

Additional key words: temperature; welfare; thermoregulation.

Abbreviations used: DIF (differential); H (handled); RH (relative humidity); TEMP (room temperature); U (undisturbed); VAR (variation).

Authors' contributions: Conceived and designed the experiments, and wrote the paper: JAJT, MV, MJSG and PGR. Performed the experiments and acquired the data: JAJT, JILC and MJSG. Analysed the data: MJSG and MV. All the authors revised and approved the final manuscript.

Citation: Jaén-Téllez, JA; Sánchez-Guerrero, MJ; López-Campos, JI; Valera, M; González-Redondo, P (2020). Acute stress assessment using infrared thermography in fattening rabbits reacting to handling under winter and summer conditions. Spanish Journal of Agricultural Research, Volume 18, Issue 2, e0502. <https://doi.org/10.5424/sjar/2020182-15706>

Received: 10 Sep 2019. **Accepted:** 19 Jun 2020.

Copyright © 2020 INIA. This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-by 4.0) License.

Funding: The authors received no specific funding for this work.

Competing interests: The authors have declared that no competing interests exist.

Correspondence should be addressed to Pedro González-Redondo: pedro@us.es

Introduction

Worldwide, rabbits make up the fourth most common form of animal production, and they are the second commonest species in the European Union, with nearly 160 million animals slaughtered per year for meat production in 2017. More than three quarters of all rabbit farms are found in Mediterranean countries such as Italy, Spain and France (FAOSTAT, 2019).

Current systems of intensive rabbit breeding, as in other species, are highly dependent on humans, since they must feed them and control their photoperiod,

reproduction, etc. Moreover, one of the biggest breeding handicaps is that rabbits continue to perceive humans as predators, and are predisposed to associate their presence with negative stimuli, which constitutes a factor of stress and fear (Trocino & Xiccato, 2006), since they are prey animals by nature (Benato *et al.*, 2019). Shyness is one of the main attributes of rabbits; they are elusive and independent (Trocino & Xiccato, 2006), which makes it harder for us to perceive their fear or acute stress.

Stress is an adaptive phenomenon in an animal's response to the changes that occur in its environment (Veissier & Boissy, 2007) and it involves the organism's

response to a stimulus which triggers activation of the hypothalamic–pituitary–adrenocortical axis (HPA) and sympatho-adrenomedullary system (Möstl & Palme, 2002). Different studies have shown that this occurs by activating a series of behavioral changes, mainly physiological and escape behavior (Temple *et al.*, 2014). On farms, rabbits are subjected daily to pressure when handled, which causes them stress (Xu, 1996), and this stress could lead to lower immune competence and higher susceptibility to disease (Glaser & Kiecolt-Glaser, 2005).

A reduction in rabbits' fear of humans can be achieved by accustoming rabbits to human contact. This fundamentally happens when socialization takes place, at around 10-20 days of life, although it can even be carried out from birth (Zucca *et al.*, 2012). The habituation process caused by a routine repeated over time stimulates the HPA less, and subsequent reactions are milder (Grissom & Bhatnagar, 2009). Stress mechanisms can be compared to the physiological mechanism of exercise; the more training, the better the results and the lower the stress (Temple *et al.*, 2014).

Among the physiological changes caused by fear, where the hypothalamus plays a key integrating role in the endocrine and nervous system (Minton, 1994), there is the release of several hormones. The most important of these are catecholamines (especially adrenaline and noradrenaline), corticotropin-releasing hormone, adrenocorticotropic hormone and corticosteroids (in rabbits, mainly corticosterone and cortisol) released as a consequence of the alteration of internal homeostasis, which produce, among other effects, an increase in body temperature (Kataoka *et al.*, 2014) as a consequence of peripheral and abdominal vasoconstriction. These physiological alterations are rapid responses which guarantee the survival of the animals (Wingfield *et al.*, 1997).

In countries highly specialized in rabbit meat production, such as those in Mediterranean countries in Western Europe, rabbits are raised in cages under controlled environment housing systems (Lebas *et al.*, 1997). Here, the correct regulation of temperature and humidity are key aspects to avoid the animals suffering thermal stress. The optimum temperature in rabbit farms is between 15-19 and 21-22 °C for the fattening phase (Ferré & Rosell, 2000; Coureaud *et al.*, 2015), and 16-20 °C for the does, with a relative humidity of 55-60% (Ferré & Rosell, 2000).

Infrared thermography is the recording of the radiation emitted by a body surface using an infrared camera. It is a non-invasive, quick technique used to assess physiological states and in cases of pathologies linked to temperature changes, and its use has been confirmed in many domestic and wild species (Travain *et al.*, 2015; Sánchez *et al.*, 2016). It is used to evaluate and monitor the temperature of rabbits in nests with different materials (Silva *et al.*, 2014) and to estimate live weight in fattening rabbits (Silva *et al.*, 2015), among other applications. Although works have been published on human influence in the handling of kits (Bilkó & Altbäcker, 2000; Csáti *et al.*, 2005) and mature rabbits (Podberscek *et al.*, 1991), no studies on stress have described the handling of fattening rabbits without previous human manipulation during lactation.

The objective of this work was therefore to evaluate the levels of stress in fattening rabbits, measured by thermography temperature in four body parts (eye, inner ear, outer ear and nose) in two situations, before and after being handled by humans in two meteorological seasons (winter and summer).

The objective of this work was therefore to evaluate the levels of stress in fattening rabbits, measured by thermography temperature in four body parts (eye, inner ear, outer ear and nose) in two situations, before and after being handled by humans in two meteorological seasons (winter and summer).

Material and methods

Animals and husbandry

We used common Spanish agouti-coated domestic meat-oriented rabbits belonging to a strain kept at the Teaching Farm at the Higher Technical School of Agricultural Engineering of the University of Seville (Spain). The genetic characterization (Emam *et al.*, 2016a,b) and productive performance (González-Redondo, 2016) of this nucleus have been previously described. Overall, the rabbits were phenotypically similar to the recently recognized autochthonous rustic breed "Antiguo Pardo Español" (Cañón, 2015).

The rabbits were individually housed in polyvalent wire-mesh cages measuring 90 × 40 × 30 cm (length, width and height), located in a conventional closed facility with natural ventilation (geographic coordinates: 37° 21' 36.3" N and 5° 56' 23.9" W; 11 m a.s.l.). The animals were subjected to a natural photoperiod.

The rabbits were fed a commercially-produced balanced diet (15.0% crude protein and 15.5% crude fiber) and water *ad libitum*.

The rabbits were not subjected to any socialization before the experiment, and were only exposed once a day to the person who filled the feeders and supervised the experimental stock. This was the same person that performed the trial in the experimental period.

Collecting the temperature data

A total of 40 weaning rabbits, with an age of 28 days old, were analyzed during a 38-day fattening period in two different seasons: summer (April 14th to May 22nd, 2015; n = 23 rabbits) and winter (January 19th to February 23rd, 2016; n = 17 rabbits). An average of 24 records per rabbit

was taken, amounting to a total of 456 records. The stress levels of the animals were assessed with eye, outer ear, inner ear and nose temperature measurements. Temperature samples were collected twice a week (each day will be called “record collection day”) and twice each day: the first was taken at 11:00 h when the animal was undisturbed (U) in its own cage from the previous day and the second was taken with the rabbit was held in arms (H), ten minutes after the first temperature was taken. The rabbits were held in arms for about one minute. Temperature images of the undisturbed rabbits were taken with the cages open, without touching the animals and at a distance of 100 cm from their bodies. The whole procedure for the entire experimental stock took about 2½ hours each day and was always carried out by the same person. The temperature images were taken with a FLIR i7 camera, following the instructions given by Bartolomé *et al.* (2013). To calibrate the camera results, room temperature and relative humidity were recorded with a digital thermos-hygrometer (Extech® 44550) every time an infrared body temperature sample was taken, so each infrared temperature had a corresponding humidity and room temperature.

The experiment was carried out in accordance with the Spanish legislation (RD 53/2013; BOE, 2013) and the Directive 2010/63/EU on the protection of animals used for scientific purposes (OJ, 2010).

Room and infrared temperatures

In order to evaluate the environmental conditions and its relationship with the infrared temperature the following data were recorded:

— TEMP, U: Room temperature (°C) taken at the precise moment when the infrared temperatures were taken in undisturbed rabbits.

— TEMP, H: Room temperature (°C) taken at the precise moment when the infrared temperatures were taken in handled rabbits.

— RH, U: Relative humidity (%) taken at the precise moment when the infrared temperatures were taken in undisturbed rabbits.

— RH, H: Relative humidity (%) taken at the precise moment when the infrared temperatures were taken in handled rabbits.

— Eye, U: Infrared eye temperature (°C) with the rabbit undisturbed.

— Eye, H: Infrared eye temperature (°C) with the rabbit handled.

— Inner ear, U: Infrared inner ear temperature (°C) with the rabbit undisturbed.

— Inner ear, H: Infrared inner ear temperature (°C) with the rabbit handled.

— Outer ear, U: Infrared outer ear temperature (°C) with the rabbit undisturbed.

— Outer ear, H: Infrared outer ear temperature (°C) with the rabbit handled.

— Nose, U: Infrared nose temperature (°C) with the rabbit undisturbed.

— Nose, H: Infrared nose temperature (°C) with the rabbit handled.

— Eye VAR = Eye, H - Eye, U.

— Inner ear VAR = Inner ear, H - Inner ear, U.

— Outer ear VAR = Outer ear, H - Outer ear, U.

— Nose VAR = Nose, H - Nose, U.

— DIF Eye-TEMP = Eye, U - TEMP, U.

— DIF Inner ear-TEMP = Inner ear, U - TEMP, U.

— DIF Outer ear-TEMP = Outer ear, U - TEMP, U.

— DIF Nose-TEMP = Nose, U - TEMP, U.

Statistical analyses

The descriptive statistics for each trait are shown in Tables 1 and 2. The evolution of the differential temperatures (°C) for eye, inner ear, outer ear and nose during summer and winter are represented in Fig. 1. A General Linear Model was used to study the potential risk factors (sex, day and each rabbit for each season; winter and summer) that could most influence body temperature during the experimental periods in U and H rabbits (Table 3). This was followed by a Duncan post-hoc test to study the differences between the first and the last days studied and between the same day in summer and winter (Table 4). Finally, to study the correlation between all the traits studied in summer and in winter in undisturbed and handled rabbits, Pearson correlations were carried out (Table 5). All the procedures were analyzed using the Statistica 8.0 package for Windows.

Results

Temperature data

The rabbits showed a mean ranging from 29.10±0.384 °C for outer ear temperature to 37.83±0.048 °C for eye temperature and from 32.19±0.305 °C for outer ear temperature to 38.08±0.039 °C for eye temperature in undisturbed and handled rabbits, respectively, in summer (Table 2). In winter, the mean temperature ranged from 16.22±0.129 °C for outer ear temperature to 36.85±0.060 °C for eye temperature and from 18.30±0.219 °C for outer ear temperature to 37.27±0.045 °C for eye temperature in undisturbed and handled rabbits, respectively. For the variation in temperatures between handled and undisturbed

Table 1. Number (n), mean, minimum (Min), maximum (Max) and standard deviation (s.d.) of environmental temperature (°C) and relative humidity (%) during the experimental periods (summer 2015 and winter 2016) recorded when the rabbits were handled (H) and undisturbed (U).

	Summer (n = 269)				Winter (n = 187)			
	Mean±s.e.	Min	Max	s.d.	Mean±s.e.	Min	Max	s.d.
Temperature, U (°C)	24.14±0.332	16.50	31.78	5.44	14.09±0.107	10.70	17.90	1.47
Temperature, H (°C)	25.02±0.212	20.20	32.10	3.47	14.40±0.093	11.30	16.70	1.27
Relative humidity, U (%)	54.20±0.863	25.00	80.00	14.15	69.31±0.781	42.00	84.00	10.68
Relative humidity, H (%)	49.17±0.766	27.60	73.00	12.57	69.50±0.788	42.00	84.00	10.77

Table 2. Number (n), mean, minimum (Min), maximum (Max) and standard deviation (s.d.) of the body temperatures (°C) registered during the experimental periods (summer 2015 and winter 2016) in undisturbed (U) and handled (H) rabbits.

	Summer (n = 269)				Winter (n = 187)			
	Mean±s.e.	Min	Max	s.d.	Mean±s.e.	Min	Max	s.d.
Eye, U	37.83±0.048	33.33	40.03	0.79	36.85±0.060	33.40	38.37	0.82
Eye, H	38.08±0.039	34.60	39.57	0.64	37.27±0.045	35.70	39.75	0.61
Inner ear, U	30.58±0.350	20.95	40.55	5.74	17.50±0.148	13.73	27.95	2.03
Inner ear, H	32.85±0.320	22.00	39.35	5.25	18.78±0.226	14.00	34.50	3.09
Outer ear, U	29.10±0.384	19.75	40.50	6.30	16.22±0.129	12.90	25.75	1.76
Outer ear, H	32.19±0.305	22.25	39.00	5.00	18.30±0.219	13.95	32.40	3.00
Nose, U	33.71±0.199	3.10	39.15	3.27	31.74±0.162	22.45	36.50	2.21
Nose, H	34.72±0.113	29.20	38.45	1.85	31.33±0.154	23.10	36.75	2.11
Eye VAR	0.25±0.041	-2.00	4.57	0.67	0.42±0.053	-1.23	2.65	0.73
Inner ear VAR	2.27±0.227	-9.05	16.30	3.73	1.28±0.194	-10.40	17.60	2.65
Outer ear VAR	3.09±0.221	-8.40	15.55	3.63	2.09±0.178	-6.85	14.75	2.44
Nose VAR	1.01±0.159	-4.10	29.65	2.60	-0.41±0.182	-9.20	7.25	2.49
DIF Eye-TEMP	13.69±0.313	4.05	20.86	5.14	22.76±0.110	17.45	26.87	1.51
DIF Inner ear-TEMP	6.43±0.336	-4.50	19.70	5.51	3.42±0.124	-0.50	12.95	1.69
DIF Outer ear-TEMP	4.96±0.355	-5.95	17.05	5.82	2.13±0.102	-1.20	10.75	1.40
DIF Nose-TEMP	9.89±0.114	-0.40	19.10	187	17.66±0.193	7.55	24.25	2.64

VAR: temperature in handled rabbits – temperature in undisturbed rabbits. TEMP: room temperature for undisturbed rabbits. DIF Eye-TEMP = Eye, U – TEMP, U. DIF Inner ear-TEMP = Inner ear, U – TEMP, U. DIF Outer ear-TEMP = Outer ear, U – TEMP, U. DIF Nose-TEMP = Nose, U – TEMP, U.

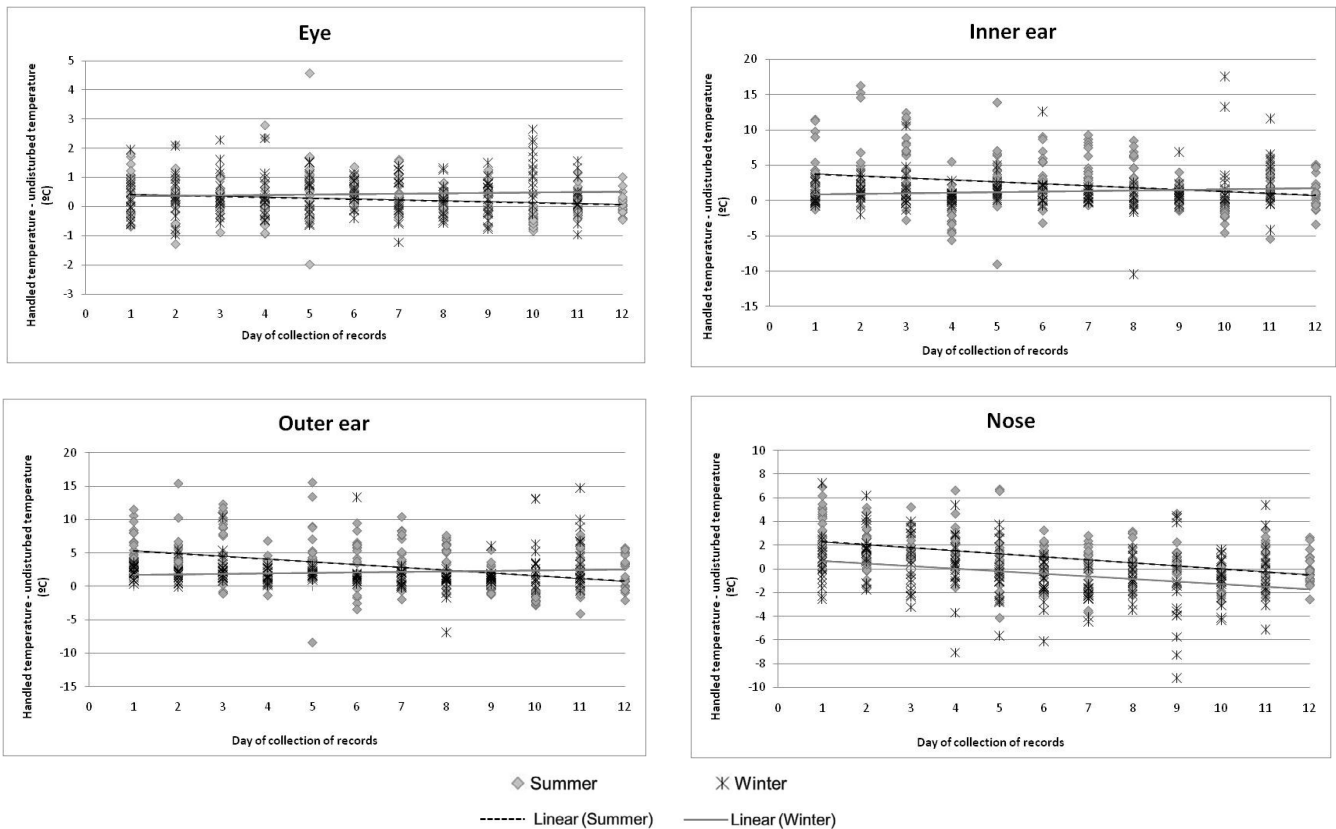


Figure 1. Evolution of the variation in temperatures (°C) between Infrared Temperature in handled rabbits and in undisturbed rabbits for eye, inner ear, outer ear and nose during summer and winter (12 days of sampling per season).

rabbits, the mean values ranged from 0.25 ± 0.041 °C for eye temperature to 3.09 ± 0.221 °C for outer ear temperature in summer and -0.41 ± 0.182 °C for nose temperature to 2.09 ± 0.178 °C for outer ear temperature in winter. Finally, in the case of the differential temperatures between the undisturbed rabbits and the room temperature, the mean values ranged from and 13.69 ± 0.313 °C for eye temperature to 4.96 ± 0.355 °C for ear outer temperature in summer and from 22.76 ± 0.110 °C for eye temperature to 2.13 ± 0.102 °C for ear outer temperature in winter.

Environmental effects

The environmental effects that could most influence temperature were studied (Table 3). The day of the fattening period produced statistically significant differences for all the temperature traits collected during the summer and winter (except inner ear in winter). The individual rabbit was only significant for nine and three traits in summer and winter, respectively. Sex was not statistically significant in all the traits in both seasons, except for the variation in temperature between handled and undisturbed rabbits for the eye in winter.

Evolution of the temperatures

During the summer, for all the temperature traits, there were significant differences between the first day experiment at weaning (undisturbed and handled animals) and the last day of the fattening period (Table 4). At the end of the fattening period, all the values for variations in temperature were lower than at weaning. In winter, this only happened in the nose temperature variations, but there was no significant difference between the first and last day of the fattening period. The rabbit’s temperature in all the traits studied during the summer was always higher than in winter. All the temperature variations between handled and undisturbed rabbits had a negative trend during summer (Fig. 1), in spite of the rise in room temperature. This did not happen in the same way in winter with the exception of the inner ear temperature trait.

Correlations between temperatures

The eight traits studied and their differentials correlated to a medium-high degree (Table 5). In summer, the highest correlation was found between inner ear and outer

Table 3. General Lineal Model analysis of the environmental effects that could influence body temperature (°C) most during the experimental periods (summer 2015 and winter 2016) in undisturbed (U) and handled (H) rabbits.

	Summer			Winter		
	Sex	Day of the fattening period	Rabbit	Sex	Day of the fattening period	Rabbit
Eye, U	n.s.	***	***	n.s.	***	*
Eye, H	n.s.	***	*	n.s.	***	n.s.
Inner ear, U	n.s.	***	***	n.s.	***	n.s.
Inner ear, H	n.s.	***	***	n.s.	***	n.s.
Outer ear, U	n.s.	***	***	n.s.	***	n.s.
Outer ear, H	n.s.	***	***	n.s.	***	n.s.
Nose, U	n.s.	***	***	n.s.	***	n.s.
Nose, H	n.s.	***	*	n.s.	***	n.s.
Eye VAR	n.s.	***	n.s.	*	**	**
Inner ear VAR	n.s.	***	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Outer ear VAR	n.s.	***	n.s.	n.s.	***	n.s.
Nose VAR	n.s.	***	*	n.s.	***	n.s.
DIF Eye-TEMP	n.s.	***	n.s.	n.s.	***	n.s.
DIF Inner ear-TEMP	n.s.	***	n.s.	n.s.	***	n.s.
DIF Outer ear-TEMP	n.s.	***	n.s.	n.s.	***	n.s.
DIF Nose-TEMP	n.s.	***	n.s.	n.s.	***	**

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$, n.s.: not significant. VAR: temperature in handled rabbits – temperature in undisturbed rabbits. TEMP: room temperature for undisturbed rabbits. DIF Eye-TEMP = Eye, U – TEMP, U. DIF Inner ear-TEMP = Inner ear, U – TEMP, U. DIF Outer ear-TEMP = Outer ear, U – TEMP, U. DIF Nose-TEMP = Nose, U – TEMP, U.

Table 4. Duncan post-hoc least squared means analysis of the environmental risk factor in temperature traits studied (°C, mean) during the experimental periods (summer 2015 and winter 2016) in undisturbed and handled rabbits.

	Weaning			End of the fattening period		
	Undisturbed	Handled	Variation	Undisturbed	Handled	Variation
Summer (n = 269)						
Eye	37.25 ^{aB}	37.80 ^{aB}	0.54 ^b	38.11 ^{bB}	38.16 ^{bB}	0.52 ^a
Inner ear	26.30 ^{aB}	29.81 ^{aB}	3.51 ^{bB}	35.28 ^{bB}	36.33 ^{bB}	1.06 ^a
Outer ear	24.48 ^{aB}	30.01 ^{aB}	5.52 ^{bB}	33.82 ^{bB}	35.76 ^{bB}	1.94 ^a
Nose	31.66 ^{aB}	34.73 ^{aB}	3.07 ^{bB}	35.38 ^{bB}	35.75 ^{bB}	-0.04 ^a
Winter (n = 187)						
Eye	36.83 ^{aA}	37.05 ^{aA}	0.21	37.35 ^{bA}	37.58 ^{bA}	0.23
Inner ear	16.80 ^{aA}	17.67 ^{aA}	0.86 ^A	20.53 ^{bA}	22.65 ^{bA}	2.11
Outer ear	14.69 ^{aA}	16.91 ^{aA}	2.21 ^A	18.50 ^{bA}	22.37 ^{bA}	3.87
Nose	29.86 ^{aA}	30.48 ^{aA}	0.61 ^A	33.32 ^{bA}	32.95 ^{bA}	-0.37

Different superscript upper-case letters show significant differences ($p < 0.05$) in the same experiment day between summer and winter. Different superscript lower-case letters show significant differences ($p < 0.05$) within the same season between the weaning and the end of the fattening period. Variation: temperature in handled rabbits - temperature in undisturbed rabbits.

ear temperature ($r = 0.97$) and the lowest between eye temperature in undisturbed rabbits and outer ear and nose temperature taken in handled animals ($r = 0.53$); 27.51% of the Pearson correlations in summer were higher than 0.59, 29.11% were between 0.59 and 0.40 and 52.38% were lower than 0.40. In winter, the Pearson correlations were lower, ranging from 0.07 (eye temperature in undisturbed rabbits and inner ear temperature in handled animals) to 0.95 (eye temperature in undisturbed and handled rabbits). 13.68% of the Pearson correlations in winter were higher than 0.59, 12.11% were between 0.59 and 0.40 and 74.21% were lower than 0.40.

Discussion

When the animal is faced with an alarm, acute stress is activated, which is characterized as a short response over time (Dickens & Romero, 2013). Body temperature also increases, which is particularly problematic in species with deficient heat tolerance, such as rabbits. This increase in temperature occurs when the sympathetic autonomic nervous system is stimulated, releasing the neurotransmitters adrenaline and noradrenaline (catecholamines) in the adrenergic synapses, in order to obtain energy to face the emergency (Duval *et al.*, 2010). In the case of the rabbit, between 1 and 2 seconds after a stressful effect begins (Manteca, 1998) a primitive escape reaction occurs, releasing catecholamines (Kuchel, 1991) into the bloodstream, which makes the body temperature rise for a short time, since its function is to favor hepatic glycogenesis (Greco & Stabenfeldt, 1997). It is a short-term response, since catecholamines have a half-life of just a few minutes in the blood (Peaston & Weinkove, 2004). This circumstance allows the animals to deal with the fear situation effectively (Lattin & Romero, 2014). Infrared thermography can detect this acute response to stress, replacing traditional systems of measuring plasma catecholamines as responses of the autonomic nervous system to assess the animals' welfare (Stewart *et al.*, 2005).

The increase in temperature through stress has been evaluated by using infrared thermography in different anatomical parts in various studies, in the eye in horses (Valera *et al.*, 2012), in cows (Stewart *et al.*, 2007), and in dogs (Travain *et al.*, 2015), as well as in the skin of pigs (Warriss *et al.*, 2006). Olivas & Villagr a (2013) showed that rectal temperature can also be used to assess fear or acute stress in rabbits. The results of the present study show an increase in infrared temperature (measured in eye, inner ear and outer ear both in winter and summer) between the initial state without previous handling and after handling the animal and holding it. These anatomical parts are therefore key points of interest for measuring

stress in this species, since stress can lead to hyperthermia. Higher temperatures induced by stress occurred in the eye, inner ear and outer ear. In the same context, De Lima *et al.* (2013), in a study on heat stress in rabbits, found that the highest temperatures were detected by infrared thermography in the eye, followed by inner ear, outer ear and nose.

The greatest temperature variations between the initial conditions without handling and after handling occurred in the measurements of the inner ear, so this point of interest should be the reference for assessing stress in rabbits by temperature measured with thermography, as stated in Ludwig *et al.* (2007). In the case of the nose, different infrared temperature data were obtained in winter and summer. This could be due to the humidity in the nose, which can differ according to the room temperature in the different seasons. This humidity can therefore alter the real value of the infrared temperature measured (Luzi *et al.*, 2007).

Contrary to our findings in this work, the studies carried out by Ludwig *et al.* (2007) on measuring stress by thermography in rabbits show that there is a decrease in the temperature of the eye and outer ear following a stressful event, and that corticosterone also increases in the bloodstream. This occurs by activation of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis, which occurs 2-10 minutes post stress (Nelson, 2000). However, this does not happen, or only happens slightly, in the first phase of stress (alarm), in which the stimulation of the autonomic nervous system occurs (Nelson, 2000). When there is a short, albeit stressful handling, the rabbits' reaction is very intense, producing an increase in corticosterone from 60 seconds after the start of handling (Gascón & Verde, 1987).

The degree of hyperthermia induced by stress recorded by us in the eye was not significantly affected by room temperature, as verified in Long *et al.* (1990). This also happened with the variation in humidity, although in this case, the difference was greater in winter. However, in the inner and outer ear, the room temperature was correlated with the increase in the infrared temperature variation between measurements taken before and after handling. The difference in the temperature values for each anatomical point studied is due to their different vascularization and to the influence of the ambient temperature. The outer ears, like the nose, are used by rabbits to dissipate heat (Fayez *et al.*, 1994). To regulate heat better, rabbits have larger ears in warmer geographic areas (Ferreira *et al.*, 2015). Rabbits with larger ears have lower respiratory rates with high ambient temperatures (Zeferino *et al.*, 2011). In the present trial, the maximum temperature induced by stress occurred in the eye, with 39.57 °C in summer and 39.75 °C in the outer ear in winter; as a result, hyperthermia by induction of stress was not pathological for the

Table 5. Pearson correlation among all the traits studied (temperature in °C and relative humidity in %) in summer 2015 (above the diagonal) and in winter 2016 (below the diagonal) in undisturbed (U) and handled (H) rabbits.

	Eye, U	Eye, H	Inner ear, U	Inner ear, H	Outer ear, U	Outer ear, H	Nose, U	Nose, H	Eye VAR	Inner ear VAR
Eye, U		0.58*	0.61*	0.49*	0.62*	0.53*	0.58*	0.53*	-0.63*	-0.26*
Eye, H	0.95*		0.62*	0.68*	0.63*	0.68*	0.58*	0.71*	0.27*	0.00
Inner ear, U	0.36*	0.58*		0.77*	0.97*	0.80*	0.64*	0.69*	-0.13*	-0.45*
Inner ear, H	0.07	0.11	0.53*		0.79*	0.95*	0.59	0.66*	0.08	0.22*
Outer ear, U	0.35*	0.58*	0.88*	0.52*		0.82*	0.66*	0.71*	-0.13*	-0.38*
Outer ear, H	0.52*	0.24*	0.24*	0.23*	0.29*		0.60*	0.68*	0.02	0.10
Nose, U	0.37*	0.15*	0.26*	0.13	0.30*	0.23*		0.61*	-0.13*	-0.15*
Nose, H	0.35*	0.17*	0.31*	0.15	0.36*	0.44*	0.34*		0.06	-0.14*
Eye VAR	-0.69*	0.07	-0.20*	0.12	-0.15*	0.26*	-0.22*	-0.03		0.31*
Inner ear VAR	-0.20*	0.67*	-0.15*	0.76*	-0.07	0.08	-0.04	-0.06	0.29*	
Outer ear VAR	-0.11	0.81*	0.07	0.80*	-0.01	0.09	-0.04	-0.05	0.20*	0.87*
Nose VAR	-0.04	0.01	0.03	0.01	0.04	0.16*	-0.60*	0.55*	0.18*	-0.01
DIF Eye-TEMP	0.24*	0.34*	0.70*	0.31*	0.50*	0.08	0.30*	0.06	-0.20*	-0.17*
DIF Inner ear-TEMP	0.20*	0.31*	0.51*	0.26*	0.59*	0.11	0.37*	0.08	-0.13	-0.08
DIF Outer ear-TEMP	0.19*	-0.10	-0.10	-0.09	-0.10	0.06	0.83*	0.08	-0.16*	-0.03
DIF Nose-TEMP	0.32*	-0.33*	-0.36*	-0.32*	-0.43*	0.05	0.19*	-0.16*	-0.32*	-0.10
TEMP, U	0.23*	0.40*	0.57*	0.37*	0.64*	0.24*	0.01	0.36*	-0.05	-0.01
RH, U	0.05	0.34*	0.50*	0.28*	0.61*	0.12	0.18*	0.33*	0.04	-0.06
TEMP, H	0.30*	0.44*	0.63*	0.40*	0.72*	0.31*	0.10	0.38*	-0.08	-0.02
RH, H	0.09	0.35*	0.52*	0.30*	0.63*	0.15*	0.15*	0.35*	0.03	-0.05

VAR: temperature in handled rabbits – temperature in undisturbed rabbits. TEMP: room temperature. RH: relative humidity. DIF Eye-TEMP = Eye, U – TEMP, U. DIF Inner ear-TEMP = Inner ear, U – TEMP, U. DIF Outer ear-TEMP = Outer ear, U – TEMP, U. DIF Nose-TEMP = Nose, U – TEMP, U. *: $p < 0.05$

rabbits tested, as shown in Ardiaca *et al.* (2010). Above that temperature, cell membranes begin to be destroyed by denaturing proteins (Bowler & Manning, 1994).

The state of fear or stress in the animals in this trial could be due to the fact that they were not manipulated early, as indicated in Price (2002), but rather directly after weaning. In fact, handling during lactation reduces rabbits' fear of humans (Bilkó & Altbäcker, 2000). Csatádi *et al.* (2005) also show that early handling in rabbit offspring significantly reduces the stress caused by human presence. Olivás & Villagrà (2013) reported that manipulation per se does not cause hyperthermia, but that it is caused by the stressors of the study. Cabezas *et al.* (2007) confirmed that in captivity, wild rabbits show fear episodes and flight reactions due to human presence and handling.

The temperature of the undisturbed rabbit's anatomical parts tested was correlated with the room temperature, as found by Cervera & Fernández-Carmona (1998), but not

with the relative humidity. The room temperature where the animals are kept is a key condition for the regulation of a rabbit's internal temperature (Sanmiguel & Díaz, 2011). In summer, there was a decrease in the temperature difference of the monitored anatomical parts during the fattening period, between the first and last days of the experiment; it could therefore be said that there was a process of gradual adjustment to human handling, which did not happen in winter. The greater differences between the temperature of the handled and unhandled rabbits occurring in summer at the beginning of the fattening period versus the smaller differences at the end could be due to the thermal stress suffered by the rabbits in warm environments, as their age and body weight increase throughout the fattening time. In other words, the animals in the first stages of fattening do not suffer heat stress and, consequently, the differences between the temperature when they are handled and the initial unhandled temperature are

Table 5. Continued

	Outer ear VAR	Nose VAR	DIF Eye-TEMP	DIF Inner ear-TEMP	DIF Outer ear-TEMP	DIF Nose-TEMP	TEMP, U	RH, U	TEMP, H	RH, H
Eye, U	-0.34*	-0.35*	0.20*	0.25*	-0.10	-0.32*	0.45*	-0.54*	0.67*	-0.51*
Eye, H	-0.17*	-0.23*	0.27*	0.33*	-0.03	-0.32*	0.38*	-0.55*	0.69*	-0.56*
Inner ear, U	-0.58*	-0.31*	0.53*	0.57*	-0.14*	-0.45*	0.52*	-0.76*	0.81*	-0.70*
Inner ear, H	-0.07	-0.27*	0.48*	0.55*	0.03	-0.27*	0.33*	-0.67*	0.77*	-0.69*
Outer ear, U	-0.61*	-0.32*	0.50*	0.60*	-0.13*	-0.45*	0.52*	-0.78*	0.83*	-0.71*
Outer ear, H	-0.04	-0.27*	0.48*	0.55*	0.01	-0.30*	0.36*	-0.73*	0.82*	-0.74*
Nose, U	-0.31*	-0.82*	0.31*	0.38*	0.25*	-0.29*	0.36*	-0.55*	0.62*	-0.50*
Nose, H	-0.30*	-0.05	0.34*	0.41*	-0.03	-0.33*	0.39*	-0.70*	0.75*	-0.69*
Eye VAR	0.25*	0.20*	0.02	0.02	0.09	0.08	-0.16*	0.11	-0.13*	0.07
Inner ear VAR	0.80*	0.10	-0.14*	-0.10	0.25*	0.31*	-0.33*	0.23*	-0.16*	0.10
Outer ear VAR		0.18*	-0.20*	-0.28*	0.23*	0.38*	-0.41*	0.34*	-0.31*	0.21*
Nose VAR	-0.01		-0.15*	-0.18*	-0.34*	0.13*	-0.17*	0.19*	-0.24*	0.13*
DIF Eye-TEMP	0.05	-0.22*		0.96*	0.66*	0.51*	-0.45*	-0.37*	0.37*	-0.41*
DIF Inner ear-TEMP	-0.05	-0.26*	0.83*		0.62*	0.44*	-0.38*	-0.44*	0.45*	-0.47*
DIF Outer ear-TEMP	-0.05	-0.67*	0.36*	0.45*		0.85*	-0.81*	0.10	-0.11	0.02
DIF Nose-TEMP	-0.09	-0.31*	0.31	0.35*	0.64*		-0.99*	0.37*	-0.40*	0.26*
TEMP, U	0.03	0.30*	-0.19*	-0.25*	-0.55*	-0.85*		-0.43*	0.47*	-0.32*
RH, U	-0.03	0.12	0.14	0.21*	-0.15*	-0.49*	0.53*		-0.89*	0.95*
TEMP, H	0.02	0.24*	-0.08	-0.11	-0.45*	-0.77*	0.96*	0.62*		-0.92*
RH, H	-0.02	0.16*	0.08	0.13	-0.23*	-0.57*	0.64*	0.99*	0.70*	

VAR: temperature in handled rabbits – temperature in undisturbed rabbits. TEMP: room temperature. RH: relative humidity. DIF Eye-TEMP = Eye, U – TEMP, U. DIF Inner ear-TEMP = Inner ear, U – TEMP, U. DIF Outer ear-TEMP = Outer ear, U – TEMP, U. DIF Nose-TEMP = Nose, U – TEMP, U. *: $p < 0.05$

relatively large. However, in the final stage of fattening, heat stress is produced in the rabbits and, consequently, the initial temperature is higher, with a naturally smaller difference between the temperature of the handled animal and the initial temperature. This fact has been observed in rabbits (Daader *et al.*, 2018) and in other species (Soleimani *et al.*, 2008; Collier *et al.*, 2019): as the animals are older and gain weight, they become more sensitive to thermal stress, and their body temperature rises. As a consequence, for rabbit production, this implies that on farms, it is heat stress that needs to be controlled more strictly as the fattening period progresses, and that handling does not increase thermal stress in rabbits.

The room temperature in which the animals are kept is the key factor in the rabbits' ability to regulate their temperature (Cervera & Fernández-Carmona, 1998), and they thermoregulate more efficiently in lower temperatu-

res (Lebas *et al.*, 1997). Starting at 24 °C, weaned rabbits during the fattening period begin to have breathing problems, with fatigue, increased heart rate, lack of appetite and decreased basal metabolism (Samoggia, 1987). Although our room temperatures were slightly higher, none of these effects were observed in the current trial, perhaps due to this breed's adaptation to the warm Spanish climate (Cañón, 2015) and due to the rabbits' phenotypic plasticity (Dalmau *et al.*, 2015).

Energy is required for the flight reaction, which justifies the increase in temperature (Duval *et al.*, 2010), and this need is greater in winter than in summer (Samoggia, 1987). The animals' ability to generate energy for flight after handling, demonstrated through variations in body temperature, was much greater in winter than in summer. Before the response to stress, the lower metabolic activity in summer (Okab *et al.*, 2008) and the greater need for

energy for winter flight would account for this difference in body temperature we observed between the first day (weaning) and the last day (end of the fattening period) in each of the seasons. The difference in temperature due to stress induction is due to the fact that individuals in the populations differ naturally in their physiological responses and, therefore, each animal's capacity to cope with stressful and adverse situations is different (Monclús *et al.*, 2006; Cabezas *et al.*, 2007; Broom, 2011).

Taking into account the large number of infrared temperature measurements recorded (456), it is safe to conclude that eye temperature is a good reference point to record body temperature in fattening rabbits by infrared thermography, since the range of temperature values recorded was the narrowest of all those taken, between 33.33 and 40.03 °C. However, no studies have correlated rectal temperature with eye temperature by thermography in rabbits, and further trials would therefore be needed to confirm this conclusion.

The highest temperature ranges in undisturbed rabbits occurred in the outer ear measurements, as reported by Gonzalez *et al.* (1971) and Zeferino *et al.* (2011), since this external body part is involved in heat transfer to the room, and is affected by both vasoconstriction and vasodilatation, depending on a lower or higher room temperature, respectively (Cervera & Fernández-Carmona, 1998).

The range of differences between the infrared temperature averages for the outer ear and room temperature in undisturbed rabbits, considering both summer and winter, was 3.5, compared to 4.5 °C found by Gonzalez *et al.* (1971). However, if only infrared temperature values in summer are considered, the difference is 5.0 °C in our trial against 3.8 °C in Gonzalez *et al.* (1971) and 2.9 °C in Yamasaki-Maza *et al.* (2017). These differences may be due to factors such as differences in rabbit breeds and the tools used to measure temperature (Gonzalez *et al.*, 1971). Yamasaki-Maza *et al.* (2017) used a clinical, digital non-contact infrared thermometer with temperature range of 32-43 °C (± 0.3 °C accuracy) on New Zealand, Chinchilla and Azteca rabbits, while Gonzalez *et al.* (1971) used copper-constantan thermocouples attached with plastic discs to small shaved areas of skin behind the ears of New Zealand White rabbits.

There were no differences between sexes in temperature values in handled and undisturbed rabbits. The fact that these differences did not occur is due to the fact that during the study, the rabbits had not yet reached puberty (Lebas *et al.*, 1997) being between 28 and 66 days old, with a fattening period of 38 days. Monclús *et al.* (2006) detected differences between sexes when rabbits were subjected to stress due to differences in the metabolism of glucocorticoids between males and females. Touma *et al.* (2003) also showed that there were differences in

corticosterone metabolism between male and female rats. Another reason why there were no differences in temperatures between males and females after handling could be the fact that the stress that occurred was acute, caused by a short reaction, and influenced by an increase in catecholamines instead of glucocorticoids.

In conclusion, rabbits that have not been handled by humans during the lactation period do not become accustomed to handling in the fattening phase and stress occurs, as evidenced by the body temperature variations. Infrared thermography is a good technique for assessing by temperature records the acute stress of fattening rabbits as a result of handling, and the inner ear and the eye are the most reliable points to measure it.

References

- Ardiaca M, Brotóns NJ, Montesinos A, 2010. Aproximación a las urgencias y cuidados intensivos en conejos, psitácidas y reptiles. *Clínica Veterinaria de Pequeños Animales* 30 (1): 5-14.
- Bartolomé E, Sánchez MJ, Molina A, Schaefer AL, Cervantes I, Valera M, 2013. Using eye temperature and heart rate for stress assessment in young horses competing in jumping competitions and its possible influence on sport performance. *Animal* 7 (12): 2044-2053. <https://doi.org/10.1017/S1751731113001626>
- Benato L, Rooney NJ, Murrell JC, 2019. Pain and analgesia in pet rabbits within the veterinary environment: a review. *Vet Anaesth Analg* 46 (2): 151-162. <https://doi.org/10.1016/j.vaa.2018.10.007>
- Bilkó Á, Altbäcker V, 2000. Regular handling early in the nursing period eliminates fear responses toward human beings in wild and domestic rabbits. *Dev Psychobiol* 36 (1): 78-87. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2302\(20001\)36:1<78::AID-DEV8>3.0.CO;2-5](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2302(20001)36:1<78::AID-DEV8>3.0.CO;2-5)
- BOE, 2013. Real Decreto 53/2013, de 1 de febrero, por el que se establecen las normas básicas aplicables para la protección de los animales utilizados en experimentación y otros fines científicos, incluyendo la docencia. Ministerio de la Presidencia, Gobierno de España. *Boletín Oficial del Estado* 34: 11370-11421.
- Bowler K, Manning R, 1994. Membranes as the critical targets in cellular heat injury and resistance adaptation. In: *Temperature adaptation of biological membranes*; Cossins AR (ed.). Section 15, pp: 185-204. Portland Press, London. ISBN: 9781855780620.
- Broom DM, 2011. Animal welfare: concepts, study methods and indicators. *Rev Colomb Cienc Pec* 24 (3): 306-321.
- Cabezas S, Blas J, Marchant TA, Moreno S, 2007. Physiological stress levels predict survival probabilities

in wild rabbits. *Horm Behav* 51 (3): 313-320. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2006.11.004>

Cañón J, (Ed). 2015. Historia, caracterización y situación del conejo Antiguo Pardo Español. ASEMUCE-Servicio de Genética UCM. https://www.ucm.es/data/cont/docs/345-2016-12-07-Raza_Conejos_Antiguo_Pardo_Español.pdf.

Cervera C, Fernández-Carmona J, 1998. Nutrition and the climatic environment. In: The nutrition of the rabbit; De Blas C, Wiseman J (eds.). pp: 267-284. CAB Int, Wallingford, UK. ISBN: 978-0851992792. <https://doi.org/10.1079/9781845936693.0267>

Collier RJ, Baumgard LH, Zimbelman RB, Xiao Y, 2019. Heat stress: physiology of acclimation and adaptation. *Anim Front* 9 (1): 12-19. <https://doi.org/10.1093/af/vfy031>

Coureaud G, Rödel HG, Le Normand B, Fortun-Lamothe L, Bignon L, 2015. Habitat e comportement. In: Le lapin. De la biologie à l'élevage; Gidenne T (ed.). pp: 107-136. Éditions Quae, Versailles, France. ISBN: 9782759224166.

Csatádi K, Kustos K, Eiben C, Bilkó Á, Altbäcker V, 2005. Even minimal human contact linked to nursing reduces fear responses toward humans in rabbits. *Appl Anim Behav Sci* 95 (1-2): 123-128. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2005.05.002>

Daader AH, Al-Sagheer AA, Gabr HA, Abd El-Moniem EA, 2018. Alleviation of heat-stress-related physiological perturbations in growing rabbits using natural antioxidants. *Span J Agric Res* 16 (3): e0610. <https://doi.org/10.5424/sjar/2018163-13184>

Dalmau A, Catanese B, Rafel O, Rodriguez P, Fuentes C, Llonch P, Mainau E, Velarde A, Ramón J, Taberner E, López-Béjar M, Piles M, 2015. Effect of high temperatures on breeding rabbit behaviour. *Anim Prod Sci* 55 (9): 1207-1214. <https://doi.org/10.1071/AN13440>

De Lima V, Piles M, Rafel O, López-Béjar M, Ramón J, Velarde A, Dalmau A, 2013. Use of infrared thermography to assess the influence of high environmental temperature on rabbits. *Res Vet Sci* 95 (2): 802-810. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2013.04.012>

Dickens MJ, Romero LM, 2013. A consensus endocrine profile for chronically stressed wild animals does not exist. *Gen Comp Endocr* 191: 177-189. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2013.06.014>

Duval F, González F, Rabia H, 2010. Neurobiología del estrés. *Revista Chilena de Neuro-Psiquiatría* 48 (4): 307-318. <https://doi.org/10.4067/S0717-92272010000500006>

Emam AM, Afonso S, Azoz AAA, González-Redondo P, Mehaisen GMK, Ahmed NA, Ferrand N, 2016a. Microsatellite polymorphism in some Egyptian and Spanish common rabbit breeds. Proc. 11th

World Rabbit Congress, Qingdao (China), Jun 15-18. pp: 31-34.

Emam AM, Afonso S, Azoz AAA, González-Redondo P, Mehaisen GMK, Ahmed NA, Ferrand N, 2016b. Origin of Egyptian and Spanish common rabbits: evidence from mitochondrial DNA cytochrome b sequence analysis. Proc. 11th World Rabbit Congress, Qingdao (China), Jun 15-18. pp: 35-38.

FAOSTAT, 2019. Statistics Database. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome (Italy). <http://www.fao.org/faostat/en/#data>

Fayez I, Marai M, Alnaimy A, Habeeb M, 1994. Thermoregulation in rabbits. In: Rabbit production in hot climates; Basalga M, Marai IFM (eds.), CIHEAM, Zaragoza. *Cahiers Opt Méditerr* 8: 33-41.

Ferré JS, Rosell JM 2000. Alojamiento y patología. In: Enfermedades del conejo; Rosell JM (ed.). Vol. II, pp: 167-210. Mundi-Prensa, Madrid. ISBN: 9788471149077.

Ferreira C, Castro F, Piorno V, Catalán I, Delibes-Mateos M, Rouco C, Mínguez LE, Aparicio F, Blanco-Aguilar JA, Ramírez E, *et al.*, 2015. Biometrical analysis reveals major differences between the two subspecies of the European rabbit. *Biol J Linn Soc* 116 (1): 106-116. <https://doi.org/10.1111/bij.12556>

Gascón FM, Verde M, 1987. Efecto estresante de la manipulación en el conejo. Proc. XII Simp. de Cunicultura de ASESCU, Guadalajara (Spain), May 20-22. pp: 125-132.

Glaser R, Kiecolt-Glaser JK, 2005. Stress-induced immune dysfunction: implications for health. *Nat Rev Immunol* 5 (3): 243-251. <https://doi.org/10.1038/nri1571>

Gonzalez RR, Kluger MJ, Hardy JD, 1971. Partitional calorimetry of the New Zealand White rabbit at temperatures 5-35 °C. *J Appl Physiol* 31 (5): 728-734. <https://doi.org/10.1152/jappl.1971.31.5.728>

González-Redondo P, 2016. Resultados preliminares de rendimiento reproductivo y de engorde de un núcleo de cría de conejos de tipo Común Doméstico Español. Proc. XLI Simp. de Cunicultura de ASESCU, Hondarribia (Spain), May 12-13. pp: 180-185.

Greco D, Stabenfeldt GH, 1997. Endocrine glands and their function, In: Textbook of veterinary physiology; Cunningham JG (ed.). 2nd ed, pp: 404-439. WB Saunders Company St. Louis, USA. ISBN: 9780721664248.

Grissom N, Bhatnagar S, 2009. Habituation to repeated stress: get used to it. *Neurobiol Learn Mem* 92 (2): 215-224. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2008.07.001>

Kataoka N, Hioki H, Kaneko T, Nakamura K, 2014. Psychological stress activates a dorsomedial hypothalamus-medullary raphe circuit driving brown

- adipose tissue thermogenesis and hyperthermia. *Cell Metab* 20 (2): 346-358. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2014.05.018>
- Kuchel O, 1991. Stress and catecholamines. *Methods Achiev Exp Pathol* 14: 80-103.
- Lattin CR, Romero LM, 2014. Chronic stress alters concentration of corticosterone receptors in a tissue-specific manner in wild house sparrows (*Passer domesticus*). *J Exp Biol* 217 (14): 2601-2608. <https://doi.org/10.1242/jeb.103788>
- Lebas F, Coudert P, de Rochambeau H, Thébault RG, 1997. The rabbit - Husbandry, health and production. FAO, Rome. ISBN: 9789251034415.
- Long NC, Vander AJ, Kluger MJ, 1990. Stress-induced rise of body temperature in rats is the same in warm and cool environments. *Physiol Behav* 47 (4): 773-775. [https://doi.org/10.1016/0031-9384\(90\)90093-J](https://doi.org/10.1016/0031-9384(90)90093-J)
- Ludwig N, Gargano M, Luzi F, Carenzi C, Verga M, 2007. Technical note: applicability of infrared thermography as a non invasive measurement of stress in rabbit. *World Rabbit Sci* 15 (4): 199-206. <https://doi.org/10.4995/wrs.2007.588>
- Luzi F, Ludwig N, Monzani M, Gargano M, Ricci C, Redaelli V, Verga M, 2007. Procedures for analyses of sequence of thermal images in welfare study of rabbit. Proc. 4th Int. Workshop on the Assessment of Animal Welfare at Farm and Group Level (WAFL), Ghent (Belgium), Sep 10-13. p. 85.
- Manteca X, 1998. Neurophysiology and assessment of welfare. *Meat Sci* 49 (Suppl 1): S205-S218. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(98\)90049-3](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(98)90049-3)
- Minton JE, 1994. Function of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis and the sympathetic nervous system in models of acute stress in domestic farm animals. *J Anim Sci* 72 (7): 1891-1898. <https://doi.org/10.2527/1994.7271891x>
- Monclús R, Rödel HG, Palme R, von Holst D, De Miguel J, 2006. Non-invasive measurement of the physiological stress response of wild rabbits to the odour of a predator. *Chemoecology* 16 (1): 25-29. <https://doi.org/10.1007/s00049-005-0324-6>
- Möstl E, Palme R, 2002. Hormones as indicators of stress. *Domest Anim Endocrin* 23 (1-2): 67-74. [https://doi.org/10.1016/S0739-7240\(02\)00146-7](https://doi.org/10.1016/S0739-7240(02)00146-7)
- Nelson RJ, 2000. An introduction to behavioral endocrinology, 2nd edition. Sinauer Ass. Inc. Pub., MA, USA. ISBN: 0-87893-616-5
- OJ, 2010. Directive 2010/63/EU of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purposes. European Parliament and Council. Official J European Union, L276: 33-79.
- Okab AB, El-Banna SG, Koriem AA, 2008. Influence of environmental temperatures on some physiological and biochemical parameters of New-Zealand rabbit males. *Slovak J Anim Sci* 41 (1): 12-19.
- Olivas I, Villagrà A, 2013. Technical Note: Effect of handling on stress-induced hyperthermia in adult rabbits. *World Rabbit Sci* 21 (1): 41-44. <https://doi.org/10.4995/wrs.2013.1178>
- Peaston RT, Weinkove C, 2004. Measurement of catecholamines and their metabolites. *Ann Clin Biochem* 41 (1): 17-38. <https://doi.org/10.1258/000456304322664663>
- Podberscek AL, Blackshaw JK, Beattie AW, 1991. The behaviour of group penned and individually caged laboratory rabbits. *Appl Anim Behav Sci* 28 (4): 353-363. [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(91\)90167-V](https://doi.org/10.1016/0168-1591(91)90167-V)
- Price EO, 2002. Animal domestication and behavior. CAB Int, Wallingford, UK. ISBN: 9780851995977. <https://doi.org/10.1079/9780851995977.0000>
- Samoggia G, 1987. Esigenze fisioclimatiche dei conigli nell'allevamento intensivo. *Rivista di Conigliicoltura* 24 (5): 16-20.
- Sánchez MJ, Bartolomé E, Valera M, 2016. Genetic study of stress assessed with infrared thermography during dressage competitions in the Pura Raza Español horse. *Appl Anim Behav Sci* 174: 58-65. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2015.11.006>
- Sanmiguel RA, Díaz V, 2011. Mecanismos fisiológicos de la termorregulación en animales de producción. *Rev Colomb Cienc Anim* 4 (1): 88-94.
- Silva S, Mourão JL, Ribeiro L, Gonçalves C, Pinheiro V, 2014. Utilização de imagens termográficas por infravermelhos para avaliar a temperatura de láparos em ninhões com diferente material. Proc. XXXIX Simp. de Cunicultura de ASESUCU, Tudela (Spain), May 29-30. pp: 67-70.
- Silva SR, Mourão JL, Guedes C, Monteiro D, Pinheiro V, 2015. Utilización de imágenes video y termográficas para estimar el peso vivo de conejos en cebo. Proc. XL Simp. de Cunicultura de ASESUCU, Santiago de Compostela (Spain), May 28-29. pp: 115-117.
- Soleimani AF, Kasim A, Alimon AR, Zulkifli I, 2008. Durability of induced heat tolerance by short term heat challenge at broilers marketing age. *Pak J Biol Sci* 11 (17): 2163-2166. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2008.2163.2166>
- Stewart M, Webster JR, Schaefer AL, Cook NJ, Scott SL, 2005. Infrared thermography as a non-invasive tool to study animal welfare. *Anim Welfare* 14 (4): 319-325.
- Stewart M, Webster JR, Verkerk GA, Schaefer AL, Colyn JJ, Stafford KJ, 2007. Non-invasive measurement of stress in dairy cows using infrared thermography. *Physiol Behav* 92 (3): 520-525. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2007.04.034>
- Temple D, Mainau E, Manteca X, 2014. Practical note – Fear caused by poor human-animal relationship. Farm Animal Welfare Education Centre. https://www.fawec.org/media/com_lazypdf/pdf/Nota-n-2-fear-en.pdf

- Touma C, Sachser N, Möstl E, Palme R, 2003. Effects of sex and time of day on metabolism and excretion of corticosterone in urine and feces of mice. *Gen Comp Endocrinol* 130 (3): 267-278. [https://doi.org/10.1016/S0016-6480\(02\)00620-2](https://doi.org/10.1016/S0016-6480(02)00620-2)
- Travain T, Colombo ES, Heinzl E, Bellucci D, Previde EP, Valsecchi P, 2015. Hot dogs: Thermography in the assessment of stress in dogs (*Canis familiaris*)-A pilot study. *J Vet Behav* 10 (1): 17-23. <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2014.11.003>
- Trocino A, Xiccato G, 2006. Animal welfare in reared rabbits: a review with emphasis on housing systems. *World Rabbit Sci* 14 (2): 77-93. <https://doi.org/10.4995/wrs.2006.553>
- Valera M, Bartolomé E, Sánchez MJ, Molina A, Cook N, Schaefer AL, 2012. Changes in eye temperature and stress assessment in horses during show jumping competitions. *J Equine Vet Sci* 32 (12): 827-830. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2012.03.005>
- Weissier I, Boissy A, 2007. Stress and welfare: Two complementary concepts that are intrinsically related to the animal's point of view. *Physiol Behav* 92 (3): 429-433. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2006.11.008>
- Warriss PD, Pope SJ, Brown SN, Wilkins LJ, Knowles TG, 2006. Estimating the body temperature of groups of pigs by thermal imaging. *Vet Rec* 158 (10): 331-334. <https://doi.org/10.1136/vr.158.10.331>
- Wingfield JC, Hunt K, Breuner C, Dunlap K, Fowler GS, Freed L, Lepson J, 1997. Environmental stress, field endocrinology, and conservation biology. In: Behavioral approaches to conservation in the wild; Buchholz JR, Clemmons R (eds.). pp: 95-131. Cambridge University Press, Cambridge, UK. ISBN: 9780521589604.
- Xu HT, 1996. The behaviour of the rabbit. Proc. 6th World Rabbit Congress. Toulouse (France), Jul 09-12. pp: 437-440.
- Yamasaki-Maza A, Yamasaki-Maza L, Ruiz-Rojas JL, 2017. Temperatura ambiente y humedad relativa y su relación con el bienestar en conejos (*Oryctolagus cuniculus*) en engorda en el trópico seco. Proc. Congr. Mesoam. de Invest. UNACH. Digital Magazine 4: 1366-1371.
- Zeferino CP, Moura ASAMT, Fernandes S, Kanayama JS, Scapinello C, Sartori JR, 2011. Genetic group \times ambient temperature interaction effects on physiological responses and growth performance of rabbits. *Livest Sci* 140 (1-3): 177-183. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.03.027>
- Zucca D, Redaelli V, Marelli SP, Bonazza V, Heinzl E, Verga M, Luzi F, 2012. Effect of handling in pre-weaning rabbits. *World Rabbit Sci* 20 (2): 97-101. <https://doi.org/10.4995/wrs.2012.1083>

2. CAPÍTULO 2. INFLUENCIA DEL ESTRÉS Y PARÁMETROS AMBIENTALES EN EL RENDIMIENTO DE CONEJOS DE ENGORDE.

El segundo capítulo de la Tesis Doctoral está constituido por el siguiente artículo científico:

Título en inglés: Influence of stress assessed through infrared thermography and environmental parameters on the performance of fattening rabbits

Título en español: *Influencia del estrés evaluado mediante termografía infrarroja y de los parámetros ambientales sobre el rendimiento de conejos de engorde*

Autores: Jaén-Téllez JA, Sánchez-Guerrero MJ, Valera M, González-Redondo P

Afiliación: Departamento de Agronomía, Universidad de Sevilla, Ctra. Utrera km 1, 41013 Sevilla, España

Revista: Animals, 2021, 11: 1747. <https://doi.org/10.3390/ani11061747>

Índice de impacto: 2,752

Categoría y cuartil: Veterinary Sciences. Q1

Resumen

El segundo capítulo de la presente Tesis Doctoral aborda el efecto de los niveles de estrés por calor, evaluado mediante el índice de temperatura-humedad (THI) y el efecto del estrés de manipulación, registrado mediante cambios de termografía infrarroja en el oído interno de conejos criados para la producción de carne, sobre los parámetros de rendimiento, durante las estaciones fría (enero-febrero) y cálida (abril-mayo).

Los conejos a menudo experimentan estrés cuando perciben ciertos estímulos, como la manipulación. La eficiencia alimenticia está asociada a la respuesta fisiológica de los animales al estrés y al temperamento, siendo los animales con menor capacidad de reacción al estrés los que muestran el mayor rendimiento.

Para la realización de este estudio se usaron 39 conejos durante un período de engorde de 38 días, en dos épocas del año: una temporada fría (del 9 de enero al 23 de febrero) y una temporada cálida (del 14 de abril al 22 de mayo). El estrés de los conejos debido a la manipulación se evaluó mediante la diferencia de temperatura (DIF) tomada por termografía infrarroja en el oído interno de los animales, antes y después de ser manipulados, utilizando la siguiente escala:

- nivel 1 (no estresado): $DIF \leq 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- nivel 2 (levemente estresado): $0 \text{ }^{\circ}\text{C} < DIF \leq 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- nivel 3 (estresado): $5 \text{ }^{\circ}\text{C} < DIF \leq 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- nivel 4 (muy estresado): $DIF > 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Las temperaturas termográficas se registraron en dos días (lunes y jueves) durante cada una de las semanas del periodo de engorde. En cada día de muestreo, la temperatura se midió en la jaula con el animal sin manipular y se realizó una segunda medición a los 10 minutos, manipulándose por la misma persona, sujetándolo en brazos durante 60 segundos.

En general, los rendimientos productivos fueron bajos, al tratarse de una raza rústica no mejorada. Los animales fueron más productivos en la estación fría, ya que los valores

obtenidos para la ingesta diaria de pienso (DFI, $80,30 \pm 2,63$ g/d estación fría vs $76,21 \pm 1,42$ g/d estación cálida), la ganancia media diaria (ADG, $27,39 \pm 0,83$ g/d estación fría vs $24,79 \pm 0,52$ g/d estación cálida), el peso corporal total (TBW, $1445,39 \pm 61,36$ g estación fría vs $1335,49 \pm 52,66$ g estación cálida), la ingesta total de pienso (TFI, $3027,35 \pm 50,31$ g estación fría vs $2901,87 \pm 119,90$ g estación cálida) y la ganancia total de peso (TWG, $961,72 \pm 17,79$ g estación fría vs $924,94 \pm 35,60$ g estación cálida) fueron mayores, mientras que el índice de conversión alimentaria (FCR) fue mayor en la estación cálida ($3,08 \pm 0,09$ estación fría vs $3,24 \pm 0,07$ estación cálida). El THI influyó significativamente en la ADG y DFI. Los conejos con niveles más altos de estrés mostraron valores más altos de ADG, DFI y FCR, siendo menos eficientes en términos productivos.

Se concluye que los cambios en el bienestar animal causados por la reactividad individual de los conejos a un efecto estresante como el manejo y a los factores climáticos afectan a la productividad durante el engorde.

Article

Influence of Stress Assessed through Infrared Thermography and Environmental Parameters on the Performance of Fattening Rabbits

Juan Antonio Jaén-Téllez , María José Sánchez-Guerrero *, Mercedes Valera  and Pedro González-Redondo 

Departamento de Agronomía, Universidad de Sevilla, Ctra. Utrera km 1, 41013 Seville, Spain; jantonio.jaen@juntadeandalucia.es (J.A.J.-T.); mvalera@us.es (M.V.); pedro@us.es (P.G.-R.)

* Correspondence: v32sagum@gmail.com; Tel.: +34-622248674

Simple Summary: The aim of this study was to evaluate the impact of stress due to heat (temperature-humidity index; THI) or handling (human restraining), assessed using infrared thermography, on the performance parameters of rabbits of a Spanish Common breed. Thirty-nine rabbits weaned at the age of 28 days were analyzed during a 38-d fattening period at two times of the year: a cold period and a warm period. The rabbits' stress due to handling was assessed by the temperature difference taken by infrared thermography in the inner ear of the animals, before and after being handled. In general, the productive results were low, since it was an unimproved rustic breed. The animals were more productive in the cold season as the values obtained for daily feed intake (DFI), average daily gain (ADG), total body weight (TBW), total feed intake (TFI) and total weight gain (TWG) were higher then, while the feed conversion ratio (FCR) was higher in the warm season. The greater the stress due to handling, the less efficient the animals were. It was therefore concluded that changes in animal welfare caused by the rabbits' reactivity to both climatic and individual factors affect animal productivity.

Abstract: Rabbits often experience stress when they perceive certain stimuli, such as handling. The physiological response of animals to stress and temperament is associated with feeding efficiency, with those with the least capacity to react to stress showing the highest performance. The aim of this study was to evaluate the impact of stress due to heat (temperature-humidity index; THI) or handling, assessed using infrared thermography, on the performance parameters of rabbits of a Spanish Common breed. Thirty-nine rabbits were analyzed during a 38-d fattening period at two times of the year: a cold period and a warm period. The rabbits' stress due to handling was assessed by the temperature difference taken in the inner ear, before and after being handled. The animals were more productive in the cold season. Temperature-humidity index significantly influenced average daily gain (ADG) and daily feed intake (DFI). Rabbits with higher levels of stress showed higher ADG, DFI and feed conversion ratio (FCR) values. The greater the stress due to handling, the less efficient the animals were. FCR increased with higher THI. It was concluded that changes in animal welfare caused by the rabbits' reactivity to both climatic and individual factors affect animal productivity.

Keywords: animal welfare; fattening performance; infrared thermography; rabbit; stress; temperature discipline



Citation: Jaén-Téllez, J.A.; Sánchez-Guerrero, M.J.; Valera, M.; González-Redondo, P. Influence of Stress Assessed through Infrared Thermography and Environmental Parameters on the Performance of Fattening Rabbits. *Animals* **2021**, *11*, 1747. <https://doi.org/10.3390/ani11061747>

Academic Editor: Cesare Castellini

Received: 23 April 2021

Accepted: 8 June 2021

Published: 11 June 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Docility and not being afraid of people are among the preferential characteristics selected when domesticating animals [1]. Rabbits, however, were domesticated much later than other species [2] and the effects of domestication on them are not so marked: in fact, they conserve many characteristics of their wild ancestors, such as digging burrows and making nests [3,4]. Another of these is that domestication has failed to eradicate their fear

of humans, who are perceived as a potential predator [5]. Nevertheless, proper treatment by breeders can decrease the animals' fear and contribute to their welfare [6]. Animals often experience stress when they perceive certain stimuli, such as handling by breeders, and it is possible to differentiate between acute and chronic stress [7]. Correct handling has extremely positive effects in this species, especially if it starts soon after birth [8], since the critical period for socialization occurs when the kits first open their eyes in the nest, at around 10 days of age [9].

In addition, the environmental conditions, especially temperature and relative humidity, affect both the physiological state and the productivity of animals [10]. Rabbits are particularly sensitive to heat, as they have few sweat glands and find it hard to reduce their body heat [11,12]. The rabbit has a thermoneutral zone between 18 and 21 °C, in which it makes no effort to raise or reduce its temperature [13,14] and in which it neither suffers any stress from trying to maintain its body temperature nor requires any extra energy to regulate it to the detriment of production indexes [15]. However, heat stress in rabbits does have a negative influence on production [16], with high temperatures the main factor affecting rabbit production in regions with a warm climate [17]. In this case, a parallel pathway to that of stress management is used, whereby the hypothalamus receives information about the environment and coordinates its responses through nerves and hormones.

Physiological changes occur in order to cope with this stimulus [18]. In the short term, a stressful stimulus response is triggered by activation of the sympathetic nervous system, which releases catecholamines (norepinephrine and epinephrine) from the adrenal medulla [19]. According to Axelrod and Reisine [20], motor activity and heart and spleen contractions increase in this phase, releasing more red blood cells. Vasomotor adjustments and dilation of the pupil occur, blood clotting increases and lymphocytes are neutralized to repair tissue damage, while energy is increased through glycolysis and lipolysis [20].

Animals may have different behavioral responses to handling; this is what is called temperament [21]. Animals can be more easily stressed if they are more excitable [22]. Furthermore, the ability of each animal to cope with stressful and adverse situations is different [23–25]. Physiological changes caused by stress can have adverse effects on rabbits' productive performance, affecting parameters such as feed consumption, increased body weight, feed conversion and the quality of the meat obtained [26]. The physiological response of animals to stress and temperament are associated with feeding efficiency, with those animals with the least capacity to react to stress being the most effective [27]. These adverse effects have a bearing on the viability of commercial production of rabbit meat, since the fattening period accounts for at least 40% of the animal's lifetime on the farm [28] and a large part of farm production costs (around 40%) is spent on feeding during the fattening period [29,30].

Stress can be estimated through biomarkers and changes in body temperature, and these can be analyzed using different techniques, such as by analyzing the biochemical parameters in the blood [31] and in excreta [32], or by infrared thermography [33,34]. Changes in body surface temperature as a consequence of both acute and chronic stress can be detected by infrared thermography [35,36]. Electromagnetic energy is measured using an infrared camera, and detects the different wave frequencies emitted by each temperature value [35]. Its main strength is that it is a non-invasive and non-contact method which can measure the surface temperature of animals [37]. It has been used successfully in ruminants [35], pigs [38], dogs [39], horses [40] and rabbits [33,41].

As has been shown, handling and environmental conditions (temperature and humidity) can be two of the most common stressors in current rabbit production systems. No record has been found of any studies describing how heat stress (measured with a temperature-humidity index) and stress caused by handling (animals measured with infrared thermography) in the post-weaning phase can influence the performance parameters of rabbits. For this reason, the main aim of this work was to evaluate the effect of the levels of heat stress, assessed through the temperature-humidity index (THI) and handling stress, evaluated by using infrared thermography. Infrared thermography was measured in the

inner ear of rabbits reared for meat production, on the performance parameters of the fattening period, during the cold and warm seasons.

2. Materials and Methods

2.1. Animals and Husbandry

Common Spanish agouti-coated domestic meat-oriented rabbits belonging to a strain kept at the Higher Technical School of Agricultural Engineering Teaching Farm of the University of Seville (Spain) were used. The genetic characterization [42] and productive performance [43] of this nucleus has been previously described. Overall, the rabbits were phenotypically similar to the recently recognized autochthonous breed “Antiguo Pardo Español” (Spanish Common Rabbit) [44].

During the experimental periods, the rabbits were individually housed in polyvalent wire-mesh cages measuring $90 \times 40 \times 30$ cm³ (length, width and height, respectively), located in a conventional closed facility with natural ventilation (geographic coordinates: 37° 21' 36.3" N and 5° 56' 23.9" W; 11 m a.s.l.). The animals were subjected to a natural photoperiod. The trial was carried out in accordance with the Spanish legislation [45] and Directive 2010/63/EU on the protection of animals used for scientific purposes [46]. The experimental protocol was approved (Ref. 25583347/2015) by the Escuela Internacional de Doctorado (International Doctorate School) of the University of Seville (Spain).

The rabbits were fed a pelleted commercial balanced diet (15.0% crude protein and 15.5% crude fiber) ad libitum as their only feed. Water was supplied ad libitum.

2.2. Collecting the Temperature Data

A total of 39 weaned rabbits, with an age of 28 days old, were used during a 38-d fattening period in two different seasons: spring (warm season; 14 April to 22 May 2015; mean minimum temperature = 12.5 °C, mean maximum temperature = 24.6 °C; 12 days of data collection; $n = 17$ rabbits (12 males and 5 females)) and winter (cold season; 9 January to 23 February 2016; mean minimum temperature = 7.1 °C, mean maximum temperature = 18.1 °C; 11 days of data collection; $n = 22$ rabbits (8 males and 14 females)). The animals' stress levels were assessed with inner ear temperature measurements, following previous research by Jaén-Téllez et al. [33] which showed that the inner ear is the most suitable region to assess stress in rabbits, and that this correlates closely with eye temperature. Temperature samples were collected twice a week (Monday and Thursday) and twice each day: first, at 11:00 h when the animal had been undisturbed (U) in its own cage since the previous sampling day, and second, about ten minutes after handling the rabbit (held in the keeper's arms) for about sixty seconds (H), always by the same person. The rabbits were restrained by the thorax and the hindquarters following the recommendations given by Chapel et al. [47]. Six pictures temperature image were taken for each rabbit twice a week. Three pictures were taken with the rabbit undisturbed in its own cage before the rabbit had been handled (U) and three when handling the rabbit (H). For each category of temperature (U or H), the mean between the three measurements was calculated. The whole procedure for the entire experimental stock took about 2 h 30 min on each sampling day. The temperature images were taken with a FLIR i7 camera, following the indications by Bartolomé et al. [48], adapted for recording inner ear temperatures in rabbits by Jaén-Telléz et al. [33]. The FLIR i7 has a precision of ± 2 °C or $\pm 2\%$ and an accuracy of 0.10 °C. In order to calibrate the camera results, the environmental temperature and relative humidity were recorded with a digital thermo-hygrometer (Extech® 44550, Waltham, MA, USA) every time an infrared temperature sample was taken, so that each infrared temperature had a corresponding humidity and room temperature reading.

2.3. Environmental and Infrared Temperatures

In order to evaluate the environmental conditions and their relationship with the infrared temperature, the following data were recorded:

Temperature, U (°C) = environmental temperature taken just at the moment when the infrared temperatures were taken in undisturbed rabbits inside the cage.

Relative humidity, U (%) = Relative humidity taken just at the moment when the infrared temperatures were taken in undisturbed rabbits

Inner ear DIF = Infrared inner ear temperature in the handled rabbit (H)—Infrared inner ear temperature in the undisturbed rabbit inside the cage (U).

2.4. Collecting the Productive Data and Calculating Fattening Performance

The 39 weaned rabbits were weighed on the sampling days after the temperature samples were collected. The weight gain by each rabbit and the weight of the feed was recorded twice each day on sample collection: once before being filled (weight of the feed remaining in the feeder) and second, when the feed was added, always after the pictures had been taken. With these measurements, the following productive traits were calculated:

Daily feed intake (DFI, g/d), calculated as:

- DFI = Feed weight differential (g) between two data collection dates/Days elapsed between those two data collection dates.

Average Daily Gain (ADG, g/d), calculated as:

- ADG = Live weight differential (g) between two data collection dates/Days elapsed between those two data collection dates.

The Feed Conversion Ratio (FCR) was calculated over two consecutive data collection days as:

- FCR = feed intake (g)/weight gain (g).

Total body weight (TBW), total weight gain (TWG) and total feed intake (TFI) during the entire fattening period were also calculated.

2.5. Temperature-Humidity Index

The temperature-humidity index (THI), an indicator of thermal comfort level for animals in a housing system, was calculated according to Marai et al. [49], and given as:

$$\text{THI} = t - ((0.31 - 0.31 \times \text{RH}) \times (t - 14.4)) \quad (1)$$

where: t = temperature (°C) and RH = relative humidity percentage/100.

2.6. Statistical Analyses

The descriptive statistics (number, mean, minimum, maximum and standard error (SE)) for each trait: TBW, TWG, TFI, ADG, DFI, FCR and THI are shown in Table 1.

A General Linear Model of repeated measures was performed, considering each weaning rabbit ($n = 39$) as the experimental unit (Table 2). Daily feed intake, ADG and FCR were analyzed using the MIXED procedure [50] for repeated measures [51], assuming a composite symmetric (CS) covariance structure for animal effects, and including the fixed effects of sex, season, stress level and the effect of THI as a covariate. Stress levels were defined depending on the Inner ear DIF of the weaned rabbit at that sampling moment, following previous research by Jaén-Téllez et al. [33] which showed that the inner ear is the most suitable region to assess stress in rabbits. According to the temperature distribution, we defined four stress levels, graded in five-degree intervals that ensured sufficient sample size per interval: Level 1 (not stressed; $n = 17$): Inner ear DIF ≤ 0 °C; Level 2 (slightly stressed; $n = 208$): 0 °C < Inner ear DIF ≤ 5 °C; Level 3 (stressed; $n = 114$): 5 °C < Inner ear DIF ≤ 10 °C and Level 4 (very stressed; $n = 56$): Inner ear DIF > 10 °C. Each environmental effect was analyzed one-by-one using one-factor analyses (Table 2). This was followed by a Tukey-Kramer post-hoc test to study the categorical effects (Table 3).

Table 1. Descriptive statistics of fattening performance of rabbits, in the warm and cold seasons.

	Variables	N	Mean ± SE	Minimum	Maximum	C.V. (%)
Both seasons	TBW (g)	39	1383.38 ± 40.42	577.30	1746.00	18.25
	TWG (g)	39	940.18 ± 30.91	350.50	1276.10	30.90
	TFI (g)	39	2956.57 ± 94.85	1390.70	3771.80	19.72
	ADG (g/d)	39	25.80 ± 0.46	1.70	58.70	35.24
	DFI (g/d)	39	77.80 ± 1.34	9.40	163.70	34.32
	FCR	39	3.18 ± 0.06	0.55	6.66	34.55
	THI	39	19.41 ± 0.26	11.34	30.29	26.42
Warm season	TBW (g)	22	1335.49 ± 52.66	577.30	1721.10	18.50
	TWG (g)	22	924.94 ± 35.60	352.80	1106.10	18.05
	TFI (g)	22	2901.87 ± 119.90	1390.70	3754.10	19.38
	ADG (g/d)	22	24.79 ± 0.52	2.83	58.70	32.66
	DFI (g/d)	22	76.21 ± 1.42	9.40	121.70	29.03
	FCR	22	3.24 ± 0.07	0.55	6.50	33.95
	THI	22	22.95 ± 0.20	17.19	30.29	13.60
Cold season	TBW (g)	17	1445.39 ± 61.36	809.30	1746.00	17.50
	TWG (g)	17	961.72 ± 17.79	350.50	1276.10	23.50
	TFI (g)	17	3027.35 ± 50.31	1499.00	3771.80	21.12
	ADG (g/d)	17	27.39 ± 0.83	1.70	49.57	37.61
	DFI (g/d)	17	80.30 ± 2.63	13.13	163.70	40.56
	FCR	17	3.08 ± 0.09	1.19	6.66	35.45
	THI	17	13.81 ± 0.09	11.34	15.35	7.71

TBW: Total body weight, TWG: Total weight gain, TFI: Total feed intake, DFI: Daily feed intake, ADG: Average daily gain, FCR: Feed conversion ratio, THI: Temperature-humidity index.

Table 2. General linear model of repeated measures of analyzed traits related to the behavior of fattening rabbits.

Factors	Degrees of Freedom	DFI		ADG		FCR	
		F-Test	p-Value	F-Test	p-Value	F-Test	p-Value
Sex	1	0.22	0.639	0.02	0.897	0.00	0.952
Stress level	3	16.38	<0.001	4.69	0.003	4.05	0.008
THI	1	7.67	0.039	12.05	0.018	5.81	0.061
Season	1	7.25	0.007	0.17	0.676	15.89	<0.001
Sex*Stress level	3	0.72	0.538	2.12	0.097	0.68	0.565
Sex*Season	1	0.17	0.678	0.76	0.385	3.29	0.071
Season*Stress level	2	0.33	0.721	0.49	0.615	0.00	0.952

DFI: Daily feed intake, ADG: Average daily gain, FCR: Feed conversion ratio, THI: Temperature-humidity index. A p-value lower than 0.05 is statistically significant.

Finally, in order to predict ADG, DFI and FCR based on stress levels and THI, a quadratic regression analysis was performed (Figure 1).

The quadratic equation with the coefficient of determination (R^2), the root mean squared error (RMSE) and the p value of the analysis were provided for each parameter. Effects were considered as significant when $p < 0.05$. Statistical analyses were performed using the Statistica v.12.0 (Statistica software, v.12.0. Statsoft, Inc. 1984–2014, Palo Alto, CA, USA) and SAS [50] package.

Table 3. Tukey-Kramer post-hoc least squared means test analysis of the significant environmental effects on Daily feed intake (DFI), Average daily gain (ADG) and Feed conversion ratio (FCR) in fattening rabbits.

	Season					
	Warm season	Cold season				
DFI (g/d)	76.81 ^a	80.37 ^b				
ADG (g/d)	24.96 ^a	27.39 ^a				
FCR	3.29 ^b	3.22 ^a				
	Week of Fattening Period					
	1	2	3	4	5	6
DFI (g/d)	52.00 ^a	60.93 ^a	78.68 ^b	90.98 ^{b,c}	94.09 ^c	103.75 ^{b,c}
ADG (g/d)	25.88 ^{a,b}	23.89 ^a	27.75 ^{a,b}	26.96 ^{a,b}	23.65 ^a	30.77 ^b
FCR	2.34 ^a	2.88 ^{a,b}	3.12 ^{b,c}	3.54 ^{c,d}	4.18 ^d	3.48 ^{b,c,d}
	Stress Level					
	1	2	3	4		
DFI (g/d)	44.71 ^a	75.21 ^b	81.06 ^b	90.41 ^c		
ADG (g/d)	22.45 ^a	26.22 ^{a,b}	24.25 ^a	29.14 ^b		
FCR	2.53 ^a	3.16 ^a	3.59 ^b	3.24 ^{a,b}		

Level 1 (not stressed, 19 records): Inner ear DIF ≤ 0 °C; Level 2 (slightly stressed, 243 records): 0 °C < Inner ear DIF ≤ 5 °C; Level 3 (stressed, 134 records): 5 °C < Inner ear DIF ≤ 10 °C and Level 4 (very stressed, 60 records): Inner ear DIF > 10 °C DFI: Daily feed intake, ADG: Average daily gain, FCR: Feed conversion ratio, THI: Temperature-humidity index. Different superscript letters (^{a-d}) indicate significant differences between the values.

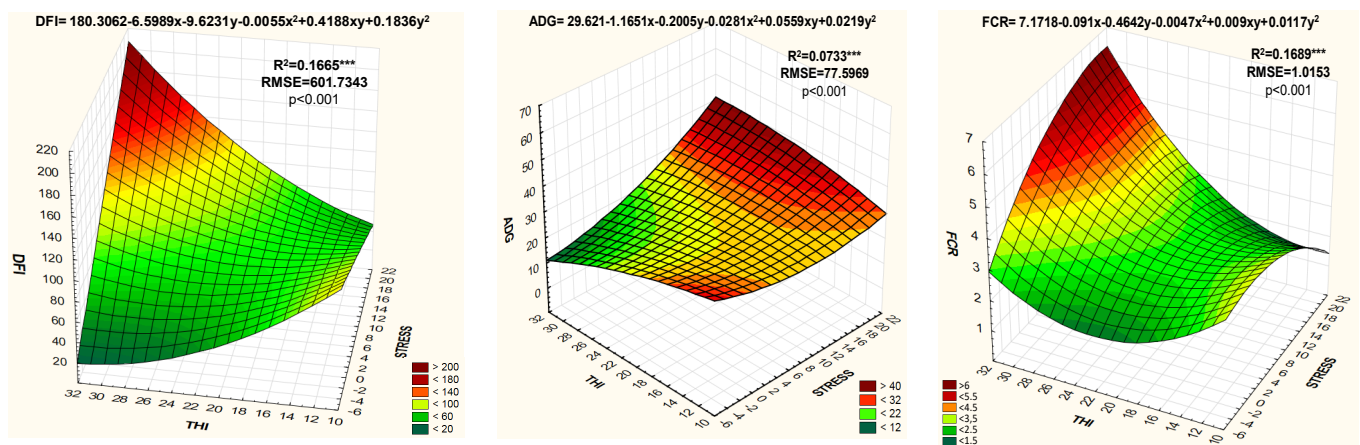


Figure 1. Quadratic regression analysis between stress level (x axis), THI (y axis) and DFI, ADG and FCR (z axis). The quadratic equation that predicts the DFI, ADG and FCR values is shown at the top of each figure, while the adjustment parameters of the R-square (R²) model, mean square error (RMSE) and p -value, are shown on the top right-hand side of each figure. DFI: Daily feed intake, ADG: Average daily gain, FCR: Feed conversion ratio, THI: Temperature-humidity index. *** $p < 0.001$.

3. Results

The fattening performance of the experimental stock is shown in Table 1. FCR showed a mean value of 3.18 ± 0.06 which ranged from 3.08 ± 0.09 for the cold season to 3.24 ± 0.07 for the warm season. In contrast, TWG, TBW, ADG and TFI showed higher values in the cold season than the warm season (increases of 36.8 g, 110 g, 2.6 g/d and 125 g, respectively) (Table 1). In the warm season, all the variables except THI had a lower coefficient of variation, and the rabbits gained less weight (TWG) and ate less feed (TFI). The changes in

THI between summer and winter were high, with the minimum THI in the warm season (17.19) higher than the maximum value in the cold season (15.35).

The environmental effects that could most influence the fattening performance were studied (Table 2). Sex was not a significant effect in any trait. The stress levels produced statistically significant differences for all the productive traits collected ($p < 0.05$). The season (warm or cold) had a statistically significant effect on DFI and FCR ($p = 0.007$ and $p < 0.001$), and THI had a significant effect on ADG ($p = 0.018$) and DFI ($p < 0.039$).

The results of the Tukey post hoc are shown in Table 3. The cold season was a significantly better season for DFI and FCR. The week of the fattening period significantly affected the three productive traits studied, increasing their values almost every week. The stress levels significantly affected the three productive traits studied. The rabbits with the lowest stress levels had lower values for the three productive traits studied.

The parameters depend on the season, warm or cold, with a DFI of 76.81 g/d in summer and 80.37 g/d in winter, which leads to a higher feed consumption in the cold season, and an ADG of 24.96 g/d in summer and 27.39 g/d in winter, which increases the rabbits' weight in the cold season. The FCR is 3.29 in summer and 3.22 in winter, which therefore makes it a better indicator in the cold season.

Depending on the level of stress, there are also changes in the productive parameters. The DFI is 44.71 g/d in non-stressed animals, but as high as 90.41 g/d in highly-stressed animals, producing a higher feed consumption the more stressed the rabbits are. The ADG ranges from 22.45 g/d in non-stressed animals to 29.14 g/d in highly-stressed animals, which results in a greater weight increase in rabbits with higher stress levels. FCR increases with the stress levels of rabbits, with 2.53 in non-stressed animals and up to 3.24 in highly-stressed animals.

The evolution of the fattening performance parameters depending on the THI and stress levels (quadratic regression analysis) is shown in Figure 1. As shown by the equations, the DFI decreased as THI increased, in contrast to stress levels. ADG was inversely proportional to THI and directly proportional to stress levels. FCR was directly proportional to THI and stress levels. Even though the three equations have been significant ($p < 0.001$), the best adjustments ($R^2 = 0.17$) have been produced with the DIF and FCR variables.

4. Discussion

Daily feed intake, ADG and FCR are among the most essential performance parameters when evaluating productive efficiency during fattening on a rabbit farm [28]: they affect productive efficiency and are influenced by the animals' welfare. Of these, FCR is the most important parameter from an economic point of view [29,30]. The FCR of the rabbits in this study was lower than the value obtained by González-Redondo [43] for this same breed (3.46 at 63 days of age) and slightly higher than that obtained by Feki et al. [52] in selected lines (3).

Average Daily Gain showed a lower mean value than that found by González-Redondo [43] for this strain (34.0 ± 0.93 g/day) and by Rodellar et al. [53] for Spanish Common rabbits (31.8 ± 1.77 g/day), and this value is below the normal values in select lines of young rabbits (38–48 g/d; [52]). The ADG in countries with a consolidated rabbit industry ranges from 30 to 46 g/day [54–58], and can be as high as 50 g/day on commercial farms which use highly prolific maternal lines and high-growth paternal lines [59,60].

Daily feed intake showed an average value (77.80 ± 1.34 g/day) lower than that of selected lines, which usually present values of around 105 g/day [58].

The low ADG and DFI values observed in the animals in this study are due to the fact that it is an unimproved rustic breed, like the Ibizan rabbit [61], and a breed with little genetic potential for feed consumption, as indicated by Ponce de León et al. [62] for the rustic Cuban semi-giant breed, and with low growth potential [63]. According to Gupta et al. [64], FCR and DFI are influenced by breed, as is ADG [65]. Lebas et al. [66] showed that the productive performance, under similar environmental and nutritional conditions, is specific to each breed, due to the genetic differences between them.

Consistent with Gupta et al. [64], we found a higher DFI in the cold season (80.30 ± 2.63 g/day) than in the warm season (76.21 ± 1.42 g/day). Similarly, we also coincided with Sabah and Dalal [67] and Gupta et al. [64], who observed seasonal differences in FCR, which was higher in the warm season than in the cold season. As in the works by Ramon et al. [68] and Ondruska et al. [69], ADG decreases as the temperature increases. Heat conditions have a negative impact on growth, due to a series of effects that can be explained through heat stress response [70]. Rabbits are highly sensitive to heat because they have very few sweat glands and these are not distributed throughout their body; they therefore have great difficulty in eliminating body heat when the ambient temperature is high and so are prone to stress [71].

The peripheral thermal receptors are triggered to induce the center of appetite in the hypothalamus to cause a decrease in DFI [72] and ADG, and an increase in FCR [71]. The high ambient temperature induces rabbits to stabilize their body heat by dissipating their latent heat, which affects the metabolic balance of water, proteins, energy and minerals, enzymatic reactions, hormonal secretions and blood metabolites [73]. During heat stress, animals increase their heat loss through the vaporization of water during respiration [71]. Heat stress not only has negative effects on growth characteristics, but also on reproduction and reduced resistance to diseases [74]. The temperature-humidity index had a significant effect on ADG and DFI, showing that THI is an optimal tool to assess the impact of heat and humidity, which often influence animals' welfare and growth [75].

The sex of the animals had no significant effect on the productive parameters, which is normal in rabbits which have not reached sexual maturity [76], at which physiological moment the technical indices in males and females begin to diverge [77].

The handling of the animals during the fattening period had a significant influence on the productive parameters: with the increase in stress levels, there was a tendency towards increased DFI, ADG and FCR. Acute stress can induce hyperphagia with increased feed consumption [78], which turns to generate greater body weight [79]. López-Espinoza et al. [80] have also shown that there is an increase in feed consumption after the exposure to stress has ended, and in other species such as rats, feed intake acts as a comforter which reduces the stress response [81]. Nkrumah et al. [82] and Llonch et al. [83] have shown in other species that the response to handling is associated with temperament, with the most temperamental animals being the least efficient. In our trial, due to the hyperphagia produced by stress, animals which are more reactive to the effect of handling consume more feed, thus increasing ADG, but not efficiently, which leads to a higher FCR. From a livestock point of view, these animals are more temperamental and with a greater capacity to react to stress. Therefore, they are not of great interest from the point of view of feeding efficiency.

Both during and just after the action of the stressful agent, there is a suppression of feed intake induced by the action of the hormones, noradrenaline [84] and corticotropin [85], which allows the animals to carry out a response. Rabbits react with flight, for which energy is required, thus inhibiting other operations of the metabolism, including the digestive system [86].

Eating in response to stress is a common means of relief and gratification in animals [87]. As a result, stress is positively associated with body weight [88]. Acute exposure to stress produces more important metabolic changes than chronic stress [89]: the increase in FCR is due to the alteration of animal welfare that negatively affects the animals' efficiency, making them less productive [90]. Even though one of the main objectives of the domestication process is to suppress unwanted responses to extreme fear [5], domesticated animals still shy away from humans [91].

The stress level of the rabbit examined jointly with THI exerts a greater influence on DFI, ADG and FCR than THI alone. According to Oseni and Poopola [92], the overall environment could be described as comfortable, since the average THI values in both seasons were below 23. The increase in FCR with THI and the stress level of each individual show that the animals are less efficient during fattening as the THI increases and the reactivity of each animal is higher [74,90].

5. Conclusions

In conclusion, it has been shown that the performance parameters were altered by the action of weather conditions and the level of individual reactivity to a stressful effect, such as handling. As a result, the productive efficiency of the rabbits was higher in the cold season than in the warm season, when the lowest levels of individual reactivity were recorded. There were an increase in FCR and a decrease in ADG with increasing THI. With the increase in the ability to react to stress, there was a tendency to increase in DFI, ADG and FCR, which implies an overall decrease in the fattening performance. In addition, humidity, temperature and individual reactivity are suitable indicators which can be used to improve the rabbits' welfare and production.

The use of rabbits with low reactivity and controlled climatic conditions could benefit rabbit welfare and productivity. These results could serve as a useful guide for productive management in fattening rabbits and the use of rustic breeds (which are better acclimatized to the local weather conditions) to benefit animal welfare in rabbit farming.

Author Contributions: Conceptualization, M.V. and P.G.-R.; methodology, M.V. and P.G.-R.; software, J.A.J.-T., M.J.S.-G.; validation, M.V. and P.G.-R.; formal analysis, J.A.J.-T. and M.J.S.-G.; investigation, J.A.J.-T., M.J.S.-G.; resources, M.V. and P.G.-R.; data curation, M.J.S.-G.; writing—original draft preparation, J.A.J.-T.; writing—review M.J.S.-G., M.V. and P.G.-R.; editing, M.V. and P.G.-R. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: The trial was carried out in accordance with the Spanish legislation [45] and the Directive 2010/63/EU on the protection of animals used for scientific purposes [46], and the experimental protocol was approved (Ref. 25583347/2015) by the Escuela Internacional de Doctorado of the University of Seville (Spain).

Data Availability Statement: The data presented in this study are available on request from the corresponding author.

Acknowledgments: The authors wish to thank José Ignacio López-Campos for his help in the care and management of the rabbits. This manuscript is part of a PhD thesis written by Juan Antonio Jaén-Téllez.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Parsons, P. Behavioral, stress and variability. *Behav. Genet.* **1988**, *18*, 293–308. [[CrossRef](#)]
2. Morton, D. Behaviour of rabbits and rodent. In *The Ethology of Domestic Animal*; Jensen, P., Ed.; CABI: Wallingford, UK, 2002; pp. 193–209.
3. Welfare, E.P. on A.H. and Opinion of the Scientific Panel on Animal Health and Welfare (AHAW) on a request from the Commission related to "The Impact of the current housing and husbandry systems on the health and welfare of farmed domestic rabbits". *EFSA J.* **2005**, *3*, 267–271.
4. Stodart, E.; Myers, K. A comparison of behaviour, reproduction and mortality of wild and domestic rabbits in confined populations. *CSIRO Wildl. Res.* **1964**, *9*, 144–159. [[CrossRef](#)]
5. Price, E. Behavioral aspects of animal domestication. *Q. Rev. Biol.* **1984**, *59*, 1–32. [[CrossRef](#)]
6. Csataádi, K.; Kustos, K.; Eiben, C.; Bilkó, Á.; Altbäcker, V. Even minimal human contact linked to nursing reduces fear responses toward humans in rabbits. *Appl. Anim. Behav. Sci.* **2005**, *95*, 123–128. [[CrossRef](#)]
7. Andrade, O.; Orihuela, A.; Solano, J.; Galina, C. Some effects of repeated handling and the use of a mask on stress responses in zebu cattle during restraint. *Appl. Anim. Behav. Sci.* **2001**, *71*, 175–181. [[CrossRef](#)]
8. Zucca, D.; Redaelli, V.; Marelli, S.P.; Bonazza, V.; Heinzl, E.; Verga, M.; Luzi, F. Effect of handling in pre-weaning rabbits. *World Rabbit Sci.* **2012**, *20*, 97–101. [[CrossRef](#)]
9. Schoen, A.; Wynn, S. *Complementary and Alternative Veterinary Medicine*; Editorial Mosby: Maryland Heights, MO, USA, 1998.
10. Ogunjimi, L.; Ogunwande, G.; Osunade, J. Influence of building environment on rabbit weight gain, feed efficiency, rectal temperature and respiration rate in the humid tropical climate of Southwestern Nigeria. *Agric. Eng. Int. CIGR J.* **2008**, *X*, 1–14.
11. Finzi, A.; Daader, A.; Yamani, K.; Askar, A. Influence of high chronic relative humidity on semen quality of hot stressed bucks. In Proceedings of the 7th World Rabbit Congress of the World Rabbit Science Association (WRSA), Valencia, Spain, 4–7 July 2000; pp. 117–123.

12. Marai, I.F.M.; Hareeb, A.A.M.; Gad, A. Rabbits' productive, reproductive and physiological performance traits as affected by heat stress: A review. *Livest. Prod. Sci.* **2002**, *78*, 71–90. [[CrossRef](#)]
13. Fayez, I.; Marai, M.; Alnaimy, A.; Habeeb, M. Thermoregulation in rabbits. In *Rabbit production in hot climates*. Zaragoza CIHEAM Cah. *Options Méditerranéennes* **1994**, *8*, 33–41.
14. Zeferino, C.; Moura, A.; Fernandes, S.; Kanayama, J.; Scapinello, C.; Sarton, J. Genetic group x ambient temperature interaction effects on physiological response and growth performance of rabbits. *Livest. Sci.* **2011**, *140*, 177–183. [[CrossRef](#)]
15. Bianca, W. The significance of meteorology in animal production. *Int. J. Biometeorol.* **1976**, *20*, 139–156. [[CrossRef](#)]
16. Pla, M.; Fernandez-Carmona, J.; Blas, E.; Cervera, C. Growth and some carcass traits of adult rabbits under high ambient temperature. *World Rabbit Sci.* **1994**, *2*, 147–151. [[CrossRef](#)]
17. Asemota, O.; Aduba, P.; Bello-Onaghise, G.; Orheruata, A. Effect of temperature humidity index (THI) on the performance of rabbits (*Oryctolagus cuniculus*) in the humid tropics. *Arch. Zootec.* **2017**, *66*, 257–261.
18. Wingfield, J.; Hunt, K.; Breuner, C.; Dunlap, K.; Fowler, G.; Freed, L.; Lepson, J. Environmental stress, field endocrinology, and conservation biology. In *Behavioral Approaches to Conservation in the Wild*; Clemmons, J.R., Buchholz, R., Eds.; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 1997; pp. 95–131.
19. Cunningham, J. *Fisiología veterinaria*, 2nd ed.; McGraw Hill Interamericana: Mexico D.F, Mexico, 1999.
20. Axelrod, J.; Reisine, T.D. Stress hormones: Their interaction and regulation. *Sciencia* **1984**, *244*, 452–459. [[CrossRef](#)]
21. Burrow, H.; Corbet, N. Genetic and environmental factors affecting temperament of zebu and zebu-derived beef cattle grazed at pasture in the tropics. *Aust. J. Agric. Res.* **2000**, *51*, 155–162. [[CrossRef](#)]
22. Richardson, E.; Herd, R. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. Part 2. Synthesis of results following divergent selection. *Aust. J. Exp. Agric.* **2004**, *44*, 431–440. [[CrossRef](#)]
23. Monclús, R.; Rödel, H.G.; Palme, R.; von Holst, D.; De Miguel, J. Non-invasive measurement of the physiological stress response of wild rabbits to the odour of a predator. *Chemoecology* **2006**, *16*, 25–29. [[CrossRef](#)]
24. Cabezas, S.; Blas, J.; Marchant, T.; Moreno, S. Physiological stress levels predict survival probabilities in wild rabbits. *Horm. Behav.* **2007**, *51*, 313–320. [[CrossRef](#)]
25. Broom, D. Animal welfare: Concepts, study methods and indicators. *Rev. Colomb. Cienc. Pec.* **2011**, *24*, 306–321.
26. Kowalska, D.; Gugoleka, A.; Bielansky, P. Effect of stress on rabbit meat quality. *Ann. Anim. Sci.* **2011**, *11*, 465–475.
27. Cafe, L.; Robinson, D.; Ferguson, D.; McIntyre, B.; Geesink, G.; Greenwood, P. Cattle temperament: Persistence of assessments and associations with productivity, efficiency, carcass and meat quality traits. *J. Anim. Sci.* **2011**, *89*, 1452–1465. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
28. Cartuche, L.; Pascua, L.; Gómez, E.; Blasco, A. Economic weights in rabbit meat production. *World Rabbit Sci.* **2014**, *22*, 165–177. [[CrossRef](#)]
29. Armero, Q.; Blasco, A. Economic weights for rabbit selection indices. *J. Appl. Rabbit Res.* **1992**, *15*, 637–642.
30. Gidenne, T.; Garreau, H.; Drouilhet, L.; Aubert, C.; Maertens, L. Improving feed efficiency in rabbit production, a review on nutritional, technico-economical, genetic and environmental aspects. *Anim. Feed Sci. Technol.* **2017**, *225*, 109–122. [[CrossRef](#)]
31. Möstl, E.; Palme, R. Hormones as indicators of stress. *Domest. Anim. Endocrinol.* **2002**, *23*, 67–74. [[CrossRef](#)]
32. Von der Ohe, C.; Servheen, C. Measuring stress in mammal using fecal glucocorticoids: Opportunities and challenges. *Wildl. Soc. Bull.* **2002**, *30*, 1215–1225.
33. Jaén-Téllez, J.; Sánchez-Guerrero, M.; López-Campos, J.; Valera, M.; González-Redondo, P. Acute stress assessment using infrared thermography in fattening rabbits reacting to handling under winter and summer conditions. *Spanish J. Agric. Res.* **2020**, *18*, e0592. [[CrossRef](#)]
34. Unruh, E.; Theurer, M.; White, B.; Larson, R.; Drouillard, J.; Scharg, N. Evaluation of infrared thermography as a diagnostic tool to predict heat stress events in feedlot cattle. *Am. J. Vet. Res.* **2017**, *78*, 771–777. [[CrossRef](#)]
35. Stewart, M.; Webster, J.R.; Schaefer, A.L.; Cook, N.J.; Scott, S.L. Infrared thermography as a non-invasive tool to study animal welfare. *Anim. Welf.* **2005**, *14*, 319–325.
36. Nakayama, K.; Goto, S.; Kuraoka, K.; Nakamura, K. Decrease in nasal temperature of rhesus monkeys (*Macaca mulatta*) in negative emotional state. *Physiol. Behav.* **2005**, *84*, 783–790. [[CrossRef](#)]
37. McCafferty, D. Applications of thermal imaging in avian science. *Int. J. Avian Sci. Ibis* **2013**, *155*, 4–15. [[CrossRef](#)]
38. Weschenfelder, A.; Saucier, L.; Madague, X.; Rocha, L.; Schaefer, A.; Faucitano, L. Use of infrared ocular thermography to assess physiological conditions of pigs prior to slaughter and predict pork quality variation. *Meat Sci.* **2013**, *95*, 616–620. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
39. Travain, T.; Colombo, E.S.; Heinzl, E.; Bellucci, D.; Previde, E.; Valsecchi, P. Hot dogs: Thermography in the assessment of stress in dogs (*Canis familiaris*)—A pilot study. *J. Vet. Behav. Clin. Appl. Res.* **2015**, *10*, 17–23. [[CrossRef](#)]
40. Sánchez, M.J.; Bartolomé, E.; Valera, M. Genetic study of stress assessed with infrared thermography during dressage competitions in the Pura Raza Español horse. *Appl. Anim. Behav. Sci.* **2016**, *174*, 58–65. [[CrossRef](#)]
41. Ludwig, N.; Gargano, M.; Luzi, F.; Carenzi, C.; Verga, M. Technical note: Applicability of infrared thermography as a non invasive measurements of stress in rabbit. *World Rabbit Sci.* **2007**, *15*, 199–206. [[CrossRef](#)]
42. Emam, A.; Afonso, S.; González-Redondo, P.; Mehaisen, G.; Azoz, A.; Ahmed, N. Status and origin of Egyptian local rabbits in comparison with Spanish common rabbits using mitochondrial DNA sequence analysis. *World Rabbit Sci.* **2020**, *28*, 93–102. [[CrossRef](#)]

43. González-Redondo, P. Resultados preliminares de rendimiento reproductivo y de engorde de un núcleo de cría de conejos de tipo Común Doméstico Español. In Proceedings of the XLI Symposium de Cunicultura, Hondarribia, Spain, 12–13 May 2016; pp. 180–185.
44. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación Resolución de la Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios, por la que se Aprueban las Reglamentaciones específicas de los Libros Genealógicos y los Programas de Mejora de las Razas Cunícolas Gigante de España y Antiguo Pardo Español, de Conformidad con lo Dispuesto en el Real Decreto 2129/2008, de 26 de Diciembre 2018. Available online: https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/zootecnia/resolucionreglamentacionesrazasgigantedeespanayantiguopardoespanolfirmada_tcm30-479539.pdf (accessed on 8 June 2021).
45. Ministerio de la Presidencia Real Decreto 53/2013, de 1 de febrero, por el que se establecen las normas básicas aplicables para la protección de los animales utilizados en experimentación y otros fines científicos, incluyendo la docencia. *Boletín Oficial del Estado* **2013**, *34*, 11370–11421.
46. European Parliament and Council Directive 20102010/63/EU of 22 September 2010 on the Protection of Animals used for Scientific Purposes. *Official J. European Union*. **2010**, *L276*, 33–79.
47. Chapel, J.; Benedito, J.; Hernández, J.; Pereira, V.; Domínguez, R.; Castillo, C. Técnicas de manejo y sujeción del conejo doméstico. *Consult. Difusión Vet.* **2015**, *221*, 47–54.
48. Bartolomé, E.; Sánchez, M.J.; Molina, A.; Schaefer, A.L.; Cervantes, I.; Valera, M. Using eye temperature and heart rate for stress assessment in young horses competing in jumping competitions and its possible influence on sport performance. *Animal* **2013**, *7*, 2044–2053. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
49. Marai, I.F.M.; Ayyatand, M.S.; Abd-El-Monem, U. Growth performance and reproductive traits at first parity of New Zealand White female rabbits as affected by heat stress and its alleviation under egyptian conditions. *Trop. Animal Health Prod.* **2001**, *33*, 1–12. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
50. SAS. *SAS/Stat User's Guide*; SAS: Cary, NC, USA, 2010.
51. Littell, R.; Henry, P.; Ammerman, C. Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures. *J. Anim. Sci.* **1998**, *76*, 1216–1231. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
52. Feki, S.; Baselga, M.; Blas, E.; Cervera, C.; Gómez, E. Comparison of growth and feed efficiency among rabbit lines selected for different objectives. *Livest. Prod. Sci.* **1996**, *45*, 87–92. [[CrossRef](#)]
53. Rodellar, C.; Zaragoza, P.; Osta, R. Estimación de distintos parámetros productivos en la raza de conejos Común Español. In Proceedings of the XIV Symposium de Cunicultura, Manresa, Spain, 12–14 June 1989; pp. 37–150.
54. Chiericato, G.; Rizzi, C.; Rostellato, V. Effect of genotype and environmental conditions in the productive and slaughtering performance of growing meat rabbits 1. *World Rabbit Sci.* **1993**, *1*, 119–125.
55. Roberts, J.; Lukefahr, S. Evaluation of Californian, Champagne d'Argent, New Zealand White and Palomino as potential sire breeds: I. Postweaning litter performances. *J. Appl. Rabbit Res.* **1992**, *15*, 274.
56. Remois, G.; Lafargue-Hauret, P.; Bourdillon, A.; Rouillere, H. Effect of weaning weight on growth performance of rabbits. In Proceedings of the 6th World Rabbit Congress of the World Rabbit Science Association (WRSA), Toulouse, France, 9–12 July 1996; pp. 237–240.
57. Prayaga, K.; Eady, S. Rabbit farming for meat production in Australia: Preliminary estimates of economic values for production traits. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* **2000**, *13*, 57–359.
58. Orengo, J.; Piles, M.; Rafel, O.; Ramón, E. Gómez Crossbreeding parameters for growth and feed consumption traits from a five diallel mating scheme in rabbits. *J. Anim. Sci.* **2009**, *87*, 1896–1905. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
59. García-Ruiz, A.; García-Palomares, J.; García-Rebollar, P.; Chamorro, S.; Carabaño, R.; De Blas, J. Effect of protein source and enzyme supplementation on ileal protein digestibility and fattening performance in rabbits. *Spanish J. Agric. Res.* **2006**, *4*, 297–303. [[CrossRef](#)]
60. Gidenne, T.; De Dapper, J.; Lapanouse, A.; Aymard, P. Adaptation du lapereau á un aliment fibreuxdistribuéavantsevrage: Comportementd'ingestion, croissance et santé digestive. In Proceedings of the 2èmes Journées Recherche Cunicole, Toulouse, France, 4–5 April 1978; pp. 1–112.
61. Formoso-Rafferty, N.; García-García, R.; Rodríguez, M.; Alonso, A.; Masdeu, M.; Millán, P.; Arias-Álvarez, M.; Lorenzo, L.; Rebollar, P. Reproductive and endocrine characterization of Ibicean rabbit breed. *Arch. Zootec.* **2016**, *65*, 525–534.
62. Ponce de León, R.; Guzmán, G.; Pubillones, O.; García, J.; Mora, M. Comportamiento de razas de conejos importadas. Evaluación del crecimiento posdestete. *Rev. Cuba. Cienc. Agrícola* **2002**, *36*, 23–329.
63. González-Redondo, P. Estado de las poblaciones y posibilidades de recuperación del conejo doméstico común español. In Proceedings of the IV Jornadas Ibéricas de Razas Autóctonas y sus Productos Tradicionales: Innovación, Seguridad y Cultura Alimentaria, Sevilla, Spain, 30 November–1 December 2007; pp. 367–371.
64. Gupta, R.; Prabhakar Rao, V.; Eswara Reddy, C.; Satyanarayana, A.; Reddy, P. Feed intake and feed conversion ratio in purebred and crossbred broiler rabbits. *Indian J. Anim. Res.* **2000**, *34*, 64–67.
65. Medellin, M.; Lukefahr, S. Breed and heterotic effects on postweaning traits in Altex and New Zealand White straightbred and crossbred rabbits. *J. Anim. Sci.* **2011**, *79*, 1173–1178. [[CrossRef](#)]
66. Lebas, F.; Coudert, P.; de Rochambeau, H.; Thébault, R.; Rouvier, R.; de Rochambeau, H. *The Rabbit—Husbandry, Health and Production*; FAO: Rome, Italy, 1997.

67. Sabah Abd Al-Rahman, A.; Dalal Abd Al-Sattar, A. Effect of the thermal changes on physiological, biochemical and histological traits in pregnant and embryo of New Zealand white rabbits. *Int. J. Adv. Biol. Res.* **2016**, *6*, 313–327.
68. Ramon, J.; Gomez, E.; Perucho, O.; Rafel, O.; Baselga, M. Feed efficiency and postweaning growth of several Spanish selected lines. In Proceedings of the 6th World Rabbit Congress of the World Rabbit Science Association (WRSA), Toulouse, France, 9–12 July 1996; pp. 351–353.
69. Ondruska, L.; Rafay, J.; Okab, A.; Ayoub, M.; Al-Haidary, A.; Samara, E.; Parkanyi, V.; Chrastinova, L.; Jurcik, R.; Massanyi, P.; et al. Influence of elevated ambient temperature upon some physiological measurements of New Zealand White rabbits. *Vet. Med.* **2011**, *56*, 180–186. [[CrossRef](#)]
70. Okab, A.; El-Banna, S.; Koriem, A. Influence of environmental temperatures on some physiological and biochemical parameters of male New-Zealand rabbits. *Slovak J. Anim. Sci.* **2008**, *41*, 12–19.
71. Chiericato, G.; Bailoni, L.; Rizzi, C. The effect of environmental temperature on the performance of growing rabbits. *J. Appl. Rabbit Res.* **1992**, *15*, 723–731.
72. Marai, I.; Habeeb, A.; Gad, A. Biological functions in young pregnant rabbit does as affected by heat stress and lighting regime under subtropical conditions of Egypt. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* **2007**, *7*, 165–176.
73. Kasa, I.; Thwaites, C. The effect of infrared radiation on rectal temperature and respiration rate of unacclimated female New Zealand white rabbits. *J. Therm. Biol.* **1992**, *17*, 293–296. [[CrossRef](#)]
74. Odeon, M.M.; Romera, S.A. Estrés en ganado: Causas y consecuencias. *Rev. Vet.* **2017**, *28*, 69–77. [[CrossRef](#)]
75. Hahn, G.; Gauchan, J.; Mader, T.; Eigenberg, R. Chapter 5: Thermal indices and their applications for livestock environments. In *Livestock Energetics and Thermal Environmental Management*; American Society of Agricultural and Biological Engineers: St. Joseph, MI, USA, 2009; pp. 113–130.
76. Paci, G.; Preziuso, G.; D'Agata, M.; Russo, C.; Dalle-Zote, A. Effect of stocking density and group size on growth performance, carcass traits and meat quality of outdoor-reared rabbits. *Meat Sci.* **2013**, *93*, 162–166. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
77. Lazzaroni, C.; Biagini, D.; Lussiana, C. Different rearing systems for fattening rabbits: Performance and carcass characteristics. *Meat Sci.* **2009**, *82*, 200–204. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
78. McMillan, F. Stress-induced and emotional eating in animals: A review of the experimental evidence and implications for companion animal obesity. *J. Vet. Behav.* **2013**, *8*, 376–385. [[CrossRef](#)]
79. Silveira, P.; Xavier, M.; Souza, F.; Manoli, L.; Rosat, R.; Ferreira, M.; Dalmaz, C. Interaction between repeated restraint stress and concomitant midazolam administration on sweet food ingestion in rats. *Brazilian J. Med. Biol. Res.* **2000**, *33*, 1343–1350. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
80. López-Espinoza, A.; Moreno, A.M.; Franco, K.; Aguilera, V.; Cardenas-Villalvazo, A.; Valdes-Miramontes, E.; Magaña, C.; Macías, A.; Santoyo, F.; Rezendis, F.D. *Estrés & Comportamiento Alimentario. Modelo Bioconductual de Estrés-Alimentación*; Cuevas, S., Ed.; Manual moderno: Mexico D.F., Mexico, 2012; pp. 59–70.
81. Ortolani, D.; Oyama, L.; Ferrari, E.; Melo, L.; Spadari-Bratfisch, R. Effects of comfort food on food intake, anxiety-like behavior and the stress response in rats. *Physiol. Behav.* **2011**, *103*, 487–492. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
82. Nkrumah, J.; Crews, D.; Basarab, J.; Price, M.; Okine, E.; Wang, Z.; Li, C.; Moore, S. Genetic and phenotypic relationships of feeding behavior and temperament with performance, feed efficiency, ultrasound, and carcass merit of beef cattle. *J. Anim. Sci.* **2007**, *85*, 2382–2390. [[CrossRef](#)]
83. Llonch, P.; Somarriba, M.; Duthie, C.; Haskell, M.; Rooke, J.; Troy, S.; Roehe, S.; Turner, S. Association of temperament and acute stress responsiveness with productivity, feed efficiency, and methane emissions in beef cattle: An observational study. *Front. Vet. Sci.* **2016**, *3*, 43. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
84. Halford, J. Pharmacology of appetite suppression: Implication for the treatment of obesity. *Curr. Drug Targets* **2001**, *2*, 353–370. [[CrossRef](#)]
85. Takeda, E.; Terao, J.; Nakaya, Y.; Miyamoto, K.; Baba, Y.; Chuman, H.; Ryuji, K.; Ohmori, T.; Rokutan, K. Stress control and human nutrition. *J. Med. Investig.* **2004**, *51*, 139–145. [[CrossRef](#)]
86. Gómez, B.; Escobar, A. Estrés y sistema inmune. *Rev. Mex. Neurocienc.* **2006**, *7*, 30–38.
87. Ans, A.; Anjum, I.; Satija, V.; Inayat, A.; Asghar, Z.; Akram, I.; Shrestha, B. Neurohormonal regulation of appetite and its relationship with stress: A mini literature review. *Cureus* **2018**, *10*, e3032. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
88. Torres, S.; Nowson, C. Relationship between stress, eating behavior and obesity. *Nutrition* **2007**, *23*, 887–894. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
89. Rostamkhani, F.; Zardooz, H.; Zahediasl, S.; Farrokhi, B. Comparison of the effects of acute and chronic psychological stress on metabolic features in rats. *J. Zhejiang Univ. B* **2012**, *13*, 904–912. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
90. Marai, I.; Rashwan, A. Rabbit behavioural response to climatic and managerial conditions—A review. *Arch. Tierzucht* **2004**, *7*, 469–482. [[CrossRef](#)]
91. Rushen, J.; Taylor, A.; de Passilé, A. Domestic animals' fear of humans and its effect on their welfare. *Appl. Anim. Behav. Sci.* **1999**, *65*, 285–303. [[CrossRef](#)]
92. Oseni, S.; Popoola, M. Doe fertility and weaning survival rate of composite rabbits as affected by thermal environment in the humid tropical climate of Southwestern Nigeria. *Int. J. Agric. Biosci.* **2013**, *2*, 113–115.

3. CAPÍTULO 3. RELACIÓN ENTRE LA TEMPERATURA RECTAL Y LA TEMPERATURA DE VARIAS REGIONES DEL CUERPO MEDIDA POR TERMOGRAFÍA INFRARROJA EN CONEJOS DE ENGORDE

El tercer capítulo de la Tesis Doctoral está constituido por el siguiente artículo científico:

Título en inglés: Relationship between rectal temperature measured with a conventional thermometer and the temperature of several body regions measured by infrared thermography in fattening rabbits. Influence of different environmental factors

Título en español: *Relación entre la temperatura rectal medida con un termómetro convencional y la temperatura de varias regiones corporales medida por termografía infrarroja en conejos de engorde. Influencia de diferentes factores ambientales*

Autores: Jaén-Téllez JA, Bartolomé E, Sánchez-Guerrero MJ, Valera M, González-Redondo P

Afiliación: Departamento de Agronomía, Universidad de Sevilla, Ctra. Utrera km 1, 41013 Sevilla, España

Revista: World Rabbit Science, 2021, 29: 263-273.
<https://doi.org/10.4995/wrs.2021.15556>

Índice de impacto: 1,233

Categoría y cuartil: Agriculture, Dairy & Animal Science. Q3

Resumen

El tercer capítulo de la presente Tesis Doctoral evalúa la correlación entre la temperatura tomada con cámara de termografía infrarroja (IRT) en cuatro partes diferentes de la anatomía de conejos de engorde (ojo -ETT-, oído externo -OETT-, oído interno -IETT- y nariz -NTT-) y la temperatura rectal medida utilizando un termómetro convencional, con el fin de validarla como una alternativa menos estresante. También determina la influencia de diferentes efectos ambientales (madre, semana de engorde y tamaño del grupo) dentro cada uno de los tres lotes analizados en función del periodo del año en donde se realizó la fase de engorde (abril-mayo, junio-julio y enero-febrero).

En el examen clínico de los conejos, la temperatura se suele registrar con ayuda de un termómetro digital introducido por vía rectal, siendo un procedimiento invasivo que podría producir estrés por manipulación. Para la realización del presente estudio se tomaron muestras de temperatura dos veces por semana, durante la fase de engorde de 38 días, de 48 conejos de una estirpe similar a la raza autóctona recientemente reconocida Antiguo Pardo Español. Los factores evaluados en cada uno de los lotes fueron: coneja madre de los conejos (8 conejas), semana de engorde (4 a 5 semanas) y tamaño del grupo en función del número de conejos alojados en cada jaula (individuales con un solo conejo por jaula, grupos pequeños que contenían de 2 a 4 conejos por jaula y grupos grandes que contenían de 5 a 7 conejos por jaula).

Las temperaturas medias que se obtuvieron fueron: RT de $38,48 \pm 0,02$ °C; ETT de $37,31 \pm 0,05$ °C; OETT de $29,09 \pm 0,26$ °C; IETT de $30,53 \pm 0,25$ °C y NTT de $33,29 \pm 0,11$ °C. Se observaron correlaciones positivas moderadas y estadísticamente significativas ($p < 0,001$) entre RT y las temperaturas medidas con IRT (IETT, OETT, ETT y NTT), tanto en general (0,39 a 0,49) como intraclase (0,36 a 0,39), corregidas por los factores lote, tamaño del grupo, semana de engorde y coneja. Las medidas termográficas que mostraron mayor correlación con RT fueron OETT (0,49), IETT (0,47) y NTT (0,47).

También se estudiaron los efectos que podrían influir en las variables de temperatura evaluadas por IRT y RT dentro de cada lote. Encontramos diferencias significativas ($p < 0,001$) para las

semanas de la fase de cebo, con tendencia a que la temperatura de los conejos aumente a medida que avanza el período de engorde. Así mismo, se observó que a medida que aumentaba el tamaño del grupo de conejos había una tendencia a aumentar la temperatura corporal. Solo se mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) para las variables IETT y OETT en un solo lote de engorde (lote 1), mostrándose en el grupo pequeño mayor temperatura de ambas variables con respecto al grupo grande. El efecto coneja madre no mostró diferencias estadísticamente significativas dentro de los lotes.

En conclusión, la termografía infrarroja apareció como una alternativa adecuada a la RT para la evaluación de la temperatura corporal en conejos de engorde, evitando así el estrés de manipulación, al existir una correlación positiva entre la IRT y la temperatura rectal evaluada por termómetro digital, siendo la IETT el mejor punto de referencia para medir la temperatura corporal por termografía.

RELATIONSHIP BETWEEN RECTAL TEMPERATURE MEASURED WITH A CONVENTIONAL THERMOMETER AND THE TEMPERATURE OF SEVERAL BODY REGIONS MEASURED BY INFRARED THERMOGRAPHY IN FATTENING RABBITS. INFLUENCE OF DIFFERENT ENVIRONMENTAL FACTORS

JAÉN-TÉLLEZ J.A.^{ORCID}, BARTOLOMÉ E.^{ORCID}, SÁNCHEZ-GUERRERO M.J.^{ORCID}, VALERA M.^{ORCID},
GONZÁLEZ-REDONDO P.^{ORCID}

Departamento de Agronomía, Universidad de Sevilla, Ctra. Utrera km 1, 41013 SEVILLA, Spain.

Abstract: In clinical examination of rabbits, the temperature is usually recorded with a digital thermometer introduced rectally, an invasive procedure that could cause handling stress. The aim of this study was to assess body temperature using infrared thermography (IRT) in four areas of the rabbit's anatomy: eye (ETT), outer ear (OETT), inner ear (IETT) and nose (NTT), and then validate it as an alternative measure to rectal temperature (RT) assessed with a conventional thermometer. Temperature samples were taken twice a week from 48 weaned rabbits of Spanish Common Rabbit breed during a 38-d fattening period. The factors considered were: doe from which the rabbits came (8 does), weeks of fattening period (4 to 5 wk), batch (3 periods of the year: April-May, June-July and January-February) and group size (cages with 1 to 7 rabbits). On average, the results were an RT of 38.48 ± 0.02 °C; ETT of 37.31 ± 0.05 °C; OETT of 29.09 ± 0.26 °C; IETT of 30.53 ± 0.25 °C, and NTT of 33.29 ± 0.11 °C (mean \pm se). Moderate, statistically significant positive correlations ($P < 0.001$) were observed between RT and temperatures measured with infrared thermography (IETT, OETT, ETT and NTT), both in general (0.39 to 0.49) and intraclass (0.36 to 0.39), based on the batch, group size, week of fattening period and doe. The thermographic measurements which showed the highest correlation with RT were OETT and IETT. We also studied the effects that could influence the temperature variables evaluated by IRT and RT within each batch: for each week of the fattening period, for the group size and for the doe effect. We found significant differences ($P < 0.001$) between weeks within the batch, with a tendency for the temperature of the rabbits to increase as the fattening period progressed. The doe effect (within the batch) did not show, on the whole, any statistically significant differences within batches. On the other hand, we did observe a trend towards higher temperatures as the group size increased. In conclusion, infrared thermography is an effective tool for body temperature assessment and correlates closely with RT, with IETT appearing as the best reference point for taking body temperature in fattening rabbits. Infrared thermography appeared as a suitable alternative to RT for body temperature assessment in rabbits, thus avoiding handling stress.

Key Words: rectal temperature, infrared thermography, rabbit, fattening period, group size, season.

INTRODUCTION

The infrared thermography (IRT) technique, using an infrared thermography camera, works by measuring electromagnetic energy and detecting the different wavelengths emitted by each temperature value (Stewart *et al.*, 2005). Its main strength is that it is a rapid, non-invasive, non-contact method to measure the animal's surface temperature (De Lima *et al.*, 2013; McCafferty, 2013). It allows us to evaluate the physiological states and temperature changes due to pathologies and to estimate the live weight of the fattening rabbits (Silva *et al.*, 2015a; Travain *et al.*, 2015; Sánchez *et al.*, 2016). However, it may be conditioned by certain factors such as climate conditions (Knizková *et al.*, 2007).

Correspondence: E. Bartolomé, ebartolome@us.es. Received May 2021 - Accepted September 2021.
<https://doi.org/10.4995/wrs.2021.15556>

Rabbits are quiet and docile animals, although they tend to be skittish (Ward, 2006). Their relatively recent domestication means that they continue to see humans as predators, so they instinctively associate their presence with negative stimuli, which constitutes a major factor of stress and fear (Trocino and Xiccato, 2006). In this way, handling rabbits wrongly can have physical (spinal cord or vertebrae fracture or subluxation) and physiological (hypertension, hyperglycaemia, decreased renal perfusion, intestinal hypomotility) consequences on the animals due to stress, and can lead to various types of pathologies, such as diarrhoea (Lebas *et al.*, 1997; Meredith, 2006; Malley, 2007), producing weight loss and even death (Lebas *et al.*, 1997).

The rabbit is a homeothermic animal, so it has to keep its body temperature constant in order to carry out its normal activity and vital processes (Yamasaki-Maza *et al.*, 2017). Body temperature is a physiological parameter that allows us to measure the animals' health status (Valera *et al.*, 2012), as most infectious diseases present with hyperthermia (Zimmerman *et al.*, 2012), as well as the rabbit's welfare by assessing its stress level, as the higher the stress, the lower the welfare (Stewart *et al.*, 2005). Stress causes the release of various hormones in rabbits, such as catecholamines (especially adrenaline and norepinephrine), corticotropin-releasing hormone, adrenocorticotrophic hormone and corticosteroids (in rabbits, mainly corticosterone and cortisol), which cause an increase in body temperature (Kataoka *et al.*, 2014), among other effects.

There are various devices available to help us measure an animal's body temperature, both internally and externally (Flecknell, 2009). The most widely-used technique in rabbits is recording the rectal temperature (RT) (Chen and White, 2006), which is obtained by inserting a conventional thermometer into the rectum (Chapel *et al.*, 2015). Other alternative options which have been tested and validated include taking the temperature either in the tympanic membrane with an infrared thermometer (Hall *et al.*, 2001; Ardiaca *et al.*, 2010) or on the surface of the skin using IRT (Chacur *et al.*, 2016). In rabbits, different anatomical parts present different temperature values due to different vascularisation and the influence of environmental temperature (Jaén-Téllez *et al.*, 2020).

Changes in body temperature can be measured correctly using RT (Marai *et al.*, 2002), but this methodology is invasive and could negatively affect the animal's welfare, as it takes a long time to measure (Chung *et al.*, 2010; Vicente-Pérez *et al.*, 2019).

However, no previous recorded studies have compared the rabbit's body temperature using RT with IRT measurements taken in different body regions on a routine basis. Therefore, the main aim of this study was to evaluate the temperature taken with an IRT camera in four different parts of the anatomy in fattening rabbits (eye, outer ear, inner ear and nose), in order to validate it as an alternative to RT using a conventional thermometer, and to assess the influence of different environmental effects (doe, week of the fattening period and group size) on this evaluation.

MATERIALS AND METHODS

Animals and husbandry

We analysed a total of 48 rabbits from 8 different does (Figure 1), weaned at 28 d of age, over a fattening period of 38 d. All the rabbits analysed were from the common Spanish agouti-coated domestic meat-oriented breed, belonging to a strain kept at the Higher Technical School of Agricultural Engineering Teaching Farm of the University of Seville (Spain). The genetic characterisation and productive performance of this stock have previously been described by Emam *et al.* (2020) and González-Redondo (2016), respectively. Overall, the rabbits were phenotypically similar to the recently recognised autochthonous breed "Antiguo Pardo Español" (Spanish Common Rabbit) (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2019).

During three experimental periods (batches), the rabbits were housed in polyvalent wire-mesh cages measuring 90×40×30 cm (length, width and height, respectively), located in a conventional closed facility with natural (non-forced) ventilation, with geographic coordinates: 37° 21' 36.3" N and 5° 56' 23.9" W; 11 m a.s.l., and the animals were subjected to a natural photoperiod. The experiment was carried out in accordance with the Royal Decree 53/2013 (Ministerio de la Presidencia, 2013) and the Directive 2010/63/EU on the protection of animals used for scientific purposes (EU Parliament and Council, 2010).

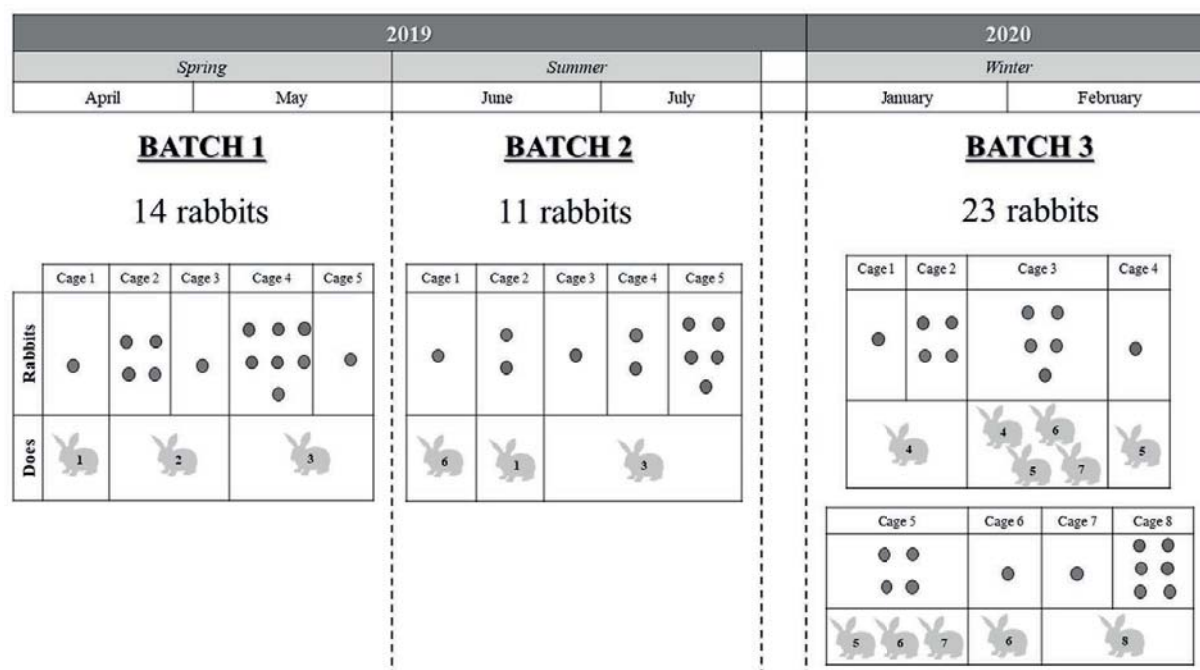


Figure 1: Distribution of animals within batches, cages and does.

The rabbits were fed a commercial pelleted balanced diet (15.0% crude protein and 15.5% crude fibre) *ad libitum*. Water was supplied *ad libitum*. No antibiotics were added to the water or food.

Temperature recording

Infrared thermography images were taken with a FLIR E60 camera, following the indications by Bartolomé *et al.* (2013) and Jaén-Téllez *et al.* (2020). To calibrate the camera results, the environmental temperature and relative humidity were recorded with a digital thermo-hygrometer (Extech® 44550) every time an animal was measured, so that each infrared temperature had corresponding humidity and temperature values from the room where the trial took place. Later, these thermographic photos were analysed with Flir Tools+® software, obtaining for the analyses the maximum temperature (indicated with a red triangle) of a circle traced around the body area evaluated (Figure 2).

Rectal temperature was measured using a conventional clinical thermometer (Thermoval® kids flex), following the technical indications from Chapel *et al.* (2015). To do this, the rabbit was held in sternal decubitus, while the tail was moved to one side and a lubricated thermometer was inserted through the anus into the rectum, 60 s after taking the rabbit out of the cage. To avoid the possibility of spreading diseases between the animals, the thermometer was disinfected with alcohol after measuring each rabbit's temperature.

Experimental procedure

The sample temperatures were collected twice a week (Monday and Thursday), between 11:00 a.m. to 12:00 p.m., during the fattening period (38 d). In order to test the influence of different factors on the temperature of the rabbits, 4 different effects were studied: doe (doe 1 to doe 8), batch (batch 1 to batch 3), week of fattening period (week 1 to week 5) and group size (individual, small group and large group).

The criteria for forming the groups according to "group size" were having individual animals, small groups of rabbits and large groups of rabbits. Individual groups contained just 1 rabbit, small groups contained 2 to 4 rabbits and large groups contained 5 or more.

The three seasonal periods or batches of the trial were arranged as follows: batch 1 (Spring: April-May 2019), batch 2 (Summer: June-July 2019) and batch 3 (Winter: January-February 2020). Batch 1 included 14 animals from

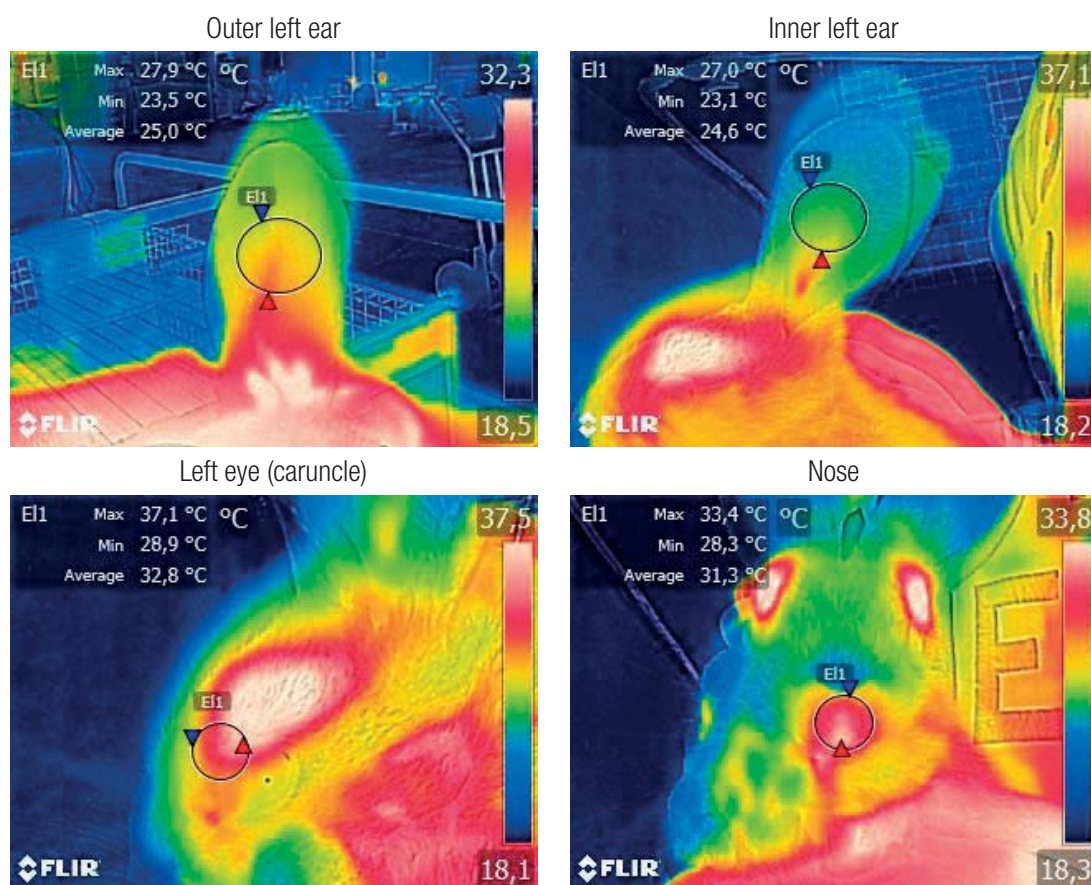


Figure 2: Thermographic images of different body regions of the rabbit.

E1 identifies the circle traced around the measured part of the body of the rabbit; the red triangle indicates the maximum temperature point within the E1 circle; the blue triangle indicates the minimum temperature point within the E1 circle; the rectangle on the upper left side of the photo indicates the values measured within the E1 circle (maximum, minimum and average temperature, in °C); the coloured line along the right side of the photo indicates the temperature colour range of the whole photo, with the minimum temperature in the bottom blue side and the maximum temperature at the top white side (in °C).

3 different does, which were housed in 5 different cages: 1 small group cage, 1 large group cage and 3 individual cages. During batch 2, 11 animals were measured, from 3 different does and housed in 5 different cages: 2 small group cages, 1 large group cage and 2 individual cages. Finally, 23 animals were measured during batch 3, from 5 different does, which were housed in 8 different cages: 2 small group cages, 2 large group cage and 4 individual cages (Figure 1).

During each sampling session, two infrared thermography photos were taken from 4 different anatomical points on each rabbit (8 infrared thermography photos per animal and session in total): outer and inner parts of the left ear, left eye caruncle and whole nose (Figure 2). The photos were always taken in the same order for all the animals, and it took 30 s approximately per animal in all cases. In addition, a rectal temperature measurement was also taken just after the infrared thermography photos were obtained. The approximate total time per animal for taking thermographic photographs and measuring the rectal temperature was 1 min 30 s. After all the samples were obtained, the animal was put back in its cage and the next rabbit was taken for measuring. Thus, a total of 9 temperature measurements per animal and session were obtained. Taking into consideration that the samples were taken twice a week for 38 d (about 8 measuring sessions per fattening period), a total of 72 temperature measurements were obtained per animal. As this process was repeated each seasonal period, 417 temperature results were obtained in total from 48 different rabbits: 126 in batch 1 (Spring), 88 in batch 2 (Summer) and 203 during batch 3 (Winter).

Statistical analyses

A previous Shapiro-Wilk test (results not shown) presented a normal distribution of the variables studied. Hence, parametric statistical analyses were carried out.

First of all, a descriptive statistical analysis (mean, standard error, standard deviation, minimum and maximum) was performed on the 48 rabbits studied during the fattening period for the five variables analysed: rectal temperature (RT), eye thermographic temperature (ETT), inner ear thermographic temperature (IETT), outer ear thermographic temperature (OETT) and nose thermographic temperature (NTT). In addition, an independent *t*-test by variable was carried out to search for statistically significant ($P<0.05$) differences between the rectal (RT) and thermographic (ETT, IETT, OETT and NTT) variables.

To obtain the phenotypic correlations between the rectal and thermographic variables, direct and intraclass Pearson's correlations, according to batch, group size, week of the fattening period and doe, were computed. Scatter plots and regression analyses between rectal temperature (RT) and thermographic temperatures were also performed, and the coefficient of determination (R^2) and the root-mean-square error (RMSE) for them were calculated.

To test the influence of environmental factors on the rabbits' temperatures, a univariate General Linear Model (GLM) analysis was carried out for the five temperatures studied (RT, ETT, IETT, OETT and NTT) according to doe, group size and week of fattening period, all within each batch. Moreover, to determine any statistically significant ($P<0.05$) differences between the levels of the effects for the RT variable, a post-hoc Duncan's test was carried out.

Statistical analyses were performed using SPSS software for Windows (IBM Corp. IBM SPSS Statistics for Windows; Version 25.0; IBM Corp: Armonk, NY, USA, 2017).

RESULTS AND DISCUSSION

Measuring body temperature is a key task in the sanitary management of a livestock farm, especially in rabbits, since, being a prey animal, it tends to hide the symptoms of its state of health (Ardiaca *et al.*, 2010). Both hyperthermia and hypothermia are sure signs of health problems in animals. Hyperthermia can be caused by infection, stress, inflammations of non-infectious origin or unfavourable environmental conditions (Fraser, 1988), while hypothermia can be caused by unfavourable environments, the inability of the hypothalamus to control body temperature due to intracranial diseases (Fraser, 1988) or by a number of different pathologies, such as coccidiosis (Vadlejch *et al.*, 2010).

The highest mean temperature in the rabbits was found for RT (38.48 ± 0.02), followed by ETT (37.31 ± 0.05), NTT (33.29 ± 0.11), IETT (30.53 ± 0.25) and lastly OETT (29.09 ± 0.26) (Table 1). The temperatures taken by IRT were consistent with those obtained by Jaén-Téllez *et al.* (2020) in a similar study in rabbits of the same breed. The difference in temperature values for each anatomical point studied can be explained by different vascularisation and by the influence of the ambient temperature (Jaén-Téllez *et al.*, 2020). The average normal body temperature

Table 1: Descriptive statistics (mean, standard error, minimum, maximum, standard deviation) for the 4 thermographic variables and for rectal temperature. T-test by variable between the 4 thermographic temperature variables analysed and RT.

	Mean \pm s.e. (°C)	Min	Max	s.d.	P-value
RT	38.48 \pm 0.02	35.60	39.80	0.50	-
IETT	30.53 \pm 0.25	16.00	40.35	5.11	***
OETT	29.09 \pm 0.26	18.20	39.10	5.41	***
ETT	37.31 \pm 0.05	32.10	39.45	1.10	***
NTT	33.29 \pm 0.11	26.15	38.45	2.17	***

*** $P<0.001$; RT: Rectal temperature; ETT: Thermographic temperature from the eye; IETT: Thermographic temperature from the inner ear; OETT: Thermographic temperature from the external ear; NTT: Thermographic temperature from the nose, s.e.: standard error; s.d.: standard deviation.

of the rabbits taken by RT in this study ($38.5 \pm 0.02^\circ\text{C}$) was found to be within the ranges established by various authors ($38.0\text{--}40.0^\circ\text{C}$ according to Harris, 1994; $37.7\text{--}39.0^\circ\text{C}$ according to Ardiaca *et al.*, 2010 and $38.0\text{--}38.5^\circ\text{C}$ according to Fuentes *et al.*, 2010). These temperature variations were due to different conditioning factors, such as environmental temperature, the rabbits' breed or the measuring instruments used (Zeferino *et al.*, 2011).

RT was higher than the temperatures measured by IRT in the different body areas analysed ($P < 0.001$). The lowest temperature range could be observed in RT (35.6 to 39.8°C), which is an internal temperature, compared to the temperatures taken with IR, where the narrowest range was that of ETT (32.1 to 39.5°C), which coincides with the area with the highest temperature and with the data obtained by Jaén-Téllez *et al.* (2020).

All the correlations of IRT with RT (Figure 3) were positive, statistically significant ($P < 0.001$) and of medium magnitude. The values ranged from 0.36 for the intraclass correlation with ETT and NTT to 0.49 for the general correlation with OETT.

Different authors have stated that RT correlates positively with IRT taken in different parts of the animal's anatomy. Vicente-Pérez *et al.* (2019) observed, in sheep, that RT is positively and moderately correlated with different hair coat temperatures obtained by IRT. Rydygier *et al.* (2017), working with buffaloes, concluded that the temperature of the

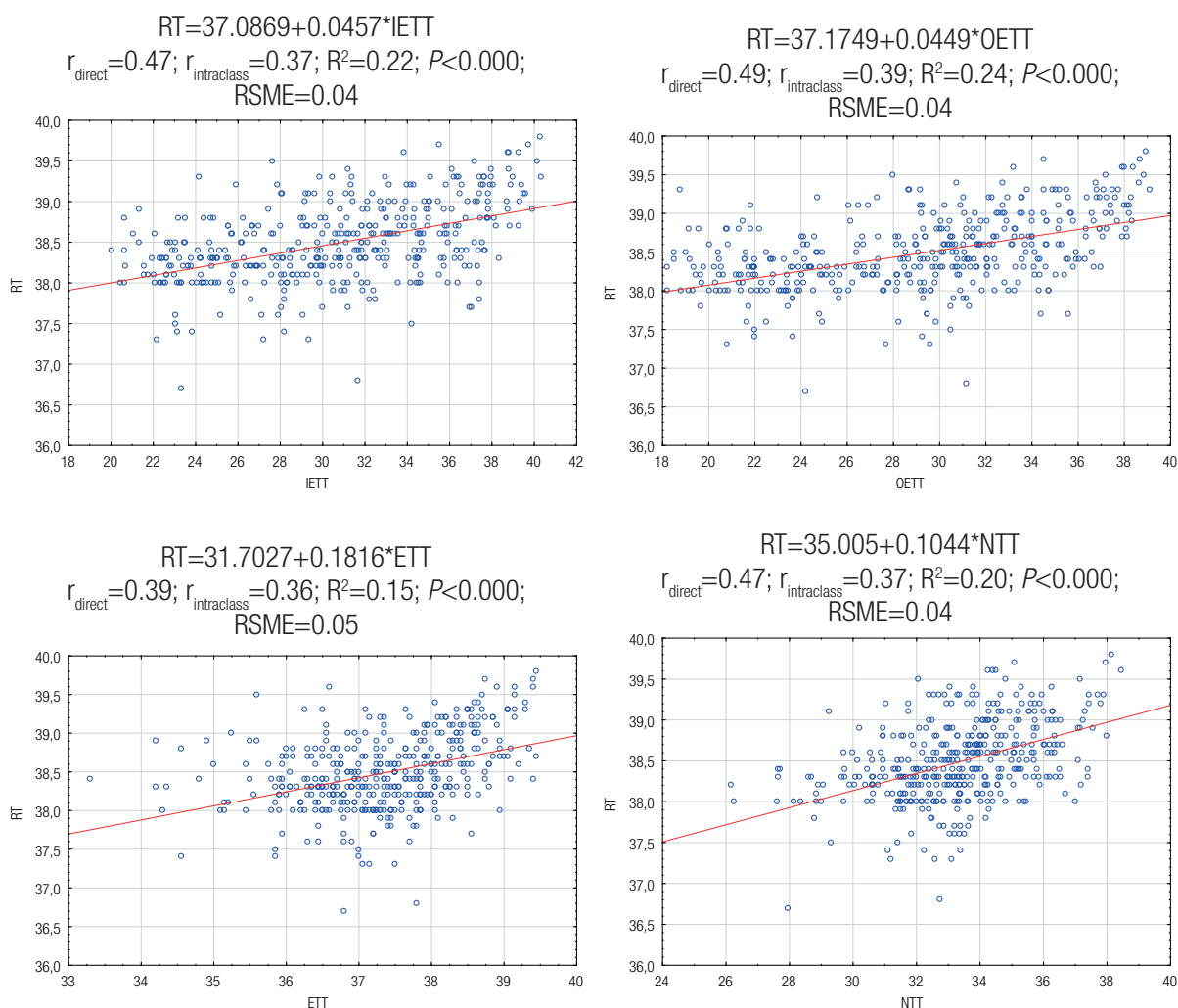


Figure 3: Pearson correlations (direct and intraclass according to batch, group size, week of fattening period and doe) and scatter plots with regression analysis between rectal temperature (RT) and thermographic temperatures.

r: Pearson correlation; R^2 : Coefficient of determination; RMSE: Root-mean-square error; RT: Rectal temperature; ETT: Thermographic temperature from the eye; IETT: Thermographic temperature from the inner ear; OETT: Thermographic temperature from the external ear; NTT: Thermographic temperature from the nose.

vulvar, nasal and ocular regions obtained by IRT correlated positively with RT. Chung *et al.* (2010) showed, in piglets, a linear relationship between RT and IRT taken in the central abdomen, cranial dorsum and perianal regions. Our study agrees with these authors, and shows the potential suitability of infrared thermography as a technique for measuring temperature in the same way as a digital thermometer.

In particular, the OETT and IETT variables showed the best correlations with RT, and their complementary use can therefore be recommended. In this context, De Lima *et al.* (2013) recommend taking the body temperature in rabbits using thermography in the eyes and nose due to the difficulty of taking it in the ear. Both the ears and the nose are used by rabbits to dissipate heat (Fayez *et al.*, 1994), although nose humidity can vary according to the ambient temperature in the different seasons, which can alter the value of the NTT (Luzi *et al.*, 2007). Jaén-Téllez *et al.* (2020) stated that ETT is the reference temperature for recording body temperature with thermography in fattening rabbits, as it is the anatomical area with the lowest range of variation. However, although the correlation results highlighted ear measurements (IETT and OETT) as better measurements to complement the RT measurement, IETT would be a better reference measure than OETT, as the outer ear is used by rabbits to dissipate heat (Fayez *et al.*, 1994).

Figure 4 shows the effect of the doe, week of fattening period and group size on the different temperature variables evaluated by IRT and RT, within each batch. For the doe effect, statistically significant differences were only found for the IETT and OETT variables of batch 1 and 3 and the RT of batch 2. Doe 3 showed statistically higher values ($P < 0.05$) in batch 1 and batch 2, as did doe 7 ($P < 0.05$) in batch 3. The differences between the does in specific batches and in certain anatomical parts could be explained by the individual effect of the doe. Quevedo *et al.* (2003) showed that the doe influences the productivity in the fattening area (growth and mortality during the fattening period), either by the number of parturitions the doe has or by the rabbit itself (individual effect).

As regards the batch-week of the fattening period combinations, we observed statistically significant differences ($P < 0.001$) between weeks for all the batches and for all the variables analysed (IRT and RT). The temperature increased with the weeks of the fattening period, showing an upward trend as the fattening period progressed. According to Fraser (1988), young animals tend to have lower temperatures than older animals. This has been observed not only in rabbits (Fewel *et al.*, 2000, Zeferino *et al.*, 2011; Daader *et al.*, 2018) but also in other species, such as broilers (Soleimani *et al.*, 2008) or dairy cattle (Collier *et al.* 2019).

In addition, different authors (Cervera and Fernández-Carmona, 1998; Jaén-Téllez *et al.*, 2020) noted that the temperature of the rabbit's different anatomical parts correlates with the environmental temperature. The environment has an influence on the surface temperature of the rabbit's body, because it affects skin temperature and the heat exchange between the animal and its environment through vasomotor control (Collier *et al.*, 2006; Zeferino *et al.*, 2011; Arduini *et al.*, 2017). A key factor in the regulation of a rabbit's internal temperature is therefore the environmental temperature at which the animals are kept (Sanmiguel and Díaz, 2011).

The animals' increased body temperature in each of the weeks of the fattening period may correlate with the evolution of the rising environmental temperature in each of the months of each batch. In order of the batches, the ambient temperature was higher at the end than at the beginning of each of these periods. The average environmental temperatures ranged from 21.3 °C in April to 38.7 °C in May for batch 1; 25.0 °C in June to 26.1 °C in July for batch 2, and 12.9 °C in January to 18.8 °C in February for batch 3.

For group size within each batch, we only observed statistically significant differences ($P < 0.05$) for the IETT and OETT variables of batch 1, with the animals in the small group showing the highest temperature values for both variables, compared to those in the large group. Stauffacher (1986 and 1992) recommended group housing in this species during the fattening period, as is common practice in industrial rabbit farming, since it increases their social contact and encourages development of the typical behaviours of the species. It also reduces biting the cage bars (a very common habit), aids thermoregulation and can help relieve stress (Burn and Shields, 2020).

In our study, in general, no statistically significant differences were found between groups because they were made up of the ideal number of animals to maximise welfare (less than 8 rabbits per cage) (Combes and Lebas, 2003), and there were therefore no significant differences in body temperature due to the effect of stress. Young rabbits are usually reared in groups (Lebas *et al.*, 1997), and a greater level of welfare of the rabbits is achieved when the group size does not exceed 6 animals (Morisse and Maurice, 1997).

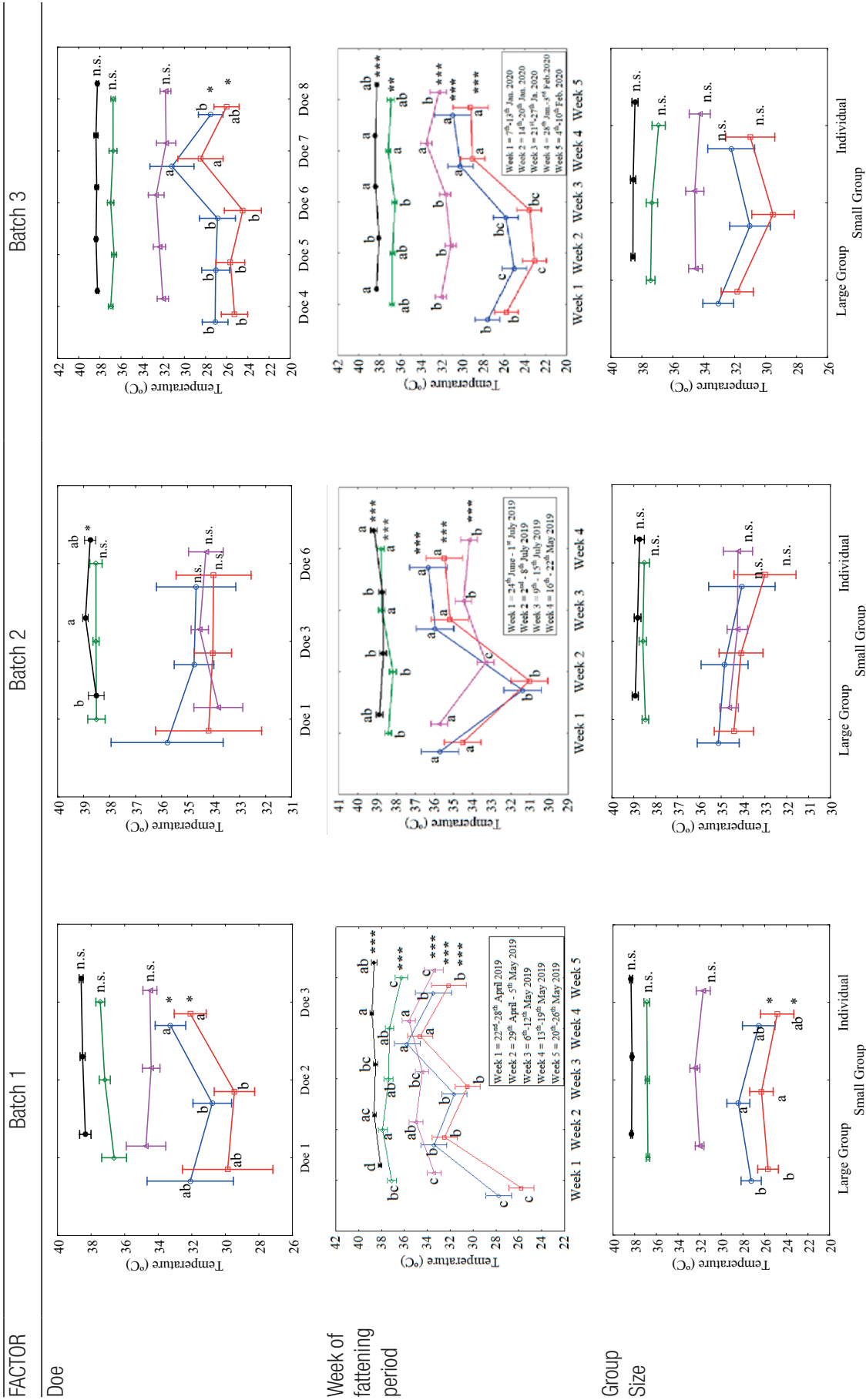


Figure 4: Thermographic (inner ear \oplus , eye \diamond and nose ∇) and rectal temperature \square measurements, univariate General Linear Model, comparison within batch and according to doe, week of fattening period and group size (indicated with *P*-value). Duncan *post-hoc* analysis between means (indicated with letters).

^{a-c}Different letters indicate statistically significant differences between means within method ($P < 0.05$); n.s.=Not statistically significant; * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$

Camacho *et al.* (2003) observed that the best weight gains are obtained when 7 rabbits are kept together in one cage in autumn-winter and 5 rabbits per cage in spring-summer. However, they found no differences in the average fattening weights in densities of below 8 rabbits per cage. On the other hand, when the group size exceeds 4-5 rabbits per cage, health risks increase and animal welfare is affected (Szendrő and Dalle Zotte, 2011). Furthermore, in large groups of rabbits, the haematological parameters are affected (lower erythrocytes, leukocytes and haemoglobin count, with higher platelet count), although the productive parameters are not, and the animals are therefore more sensitive to environmental effects. However, having groups of 8 animals from the same litter improves productivity and does not alter these parameters (Ramón-Moragues *et al.*, 2020).

Measuring body temperature by IRT requires specific equipment and software, which can be relatively expensive compared to conventional thermometers. Moreover, it involves the necessity to develop a learning curve to relate IR temperature with rectal temperature. In this context, the IRT technique reveals itself as a useful tool for fast and large-scale screening searching for early stages of diseases or stress in rabbit farms, where the high number of animals makes it expensive, in terms of the time required, to check the temperature of each rabbit using a conventional thermometer.

CONCLUSIONS

IRT is an effective tool for measuring the temperature of different regions of an animal's body, and these measurements are related to RT. The inner ear seems to be the best reference point for taking body temperature in fattening rabbits by IRT (IETT) due to higher correlations found with RT, while OETT measurement appears to be an inefficient way of representing body temperature, as it is used by rabbits to dissipate heat.

Acknowledgements: The authors wish to thank Fernando Guerrero Gil and María Barrera Báez for their help with the care and management of the rabbits. This manuscript is part of Juan Antonio Jaén-Téllez's Ph.D. thesis.

Conflict of interest: The authors declare that they have no conflicts of interest.

REFERENCES

- Ardiaca M., Brotóns N.J., Montesinos A. 2010. Aproximación a las urgencias y cuidados intensivos en conejos, psitácidas y reptiles. *Clín. Vet. Peq. Anim.*, 30: 5-14.
- Arduini A., Redaelli V., Luzi F., Dall'Olio S., Pace V., Nanni Costa L. 2017. Relationship between deck level, body surface temperature and carcass damages in Italian heavy pigs after short journeys at different unloading environmental conditions. *Animals*, 7: 10. <https://doi.org/10.3390/ani7020010>
- Bartolomé E., Sánchez M.J., Molina A., Schaefer A.L., Cervantes I., Valera M. 2013. Using eye temperature and heart rate for stress assessment in young horses competing in jumping competitions and its possible influence on sport performance. *Animal*, 7: 2044-2053. <https://doi.org/10.1017/S1751731113001626>
- Burn C.C., Shields P. 2020. Do rabbits need each other? Effects of single versus paired housing on rabbit body temperature and behaviour in a UK shelter. *Anim. Welf.*, 29: 209-219. <https://doi.org/10.7120/09627286.29.2.209>
- Camacho A., Paz C., Mata J., Bermejo L.A. 2003. Respuesta del crecimiento en conejos según densidad animal. *Arch. Zootec.*, 52: 483-486.
- Cervera C., Fernández-Carmona J. 1998. Nutrition and the climatic environment. In: *The nutrition of the rabbit; De Blas C, Wiseman J (Ed.)*, CAB International, Wallingford, United Kingdom, 267-284.
- Chacur M.G.M., Bastos G.P., Vivian D.S., Silva L., Chiari L.N.F., Araujo J.S., Souza C.D., Gabriel L.R.A. 2016. Use of infrared thermography to evaluate the influence of the climatic factors in the reproduction and lactation of dairy cattle. *Acta Sci. Vet.*, 44: 1412-1421. <https://doi.org/10.22456/1679-9216.81287>
- Chapel J.M., Benedito J.L., Hernández J., Pereira V., Domínguez R., Castillo C. 2015. Técnicas de manejo y sujeción del conejo doméstico. *Consulta de Difusión Veterinaria*, 221: 47-54.
- Chen P., White C. 2006. Comparison of rectal, microchip transponder, and infrared thermometry techniques for obtaining body temperature in the laboratory rabbit (*Oryctolagus cuniculus*). *J. Am. Assoc. Lab. Anim. Sci.*, 45: 57-63.
- Chung T., Jung W., Nam E., Kim J., Park S., Hwang C.Y. 2010. Comparison of rectal and infrared thermometry for obtaining body temperature of gnotobiotic piglets in conventional portable germ-free facility. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, 23: 1364-1368. <https://doi.org/10.5713/ajas.2010.90507>
- Collier R.J., Dahl G.E., VanBaale M.J. 2006. Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 89: 1244-1253. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72193-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72193-2)
- Collier R.J., Baumgard L.H., Zimbelman R.B., Xiao Y. 2019. Heat stress: physiology of acclimation and adaptation. *Anim. Front.*, 9: 12-19. <https://doi.org/10.1093/af/vfy031>

- Combes S., Lebas F. 2003. Les modes de logement du lapin en engraissement: influence sur les qualités des carcasses et des viandes. *In Proc.: 10^{mes} Journées de la Recherche Cunicole, 19-20 November, 2003. Paris, France. 185-200.*
- Daader A.H., Al-Sagheer A.A., Gabr H.A., Abd El-Moniem E.A. 2018. Alleviation of heat-stress-related physiological perturbations in growing rabbits using natural antioxidants. *Span. J. Agric. Res.*, 16: e0610. <http://dx.doi.org/10.5424/sjar/2018163-13184>
- De Lima V., Piles M., Rafel O., López-Béjar M., Ramón J., Velarde A., Dalmau A. 2013. Use of infrared thermography to assess the influence of high environmental temperature on rabbits. *Res. Vet. Sci.*, 95: 802-810. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2013.04.012>
- Emam A.M., Afonso S., González-Redondo P., Mehaisen G.M.K., Azoz A.A.A., Ahmed N.A., Fernand N. 2020. Status and origin of Egyptian local rabbits in comparison with Spanish common rabbits using mitochondrial DNA sequence analysis. *World Rabbit Sci.*, 28: 93-102. <https://doi.org/10.4995/wrs.2020.12219>
- EU Parliament and Council. 2010. Directive on the protection of animals used for scientific purposes. No. 2010/63/EU, 22 September 2010. *Off. J. Eur. Union*, 20 October 2010, L276, 33-79.
- Fayez I., Marai M., Alnaimy A., Habeeb M. 1994. Thermoregulation in rabbits. *In: Rabbit production in hot climates; Baselga M, Marai IFM (eds.)*, CIHEAM (Cahiers Options Méditerranéennes), Zaragoza, Spain, 8: 33-41.
- Fewell J.E., Wong S.H.M., Crisanti K.M. 2000. Age-dependent core temperature responses of conscious rabbits to acute hypoxemia. *J. Appl. Physiol.*, 89: 259-264. <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.89.1.259>
- Flecknell P. 2009. Laboratory Animal Anaesthesia. (3rd ed.), Elsevier, Oxford, United Kingdom. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-369376-1.00002-2>
- Fraser C.M. 1988. El manual Merck de veterinaria. *Centrum, Barcelona, Spain.*
- Fuentes F., Rivera R., Vara M.D. 2010. Guía de manejo y cuidado de animales de laboratorio: conejos. *Ministerio de Salud, Instituto Nacional de Salud, Lima, Peru.*
- González-Redondo P. 2016. Resultados preliminares de rendimiento reproductivo y de engorde de un núcleo de cría de conejos de tipo Común Doméstico Español. *In Proc.: XLI Symposium de Cunicultura, 12-13 May, 2016. Hondarribia, Spain. 180-185.*
- Hall L.W., Clarke K.W., Trim C.M. 2001. Veterinary anaesthesia. 10th Edition. *W. B. Saunders, London, United Kingdom.* <https://doi.org/10.1016/B978-0-7020-2035-3.X5001-3>
- Harris I. 1994. The laboratory rabbit. *ANZCCART News*, 7: 1-11.
- Jaén-Téllez J.A., Sánchez-Guerrero M.J., López-Campos J.I., Valera M., González-Redondo P. 2020. Acute stress assessment using infrared thermography in fattening rabbits reacting to handling under winter and summer conditions. *Span. J. Agric. Res.*, 18, e0502, 13 pages. <https://doi.org/10.5424/sjar/2020182-15706>
- Kataoka N., Hioki H., Kaneko T., Nakamura K. 2014. Psychological stress activates a dorsomedial hypothalamus-medullary raphe circuit driving brown adipose tissue thermogenesis and hyperthermia. *Cell. Metab.* 20: 346-358. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2014.05.018>
- Knizková I., Kunc P., Gürdil G.A.K., Pinar Y., Selvi K.Ç. 2007. Applications of infrared thermography in animal production. *J. Fac. of Agric.*, 22: 329-336.
- Lebas F., Coudert P., de Rochambeau H., Thébault R.G. 1997. The rabbit – Husbandry, health and production. *F.A.O., Rome, Italy.*
- Ludwig N., Gargano M., Luzzi F., Carezzi C., Verga M. 2007. Technical note: Applicability of infrared thermography as a non invasive measurement of stress in rabbits. *World Rabbit Sci.*, 15: 199-206. <https://doi.org/10.4995/wrs.2007.588>
- Luzzi F., Ludwig N., Monzani M., Gargano M., Ricci C., Redaelli V., Verga M. 2007. Procedures for analyses of sequence of thermal images in welfare study of rabbit. *In Proc: 4th International Workshop on the Assessment of Animal Welfare at Farm and Group Level (WAFL), 10-13 September, 2007. Ghent, Belgium. 85.*
- Malley D. 2007. Safe handling and restraint of pet rabbits. *In Pract.*, 29: 378-386. <https://doi.org/10.1136/inpract.29.7.378>
- Marai I.F.M., Habeeb A.A.M., Gad A.E. 2002. Rabbits' productive, reproductive and physiological performance traits as affected by heat stress: a review. *Livest. Prod. Sci.*, 78: 71-90. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(02\)00091-X](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(02)00091-X)
- McCafferty D.J. 2013. Applications of thermal imaging in avian science. *Ibis: Int. J. Avian Sci.*, 155: 4-15. <https://doi.org/10.1111/ibi.12010>
- Meredith A. 2006. General biology and husbandry. *In: BSAVA (British Small Animal Veterinary Association) Manual of rabbit medicine and surgery, 2nd ed. Meredith A., Flecknell P. (Ed.), Gloucester, United Kingdom. 1-17.*
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 2019. Resolución de 20 de septiembre de 2018, de la Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios, por la que se publica la de 29 de agosto de 2018, por la que se aprueba las reglamentaciones específicas de los libros genealógicos y los programas de mejora de las razas Cunicolas Gigante de España y Antiguo Pardo Español. *Boletín Oficial del Estado*, 40: 15150.
- Ministerio de la Presidencia. 2013. Real Decreto 53/2013, de 1 de febrero, por el que se establecen las normas básicas aplicables para la protección de los animales utilizados en experimentación y otros fines científicos, incluyendo la docencia. *Boletín Oficial del Estado*, 34: 11370-11421.
- Morisse J.P., Maurice R. 1997. Influence of stocking density or group size on behaviour of fattening rabbits kept under intensive conditions. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 54: 351-357. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(96\)01188-4](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(96)01188-4)
- Quevedo F., Pascual J.J., Blas E., Cervera C. 2003. Influencia de la madre sobre el crecimiento y la mortalidad de los gazapos de cebo. *In Proc.: XXVIII Symposium de Cunicultura, 2-4 April, 2003. Alcañiz, Spain. 115-122.*
- Ramón-Moragues A., Gonçalves C., Moreno Pardo J.C., Escribano D., Romero T., Torres R., Martínez-Paredes E., Villagrà A. 2020. Efecto del tamaño de grupo y el parentesco en el crecimiento y el estrés en conejos de crecimiento. *In Proc.: Webinar de Cunicultura-WebiAsescu 2020. 11 and 24 November, 16 December, 2020. Spain. 37-38.*
- Rydygier de Ruediger F., Mungai M., Pinheiro J.C., Tonizza de Carvalho N.A., Yamada P.H., Milani G.A., Oba E. 2017. Infrared thermography of the vulva, muzzle and eye during follicular and luteal phase in Murrah buffalo cows: Partial results. *In Proc.: IX Simposio de criadores de búfalo de América y Europa, November 2017. Campeche, Mexico. 72-76.*
- Sánchez M.J., Bartolomé E., Valera M. 2016. Genetic study of stress assessed with infrared thermography during dressage competitions in the Pura Raza Español horse. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 174: 58-65. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2015.11.006>

- Sanmiguel R.A., Díaz V. 2011. Mecanismos fisiológicos de la termorregulación en animales de producción. *Rev. Colomb. Cienc. Anim.*, 4: 88-94.
- Silva S.R., Mourão J.L., Guedes C., Monteiro D., Pinheiro V. 2015a. Utilización de imágenes video y termográficas para estimar el peso vivo de conejos en cebo. *In Proc.: XL Simposium de Cunicultura de ASESCU, 28-29 May, 2015. Santiago de Compostela, Spain*, 115-117.
- Silva V., Costa R.R., Gomes M.S., Oliveira P., Fernandes A.R. 2015b. Avaliação da temperatura superficial de jumentos (*Equus asinus*) utilizando a técnica de termografia infravermelha. *In Proc.: XXIV Congreso de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal y XL Congreso de la Sociedad Chilena de Producción Animal (SOCHIPA), 9-13 November, 2015. A.G. Puerto Varas, Chile*. 228.
- Soleimani A.F., Kasim A., Alimon A.R., Zulkifli I. 2008. Durability of induced heat tolerance by short term heat challenge at broilers marketing age. *Pak. J. Biol. Sci.*, 11: 2163-2166. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2008.2163.2166>
- Stauffacher M. 1986. Social contact and relationships in domestic rabbits kept in a restrictive artificial environment. *In Proc.: 19th International Ethology Congress, 24 August-3 September, 1986. Toulouse, France*. 95-100.
- Stauffacher M. 1992. Group housing and enrichment cages for breeding, fattening and laboratory rabbits. *Anim. Welf.*, 1: 105-125.
- Stewart M., Webster J.R., Schaefer A.L., Cook N.J., Scott S.L. 2005. Infrared thermography as a non-invasive tool to study animal welfare. *Anim. Welf.*, 14: 319-325.
- Szendró Z., Dalle-Zotte A. 2011. Effect of housing conditions on production and behaviour of growing meat rabbits: A review. *Livest. Sci.*, 137: 296-303. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.11.012>
- Travain T., Colombo E.S., Heinzl E., Bellucci D., Previde E.P., Valsecchi P. 2015. Hot dogs: Thermography in the assessment of stress in dogs (*Canis familiaris*) - A pilot study. *J. Vet. Behav.*, 10: 17-23. <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2014.11.003>
- Trocino G., Xiccato A. 2006. Animal welfare in reared rabbits: a review with emphasis on housing systems. *World Rabbit Sci.*, 14: 77-93. <https://doi.org/10.4995/wrs.2006.553>
- Vadlejch J., Knižková I., Makovcová K., Kuncc P., Jankovská I., Jandab K., Borkovcová M., Langrovaa I. 2010. Thermal profile of rabbits infected with *Eimeria intestinalis*. *Vet. Parasitol.*, 171: 343-345. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2010.03.037>
- Valera M., Bartolomé E., Sánchez M., Molina A., Cook N. 2012. Changes in eye temperature and stress assessment in horses during show jumping competitions. *Equine Vet. J.*, 32: 827-830. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2012.03.005>
- Vicente-Pérez R., Macías-Cruz U., Avendaño-Reyes L., Correa-Calderón A., Luna-Palomera C., Chay-Canul A.J. 2019. Relación de temperatura rectal y frecuencia respiratoria con temperaturas de pelo obtenidas por termografía en ovejas gestantes estresadas por calor. *ITEA-Inf. Tec. Econ. Ag.*, 115: 219-230. <https://doi.org/10.12706/itea.2018.035>
- Ward M.L. 2006. Physical examination and clinical techniques. *In: BSAVA (British Small Animal Veterinary Association) Manual of rabbit medicine and surgery: 2nd ed. Meredith, A., Flecknell P. (ed.). British Small Animal Veterinary Association, Gloucester, United Kingdom*, 18-36.
- Weschenfelder A.V., Saucier L., Madague X., Rocha L.M., Schaefer A.I., Faucitano L. 2013. Use of infrared ocular thermography to assess physiological conditions of pigs prior to slaughter and predict pork quality variation. *Meat Sci.*, 95: 616-620. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.06.003>
- Yamasaki-Maza A., Yamasaki-Maza L., Ruiz-Rojas J.L. 2017. Temperatura ambiente y humedad relativa y su relación con el bienestar en conejos (*Oryctolagus cuniculus*) en engorda en el trópico seco. *In Proc: Congreso Mesoamericano de Investigación (UNACH), 4-5 October, 2017. Chiapas, Mexico*. 1366-1371.
- Zeferino C.P., Moura A.S.A.M.T., Fernandes S., Kanayama J.S., Scapinello C., Sartori J.R. 2011. Genetic group×ambient temperature interaction effects on physiological responses and growth performance of rabbits. *Livest. Sci.*, 140: 177-183. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.03.027>
- Zimmerman J.J., Karriker L.A., Ramirez A., Schwartz K.J., Stevenson G.W. 2012. Diseases of swine. *Iowa State University Press, Iowa, USA*.

DISCUSIÓN GENERAL



DISCUSIÓN GENERAL

El estrés es una respuesta biológica del cuerpo causada por circunstancias extraordinarias definidas como factores que amenazan su homeostasis natural (Laugero y Moberg, 2000). El estrés es común en todos los animales (domésticos o salvajes). La percepción del organismo del cambio físico o ambiental, ya sea negativo (amenazante) o positivo (gratificante), puede producir cambios fisiológicos y psicológicos, evaluándose, a ambos niveles, a partir de una serie de indicadores biológicos que se detectan una vez que aparecen (Grandin, 1997). Estos cambios acaecidos en el organismo se denominan estrés, el cual posee un efecto dual, ya que no es siempre negativo, pues también es la primera reacción del organismo ante una situación de peligro para escapar de depredadores o de una situación amenazante, siendo una reacción natural que la conocemos como respuesta “lucha/huida” (Bartolomé y Cockram, 2016).

La respuesta animal al estrés implica el gasto de energía para eliminar o reducir el impacto del mismo, lo cual ocasiona que se incrementen las necesidades de mantenimiento del animal y dé como resultado una pérdida de su nivel productivo. La respuesta biológica al estrés se divide en fases aguda y crónica (Collier et al., 2017). La fase aguda dura de horas a unos pocos días y la fase crónica de varios días a semanas. La respuesta aguda es impulsada por reguladores homeostáticos de los sistemas nervioso y endocrino y la fase crónica por reguladores homeoréticos del sistema endocrino. Ambas respuestas implican alteraciones en el equilibrio energético y el metabolismo. En este sentido, cuando un animal se enfrenta a una alarma, se activa un proceso de estrés de tipo agudo, que se caracteriza por una respuesta corta en el tiempo (Dickens y Romero, 2013). La temperatura corporal también aumenta, lo que es problemático en especies con una deficiente tolerancia al calor, como la cunícola (Chiericato et al., 1992). Este aumento de la temperatura se produce cuando se estimula el sistema nervioso autónomo simpático, liberando los neurotransmisores adrenalina y noradrenalina (catecolaminas) en las sinapsis adrenérgicas, a fin de obtener energía para hacer frente al agente estresante (Duval et al., 2010). En el caso del conejo, entre 1 y 2 segundos después de que comienza un efecto estresante se produce una reacción de huida (Manteca, 1998), liberando catecolaminas en el torrente sanguíneo (Kuchel, 1991), lo que hace que la temperatura corporal aumente durante un corto tiempo, ya que su función es favorecer la glicogénesis hepática (Greco y Stabenfeldt, 1997). Es una respuesta a corto plazo, ya que las catecolaminas tienen una vida media de solo unos minutos en la sangre (Peaston y Weinkove,

2004). Esta circunstancia permite a los animales hacer frente a la situación de miedo de manera eficaz (Lattin y Romero, 2014).

El estudio del estrés suele llevar asociada la problemática de su medición, pues la mayoría de las técnicas tradicionales utilizadas son invasivas, provocando en sí mismas una respuesta al estrés que puede afectar a su interpretación. La termografía infrarroja (IRT) puede detectar esta respuesta aguda al estrés, sustituyendo los sistemas tradicionales de medición de catecolaminas plasmáticas como respuestas del sistema nervioso autónomo para evaluar el bienestar de los animales (Stewart et al., 2005). La termografía infrarroja es un método pasivo, remoto y no invasivo que mide la temperatura de la superficie, detecta la radiación infrarroja emitida por un sujeto y proporciona una representación gráfica de la temperatura corporal en los animales (Speakman y Ward, 1998; Stewart et al., 2005).

La termografía infrarroja es un método útil para evaluar tanto el estrés agudo como el crónico ya que existe una estrecha relación entre el estrés y el sistema metabólico. Como hemos visto, cuando un animal se estresa, el eje hipotalámico-hipofisiario-adrenal se activa y, como resultado de los aumentos en los niveles de catecolaminas y cortisol, así como en las respuestas del flujo sanguíneo, se originarán cambios en la producción y pérdida de calor del animal (Bouwknicht et al., 2007). La exposición a factores estresantes, tanto fisiológicos como psicológicos de diferentes intensidades, activa una respuesta defensiva que incluye un aumento de la frecuencia cardíaca y la temperatura corporal. Este aumento, relativamente breve de la temperatura corporal central inducido por el estrés, se conoce como *hipertermia inducida por estrés* (Bouwknicht et al., 2007). El aumento de la temperatura debido al estrés se ha evaluado mediante el uso de la IRT en diferentes partes anatómicas de distintas especies, en el ojo de los caballos (Valera et al., 2012; Bartolomé et al., 2021), las vacas (Stewart et al., 2007), los perros (Travain et al., 2015) y en la piel de los cerdos (Warriss et al., 2006). Olivas y Villagrà (2013) demostraron que la temperatura rectal también puede utilizarse para evaluar el miedo o el estrés agudo en los conejos.

Los efectos de la manipulación de los conejos por parte del cuidador, en el manejo diario de una explotación cunícola, pueden ser una causa estresante en los conejos y ocasionar pérdidas productivas más o menos importantes. Los incrementos de temperatura, debidos a la inducción de estrés por manipulación, están en función de la capacidad de cada animal para hacer frente a

situaciones estresantes y adversas, repercutiendo en su respuesta fisiológica (Monclús et al., 2006; Cabezas et al., 2007; Broom, 2011). En el trabajo de Jaén-Téllez et al. (2020), presentado en el Capítulo 2 de esta Tesis Doctoral, se mostró un aumento de la temperatura infrarroja (en las zonas de la carúncula del ojo, del oído interno y del oído externo) entre los conejos sin manipulación y después de su manipulación. Estos incrementos de temperatura se han producido tanto en la estación fría (meses de enero-febrero) como en la cálida (meses de abril-mayo). En el mismo contexto, De Lima et al. (2013), en un estudio sobre el estrés por calor en los conejos, encontraron, al igual que en nuestro estudio, que las temperaturas más altas se detectaron mediante IRT en el ojo (ETT), oído interno (IETT), oído externo (OETT) y nariz (NTT). En nuestro trabajo, aunque se hicieron mediciones en la nariz, hubo aumento de temperatura en la estación cálida y disminución en la estación fría. Esta diferencia se debe, posiblemente, a la humedad de la nariz, que puede variar según la temperatura ambiente en las distintas estaciones. Por lo tanto, esta humedad puede alterar el valor real de la IRT medida (Luzi et al., 2007). Así que, ojo y oído son las partes anatómicas más fiables para medir el estrés en esta especie, utilizando la temperatura termográfica como indicador. No obstante, hay que destacar que las mayores variaciones de temperatura entre las condiciones iniciales sin manipulación y después de la manipulación se produjeron en las mediciones de la IETT (Jaén-Téllez et al., 2020), por lo que este punto anatómico de interés debería ser la referencia para evaluar el estrés en los conejos mediante la temperatura medida con la termografía, como también atestigua en Ludwig et al. (2007). Contrariamente a los resultados de este trabajo, los estudios realizados por Ludwig et al. (2007), sobre la medición del estrés por termografía en conejos, muestran que hay una disminución de la ETT y OETT después de un evento estresante con un aumento de la corticosterona en el torrente sanguíneo. Esta diferencia entre estudios se puede deber, precisamente, a la mayor o menor presencia de corticosterona. En el trabajo de Jaén-Téllez et al. (2020), al efectuarse la medición de la temperatura en la fase inicial del efecto estresante, se produciría un estímulo del sistema nervioso autónomo (Nelson, 2000), con aumento de las catecolaminas, correlacionada con un aumento de la temperatura, mientras que la mayor presencia de corticosterona se produce a partir de los 60 segundos después del inicio de la manipulación o acción del efecto estresante (Gascón y Verde, 1987), produciéndose desde ese momento un descenso de la temperatura.

En el conejo, el grado de hipertermia debido al estrés por manejo, registrado a nivel de la carúncula del ojo, no se vio afectado significativamente por la temperatura ambiente,

coincidiendo con el trabajo de Long et al. (1990). Así mismo, en IETT y OETT, la temperatura ambiente se correlacionó con el aumento de la variación de la temperatura infrarroja entre las mediciones realizadas antes y después de la manipulación. La diferencia de los valores de temperatura para cada punto anatómico estudiado se debe a su diferente vascularización y a la influencia de la temperatura ambiente. Cabe destacar que tanto las orejas como la nariz son utilizadas por los conejos para disipar el calor (Fayez et al., 1994). De hecho, para regular mejor el calor, los conejos tienen orejas más grandes en las zonas geográficas más cálidas (Ferreira et al., 2015). Los conejos con orejas más grandes tienen tasas respiratorias más bajas con temperaturas ambientales elevadas (Zeferino et al., 2011). En nuestro trabajo, la IRT máxima inducida por estrés se produjo en ETT, tanto en la temporada cálida como en la fría, con 39,57 °C y 39,75 °C, respectivamente. Los valores de temperatura obtenidos se encuentran dentro del rango de normalidad y, por consiguiente, la hipertermia inducida por estrés no fue patológica para los conejos de nuestro estudio, coincidiendo con Ardiaca et al. (2010), que indicaron que la temperatura corporal de los conejos puede aumentar hasta 40 °C en situaciones de estrés sin ser patológico. Sin embargo, por encima de los 40 °C las membranas celulares comienzan a ser destruidas por la desnaturalización de las proteínas (Bowler y Manning, 1994).

El estado de miedo o estrés en los animales de nuestro estudio (Jaén-Téllez et al., 2020) podría deberse a que no fueron manipulados tempranamente (Price, 2002), sino directamente después del destete. Bilkó y Altbäcker (2000) y Csatádi et al. (2005) evidenciaron que la manipulación temprana de los gazapos lactantes, en la primera semana tras el nacimiento, reduce significativamente el estrés causado por la presencia humana. Olivas y Villagrà (2013) informaron de que la manipulación, por sí misma, no causa hipertermia, salvo que exista una causa estresante adicional como la colocación de una inyección intramuscular de un fármaco o de suero salino. Lógicamente los conejos que muestran mayores niveles de estrés son los salvajes que se encuentran en cautiverio (Cabezas et al., 2007), evidenciando episodios de miedo y reacciones de fuga debido a la presencia y manipulación humana.

En los conejos sin manipular, la temperatura infrarroja de las distintas partes anatómicas se correlacionó con la temperatura ambiente, coincidiendo con los resultados obtenidos por Cervera y Fernández-Carmona (1998). La temperatura ambiente del alojamiento donde se mantienen los animales es una condición clave para la regulación de la temperatura interna de un conejo (Sanmiguel y Díaz, 2011). En los conejos en cebo de nuestro trabajo, durante la

temporada cálida de la zona en la que se ha ubicado nuestro experimento (37° 21' 36,3" N y 5° 56' 23,9" W; 11 m s.n.m., abril-mayo) hubo una disminución de la diferencia de temperatura corporal de los animales entre antes y después de manipularse, entre los primeros y los últimos días del experimento (principio y final del engorde), que puede ser explicado por un proceso de adaptación gradual a la manipulación humana. Sin embargo, este hecho no se ha producido durante la temporada fría (enero-febrero). En concreto, las menores diferencias de temperatura infrarroja entre los conejos manipulados y no manipulados se producen al final del período de engorde, durante la temporada cálida. Una posible explicación a este fenómeno es el mayor estrés térmico por calor que sufren los conejos a medida que su edad y peso corporal aumentan (haciéndose la temperatura corporal más alta y consecuentemente habiendo una menor diferencia entre la temperatura ambiental y la corporal). Este suceso se ha observado tanto en los conejos (Daader et al., 2018) como en otras especies productivas como pollos de engorde (Soleimani et al., 2008) y vacuno de leche (Collier et al., 2019). En consecuencia, para la producción de conejos, el hecho que los animales más pesados y con más edad sean más sensibles al estrés térmico, implica que la temperatura ambiental debe controlarse más estrictamente a medida que avanza el período de engorde.

El estrés es la primera reacción del organismo ante una situación de peligro para escapar de depredadores o de una situación amenazante, siendo una reacción natural que la conocemos como respuesta “lucha/huida” (Bartolomé y Cockram, 2016). Para la reacción de huida de los conejos se requiere energía, lo que justifica el aumento de la temperatura (Duval et al., 2010), siendo esta necesidad energética mayor en invierno que en verano (Samoggia, 1987; Okab et al., 2008).

Los mayores rangos de temperatura infrarroja en conejos no manipulados se produjeron en las mediciones realizadas con la cámara infrarroja a nivel del oído externo. Autores como González et al. (1971) y Zeferino et al. (2011) evidenciaron que esta zona del cuerpo está implicada en la transferencia de calor con el habitáculo y se ve afectada tanto por la vasoconstricción como por la vasodilatación, dependiendo de la temperatura ambiente (Cervera y Fernández-Carmona, 1998). El rango de diferencias entre los promedios de temperatura infrarroja para el oído externo y la temperatura ambiente en conejos no manipulados fue de 3,5 °C. En concreto son 1,5 °C menos que los determinados por González et al. (1971), que realizaron un estudio de balance térmico en machos no manipulados alojados a temperaturas

que oscilan entre los 5 y los 35 °C. Sin embargo, en la temporada cálida, la diferencia de temperatura en los conejos de esta Tesis fue de +1,2 °C con los conejos del estudio de González et al. (1971) y de +2,1 °C con los conejos del estudio de Yamasaki-Maza et al. (2017), que llevaron a cabo un trabajo de investigación para determinar y analizar las correlaciones entre la temperatura ambiente, la humedad relativa y THI, con relación a la temperatura de la oreja de los conejos como mecanismo de termorregulación. Las diferencias de temperatura encontradas entre nuestro estudio y los distintos trabajos referidos pueden deberse a factores como las diferencias en las razas de conejos y las herramientas utilizadas para medir la temperatura. En concreto, Yamasaki-Maza et al. (2017) utilizaron un termómetro clínico digital de infrarrojos sin contacto con un rango de temperatura de 32-43 °C (precisión de $\pm 0,3$ °C) en conejos de razas Nueva Zelanda, Chinchilla y Azteca, mientras que González et al. (1971) utilizaron termopares de cobre-constantán unidos con discos de plástico a pequeñas zonas de piel rasurada detrás de las orejas de conejos blancos de Nueva Zelanda.

El sexo ha sido un factor que no ha tenido influencia en la temperatura infrarroja de los conejos de engorde manipulados y no manipulados, posiblemente debido a que los conejos de nuestro estudio no habían alcanzado la pubertad ya que el destete se realizó a los 28 días y los animales al final de periodo de engorde (38 días) solo tenían 66 días de edad. En concreto, según Lebas et al (1997) la pubertad en los conejos se alcanza con cuatro meses y medio en los machos y entre los 4 y 8 meses en las hembras, dependiendo de la raza y el desarrollo corporal. Sin embargo, en conejos adultos se han detectado diferencias entre los sexos cuando los animales fueron sometidos a estrés debido a las diferencias en el metabolismo de los glucocorticoides entre machos y hembras (Monclús et al., 2006). Divergencias entre sexos, debido al distinto metabolismo de la corticosterona, también se ha encontrado en ratas (Touma et al., 2003). Otra razón que podría explicar el hecho de que en nuestro estudio no se obtuvieron diferencias significativas entre machos y hembras después de la manipulación, podría deberse al hecho de que el estrés que se producía era agudo, causado por una reacción corta e influido por un aumento de las catecolaminas, en lugar de los glucocorticoides (Nelson, 2000).

La temperatura ambiente a la que se mantienen los animales es el factor clave en la capacidad de los conejos para regular su temperatura (Cervera y Fernández-Carmona, 1998), termorregulando más eficientemente con temperaturas más bajas (Lebas et al., 1997). A partir de los 24 °C, los conejos destetados, durante el período de engorde, empiezan a tener

problemas respiratorios, con fatiga, aumento del ritmo cardíaco, falta de apetito y disminución del metabolismo basal (Samoggia, 1987). Aunque la temperatura ambiente fue ligeramente superior, en nuestro estudio no se observó ninguno de estos efectos, quizás debido a la adaptación de esta raza al cálido clima español (Cañón, 2015) y a la plasticidad fenotípica de los conejos (Dalmau et al., 2015).

Los principales parámetros que evalúan la eficiencia productiva en una explotación cunícola son la ingesta diaria de alimento (DFI), la ganancia media diaria (ADG) y el índice de conversión alimentaria (FCR) (Cartuche et al., 2014), aunque también son parámetros que están muy condicionados por el bienestar de los animales (Marai y Rashwan, 2004). Posiblemente, el FCR es el parámetro más importante desde el punto de vista económico (Armero y Blasco, 1992; Gidenne et al., 2017). El FCR medio de los conejos en este estudio (Jaén-Téllez et al., 2021a; Capítulo 2) fue de 3,18. Este valor fue ligeramente inferior al valor obtenido por González-Redondo (2016) para esta misma raza (3,46 a los 63 días de edad) y ligeramente superior al obtenido por Feki et al. (1996) en líneas seleccionadas (3,0). La ADG ($25,80 \pm 0,46$ g/día) mostró un valor medio inferior al encontrado por González-Redondo (2016) para esta misma estirpe ($34,0 \pm 0,93$ g/día) y por Rodellar et al. (1989) para el Conejo Común Español ($31,8 \pm 1,77$ g/día), siendo este valor inferior a los valores normales encontrados en líneas selectas de conejos (38-48 g/d; Feki et al., 1996). La ADG en los países con industria de conejo consolidada oscila entre 30 a 46 g/día (Orengo et al., 2009) y puede llegar a 50 g/día en explotaciones que utilizan líneas maternas muy prolíficas y líneas paternas de alto crecimiento (García-Ruiz et al., 2006; Medellín y Lukefahr, 2011). La DFI de los animales de nuestro estudio mostró un valor medio ($77,80 \pm 1,34$ g/día) inferior al de líneas seleccionadas, que suelen presentar valores próximos a 105 g/día (Orengo et al., 2009). El rendimiento productivo, bajo similares condiciones ambientales y nutricionales, es específico de cada raza, debido a las diferencias genéticas entre ellas (Lebas et al., 1997). Los valores bajos de ADG y DFI observados en los animales de este estudio se deben al hecho de que se trata de una raza rústica no mejorada, al igual que ocurre con el conejo Ibicenco (Formoso-Rafferty, et al., 2016). También los animales de nuestra Tesis pertenecen a una raza con poco potencial genético para el consumo de alimento y con bajo potencial de crecimiento (González-Redondo, 2007), al igual que sucede con la raza rústica Semigigante Cubano (Ponce de León et al., 2002). El FCR también es otro parámetro que está influenciado por la raza (Gupta et al., 2000).

Los parámetros productivos se suelen ver condicionados, en la cría cunícola, por la meteorología. Concretamente, en nuestro trabajo (Jaén-Téllez et al., 2021a) hemos encontrado una DFI más alta en la temporada fría ($80,30 \pm 2,63$ g/día) que en la temporada cálida ($76,21 \pm 1,42$ g/día), coincidiendo con el trabajo de Gupta et al. (2000). También hemos hallado diferencias estacionales en el FCR, con valores más elevados en la estación cálida ($3,24 \pm 0,07$) que en la estación fría ($3,08 \pm 0,09$), concordando con distintos autores (Gupta et al., 2000; Sabah y Dalal, 2016). Sin embargo, la ADG es un parámetro que va disminuyendo a medida que la temperatura aumenta, produciéndose un decremento de 2,6 g/d entre la media de la estación fría (27,39 g/d) y la media de la estación cálida (24,79 g/d). Las condiciones de calor tienen un impacto negativo en el crecimiento, debido a una serie de efectos que pueden explicarse a través de la respuesta al estrés por calor (Okab et al., 2008) y que se traducen en una reducción del consumo de pienso, al disminuir los gastos de mantenimiento, causando una ralentización del crecimiento y, en consecuencia, un deterioro de la eficiencia alimenticia. Hay que recordar que los conejos son muy sensibles al calor debido a que tienen muy pocas glándulas sudoríparas, que además no están distribuidas de forma uniforme por todas las partes del cuerpo, provocando que el conejo tenga una gran dificultad para eliminar el calor corporal cuando la temperatura ambiente es alta y, por lo tanto, son propensos a sufrir estrés por calor (Chiericato et al., 1992).

En los conejos, los receptores térmicos periféricos se activan, cuando la temperatura ambiente es elevada, para inducir el centro del apetito en el hipotálamo, causando una disminución en la DFI y ADG (Marai et al., 2007) y un aumento en el FCR (Chiericato et al., 1992). La temperatura ambiente alta induce a los conejos a estabilizar su calor corporal al disipar su calor latente, que afecta el equilibrio metabólico del agua, proteínas, energía y minerales, reacciones enzimáticas, secreciones hormonales y metabolitos sanguíneos (Kasa y Thwaites, 1992). Durante el estrés por calor, los animales aumentan su pérdida de calor mediante la vaporización del agua durante la respiración (Chiericato et al., 1992). Este tipo de estrés no solo tiene efectos negativos sobre el crecimiento, sino también sobre la reproducción y resistencia a las enfermedades (Odeon y Romera, 2017). En el presente estudio, el índice de temperatura-humedad (THI) tuvo un efecto significativo sobre la ADG y DFI, lo que demuestra que el THI es una herramienta óptima para evaluar el impacto del calor y la humedad, que a menudo influyen en el bienestar y el crecimiento de los animales (Hahn et al., 2009). El sexo de los animales en este estudio (Jaén-Téllez et al., 2021a) tampoco tuvo un efecto significativo sobre

los parámetros productivos, al igual que ocurrió con el trabajo de Jaén-Téllez et al. (2020), siendo normal en conejos que no han alcanzado la madurez sexual (Paci et al., 2013), que es el momento fisiológico en el que los índices técnicos en machos y hembras comienzan a divergir (Lazzaroni et al., 2009).

El manejo de los animales durante el período de engorde tuvo una influencia significativa en los parámetros productivos. Con el aumento de los niveles de estrés por manipulación, hubo una tendencia al aumento de DFI, ADG y FCR. El estrés agudo puede inducir hiperfagia, con un mayor consumo de alimento (McMillan, 2013), que a su vez genera un mayor peso corporal (Silveira et al., 2000). Autores como López-Espinoza et al. (2012) también demostraron que aumenta el consumo de alimento después de la exposición al estrés, aunque, inmediatamente después de la acción del agente estresante se produce una supresión de la ingesta de alimento inducida por la acción de las hormonas noradrenalina (Halford, 2001) y corticotropina (Takeda et al., 2004), que permite a los animales llevar a cabo una respuesta al estrés. En los animales, las respuestas comportamentales pueden variar desde manifestaciones de docilidad hasta nerviosismo (miedo) y desde la falta de respuesta mostrada por inmovilidad para escapar, hasta la conducta agresiva o de ataque (Stricklin y Kautz-Scanavy, 1984). Esta respuesta, en el caso de los conejos, es una reacción de huida, para la que se requiere energía, lo que inhibe funciones del metabolismo, incluido el sistema digestivo (Gómez y Escobar, 2006). En otras especies como las ratas, la ingesta de alimento actúa como un reconfortante que reduce la respuesta al estrés (Ortolani et al., 2011). Comer, en respuesta al estrés, es un medio de alivio y gratificación en los animales (Ans et al., 2018). En consecuencia, el estrés se asocia positivamente con el peso corporal (Torres y Nowson, 2007). La exposición aguda al estrés produce cambios metabólicos más importantes que el estrés crónico (Rostamkhani et al., 2012). Distintos autores han demostrado, en diferentes especies, que la respuesta al manejo se asocia con el temperamento (Nkrumah et al., 2007; Llonch et al., 2016), siendo menos eficientes los animales más temperamentales. El término “temperamento” se define como la reacción producida en un animal ante estímulos o determinadas situaciones, como puede ser la presencia del hombre. En este sentido, los animales con un temperamento nervioso demuestran una respuesta mayor al miedo que surge de las interacciones sociales, los encuentros con nuevas especies y los nuevos estímulos tanto de tipo visuales, auditivos o táctiles (Burrow y Dillon, 1997; Curley, 2004). El temperamento y el estrés están estrechamente relacionados, por ello la evaluación del temperamento de los animales se ha establecido como un método para

seleccionar a los animales que podrían ser menos sensibles al estrés o que se adaptan mejor a las condiciones de manejo, permitiendo de esta forma mejorar la productividad en la explotación (Curley, 2004). En nuestro estudio, debido a la hiperfagia producida por el estrés derivado de la manipulación, los animales más temperamentales consumen más pienso, aumentando así la ADG, pero no de manera eficiente, lo que conduce a un FCR más alto. En este sentido, el aumento del FCR puede ser consecuencia de la alteración del bienestar animal, que afecta negativamente la eficiencia de los animales, haciéndolos menos productivos (Marai y Rashwan, 2004). Aunque uno de los principales objetivos del proceso de domesticación es suprimir las respuestas no deseadas al miedo extremo, en los conejos, como en otras especies, no se ha conseguido erradicar su miedo al ser humano, al que perciben como un potencial depredador (Price, 1984). Desde un punto de vista ganadero, estos animales más temperamentales y con mayor capacidad de reaccionar ante situaciones de estrés, no son de gran interés por su menor eficiencia alimentaria.

En resumen, los factores climáticos (THI) pueden producir estrés en los conejos, pero si además los conejos son manipulados los niveles de estrés se verán incrementados afectando en mayor medida al rendimiento productivo (Marai y Rashwan, 2004; Odeon y Romera, 2017).

Las normativas comunitarias son cada día más exigentes, en respuesta a una sociedad con una mayor sensibilidad hacia las condiciones de producción ganadera. Para que los sistemas productivos, entre ellos la ganadería cunícola, se adapte a las nuevas normativas es necesario desarrollar modelos productivos que mejoren el confort y la salud de los animales, junto con la sostenibilidad económica de las explotaciones. La medición de la temperatura corporal es una tarea clave en el manejo sanitario de una explotación ganadera, especialmente en conejos, ya que, al ser un animal de presa, tiende a ocultar los síntomas de su estado de salud (Ardiaca et al., 2010), por lo que es necesario controlar la temperatura para registrar alteraciones de su normalidad fisiológica. Tanto la hipertermia como la hipotermia son signos de problemas de salud en los animales. La hipertermia puede ser causada por infecciones, estrés, inflamaciones de origen no infeccioso o condiciones ambientales desfavorables (Fraser, 1988). Por el contrario, la hipotermia puede ser causada por ambientes desfavorables debido a la incapacidad del hipotálamo para controlar la temperatura corporal, debido a enfermedades intracraneales (Fraser, 1988) o por una serie de patologías, como la coccidiosis (Vadlejch et al., 2010).

La temperatura corporal promedio de los conejos, tomada por RT en este estudio ($38,5 \pm 0,02$ °C; Jaén-Téllez et al., 2021b; Capítulo 3), se encontró dentro de los rangos establecidos por varios autores ($38,0-40,0$ °C según Harris, 1994; $37,7-39,0$ °C según Ardiaca et al., 2010 y $38,0-38,5$ °C según Fuentes et al., 2010). Estas variaciones de temperatura se deben a diferentes factores condicionantes, como la temperatura ambiental, la raza de los conejos o los instrumentos de medición utilizados (Zeferino et al., 2011). La temperatura más alta en los conejos de nuestro estudio se encontró para RT ($38,48 \pm 0,02$ °C), frente a las temperaturas tomadas a nivel externo con ayuda de la cámara infrarroja (ETT: $37,31 \pm 0,05$ °C; NTT: $33,29 \pm 0,11$ °C; IETT: $30,53 \pm 0,25$ °C y OETT: $29,09 \pm 0,26$ °C). La diferencia en los valores de temperatura para cada punto anatómico estudiado se puede explicar por la diferente vascularización (Brewer y Cruise, 1994; Jaén-Téllez et al., 2020) y por la influencia de la temperatura ambiente (Zeferino et al., 2011; Jaén-Téllez et al., 2020). El menor rango de variación de los valores de temperatura se encontró en las tomadas a nivel interno (vía rectal) con un termómetro digital ($35,6$ a $39,8$ °C). Para las temperaturas infrarrojas el menor rango de variación se encontró en ETT ($32,1$ a $39,5$ °C).

Diferentes autores han puesto de manifiesto que la RT se correlaciona positivamente con la IRT tomada en diferentes partes de la anatomía del animal. En este sentido, Vicente-Pérez et al. (2019) determinaron que la RT en ovino se correlaciona positiva y moderadamente con diferentes temperaturas del pelaje obtenidas por IRT. Rydygier et al. (2017), trabajando con búfalos, concluyeron que las temperaturas de las regiones vulvar, nasal y ocular obtenidas por IRT se correlacionaron positivamente con la RT. Chung et al. (2010) mostraron, en lechones, una relación lineal entre RT e IRT tomadas en el abdomen central, dorso craneal y regiones perianales. En nuestro trabajo (Jaén-Téllez et al., 2021b) todas las correlaciones de IRT con RT fueron positivas, de magnitud media y estadísticamente significativas ($p < 0,001$), oscilando entre 0,36 (correlación intraclase) con la ETT a 0,49 con la OETT. Con ello, se pone de manifiesto la idoneidad de la IRT como técnica para medir la temperatura corporal en conejos. Además, la termografía infrarroja tiene una serie de ventajas sobre el método tradicional de controlar la temperatura en los conejos:

- Es una tecnología no invasiva, no incrementando el estrés del animal por la manipulación humana.
- Es un método muy eficiente para detectar el estrés (motivado por causas ambientales, por enfermedad o por efectos del propio manejo productivo).

- El procedimiento de la toma de las medidas termográficas puede incluso realizarse en oscuridad, con lo cual los animales se ven menos afectados por la presencia humana.

Las mayores correlaciones con la RT han sido con OETT, IETT y NTT. Curiosamente, De Lima et al. (2013) recomiendan tomar la temperatura corporal en conejos mediante termografía en ojos y nariz debido a la dificultad de tomarla en el oído. Sin embargo, tanto las orejas como la nariz son utilizadas por los conejos para disipar el calor (Fayez et al., 1994), aunque la humedad de la nariz puede variar según la temperatura ambiente en las diferentes estaciones, lo que puede alterar en mayor nivel el valor de la NTT (Luzi et al., 2007). Por ello la IETT sería la mejor medida de referencia ya que los conejos utilizan el oído externo para disipar el calor (Fayez et al., 1994). No obstante, cuando se está trabajando con temperaturas, es muy importante determinar todos los factores que las pueden condicionar. A este respecto, en nuestro trabajo, se analizaron el efecto de la coneja madre de los gazapos (8 conejas), la semana de engorde en que se mide la temperatura (4 a 5 semanas) y el tamaño del grupo en función del número de conejos alojados en cada jaula (individuales con un solo conejo por jaula, grupos pequeños que contenían de 2 a 4 conejos por jaula y grupos grandes que contenían de 5 a 7 conejos por jaula) sobre las diferentes variables de temperatura evaluadas por IRT y RT, dentro de cada uno de los 3 lotes establecidos, en función de la temporada en que se realizó el cebo (lote 1: abril-mayo; lote 2: junio-julio; lote 3: enero-febrero) en los conejos de engorde. Para el efecto madre solo se encontraron diferencias estadísticamente significativas para las variables IETT y OETT del lote 1 y 3 y la RT del lote 2. Los gazapos de la coneja 3 mostraron valores más altos de temperatura en IETT y en OETT en el lote 1, siendo estadísticamente significativos ($p < 0,05$) con respecto a la coneja 2 y en RT en el lote 2, siendo estadísticamente significativos ($p < 0,05$) con respecto a la coneja 1, al igual que las crías de la coneja 7 en el lote 3 para IETT ($p < 0,05$) con respecto a las conejas 4, 5, 6 y 8 y en OETT ($p < 0,05$) con respecto a las temperaturas de los gazapos de las conejas 4, 5 y 6. Las diferencias entre las conejas en lotes específicos y en determinadas partes anatómicas podrían explicarse por el efecto individual de cada una de ellas. Quevedo et al. (2003) demostraron que la madre influye en la productividad de su prole en la etapa de cebo (crecimiento y mortalidad durante el período de engorde), ya sea por el número de partos que tiene la coneja (los animales con mayor número de partos tienen más edad y suelen tener un temperamento más tranquilo) o por el efecto genético intrínseco de la propia coneja (efecto genético individual). En nuestro estudio las conejas con más edad han sido las conejas 1, 2 y 3.

La semana del periodo de engorde también mostró diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,001$) en todos los lotes y para todas las variables analizadas (IRT y RT). La temperatura de los conejos aumentó con el transcurso de las semanas de cebo. Según Fraser (1988), los animales jóvenes tienden a tener temperaturas más bajas que los animales más viejos. Esto se ha observado no solo en conejos (Fewell et al., 2000; Zeferino et al., 2011; Daader et al., 2018) sino también en otras especies, como pollos de engorde (Soleimani et al., 2008) o ganado bovino de leche (Collier et al., 2019). El aumento de la temperatura corporal de los animales, a medida que avanzaba el período de engorde, puede relacionarse con la evolución del aumento de la temperatura ambiental en cada uno de los meses de cada lote. En los distintos lotes, la temperatura ambiente fue más alta al final que al comienzo de cada uno de estos períodos. Las temperaturas ambientales medias variaron de 21,3 °C en abril a 38,7 °C en mayo para el lote 1; de 25,0 °C en junio a 26,1 °C en julio para el lote 2 y de 12,9 °C en enero a 18,8 °C en febrero para el lote 3. El ambiente influye en la temperatura de la superficie del cuerpo del conejo, ya que afecta la temperatura de la piel y el intercambio de calor entre el animal y su entorno a través del control vasomotor (Collier et al., 2006; Zeferino et al., 2011; Arduini et al., 2017).

Un efecto que se había pensado que podrá influir de forma significativa en el estrés de los conejos de engorde ha sido el tamaño del grupo dentro de cada lote (número de conejos alojados en cada jaula). Sin embargo, solo observamos diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) para las variables IETT y OETT del lote 1, mostrando los animales del grupo pequeño los valores de temperatura más altos, en comparación con los del grupo grande (diferencias de 1,47 °C para IETT y de 1,5 °C para OETT). Autores como Stauffacher (1986 y 1992) recomendaron el alojamiento en grupo de esta especie, durante el período de engorde, siendo ésta una práctica común en la cría industrial de conejos (Lebas et al., 1997), ya que aumenta su contacto social, favorece el desarrollo de los comportamientos típicos de la especie, reduce el mordisco en las barras de la jaula (un hábito muy común), ayuda a la termorregulación y puede ayudar a aliviar el estrés (Burn y Shields, 2020). Hay divergencias entre distintos autores con respecto al número máximo de conejos por jaula y, obviamente también dependerá de las dimensiones de la jaula. Autores como Morisse y Maurice (1997) han establecido que el mayor nivel de bienestar de los conejos se produce cuando el tamaño del grupo no supera los 6 animales; Combes y Lebas (2003) han determinado que el número ideal de conejos por jaula debe ser inferior a 8; Camacho et al. (2003) observaron que las mayores ganancias de peso se obtienen cuando se mantienen juntos 7 conejos en una jaula durante la

temporada fría y 5 conejos por jaula durante la temporada cálida (no encontraron diferencias en los pesos medios de engorde en densidades inferiores a 8 conejos por jaula); Szendro y Dalle Zotte (2011) indican que cuando el tamaño del grupo supera los 4-5 conejos por jaula, los riesgos para la salud aumentan y el bienestar animal se ve afectado. En concreto en grandes grupos de conejos de cebo por jaula, los parámetros hematológicos se ven afectados (menor recuento de eritrocitos, leucocitos y hemoglobina, con mayor recuento de plaquetas), aunque no los parámetros productivos. En este contexto, Ramón-Moragues et al. (2020) han observado que constituir grupos de animales de la misma camada mejora la productividad, no alterando los parámetros hematológicos y reproductivos. En nuestro estudio, las diferencias encontradas en función del tamaño del grupo de animales alojados en jaula no resultaron significativas, posiblemente debido a que el número de animales en cada grupo era adecuado. El confinamiento propio de la ganadería cunícola intensiva puede condicionar el bienestar, ya que restringe la expresión de algunos comportamientos relacionados con el confort a corto, medio o largo plazo, debiéndose considerar todos los factores ambientales que puedan provocar estrés en los animales y afecten a su productividad.

En conclusión, la termografía infrarroja es una técnica no invasiva, útil para la medición del estrés agudo en explotaciones cunícolas de engorde, especialmente si se toma como referencia el oído interno. Esta metodología permite valorar el bienestar animal, en este tipo de explotaciones, con el objetivo de mejorar su productividad y de hacer un testaje de la situación sanitaria de los animales, sin necesidad de provocar un estrés añadido al utilizar métodos clásicos de control que requieren de la manipulación de los animales. Así mismo, permite hacer una selección de los animales en base a su reactividad individual al manejo, mejorando la capacidad de adaptación al humano, para minimizar su percepción como fuente de estrés.

CONCLUSIONES



CONCLUSIONES

CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO I

- La termografía infrarroja es una buena técnica para evaluar el estrés agudo de los conejos de engorde como resultado de la manipulación, siendo el oído interno y el ojo los puntos más fiables para su medida.
- Los conejos de la raza Antiguo Pardo Español que son manipulados por los seres humanos durante el período de engorde sufren estrés, tanto en la estación fría como en la estación cálida de Andalucía, como lo demuestran las variaciones de temperatura corporal evaluadas con termografía infrarroja.

CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO II

- Los parámetros de rendimiento que miden la eficacia productiva durante la fase de engorde, en una granja cunícola experimental situada en la provincia de Sevilla, se ven condicionados por diferentes efectos estresantes como la acción de la temperatura ambiental y la manipulación humana, que provoca distintos niveles de reactividad fisiológica, caracterizada por incrementos de temperatura medida evaluada con ayuda de una cámara infrarroja. En concreto, la eficiencia productiva de los conejos fue mayor durante la temporada fría y en los conejos con los niveles más bajos de reactividad individual a la manipulación.

CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO III

- La correlación existente entre la temperatura medida con cámara infrarroja en distintas áreas del cuerpo del conejo y la medida con termómetro digital por vía rectal, pone en evidencia que la temperatura infrarroja es una herramienta útil para un cribado rápido y a gran escala en busca de estadios tempranos de enfermedades o estrés en granjas de conejos, donde el elevado número de animales encarece, en términos de tiempo, controlar la temperatura de cada conejo de forma individual utilizando un termómetro convencional, además de evitar los problemas de estrés generados por la manipulación humana.

- Aunque todas las temperaturas infrarrojas estudiadas en conejos de engorde mostraron niveles medios de correlación con la temperatura rectal, el oído interno parece ser el mejor punto de referencia para tomar la temperatura corporal, debido a las correlaciones más altas encontradas con la temperatura rectal, siendo el ojo el segundo punto de referencia para su control. Sin embargo, el oído externo y la nariz podrían considerarse lugares menos eficientes para la medida de la temperatura corporal, dado que las orejas y la nariz las utilizan los conejos para disipar el calor, y también la humedad de la nariz puede variar según la temperatura ambiente en las diferentes estaciones, lo que puede alterar el valor de la temperatura mediante termografía.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A

- Ans A, Anjum I, Satija V, Inayat A, Asghar Z, Akram, I, Shrestha B. 2018. Neurohormonal regulation of appetite and its relationship with stress: A mini literature review. *Cureus*, 10: e3032.
- Ardiaca M, Brotóns NJ, Montesinos A. 2010. Aproximación a las urgencias y cuidados intensivos en conejos, psitácidas y reptiles. *Clínica Veterinaria de Pequeños Animales*, 30: 5-14.
- Arduini A, Redaelli V, Luzi F, Dall'Olio S, Pace V, Nanni Costa L. 2017. Relationship between deck level, body surface temperature and carcass damages in Italian heavy pigs after short journeys at different unloading environmental conditions. *Animals*, 7: 10.
- Armero E, Blasco A. 1992. Economic weights for rabbit selection indices. *J. Appl. Rabbit Res.*, 15: 637-642.
- Asemota O, Aduba P, Bello-Onaghise G, Orheruata A. 2017. Effect of temperature humidity index (THI) on the performance of rabbits (*Oryctolagus cuniculus*) in the humid tropics. *Arch. Zootec.*, 66: 257-261.
- Axelrod J, Reisine TD. 1984. Stress hormones: Their interaction and regulation. *Science*, 244: 452-459.

B

- Bartolomé E, Cockram MS. 2016. Potential effects of stress on the performance of sport horses. *J. Equine Vet. Sci.*, 40: 84-93.
- Bartolomé E, Perdomo-González DI, Sánchez-Guerrero MJ, Valera M. 2021. Genetic parameters of effort and recovery in sport horses assessed with infrared Thermography. *Animals*, 11: 832.
- Benato L, Rooney NJ, Murrell JC. 2019. Pain and analgesia in pet rabbits within the veterinary environment: a review. *Vet. Anaesth. Analg.*, 46: 151-162.
- Bianca W. 1976. The significance of meteorology in animal production. *Int. J. Biometeorol.*, 20: 139-156.

- Bilkó Á, Altbäcker V. 2000. Regular handling early in the nursing period eliminates fear responses toward human beings in wild and domestic rabbits. *Dev. Psychobiol.*, 36: 78-87.
- Bouwknicht JA, Olivier B, Paylor RE. 2007. The stress-induced hyperthermia paradigm as a physiological animal model for anxiety: a review of pharmacological and genetic studies in the mouse. *Neurosci. Biobehav. Rev.*, 31: 41-59.
- Bowler K, Manning R. 1994. Membranes as the critical targets in cellular heat injury and resistance adaptation. En *Temperature adaptation of biological membranes*. Cossins AR (Ed.), Section 15, Portland Press, London, UK, 185-204.
- Brewer NR, Cruise LJ. 1994. Physiology. En *The Biology of the Laboratory Rabbit*. Manning, PJ, Ringler DH, Newcomer, CE (Ed.), Academic Press, New York, USA, 63-70.
- Broom D. 2011. Animal welfare: Concepts, study methods and indicators. *Rev. Colomb. Cienc. Pec.*, 24: 306-321.
- Bruford MW, Bradley DG, Luikart G. 2003. DNA markers reveal the complexity of livestock domestication. *Nat. Rev. Genet.*, 4: 900-910.
- Burn CC, Shields P. 2020. Do rabbits need each other? Effects of single versus paired housing on rabbit body temperature and behaviour in a UK shelter. *Anim. Welf.*, 29: 209-219.
- Burrow HM, Dillon RD. 1997. Relationships between temperament and growth in a feedlot and commercial carcass traits of *Bos indicus* crossbreds. *Aust. J. Exp. Agric.*, 37: 407-411.
- Burrow H, Corbet N. 2000. Genetic and environmental factors affecting temperament of zebu and zebu-derived beef cattle grazed at pasture in the tropics. *Aust. J. Agric. Res.*, 51: 155-162.

C

- Cabezas S, Blas J, Marchant TA, Moreno S. 2007. Physiological stress levels predict survival probabilities in wild rabbits. *Horm. Behav.*, 51: 313-320.
- Cafe L, Robinson D, Ferguson D, McIntyre B, Geesink G, Greenwood P. 2011. Cattle temperament: Persistence of assessments and associations with productivity, efficiency, carcass and meat quality traits. *J. Anim. Sci.*, 89: 1452-1465.
- Camacho A, Paz C, Mata J, Bermejo LA. 2003. Respuesta del crecimiento en conejos según densidad animal. *Arch. Zootec.*, 52: 483-486.

- Cañón J, (Ed). 2015. Historia, caracterización y situación del conejo Antiguo Pardo Español. ASEMUCE-Servicio de Genética UCM. Disponible en https://www.ucm.es/data/cont/docs/345-2016-12-07-Raza_Conejos_Antiguo_Pardo_Español.pdf.
- Cartuche L, Pascual M, Gómez E, Blasco A. 2014. Economic weights in rabbit meat production. *World Rabbit Sci.*, 22: 165-177.
- Cervera C, Fernández-Carmona J. 1998. Nutrition and the climatic environment. En *The nutrition of the rabbit*. De Blas C, Wiseman J. (Ed.), CAB International, Wallingford, UK, 267-284.
- Chen PH, White CE. 2006. Comparison of rectal, microchip transponder, and infrared thermometry techniques for obtaining body temperature in the laboratory rabbit (*Oryctolagus cuniculus*). *J. Am. Assoc. Lab. Anim. Sci.*, 1: 57-63.
- Chiericato G, Bailoni L, Rizzi C. 1992. The effect of environmental temperature on the performance of growing rabbits. *J. Appl. Rabbit Res.*, 15: 723-731.
- Chung T, Jung W, Nam E, Kim J, Park S, Hwang CY. 2010. Comparison of rectal and infrared thermometry for obtaining body temperature of gnotobiotic piglets in conventional portable germ-free facility. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, 23: 1364-1368.
- Clutton-Brock J. 1999. A natural history of domesticated mammals. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Collier RJ, Dahl GE, VanBaale MJ. 2006. Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 89: 1244-1253.
- Collier RJ, Renquist BJ, Xiao Y. 2017. A 100-Year Review: Stress physiology including heat stress. *J. Dairy Sci.*, 100: 10367-10380.
- Collier RJ, Baumgard LH, Zimbelman RB, Xiao Y. 2019. Heat stress: physiology of acclimation and adaptation. *Anim. Front.*, 9: 12-19.
- Combes S. 2004. Valeur nutritionnelle de la viande de lapin. *INRA Productions Animales*, 17: 373-383.
- Combes S, Lebas F. 2003. Les modes de logement du lapin en engraissement: influence sur les qualités des carcasses et des viandes. En 10èmes Journées de la Recherche Cunicole, Paris, Francia, 19-20 Noviembre, 185-200.
- Csatádi K, Kustos K, Eiben C, Bilkó Á, Altbäcker V. 2005. Even minimal human contact linked to nursing reduces fear responses toward humans in rabbits. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 95: 123-128.

Cunningham J. 1999. Fisiología veterinaria, 2ª Ed. McGraw Hill Interamericana, México D.F., México.

Curley JO. 2004. Influence of temperament on bovine hypothalamic-pituitary-adrenal function. Master of Science. Texas A&M University.

D

Daader AH, Al-Sagheer AA, Gabr HA, Abd El-Moniem EA. 2018. Alleviation of heat-stress-related physiological perturbations in growing rabbits using natural antioxidants. *Span. J. Agric. Res.*, 16: e0610.

Dalle-Zotte A. 2002. Perception of rabbit meat quality and major factors influencing the rabbit carcass and meat quality. *Review. Livest. Prod. Sci.*, 75: 11-32.

Dalmau A, Catanese B, Rafel O, Rodriguez P, Fuentes C, Llonch P, Mainau E, Velarde A, Ramón J, Taberner E, López-Béjar M, Piles M. 2015. Effect of high temperatures on breeding rabbit behaviour. *Anim. Prod. Sci.*, 55: 1207-1214.

De Lima V, Piles M, Rafel O, López-Béjar M, Ramón J, Velarde A, Dalmau A. 2013. Use of infrared thermography to assess the influence of high environmental temperature on rabbits. *Res. Vet. Sci.*, 95: 802-810.

Diamond J. 2002. Evolution, consequences and future of plant and animal domestication. *Nature*, 418: 700-707.

Dickens MJ, Romero LM. 2013. A consensus endocrine profile for chronically stressed wild animals does not exist. *Gen. Comp. Endocr.*, 191: 177-189.

Duval F, González F, Rabia H. 2010. Neurobiología del estrés. *Rev. Chil. Neuro-Psiquiat.*, 48: 307-318.

E

EFSA (European Food Safety Authority) 2005. The impact of the current housing and husbandry systems on the health and welfare of farmed domestic rabbits. *EFSA Journal*, 267: 1-31.

F

- FAOSTAT. 2022. Statistics Database. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma (Italia). Disponible en <http://www.fao.org/faostat/en/#data>.
- Fayez I, Marai M, Alnaimy A, Habeeb M. 1994. Thermoregulation in rabbits. En Rabbit production in hot climates. Zaragoza, España, CIHEAM Cah. Opitions Méditerranéennes, 33-41.
- Feki S, Baselga M, Blas E, Cervera C, Gómez E. 1996. Comparison of growth and feed efficiency among rabbit lines selected for different objectives. Livest. Prod. Sci., 45: 87-92.
- Ferrand N. 2008. Inferring the evolutionary history of the European Rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) from molecular markers. En Alves P.C, Ferrand N, Hackländer K. (Ed.) Lagomorph Biology. Springer, Berlin, Heidelberg, Alemania, 47-63.
- Ferreira C, Castro F, Piorno V, Catalán I, Delibes-Mateos M, Rouco C, Mínguez LE, Aparicio F, Blanco-Aguiar JA, Ramírez E, Iriarte C, Ríos-Saldaña CA, Cañadilla J, Arias de Reyna L, Ferreras P, Alves PC, Villafuerte R. 2015. Biometrical analysis reveals major differences between the two subspecies of the European rabbit. Biol. J. Linn. Soc., 116: 106-116.
- Fewell JE, Wong SHM, Crisanti KM. 2000. Age-dependent core temperature responses of conscious rabbits to acute hypoxemia. J. Appl. Physiol., 89: 259-264.
- Finzi A, Daader A, Yamani K, Askar A. 2000. Influence of high chronic relative humidity on semen quality of hot stressed bucks. En 7th World Rabbit Congress of the World Rabbit Science Association (WRSA), Valencia, España, 4-7 Julio, 117-123.
- Flux JEC. 1994. World distribution. En Thompson HV, King CM (Ed.) The European rabbit. The history and biology of a successful colonizer. Oxford Science Publications, Oxford, UK, 8-21.
- Flux JEC, Fullagar PJ. 1992. World distribution of the rabbit *Oryctolagus cuniculus* on islands. Mammal Rev., 22: 151-205.
- Formoso-Rafferty N, García-García R, Rodríguez M, Alonso A, Masdeu M, Millán P, Arias-Álvarez M, Lorenzo L, Rebollar P. 2016. Reproductive and endocrine characterization of Ibicean rabbit breed. Arch. Zootec., 65: 525-534.
- Fraser CM. 1988. El manual Merck de veterinaria. Centrum, Barcelona, España.

Fuentes F, Rivera R, Vara MD. 2010. Guía de manejo y cuidado de animales de laboratorio: conejos. Ministerio de Salud, Instituto Nacional de Salud, Lima, Perú.

G

- García-Ruiz A, García-Palomares J, García-Rebollar P, Chamorro S, Carabaño R, De Blas J. 2006. Effect of protein source and enzyme supplementation on ileal protein digestibility and fattening performance in rabbits. *Span. J. Agric. Res.*, 4: 297-303.
- Gascón FM, Verde M. 1987. Efecto estresante de la manipulación en el conejo. En XII Simposium de Cunicultura de ASESCU, Guadalajara, España, 20-22 Mayo, 125-132.
- Gidenne T, Garreau H, Drouilhet L, Aubert C, Maertens L. 2017. Improving feed efficiency in rabbit production, a review on nutritional, technico-economical, genetic and environmental aspects. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 225: 109-122.
- Gómez B, Escobar A. 2006. Estrés y sistema inmune. *Rev. Mex. Neurocienc.*, 7: 30-38.
- González-Redondo P. 2007. Estado de las poblaciones y posibilidades de recuperación del conejo doméstico común español. En IV Jornadas Ibéricas de Razas Autóctonas y sus Productos Tradicionales: Innovación, Seguridad y Cultura Alimentaria, Sevilla, España, 30 Noviembre -1 Diciembre, 367-371.
- González-Redondo P. 2014. Cunicultura urbana para el autoconsumo. En II Congreso Estatal de Agricultura Ecológica Urbana y Periurbana, Utrera (Sevilla), España, 13-15 de marzo, 43.
- González-Redondo P. 2016. Resultados preliminares de rendimiento reproductivo y de engorde de un núcleo de cría de conejos de tipo Común Doméstico Español. En XLI Simposium de Cunicultura de ASESCU, Hondarribia, España, 12-13 Mayo, 180-185.
- Gonzalez RR, Kluger MJ, Hardy JD. 1971. Partitional calorimetry of the New Zealand White rabbit at temperatures 5-35 °C. *J. Appl. Physiol.*, 31: 728-734.
- Grandin T. 1997. Assessment of stress during handling and transport. *J. Anim. Sci.*, 75: 249-257.
- Greco D, Stabenfeldt GH. 1997. Endocrine glands and their function. En *Textbook of veterinary physiology*. Cunningham JG (Ed.). 2ª Ed. WB Saunders Company St. Louis, USA, 404-439.

Gupta R, Prabhakar Rao V, Eswara Reddy C, Satyanarayana A, Reddy P. 2000. Feed intake and feed conversion ratio in purebred and crossbred broiler rabbits. *Indian J. Anim. Res.*, 34: 64-67.

H

Hahn G, Gauchan J, Mader T, Eigenberg R. 2009. Chapter 5: Thermal indices and their applications for livestock environments. En *Livestock Energetics and Thermal Environmental Management*. American Society of Agricultural and Biological Engineers. St. Joseph, MI, USA, 113-130.

Halford J. 2001. Pharmacology of appetite suppression: Implication for the treatment of obesity. *Curr. Drug Targets*, 2: 353-370.

Harris I. 1994. The laboratory rabbit. *ANZCCART News*, 7: 1-11.

J

Jaén-Téllez JA, Sánchez-Guerrero MJ, López-Campos JI, Valera M, González-Redondo P. 2020. Acute stress assessment using infrared thermography in fattening rabbits reacting to handling under winter and summer conditions. *Span. J. Agric. Res.*, 18: e0502.

Jaén-Téllez JA, Sánchez-Guerrero MJ, Valera M, González-Redondo P. 2021a. Influence of stress assessed through infrared thermography and environmental parameters on the performance of fattening rabbits. *Animals*, 11: 1747.

Jaén-Téllez JA, Bartolomé E, Sánchez-Guerrero MJ, Valera M, González-Redondo P. 2021b. Relationship between rectal temperature measured with a conventional thermometer and the temperature of several body regions measured by infrared thermography in fattening rabbits. Influence of different environmental factors. *World Rabbit Sci.*, 29: 263-273.

K

Kasa I, Thwaites C. 1992. The effect of infrared radiation on rectal temperature and respiration rate of unacclimated female New Zealand white rabbits. *J. Therm. Biol.*, 17: 293-296.

- Kataoka N, Hioki H, Kaneko T, Nakamura K. 2014. Psychological stress activates a dorsomedial hypothalamus-medullary raphe circuit driving brown adipose tissue thermogenesis and hyperthermia. *Cell Metab.*, 20: 346-358.
- Kowalska D, Gugoleka A, Bielansky P. 2011. Effect of stress on rabbit meat quality. *Ann. Anim. Sci.*, 1: 465-475.
- Kuchel O. 1991. Stress and catecholamines. *Methods Achiev. Exp. Pathol.*, 14: 80-103.

L

- Langreo A, Benito I. 2010. Estudio: Análisis de competitividad del sector cunícola español. Trabajo de investigación. Intercun, Madrid, España.
- Lattin CR, Romero LM. 2014. Chronic stress alters concentration of corticosterone receptors in a tissue- specific manner in wild house sparrows (*Passer domesticus*). *J. Exp. Biol.*, 217: 2601-2608.
- Laugero KD, Moberg GP. 2000. Energetic response to repeated restraint stress in rapidly growing mice. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.*, 279: E33-E43.
- Lazzaroni C, Biagini D, Lussiana C. 2009. Different rearing systems for fattening rabbits: Performance and carcass characteristics. *Meat Sci.*, 82: 200-204.
- Lebas F, Coudert P, de Rochambeau H, Thébault R, Rouvier R, de Rochambeau H. 1997. The Rabbit-Husbandry, Health and Production. FAO, Roma, Italia.
- Llonch P, Somarriba M, Duthie C, Haskell M, Rooke J, Troy S, Roehe S, Turner S. 2016. Association of temperament and acute stress responsiveness with productivity, feed efficiency, and methane emissions in beef cattle: An observational study. *Front. Vet. Sci.*, 3: 43.
- Long NC, Vander AJ, Kluger MJ. 1990. Stress-induced rise of body temperature in rats is the same in warm and cool environments. *Physiol. Behav.*, 47: 773-775.
- López-Espinoza A, Moreno, AM, Franco K, Aguilera V, Cardenas-Villalvazo A, Valdes-Miramontes E, Magaña C, Macías A, Santoyo F, Rezéndis FD. 2012. Estrés & comportamiento alimentario. Modelo bioconductual de estrés-alimentación. Cuevas, S. (Ed.), Manual moderno, México D.F., México, 59-70.
- López M, Sierra I. 1998. Razas y poblaciones autóctonas de conejos domésticos. *Arch. Zootec.*, 47: 467-471.

- Ludwig N, Gargano M, Luzi F, Carezzi C, Verga, M. 2006. Applicability of IR thermography to the measurement of stress in rabbit. En 8th International Conference on Quantitative InfraRed Thermography, 27-30 Junio, Padova, Italia.
- Ludwig N, Gargano M, Luzi F, Carezzi C, Verga M. 2007. Technical note: Applicability of infrared thermography as a non invasive measurement of stress in rabbits. *World Rabbit Sci.*, 15: 199-206.
- Luzi F, Ludwig N, Monzani M, Gargano M, Ricci C, Redaelli V, Verga M. 2007. Procedures for analyses of sequence of thermal images in welfare study of rabbit. En 4th International Workshop on the Assessment of Animal Welfare at Farm and Group Level (WAFL), Ghent, Bélgica, 10-13 Septiembre, 85.

M

- Manteca X. 1998. Neurophysiology and assessment of welfare. *Meat Sci.*, 49: S205-S218.
- McCafferty D. 2013. Applications of thermal imaging in avian science. *Int. J. Avian Sci. Ibis*, 155: 4-15.
- McMillan F. 2013. Stress-induced and emotional eating in animals: A review of the experimental evidence and implications for companion animal obesity. *J. Vet. Behav.*, 8: 376-385.
- MAPA. 2016. Orden AAA/1357/2016, de 29 de julio, por la que se modifica el anexo I del Real Decreto 2129/2008, de 26 de diciembre, por el que se establece el Programa nacional de conservación, mejora y fomento de las razas ganaderas; el anexo del Real Decreto 558/2001, de 25 de mayo, por el que se regula el reconocimiento oficial de las organizaciones o asociaciones de criadores de perros de raza pura; y el anexo III del Real Decreto 841/2011, de 17 de junio, por el que se establecen las condiciones básicas de recogida, almacenamiento, distribución y comercialización de material genético de las especies bovina, ovina, caprina y porcina y de los équidos. *Boletín Oficial del Estado*, 191: 56904-56907.
- MAPA. 2022a. El sector cunícola en cifras: Principales Indicadores Económicos. Subdirección General de Producciones Ganaderas y Cinegéticas, Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Disponible en https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/produccion-y-mercados-ganaderos/indicadoreseconomicossectorcunicola2020_parapublicarrev2_tcm30-542913.pdf

- MAPA. 2022b. El conejo Antiguo Pardo Español. Ministerio Agricultura, Pesca y Alimentación. Disponible en https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/zootecnia/razas-ganaderas/razas/catalogo-razas/otras-especies/conejo-antiguo-pardo-espanol/datos_reglamentacion.aspx.
- Marai IFM, Habeeb AAM, Gad AE. 2002. Rabbits' productive, reproductive and physiological performance traits as affected by heat stress: a review. *Livest. Prod. Sci.*, 78: 71-90.
- Marai I, Rashwan A. 2004. Rabbit behavioural response to climatic and managerial conditions- A review. *Arch. Tierzucht.*, 7: 469-482.
- Marai I, Habeeb A, Gad A. 2007. Biological functions in young pregnant rabbit does as affected by heat stress and lighting regime under subtropical conditions of Egypt. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.*, 7: 165-176.
- Medellin M, Lukefahr S. 2011. Breed and heterotic effects on postweaning traits in Altex and New Zealand White straightbred and crossbred rabbits. *J. Anim. Sci.*, 79: 1173-1178.
- Monclús R, Rödel HG, Palme R, von Holst D, De Miguel J. 2006. Non-invasive measurement of the physiological stress response of wild rabbits to the odour of a predator. *Chemoecology*, 16: 25-29.
- Morisse JP, Maurice R. 1997. Influence of stocking density or group size on behaviour of fattening rabbits kept under intensive conditions. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 54: 351-357.
- Morton D. 2002. Behaviour of rabbits and rodent. En *The Ethology of Domestic Animal*; Jensen, P. (Ed.). CABI, Wallingford, UK, 193-209.
- Möstl E, Palme R. 2002. Hormones as indicators of stress. *Domest. Anim. Endocrin.*, 23:67-74.

N

- 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.
- Nelson RJ. 2000. *An introduction to behavioral endocrinology*, 2^a Ed. Sinauer Ass. Inc. Pub., MA, USA.
- Nkrumah J, Crews D, Basarab J, Price M, Okine E, Wang Z, Li C, Moore S. 2007. Genetic and phenotypic relationships of feeding behavior and temperament with performance, feed efficiency, ultrasound, and carcass merit of beef cattle. *J. Anim. Sci.*, 85: 2382-2390.

O

- Odeon MM, Romera SA. 2017. Estrés en ganado: Causas y consecuencias. *Rev. Vet.*, 28: 69-77.
- Ogunjimi L, Ogunwande G, Osunade J. 2008. Influence of building environment on rabbit weight gain, feed efficiency, rectal temperature and respiration rate in the humid tropical climate of Southwestern Nigeria. *Agric. Eng. Int. CIGR J.*, X: 1-14.
- Okab AB, El-Banna SG, Koriem AA. 2008. Influence of environmental temperatures on some physiological and biochemical parameters of New-Zealand rabbit males. *Slovak J Anim Sci* 41: 12-19.
- Olivas I, Villagrà A, 2013. Technical Note: Effect of handling on stress-induced hyperthermia in adult rabbits. *World Rabbit Sci.*, 21: 41-44.
- Orengo J, Piles M, Rafel O, Ramón J, Gómez EA. 2009. Crossbreeding parameters for growth and feed consumption traits from a five diallel mating scheme in rabbits. *J. Anim. Sci.*, 87: 1896-1905.
- Ortolani D, Oyama L, Ferrari E, Melo L, Spadari-Bratfisch R. 2011. Effects of comfort food on food intake, anxiety-like behavior and the stress response in rats. *Physiol. Behav.*, 103: 487-492.

P

- Paci G, Preziuso G, D'Agata M, Russo C, Dalle-Zote A. 2013. Effect of stocking density and group size on growth performance, carcass traits and meat quality of outdoor-reared rabbits. *Meat Sci.*, 93: 162-166.
- Para PA, Ganguly S, Wakchaure R, Sharma R, Mahajan T, Praveen PK. 2015 Rabbit meat has the potential of being a possible alternative to other meats as a protein source: A brief review. *Int. J. Pharm. Biomed. Res.*, 2: 17-19.
- Parsons P. 1988. Behavioral, stress and variability. *Behav. Genet.*, 18: 293-308.
- Payeras L. 2009. *Conill Eivissenc. Guía de Campo de las razas autóctonas españolas.* Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, Madrid, España, 602-603.
- Peaston RT, Weinkove C. 2004. Measurement of catecholamines and their metabolites. *Ann. Clin. Biochem.*, 41: 17-38.

- Petracci M, Cavani C. 2013. Rabbit meat processing: historical perspective to future directions. *World Rabbit Sci.*, 21: 217-226.
- Pla M, Fernandez-Carmona J, Blas E, Cervera C. 1994. Growth and some carcass traits of adult rabbits under high ambient temperature. *World Rabbit Sci.*, 2: 147-151.
- Ponce de León R, Guzmán G, Pubillones O, García J, Mora M. 2002. Comportamiento de razas de conejos importadas. Evaluación del crecimiento posdestete. *Rev. Cuba. Cienc. Agríc.*, 36: 23-329.
- Price EO. 1984. Behavioral aspects of animal domestication. *Q. Rev. Biol.*, 59:1-32.
- Price EO. 2002. *Animal domestication and behavior*. CAB Int, Wallingford, UK.

Q

- Quevedo F, Pascual JJ, Blas E, Cervera C. 2003. Influencia de la madre sobre el crecimiento y la mortalidad de los gazapos de cebo. En XXVIII Symposium de Cunicultura, Alcañiz, España, 2-4 Abril, 115-122.

R

- Rafel O, De Lima V, Piles M, Velarde A, Ramón J, López-Béjar M, Dalmau A. 2012. Use of infrared thermography to assess heat stress in rabbits. En 10th World Rabbit Congress of the World Rabbit Science Association (WRSA), Sharm El- Sheikh, Egipto, 3-6 Septiembre, 1081-1085.
- Ramón-Moragues A, Gonçalves C, Moreno Pardo JC, Escribano D, Romero T, Torres R, Martínez-Paredes E, Villagrà A. 2020. Efecto del tamaño de grupo y el parentesco en el crecimiento y el estrés en conejos de crecimiento. En Webinar de Cunicultura-WebiAsescu 2020. España, 11 y 24 Noviembre, 16 Diciembre, 37-38.
- Richardson E, Herd R. 2004. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. Part 2. Synthesis of results following divergent selection. *Aust. J. Exp. Agric.*, 44: 431-440.
- Roca T. 2009. Historia de la cunicultura industrial en España. *Boletín de cunicultura*, 200:9-15.

- Rodellar C, Zaragoza P, Osta R. 1989. Estimación de distintos parámetros productivos en la raza de conejos Común Español. En XIV Symposium de Cunicultura, Manresa, España, 12-14 Junio, 37-150.
- Rostamkhani F, Zardooz H, Zahediasl S, Farrokhi B. 2012. Comparison of the effects of acute and chronic psychological stress on metabolic features in rats. *J. Zhejiang Univ. B*, 13: 904-912.
- Rougerot J. 1981. Origine et histoire du lapin. *Ethnozootecnie*, 27: 1-9.
- Rydygier de Ruediger F, Mungai M, Pinheiro JC, Tonizza de Carvalho NA, Yamada PH, Milani GA, Oba E. 2017. Infrared thermography of the vulva, muzzle and eye during follicular and luteal phase in Murrah buffalo cows: Partial results. En IX Simposio de criadores de búfalo de América y Europa, Campeche, México, 20-25 agosto, 72-76.

S

- Sabah Abd Al-Rahman A, Dalal Abd Al-Sattar A. 2016. Effect of the thermal changes on physiological, biochemical and histological traits in pregnant and embryo of New Zealand white rabbits. *Int. J. Adv. Biol. Res.*, 6: 313-327.
- Samkol P, Lukefahr S. 2008. A Challenging role for organic rabbit production towards poverty alleviation in South East Asia. En 9th World Rabbit Congress of the World Rabbit Science Association (WRSA), Verona, Italia, 10-13 Junio, 1479-1498.
- Samoggia G. 1987. Esigenze fisioclimatiche dei conigli nell'allevamento intensivo. *Rivista di Coniglicoltura*, 24: 16-20.
- Sánchez MJ, Bartolomé E, Valera M. 2016. Genetic study of stress assessed with infrared thermography during dressage competitions in the Pura Raza Español horse. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 174: 58-65.
- Sanmiguel RA, Díaz V. 2011. Mecanismos fisiológicos de la termorregulación en animales de producción. *Rev. Colomb. Cienc. Anim.*, 4: 88-94.
- Schoen A, Wynn S. 1998. *Complementary and Alternative Veterinary Medicine*. Mosby (Ed.), Maryland Heights, MO, USA.
- Sierra I, López M. 1990. Reconstitution de la race Géant d'Espagne. Situation actuelle. En Rouvier R. (ed.). *Races et populations locales méditerranéennes de lapins: gestion génétique et performances zootechniques*. Zaragoza, España, CIHEAM, Cah. Opitions Méditerranéennes, 83-87.

- Sierra I, López M. 1991. Importancia de las razas autóctonas en cunicultura. En XVI Symposium Nacional, Manresa, España, 15-29 de abril, 29-40.
- Silva SR, Mourão JL, Guedes C, Monteiro D, Pinheiro V. 2015. Utilización de imágenes video y termográficas para estimar el peso vivo de conejos en cebo. En XL Symposium de Cunicultura de ASESCU, Santiago de Compostela, España, 28-29 Mayo, 115-117.
- Silva SR, Mourão JL, Ribeiro L, Gonçalves C, Pinheiro V. 2014. Utilização de imagens termográficas por infravermelhos para avaliar a temperatura de láparos em ninhos com diferente material. En XXXIX Symposium de Cunicultura de ASESCU, Tudela, España, 29-30 Mayo, 67-70.
- Silveira P, Xavier M, Souza F, Manoli L, Rosat R, Ferreira M, Dalmaz C. 2000. Interaction between repeated restraint stress and concomitant midazolam administration on sweet food ingestion in rats. *Brazilian J. Med. Biol. Res.*, 33: 1343-1350.
- Soleimani AF, Kasim A, Alimon AR, Zulkifli I. 2008. Durability of induced heat tolerance by short term heat challenge at broilers marketing age. *Pak. J. Biol. Sci.*, 11: 2163-2166.
- Speakman JR, Ward S. 1998. Infrared thermography: principles and applications. *Zoology Analysis Complex Systems*, 101: 224-232.
- Stauffacher M. 1986. Social contact and relationships in domestic rabbits kept in a restrictive artificial environment. En 19th International Ethology Congress, Toulouse, Francia, 24 Agosto-3 Septiembre, 95-100.
- Stauffacher M. 1992. Group housing and enrichment cages for breeding, fattening and laboratory rabbits. *Anim. Welf.*, 1: 105-125.
- Stewart M, Webster JR, Schaefer AL, Cook NJ, Scott SL. 2005. Infrared thermography as a non-invasive tool to study animal welfare. *Anim. Welf.*, 14: 319-325.
- Stewart M, Webster JR, Verkerk GA, Schaefer AL, Colyn JJ, Stafford KJ. 2007. Non-invasive measurement of stress in dairy cows using infrared thermography. *Physiol. Behav.*, 92: 520-525.
- Stodart E, Myers KA. 1964. Comparison of behaviour, reproduction and mortality of wild and domestic rabbits in confined populations. *CSIRO Wildl. Res.*, 9: 144-159.
- Stricklin WR, Kautz-Scanavy CC. 1984. The role of behavior in cattle production: A review of research. *Appl. Anim. Ethol.*, 11: 359-390.
- Szendro Z, Dalle-Zotte A. 2011. Effect of housing conditions on production and behaviour of growing meat rabbits: A review. *Livest. Sci.*, 137: 296-303.

T

- Takeda E, Terao J, Nakaya Y, Miyamoto K, Baba Y, Chuman H, Ryuji K, Ohmori T, Rokutan K. 2004. Stress control and human nutrition. *J. Med. Investig.*, 51: 139-145.
- Temple D, Mainau E, Manteca X. 2014. Practical note - Fear caused by poor human-animal relationship. Farm Animal Welfare Education Centre. Disponible en https://www.fawec.org/media/com_lazypdf/pdf/Nota-n-2-fear-en.pdf
- Thompson HV, King CM. 1994. The European rabbit. The history and biology of a successful colonizer. Oxford Science Publications, Oxford, UK.
- Torres S, Nowson C. 2007. Relationship between stress, eating behavior and obesity. *Nutrition*, 23: 887-894.
- Touma C, Sachser N, Möstl E, Palme R. 2003. Effects of sex and time of day on metabolism and excretion of corticosterone in urine and feces of mice. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 130: 267-278.
- Travain T, Colombo ES, Heinzl E, Bellucci D, Previde E, Valsecchi P. 2015. Hot dogs: Thermography in the assessment of stress in dogs (*Canis familiaris*) - A pilot study. *J. Vet. Behav. Clin. Appl. Res.*, 10: 17-23.
- Trocino A, Xiccato G. 2006. Animal welfare in reared rabbits: a review with emphasis on housing systems. *World Rabbit Sci.*, 14: 77-93.

U

- Unruh E, Theurer M, White B, Larson R, Drouillard J, Scharg N. 2017. Evaluation of infrared thermography as a diagnostic tool to predict heat stress events in feedlot cattle. *Am. J. Vet. Res.*, 78: 771-777.

V

- Vadlejch J, Knížková I, Makovcová K, Kuncc P, Jankovská I, Jandab K, Borkovcová M, Langrova I. 2010. Thermal profile of rabbits infected with *Eimeria intestinalis*. *Vet. Parasitol.*, 171: 343-345.

- Valera M, Bartolomé E, Sánchez MJ, Molina A, Cook N, Schaefer AL. 2012. Changes in eye temperature and stress assessment in horses during show jumping competitions. *J. Equine Vet. Sci.*, 32: 827-830.
- Vega JM. 2008. El Conejo Gigante de España. www.lapinina.org. Página visitada el 12.02.2017.
- Veissier I, Boissy A. 2007. Stress and welfare: Two complementary concepts that are intrinsically related to the animal's point of view. *Physiol. Behav.*, 92: 429-433.
- Vicente-Pérez R, Macías-Cruz U, Avendaño-Reyes L, Correa-Calderón A, Luna-Palomera C, Chay-Canul AJ. 2019. Relación de temperatura rectal y frecuencia respiratoria con temperaturas de pelo obtenidas por termografía en ovejas gestantes estresadas por calor. *ITEA-Inf. Tec. Econ. Ag.*, 115: 219-230.
- Von der Ohe C, Servheen C. 2002. Measuring stress in mammal using fecal glucocorticoids: Opportunities and challenges. *Wildl. Soc. Bull.*, 30: 1215-1225.

W

- Ward ML. 2006. Physical examination and clinical techniques. En BSAVA (British Small Animal Veterinary Association) Manual of rabbit medicine and surgery: 2^a Ed. Meredith, A., Flecknell P. (Ed.). British Small Animal Veterinary Association, Gloucester, UK, 18-36.
- Warriss PD, Pope SJ, Brown SN, Wilkins LJ, Knowles TG, 2006. Estimating the body temperature of groups of pigs by thermal imaging. *Vet. Rec.*, 158: 331-334.
- Weschenfelder A, Saucier L, Madague X, Rocha L, Schaefer A, Faucitano L. 2013. Use of infrared ocular thermography to assess physiological conditions of pigs prior to slaughter and predict pork quality variation. *Meat Sci.*, 95: 616-620.
- Wingfield JC, Hunt K, Breuner C, Dunlap K, Fowler GS, Freed L, Lepson J. 1997. Environmental stress, field endocrinology, and conservation biology. En Behavioral approaches to conservation in the wild. Buchholz JR, Clemmons R (Ed.). Cambridge University Press, Cambridge, UK, 95-131.

Y

Yamasaki-Maza A, Yamasaki-Maza L, Ruiz-Rojas JL. 2017. Temperatura ambiente y humedad relativa y su relación con el bienestar en conejos (*Oryctolagus cuniculus*) en engorda en el trópico seco. En Congreso Mesoamericano de Investigación (UNACH), Chiapas, México, 4-5 Octubre, 1366-1371.

Z

Zeferino C, Moura A, Fernandes S, Kanayama J, Scapinello C, Sartori J. 2011. Genetic group x ambient temperature interaction effects on physiological response and growth performance of rabbits. *Livest. Sci.*, 140: 177-183.

Zucca D, Redaelli V, Marelli SP, Bonazza V, Heinzl E, Verga M, Luzi F. 2012. Effect of handling in pre-weaning rabbits. *World Rabbit Sci.*, 20: 97-101.

MÉRITOS RELACIONADOS CON LA TESIS

1. PUBLICACIONES EN REVISTAS CON ÍNDICE DE IMPACTO

AUTORES: Jaén-Téllez JA, Sánchez-Guerrero MJ, López-Campos JI, Valera M, González-Redondo P

TÍTULO: Acute stress assessment using infrared thermography in fattening rabbits reacting to handling under winter and summer conditions

REFERENCIA: Span. J. Agric. Res., 2020, 18: e0502

EDITORIAL: Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA)

PAÍS DE PUBLICACIÓN: España

ISSN: 2171-9292

IF= 1,238

AUTORES: Jaén-Téllez JA, Sánchez-Guerrero MJ, Valera M, González-Redondo P

TÍTULO: Influence of Stress Assessed through Infrared Thermography and Environmental Parameters on the Performance of Fattening Rabbits

REFERENCIA: Animals, 2021, 11: 1747

EDITORIAL: MDPI

PAÍS DE PUBLICACIÓN: Suiza

ISSN: 2076-2615

IF= 2,752

AUTORES: Jaén-Téllez JA, Bartolomé E, Sánchez-Guerrero MJ, Valera M, González-Redondo P

TÍTULO: Relationship between rectal temperature measured with a conventional thermometer and the temperature of several body regions measured by infrared thermography in fattening rabbits. Influence of different environmental factors

REFERENCIA: World Rabbit Sci., 2021, 29: 263-273

EDITORIAL: Instituto de Ciencia y Tecnología Animal. Universidad Politécnica de Valencia (UPV)

PAÍS DE PUBLICACIÓN: España

ISSN: 1257-5011

IF= 1,233

2. OTRAS PUBLICACIONES EN REVISTAS DE DIVULGACIÓN

AUTORES: Jaén-Téllez JA, García-Ballesteros M

TÍTULO DEL TRABAJO: Las razas autóctonas de conejos de España

REFERENCIA: AGROPALCA, 37, Abril - Junio 2017, 32

EDITORIAL: Plataforma Agraria Libre de Canarias (PALCA)

PAÍS DE PUBLICACIÓN: España

ISSN: 1889-4259

AUTOR: Jaén-Téllez JA

TÍTULO DEL TRABAJO: Bienestar animal en los centros para la venta de conejos

REFERENCIA: Revista Especies Pro. Para comercios de animales de compañía, 39, octubre 2020, 48-49

EDITORIAL: Grupo Asis Biomedica, S.L.

PAÍS DE PUBLICACIÓN: España

ISSN: 1699-7891

AUTOR: Jaén-Téllez JA

TÍTULO DEL TRABAJO: El suministro de carne fresca de conejo en explotaciones ganaderas (I)

REFERENCIA: AGROPALCA, 51, Octubre - Diciembre 2020, 23

EDITORIAL: Plataforma Agraria Libre de Canarias (PALCA)

PAÍS DE PUBLICACIÓN: España

ISSN: 1889-4259

AUTOR: Jaén-Téllez JA

TÍTULO DEL TRABAJO: El suministro de carne fresca de conejo en explotaciones ganaderas (II)

REFERENCIA: AGROPALCA, 52, Enero - Marzo 2021, 32

EDITORIAL: Plataforma Agraria Libre de Canarias (PALCA)

PAÍS DE PUBLICACIÓN: España

ISSN: 1889-4259

AUTOR: Jaén-Téllez JA

TÍTULO DEL TRABAJO: El conejo autóctono Antiguo Pardo Español

REFERENCIA: AGROPALCA, 53, Abril - Junio 2021, 37

EDITORIAL: Plataforma Agraria Libre de Canarias (PALCA)

PAÍS DE PUBLICACIÓN: España

ISSN: 1889-4259

AUTORES: Jaén-Téllez JA, Jurado-García M, García-Ballesteros M

TÍTULO DEL TRABAJO: La producción ecológica de conejos (I)

REFERENCIA: AGROPALCA, 54, Julio - Septiembre 2021, 28

EDITORIAL: Plataforma Agraria Libre de Canarias (PALCA)

PAÍS DE PUBLICACIÓN: España

ISSN: 1889-4259

AUTORES: Jaén-Téllez JA, Jurado-García M, García-Ballesteros M

TÍTULO DEL TRABAJO: La producción ecológica de conejos (II)

REFERENCIA: AGROPALCA, 55, Octubre - Diciembre 2021, 28

EDITORIAL: Plataforma Agraria Libre de Canarias (PALCA)

PAÍS DE PUBLICACIÓN: España

ISSN: 1889-4259

3. LIBROS COMPLETOS

LIBRO: Guía de bienestar animal en conejos. Normativa de aplicación en Andalucía.

AUTORES: Jaén-Téllez JA, Bartolomé E, Sánchez-Guerrero MJ

EDITORIAL: Agencia de Gestión Agraria y Pesquera de Andalucía (AGAPA)

ISBN: 978-84-09-23678-7

AÑO: 2020

CIUDAD: Sevilla

PAÍS DE PUBLICACIÓN: España



4. CONGRESOS INTERNACIONALES

AUTOR: Jaén-Téllez JA

TÍTULO DE LA COMUNICACIÓN: Formación en bienestar animal de los operarios de los centros para la venta de conejos en Andalucía

CONGRESO: Primer Congreso Anual Internacional de Estudiantes de Doctorado

ENTIDAD ORGANIZADORA: Universidad Miguel Hernández de Elche

TIPO DE PARTICIPACIÓN: Comunicación oral

LUGAR DE CELEBRACIÓN: Vía telemática

FECHA: 2 de febrero de 2021

AUTOR: Jaén-Téllez JA

TÍTULO DE LA COMUNICACIÓN: La formación en bienestar animal de conejos para operarios de explotaciones y agentes de control oficial en Andalucía

CONGRESO: Segundo Congreso Anual Internacional de Estudiantes de Doctorado

ENTIDAD ORGANIZADORA: Universidad Miguel Hernández de Elche

TIPO DE PARTICIPACIÓN: Comunicación oral

LUGAR DE CELEBRACIÓN: Vía telemática

FECHA: 3 de febrero de 2022

5. CONGRESOS NACIONALES

AUTOR: Jaén-Téllez JA

TÍTULO DE LA COMUNICACIÓN: ¿Es obligatoria la vacunación de conejos como animales de compañía en Andalucía?

CONGRESO: Webinar de de Cunicultura WebiAsescu 2020 sobre “*Patología: coronavirus y control de mixomatosis y enfermedad hemorrágica vírica*”

ENTIDAD ORGANIZADORA: Asociación Española de Cunicultura (ASESCU)

PUBLICACIÓN (ISSN/ISBN): 978-84-09-26802-3

TIPO DE PARTICIPACIÓN: Comunicación oral

LUGAR DE CELEBRACIÓN: Vía telemática

FECHA: 24 de noviembre de 2020

AUTORES: Jaén-Téllez JA, Sánchez-Guerrero MJ, Valera M, González-Redondo P

TÍTULO DE LA COMUNICACIÓN: Influencia del estrés por manejo sobre parámetros productivos en conejos de engorde evaluado mediante termografía infrarroja

CONGRESO: 45 edición del Symposium Cunicultura de ASESCU

ENTIDAD ORGANIZADORA: Asociación Española de Cunicultura (ASESCU)

PUBLICACIÓN (ISSN/ISBN): 978-84-09-34373-7

TIPO DE PARTICIPACIÓN: Comunicación oral

LUGAR DE CELEBRACIÓN: Vía telemática

FECHA: 07 de octubre de 2021

CURSOS IMPARTIDOS

CURSO: Bienestar animal en conejos (primea edición)

ENTIDAD: Agencia de Gestión Agraria y Pesquera de Andalucía (AGAPA). Homologado por el Instituto Andaluz de Administración Pública (IAAP)

HORAS IMPARTIDAS: 20 horas

LUGAR: Aula virtual

FECHA: 01/06/2021 al 30/07/2021

CURSO: Bienestar animal en conejos (segunda edición)

ENTIDAD: Agencia de Gestión Agraria y Pesquera de Andalucía (AGAPA). Homologado por el Instituto Andaluz de Administración Pública (IAAP)

HORAS IMPARTIDAS: 20 horas

LUGAR: Aula virtual

FECHA: 21/09/2021 al 26/11/2021



UNIVERSIDAD DE SEVILLA
Departamento de Agronomía

