



X Congreso Ibérico de Agroingeniería X Congresso Ibérico de Agroengenharia

Huesca, 3-6 septiembre 2019



Supervisión en continuo de porcino en cebo mediante sistema multi-sensor: patrones de comportamiento

M. Garrido¹, E.C. Correa¹, J.M. Requejo², B. Diezma¹

- ¹ Laboratorio de Propiedades Físicas-Tecnologías Avanzadas en Agroalimentación (LPF-TAGRALIA), ETSIAAB, Universidad Politécnica de Madrid, Av. Puerta de Hierro, 2 - 4, 28040 Madrid, España; miguel.garrido.izard@upm.es
- ² Hypor, a Hendrix-Genetics Company. Hypor B.V. Villa 'de Körver', Spoorstraat 69, 5831 CK Boxmeer, Netherlands.

Resumen: En este trabajo se ha supervisado un periodo completo de cebo (81 días) de un total de 30 cerdos Landrace repartidos en dos boxes de un núcleo en Villatobas (Castilla-La Mancha). La supervisión individual de cada individuo ha consistido en el registro cada 3 minutos de la temperatura superficial mediante un registrador *iButton* con sensor de temperatura colocado en el crotal, y en el registro de la ingesta y el peso del animal en cada visita a una estación automatizada con báscula de pesaje. Las condiciones ambientales se han monitorizado mediante 6 *iButton* dotados además con sensor de humedad relativa distribuidos en los boxes. En la serie temporal completa de las temperaturas superficiales de los animales se ha observado una relación negativa entre la media y la desviación típica ($r = -0,83$): los animales con valores altos de temperatura muestran menor variabilidad térmica. El análisis no supervisado de estas series temporales ha identificado 5 grupos basados en esta relación. Se han identificado también diferentes patrones entre animales en las pautas de alimentación evaluando número de visitas, ingesta por visita, duración de la visita y ciclos día-noche que se relacionan con los patrones térmicos. El grupo de animales con menor variabilidad térmica presenta un comportamiento de alimentación *ad libitum* más individualizado.

Palabras clave: registrador de temperatura, estación electrónica de alimentación, patrón térmico, patrón de ingesta, eficiencia.

1. Introducción

En la actualidad el manejo de las explotaciones ganaderas ha de integrar criterios de rentabilidad y aspectos relativos al bienestar y a la salud animal, estando obligados a llegar a soluciones de compromiso cada vez más complejas. En esta situación el sector busca tecnologías y procedimientos para recabar y manejar datos e información sobre sus instalaciones y animales que puedan ser la base de la llamada ganadería de precisión. Surge así el concepto de fenotipado masivo de animales, en el que se busca el registro de parámetros significativos (temperatura, movimientos, sonidos, etc.) relacionados con aspectos de bienestar, salud o productividad.

Se ha prestado especial atención a la medida de la temperatura superficial en diferentes especies de mamíferos como indicador del nivel de estrés o de la existencia de enfermedades [1]. Más recientemente se ha demostrado que la monitorización de la temperatura superficial en ganado porcino puede dar indicaciones sobre su esfuerzo termo-regulatorio [2] en condiciones normales, sin afecciones ni estrés. Por otra parte, otros trabajos [3] han demostrado que la

producción de calor en cerdos en cebo está asociada a la actividad física, al efecto térmico de la ingesta y al metabolismo basal, lo que junto con el hecho de que animales con mayor temperatura corporal invierten más energía en la producción de calor metabólico a expensas de la productividad, permite establecer que animales con actividad física y producción de calor bajas muestran mejor productividad [4].

Los patrones de comportamiento se definen como los posibles modos de actuación ante una determinada situación o condición, incluyendo el nivel de actividad, los patrones de ingesta y las interacciones entre animales. En numerosos trabajos de investigación los patrones de comportamiento se estudian mediante el registro de imagen, con procedimientos de análisis complejos y costosos [5, 6] o mediante la incorporación de acelerómetros [7] o registradores de sonido [8]. En cualquier caso, todos estos sistemas suponen la instalación de dispositivos no habituales en las instalaciones comerciales. Las estaciones electrónicas de alimentación, sistemas instalados en numerosas explotaciones, permiten caracterizar los patrones de ingesta de cada individuo mediante el reconocimiento de identificadores por radiofrecuencia (*Radio Frequency Identification*, RFID) e incluyendo en el registro de variables la hora del evento, la frecuencia de visitas, la duración de la visita, la ingesta por visita y el peso del animal. En las explotaciones comerciales esta información se emplea para la determinación de la eficiencia global de cada animal, especialmente en aquellas dedicadas a la mejora genética.

En este trabajo se propone la implementación de registradores de temperatura superficial y estaciones electrónicas de alimentación como herramientas de seguimiento de cada individuo durante un periodo de cebo completo. El objetivo es la identificación de distintas tipologías de animales basadas en la integración de sus patrones térmicos y de ingesta.

2. Materiales y métodos

2.1. Animales

Entre el 17/04/2018 y el 06/07/2018, 30 cerdos Landrace (todos machos) fueron monitorizados, cubriéndose así todo su periodo de cebo. Los animales fueron distribuidos equitativamente en dos boxes (15 m²/box) en una granja de cría en Villatobas, Castilla-La Mancha, España (39 ° 54'02.7 "N 3 ° 17'31.4 "W) perteneciente a la empresa Hypor, importante proveedor de genética porcina y parte de la corporación Hendrix Genetics.

La temperatura ambiental se controló automáticamente mediante un sistema de enfriamiento por aire (RN 12, Exafan, España). Los extractores eliminaban el exceso de aire caliente de los boxes cuando se superaba la temperatura de consigna (20°C + 4.0°C); el aire caliente del exterior era introducido a través de las unidades de enfriamiento (superficie húmeda de celulosa) para reducir la temperatura y aumentar la humedad en los corrales. Para verificar el sistema de enfriamiento se ubicó un sensor de temperatura específico a 2 m de altura en el punto central de la nave (un total de seis corrales). El horario de iluminación, según el estado de las luces de la habitación, fue de 14 horas de luz y 10 horas de oscuridad, considerándose horario diurno de 7:00 h a 21:00 h y nocturno de 21:00 h a 07:00 h.

Todos los animales tenían acceso a dos pezones para beber y a alimento seco *ad-libitum* a través de una estación de alimentación electrónica (Compident MLP, Schauer Agrotronic GmbH, Austria), que pesaba el alimento en el comedero antes y después de la visita, proporcionando el valor de ingesta (Figura 1). El acceso al sistema de alimentación está controlado mediante la identificación unívoca de cada animal a través del marcador RFID ubicado en el crotal. De este modo, en cada visita se registra y almacena en una base de datos única el código del animal, la fecha, la hora y la cantidad de alimento consumido. Lo que permite calcular el consumo total de alimento y los tiempos de ocupación por cerdo. Ha de tenerse en cuenta que en el momento de inicio del ensayo, la ingesta de los animales no es monitorizada, comiendo estos *ad libitum*. Una

vez que los animales se han adaptado a las máquinas (periodo de aprendizaje), las estaciones de alimentaciones comenzaron a funcionar correctamente (monitorizando la ingesta).

A esta información proporcionada por la estación de alimentación se le añadía el peso de cada uno de los animales en cada visita, que al igual que la estación eran recopilados a través de la identificación del animal y mediante el empleo de una báscula de pesaje automatizada (Figura 1).



Figura 1. Báscula de pesaje y estación de alimentación empleada durante el ensayo.

Durante el transcurso del ensayo un total de 7 animales fueron descartados. Las causas de estas bajas fueron mordidas de la cola del animal por otros individuos, pérdida del sensor y crotal empleados para llevar a cabo la monitorización; o daños en el sensor.

La Tabla1 resume la información más relevante del ensayo para los 23 animales finalmente considerados, retirando aquellos que fueron dados de baja durante el ensayo.

Tabla 1. Nº de identificador del animal, peso al inicio y al final del ensayo de los animales monitorizados.

Nº cerdo	Nº crotal instalado en el cerdo	Peso al inicio del ensayo (kg)	Peso al final del ensayo (kg)
1	6200	41,4	135,7
2	6202	41,8	129,7
3	6204	41,3	129,9
4	6205	43,8	145,0
5	6208	43	129,9
6	6209	49,5	161,1
7	6211	43	129,7
8	6212	40	117,7
9	6213	47,3	131,7
10	6214	47,7	141,7
11	6215	40,6	108,4
12	6216	43,6	133,1
13	6219	35,6	114,7
14	6220	44	131,6
15	6221	37,2	110,2
16	6222	37,7	127,9
17	6223	37	119,2
18	6224	39,7	118,7
19	6225	37,7	118,0
20	6226	45	142,3

Nº cerdo	Nº crotal instalado en el cerdo	Peso al inicio del ensayo (kg)	Peso al final del ensayo (kg)
21	6227	34,6	118,0
22	6228	44,5	128,1
23	6229	39	109,7

2.2. Mediciones de temperatura

Para el registro de la temperatura de cada animal durante todo el periodo de cebo fueron empleados los sensores *iButton* DS1922E (Dallas Semiconductor, EE. UU.), dispositivos de adquisición de datos con sensor integrado de temperatura del tamaño de una pila de reloj (Figura 2a). Tanto la transferencia de datos como la configuración de los treinta sensores utilizados (Tabla 1) se realizó vía alámbrica mediante el empleo del lector “DS1402D-DR8” (Figura 2b) y el software “OneWireViewer versión 3.17.44” proporcionado por el distribuidor.

Cada *iButton* se acopló, con un sistema de sujeción resistente, al crotal de identificación del animal a supervisar (Figura 2c y 2d).

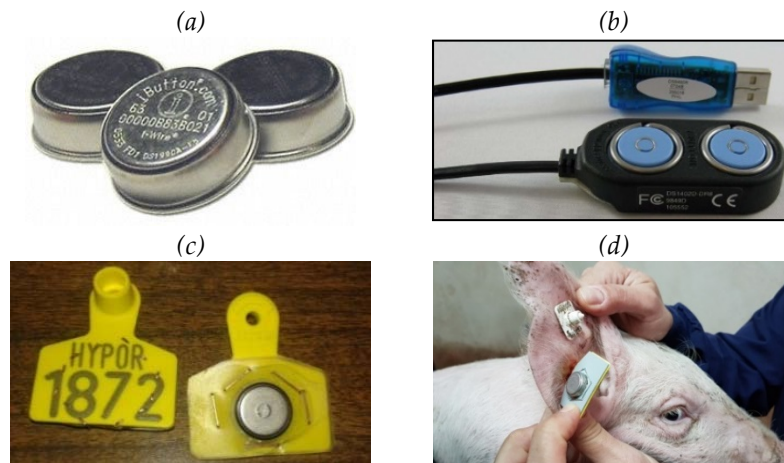


Figura 2. (a) Sensores *iButton* DS1922 E; (b) lector de escritorio para *iButton* DS1402D-DR8; (c) detalle del acoplamiento del sensor *iButton* al crotal; e (d) instalación del crotal con el sensor acoplado en el animal a monitorizar.

Para el registro de las condiciones de temperatura y humedad del ambiente donde se encontraban los animales durante todo el periodo de cebo fueron empleados 6 sensores *iButton* DS1923 (Dallas Semiconductor, EE. UU.), similares a los empleados para la monitorización animal, pero con sensor de humedad relativa añadido. Del mismo modo que para los sensores acoplados al crotal, tanto la transferencia de datos como la configuración (Tabla 1) se realizó vía alámbrica mediante el empleo del lector “DS1402D-DR8” y el software “OneWireViewer versión 3.17.44” proporcionado por el distribuidor.

Cada uno de los 6 *iButtons* empleados se integró en una estructura de protección, distribuyéndose estas de manera uniforme a lo largo de los dos boxes en estudio (Figura 3).

Tabla 2. Configuración empleada en los *iButton* DS1922E.

	Animal	Ambiental
Nº de <i>iButton</i>	30	6
Capacidad (datos/ <i>iButton</i>)	8192 (8bit)	8192 (8bit)
Resolución (°C / %HR)	0.5°C / -	0.5°C / 0.6%

	Animal	Ambiental
Rango de Temperatura y Humedad	+15°C a +140°C-	-20°C to +85°C / 0 a 100 %HR
Intervalo de muestreo (s/dato)	360	720
Nº de replazos de iButton		3



Figura 3. Plano de distribución de los sensores ambientales y detalle de la instalación de dos sensores (Ha2 y Ha6 en el mapa).

2.3. Analisis de los datos

El análisis de los datos registrados por los sensores empleados se ha realizado con el software MatLab R2018b (MathWorks, Massachusetts, EE. UU.).

El análisis se ha centrado en el estudio de las series temporales de temperatura de los animales. Se ha aplicado un análisis de clúster a las series temporales de temperatura para evaluar si se pueden establecer grupos de sensores con patrones de respuesta similares en su temperatura. El análisis de clúster calcula las distancias euclideas para cada par de observaciones y utilizando en este caso el algoritmo de la “media” basado en el uso de la distancia media no ponderada (o promedio de grupo) crea un árbol de clúster jerárquico.

3. Resultados y discusión

3.1. Temperatura animal vs temperatura ambiente & Ciclos día - noche

En la Figura 4 se incluye las series históricas de las temperaturas medias del ambiente y de los animales. Las temperaturas registradas en los *iButtons* ubicados en los crotales se mantienen sistemáticamente por encima de la temperatura ambiente. En la Figura 5 se muestra el detalle de esta serie histórica para un periodo de una semana; se observa la independencia de las fluctuaciones de ambas series, lo que indica que los sensores de los crotales están básicamente afectados por la temperatura corporal del animal. La media de las medianas de temperatura de los animales durante la noche fue $34,82 \pm 0,79$ °C y durante el día $32,83 \pm 1,0$ °C (Figura 6); mientras que el comportamiento

en la temperatura ambiental es el inverso: la media de las medianas durante el día fue de $23,22 \pm 0,71$ °C y durante la noche $22,25 \pm 0,82$ °C

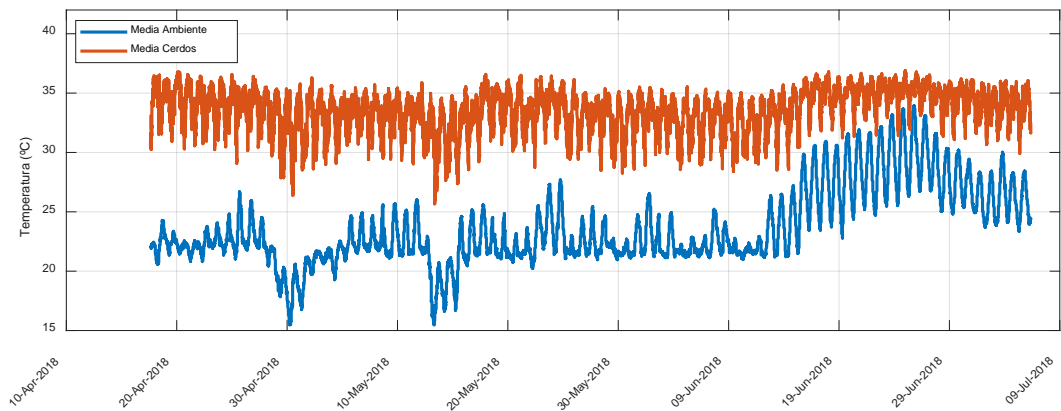


Figura 4. Series temporales de las temperaturas medias del ambiente y de los animales registradas durante el ensayo.

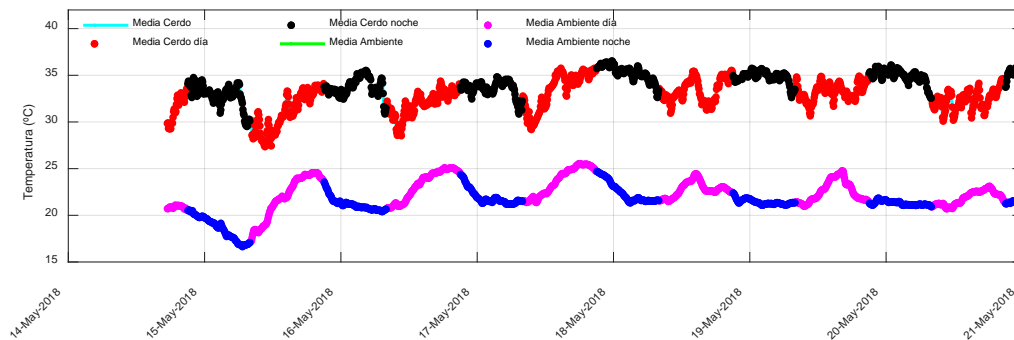


Figura 5. Detalle de una semana de las series temporales de las temperaturas medias del ambiente y de los animales; se señalan mediante diferentes colores los tramos horarios correspondientes a día y noche.

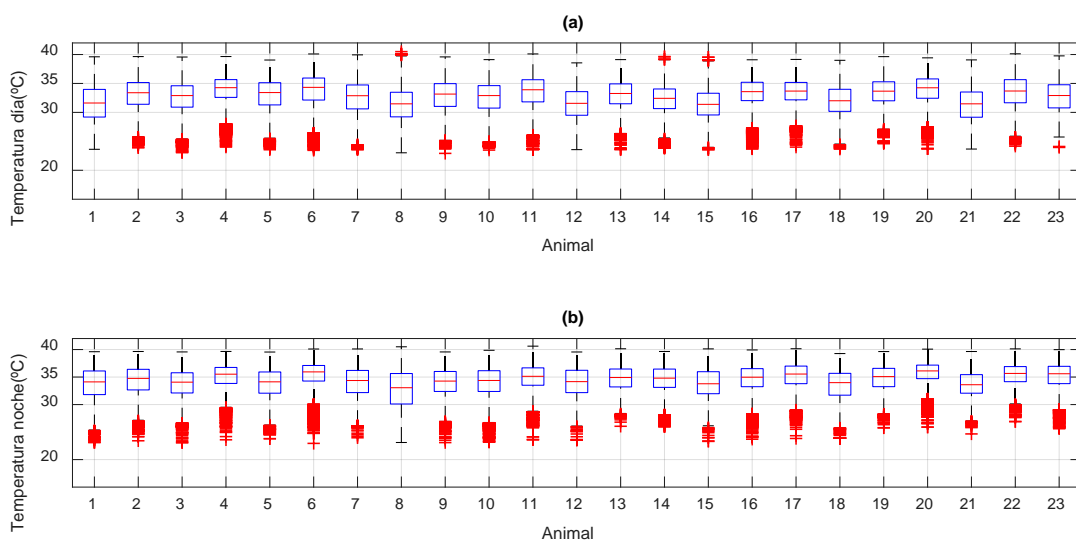


Figura 6. Gráficos de cajas y bigotes para los valores de la temperatura diurna y nocturna de cada uno de los animales monitorizados. La marca central roja corresponde a la mediana, los extremos de las cajas al primer y tercer cuartil y las cruces rojas a los *outliers*.

3.2. Temperatura animal

En la Figura 7 se incluye el dendrograma resultante del análisis de clúster aplicado a las series temporales de temperaturas de cada animal. Se identifican 5 grupos considerando la distancia marcada mediante la línea roja. En la Tabla 3 se muestran las medias y desviaciones de temperaturas de cada uno de los 5 grupos identificados. Se observa que las temperaturas disminuyen del grupo 1 al 5, mientras que las desviaciones aumentan. La Figura 8 representa la temperatura media y la desviación típica de cada uno de los animales clasificados según el grupo del clúster al que han sido asignados. Existe una relación lineal significativa con un coeficiente de determinación de 0,69 entre la media y la desviación típica de la serie temporal de temperaturas de cada animal. De forma que los animales de mayor temperatura media muestran menores variaciones de las temperaturas registradas; lo que ha sido previamente observado en trabajos anteriores con periodos de supervisión más cortos. Esto corrobora que las series temporales de temperaturas son una herramienta que permite la diferenciación entre animales según sus patrones térmicos [9].

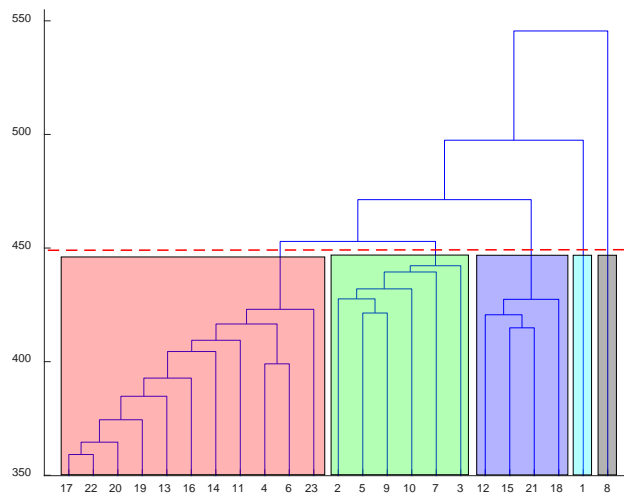


Figura 7. Dendrograma de la serie temporal de las temperaturas de los animales.

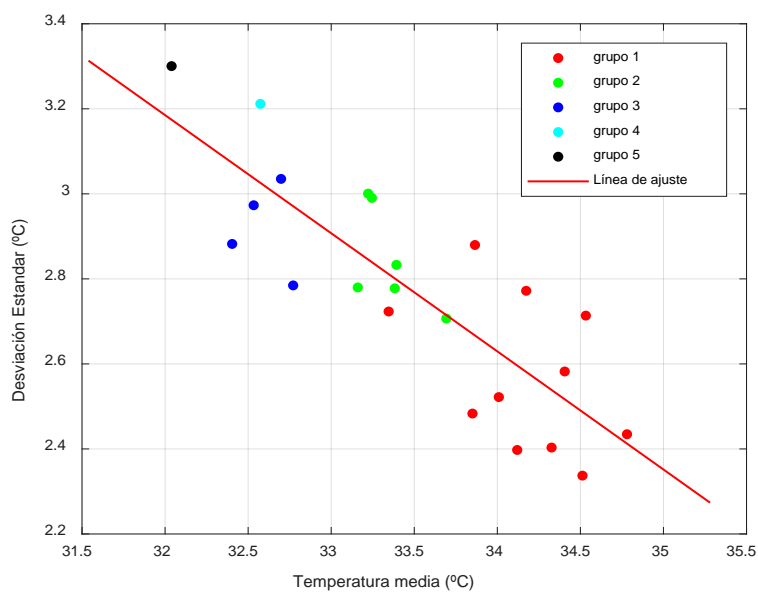


Figura 8. Relación la media y la desviación típica de las temperaturas registradas durante el ensayo por animal ($r^2=0,69$; $y = -0,28x+12$) con identificación de los grupos asignados por el dendrograma.

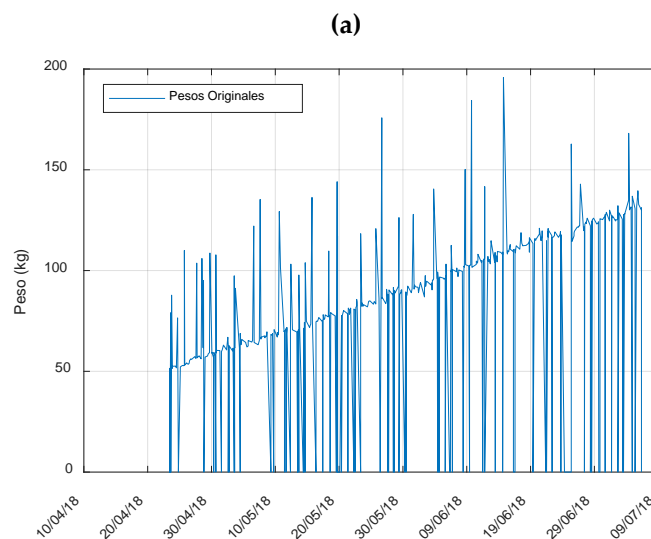
Tabla 3. Dispersión de las temperaturas de los animales en el rango de temperatura ambiente más habitual.

Temperatura media (°C)	Desviación estándar de la temperatura (°C)	Grupo en dendrograma
34,17	2,60	1
33,35	2,86	2
32,60	2,92	3
32,57	3,21	4
32,04	3,30	5

3.3. Estaciones de alimentación

A modo de ejemplo se muestra el registro del peso de un animal en cada visita a la estación de alimentación (Figura 10 a) a lo largo de todo el ensayo. Se observa que existen registros erróneos (por defecto y por exceso) que han de ser depurados antes de posteriores análisis. La Figura 10 b muestra el ajuste a los datos de peso en función de la fecha de registro habiendo eliminado los datos de pesos iguales a cero y aquellos anómalos por exceso y definidos como *outliers* (puntos que superan más de tres veces la mediana local, en una ventana de 5 puntos). Una vez eliminados estos puntos se realiza el ajuste y se asigna el valor de la función de ajuste a todos los puntos registrados, tanto los que han sido eliminados como *outliers* como los que no (línea roja en la Figura 10 b). El error medio de los ajustes realizados en los registros de peso de todos los animales es de un 2%.

En la Tabla 4 se incluyen los valores medios por animal de las variables obtenidas en la estación de alimentación. Son las variables número de visitas, tiempo medio de las visitas e ingesta media por visita, las que presentan mayor variabilidad entre animales (coeficientes de variación del 57%, 40% y 45% respectivamente). Mientras que las variables ingesta total y peso ganado presentan coeficientes de variación menores (11%). El coeficiente de determinación entre la ingesta total y el peso ganado es de 0,8; lo que está en consonancia con la pequeña variabilidad que se constata en los valores de eficiencias (un coeficiente de variación del 5% y un rango de entre 0,39 y 0,47). Estos valores de eficiencia se encuentran dentro de los rangos habituales en las fases de cebo, aunque existen trabajos en los que se han constatado eficiencias tan bajas como 0,082 en condiciones similares al presente estudio y para animales de unos 65 kg [9].



X CONGRESO IBÉRICO DE AGROINGENIERÍA
X CONGRESSO IBÉRICO DE AGROENGENHARIA
3 – 6 septiembre 2019, Huesca - España

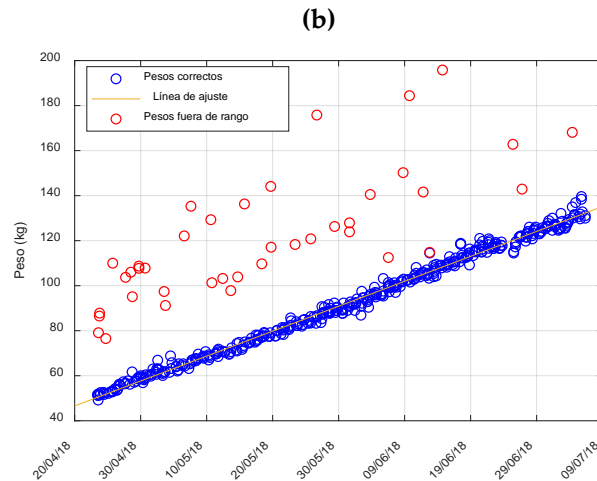


Figura 10. Registros de la báscula durante el ensayo para el animal con crotal 6220: (a) datos originales de peso; (b) filtrado de los pesos y obtención de la curva de ajuste

Tabla 4. Recopilación de los valores registrados por la estación de alimentación y báscula de pesaje durante el ensayo.

nº Crotal	nº visitas	Tiempo total de visita (s)	Tiempo medio visita (s)	Ingesta Total (kg)	Ingesta media por visita (kg)	Velocidad de ingesta total (g/s)	Peso ganado (kg)	Eficiencia (kg ganado / kg ingesta)	nº clúster
6229	505	233517	462,41	152,21	0,3	0,65	65,5	0,43	1
6220	542	213614	394,12	201,87	0,37	0,95	79,06	0,39	1
6223	564	224793	398,57	191,23	0,34	0,85	75,25	0,39	1
6209	656	231867	353,46	240,14	0,37	1,04	101,63	0,42	1
6228	785	172919	220,28	173,16	0,22	1	74	0,43	1
6215	970	202542	208,81	144,98	0,15	0,72	62,94	0,43	1
6225	1133	289776	255,76	164,72	0,15	0,57	72,84	0,44	1
6205	1278	290922	227,64	203,8	0,16	0,7	92,47	0,45	1
6219	1536	169266	110,2	171,81	0,11	1,02	69,88	0,41	1
6226	2065	215876	104,54	215,45	0,1	1	87,38	0,41	1
6222	2448	298379	121,89	190,98	0,08	0,64	85,23	0,45	1
6208	463	183903	397,2	179,87	0,39	0,98	81,63	0,45	2
6202	641	171559	267,64	178,27	0,28	1,04	77,13	0,43	2
6211	745	171683	230,45	166,3	0,22	0,97	77,44	0,47	2
6214	913	264242	289,42	191,23	0,21	0,72	87,77	0,46	2
6204	1123	228200	203,21	183,79	0,16	0,81	80,88	0,44	2
6213	2620	291074	111,1	187,28	0,07	0,64	73,25	0,39	2
6224	576	199051	345,57	163,11	0,28	0,82	72,34	0,44	3
6227	663	206810	311,93	181,76	0,27	0,88	72,4	0,4	3
6221	683	148972	218,11	159,74	0,23	1,07	66,88	0,42	3
6216	777	180289	232,03	190,51	0,25	1,06	84,41	0,44	3
6200	1642	247409	150,68	196,59	0,12	0,79	87,19	0,44	4
6212	1127	255801	226,98	163,73	0,15	0,64	72,69	0,44	5

3.4. Patrones de comportamiento

En este apartado se analizan algunas de las variables generadas por la estación de alimentación categorizadas en función del grupo al que está asignado cada animal en el análisis de clústeres. Se considerarán solo los grupos del 1 al 3, cada uno de ellos con un número de individuos superior al 15% de la población, eliminando los grupos 4 y 5 por estar compuestos por un único animal. La generación de grupos con un único individuo alejado del resto de la población puede ser indicio de ciertas anomalías en el registro de las temperaturas de esos individuos.

El número de visitas a la estación es un indicador que puede relacionarse con pautas de comportamiento de alimentación, de nivel de actividad y de jerarquía en los animales. En la Figura 11 se muestra la mediana y los rangos inter-cuartiles para esta variable categorizadas por grupo de patrón térmico. Se observa que del grupo 1 al grupo 3 tanto la mediana (970, 829 y 673 visitas respectivamente) como la variabilidad intra-grupo decrecen. Mientras que los animales del grupo 1 tienen un comportamiento respecto a actividad muy heterogéneo, los animales del grupo 3 muestran un nivel de actividad muy similar entre ellos.

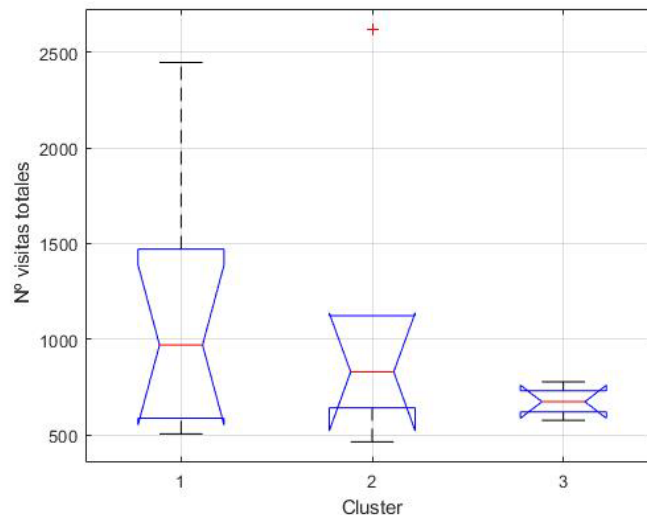


Figura 11. Gráfico de caja y bigotes para el nº de visitas agrupadas por los grupos resultantes del dendrograma. La marca central roja corresponde a la mediana, los extremos de las cajas al primer y tercer cuartil y las cruces rojas a los *outliers*.

Al grupo 1 pertenecen los animales con los registros de temperaturas medias más elevados y con menor variabilidad, podrían considerarse más próximos al confort térmico. Por otro lado, la heterogeneidad en nivel de actividad de este grupo podría indicar que cada animal busca también su óptimo en cuanto a pautas de alimentación. Los animales del grupo 3 caracterizados por menor temperatura y mayor variabilidad térmica realizan un número significativamente menor de visitas, pudiendo indicar que estos individuos conforman un subgrupo de comportamiento condicionado por el de otros animales.

A pesar de la disparidad en el número de visitas entre animales, se constata que la ganancia de peso, la ingesta total y por tanto la eficiencia son muy similares entre ellos al final del periodo supervisado, indicando que el sistema de alimentación *ad libitum* mediante las estaciones automatizadas amortigua el efecto que las pautas de alimentación pueden tener sobre la eficiencia de estos animales.

La eficiencia en la alimentación no muestra diferencias significativas entre los grupos, lo que puede ser debido al pequeño rango de variación encontrado (0,39 a 0,47) y a la propagación de errores de medida tanto en el peso de los animales como de la ingesta por visita. Asumiendo

errores de medida del 5% en estas dos variables, la eficiencia acumularía un error de hasta el 10%, lo que duplica al coeficiente de variación del 5%, y anula por tanto las posibles diferencias entre animales. Todo ello explica que en este experimento no se hayan corroborado los resultados de trabajos previos en los que para rangos de eficiencia mayores (0,082 – 0,43) se verificaron correlaciones de 0,77 entre los perfiles térmicos y la eficiencia.

4. Conclusiones

Mediante el registro de alta frecuencia de la temperatura de animales en un cebo completo es posible identificar individuos con diferentes patrones térmicos: animales caracterizados por una mayor temperatura y menor variabilidad térmica, frente a animales que registran menores temperaturas medias y mayor variabilidad térmica.

La integración de las variables depuradas de las estaciones automatizadas permite perfilar patrones diferenciales de comportamiento en la alimentación (número de visitas) que se relacionan con los patrones térmicos. De forma que el grupo de animales con menor variabilidad térmica presentan un comportamiento de alimentación *ad libitum* particularizado.

El pequeño rango de eficiencia verificado en este experimento no permite establecer relaciones entre los perfiles térmicos y la propia eficiencia, tal y como ha sido constatado en estudios previos con rangos de eficiencia más amplios. En estos casos es el patrón térmico el que permite caracterizar individualmente a los animales.

5. Agradecimientos

Trabajo financiado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades “Desarrollo de una PRoducción porcina más sostenible a través de la mejora del Índice de ConvErsión (PRINCE)” RTC-2017-5977-2 y Fondos Estructurales de la Unión Europea.

Referencias

1. Loughmiller, J. A., Spire, M. F., Dritz, S. S., Fenwick, B. W., Hosni, M. H., & Hogge, S. B. (2001). Relationship between mean body surface temperature measured by use of infrared thermography and ambient temperature in clinically normal pigs and pigs inoculated with *Actinobacillus pleuropneumoniae*. *American journal of veterinary research*, 62(5), 676-681.
2. Andersen, H. M. L., Jørgensen, E., Dybkjær, L., & Jørgensen, B. (2008). The ear skin temperature as an indicator of the thermal comfort of pigs. *Applied Animal Behaviour Science*, 113(1), 43-56.
3. Labussière, E., Dubois, S., van Milgen, J., & Noblet, J. (2013). Partitioning of heat production in growing pigs as a tool to improve the determination of efficiency of energy utilization. *Frontiers in physiology*, 4.
4. Meunier-Salaün, M. C., Guerin, C., Billon, Y., Sellier, P., Noblet, J., & Gilbert, H. (2014). Divergent selection for residual feed intake in group-housed growing pigs: characteristics of physical and behavioural activity according to line and sex. *animal*, 8(11), 1898-1906.
5. Lao, F., T. Brown-Brandl, et al. (2016). Automatic recognition of lactating sow behaviors through depth image processing. *Computers and Electronics in Agriculture* 125: 56-62.
6. Nasirahmadi, A., S. A. Edwards, et al. (2017). Implementation of machine vision for detecting behaviour of cattle and pigs. *Livestock Science* 202: 25-38.
7. Cornou, C. and S. Lundbye-Christensen (2010). Classification of sows' activity types from acceleration patterns using univariate and multivariate models. *Computers and Electronics in Agriculture* 72(2): 53-60.
8. Leliveld, L. M., S. Düpjan, et al. (2016). Behavioural and physiological measures indicate subtle variations in the emotional valence of young pigs. *Physiology & Behavior* 157: 116-124.
9. Requejo, J. M.; Garrido-Izard, M.; Correa, E. C.; Villarroel, M.; & Diezma, B. (2018). Pig ear skin temperature and feed efficiency: Using the phase space to estimate thermoregulatory effort. *Biosystems Engineering*, 174, 80-88.