

## Determinación del patrón de crecimiento en cerdo ibérico (50 % Duroc) criado en régimen extensivo desde los 70 a los 365 días de edad

Guillermo Usero-Alonso<sup>1,4,\*</sup>, Jose A. López-Moya<sup>1</sup>, Francisco Gil-Rueda<sup>4</sup>, Beatriz Isabel Redondo<sup>3</sup>, Guillermo Ramis-Vidal<sup>2</sup> y Antonio Muñoz-Luna<sup>2,4</sup>

<sup>1</sup> Estudiante de Doctorado en Ciencias Veterinarias, Escuela Internacional de Doctorado de la Universidad de Murcia, Campus Espinardo s/n, 30100 Murcia, España

<sup>2</sup> Departamento de Producción animal, Facultad de Veterinaria de la Universidad de Murcia, Campus Espinardo s/n, 30100 Murcia, España

<sup>3</sup> Departamento de Producción animal, Facultad de Veterinaria de la Universidad Complutense de Madrid, Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid, España

<sup>4</sup> FARM Faes Nutrición y Salud Animal, Pol. El Carrascal Parc.8-9, 01308, Lanciego, Álava, España.

### Resumen

El objetivo del estudio fue caracterizar matemáticamente el patrón de crecimiento del cerdo ibérico (50 % Duroc), nacido a finales de año y criado en extensivo desde los 70 hasta los 365 días de edad. Se realizaron en condiciones de campo mediciones repetidas de peso vivo y espesor graso dorsal individual, y consumo de pienso por lote. Se utilizaron dos lotes experimentales: A (91 machos y 95 hembras) y B (56 machos y 60 hembras). El programa de alimentación determinó el patrón e incluyó 4 fases caracterizadas por el pienso y su cantidad aportada: 1) piensos "transición/adaptación" *ad libitum* para un "crecimiento potencial" entre 24-98 días de edad; 2 y 3) piensos "Crecimiento" y "Engorde I", restringidos al 2,5 % y 2,0 % del peso vivo, respectivamente, para un "crecimiento lento", entre 98-303 días de edad; 4) pienso "Engorde II" *ad libitum* para un "crecimiento compensatorio", entre 303-352 días de edad. El resultado de los principales parámetros calculados por ajuste del patrón fue: 1º) ecuaciones de crecimiento: 218 kg de peso vivo a la madurez, 0,00977 de precocidad, 162,49 días de edad a la máxima ganancia de peso; 2º) ecuación de consumo de energía metabolizable: a (119229,75); b (6,76); c (1,01); 3º) los kg de pienso aportado en fases 2 y 3: 2,47 %, 2,0 % del peso vivo, respectivamente. Se concluye que, en las condiciones de producción del ensayo, la metodología propuesta ajustó el patrón de crecimiento y alimentación que permiten el diseño de estrategias de alimentación que aumenten la eficiencia.

**Palabras clave:** Alimentación, cerdo ibérico, rendimientos productivos, patrón de crecimiento lento.

### Determination of the growth pattern in Iberian pigs (50% Duroc) reared outdoor from 70 to 365 days of age

#### Abstract

This study is aiming to the mathematical characterization of the growth pattern of Iberian pig (50% Duroc) born at the end of the year and raised outdoor from 70 to 365 days of age. Repeated meas-

\* Autor para correspondencia: gusero@farmfaes.com

urements of individual body weight and back fat thickness, and feed consumption per batch were carried out under field conditions. Two experimental batches were used: A (91 males and 95 females) and B (56 males and 60 females). The feeding programme determined the growth pattern and included 4 phases characterised by the feed and the amount of feed provided: 1) *ad libitum* "growth transition/adaptation" feed for "potential growth" between 24 and 98 days of age; 2 and 3) "Growth" and "Fattening I" feed, restricted to 2.5 % and 2.0 % of their body weight, respectively, for "slow growth", between 98 and 303 days of age; 4) *ad libitum* "Fattening II" feed for "compensatory growth", between 303 and 352 days of age. The result of the main parameters calculated by the adjustment of the pattern was: 1) growth equations: 218 kg of body weight at maturity, 0.00977 of precocity, 162.49 days of age at maximum gain; 2) metabolisable energy consumption equations a (119229.75), b (6.76), c (1.01); 3) kg of feed provided in phases 2 and 3: 2.47 % and 2.0 % of body weight, respectively. It is concluded that, under the production conditions of the trial, the proposed methodology adjusted the growth and feeding pattern allowing the design of feeding strategies that increase efficiency.

**Keywords:** Feeding, growth performance, iberian pig, slow growth pattern.

## Introducción

Los modelos matemáticos de crecimiento porcino se aplican para abordar estrategias de alimentación que mejoren la rentabilidad de las explotaciones comerciales (Lange et al., 2001). Estos modelos, en función de la edad del cerdo, permiten maximizar la utilización de los nutrientes del pienso, calculando la cantidad de pienso óptima para cada momento, y pudiendo predecir su peso y edad óptima de venta.

Los modelos de crecimiento desarrollados para las razas comerciales de cerdos durante las últimas décadas se basan en la estimación de la ganancia de peso, deposición proteica y lipídica, como respuesta al consumo de nutrientes (energía y aminoácidos) (van Milgen et al., 2008). Para garantizar la aplicación efectiva de los modelos, una función paramétrica no lineal que predice la edad para alcanzar un peso vivo (PV) objetivo del crecimiento potencial de los cerdos, debe ser parametrizada (van Milgen et al., 2008; NRC, 2012). En estas funciones, descritas en la bibliografía (Gompertz, 1825; Richards, 1959; Bridges et al., 1986; López et al., 2000), cada parámetro tiene un significado biológico (PV a la madurez, precocidad, edad a la máxima ganancia

de PV, etc.) y están determinados en gran medida por el genotipo del cerdo, el sexo y el entorno. Por lo tanto, no es recomendable utilizar ecuaciones generales derivadas de otras razas para predecir con exactitud el cambio de peso y composición corporal (Quiniou y Noblet, 1995).

El cerdo ibérico, a diferencia de otras razas comerciales seleccionadas para una elevada eficiencia productiva, presenta un crecimiento lento y poco eficiente. Tiene un elevado apetito, bajo potencial de acumulación magra, y alta capacidad de adaptación al medio en épocas escasez, acumulando grasa corporal como reservorio energético (Andrés et al., 1998; Barea et al., 2007).

En este contexto, para cerdos ibéricos (cruzados al 50 % con Duroc) Usero et al. (2016) publicaron un patrón de crecimiento en un sistema intensivo y alimentación *ad libitum* para obtener su crecimiento potencial. Sin embargo, desafortunadamente no se ha encontrado ninguna publicación de un patrón de crecimiento lento para cerdos criados en un sistema extensivo y alimentación restringida, que evite la prematura acumulación grasa en un ciclo de producción largo (160 kg de PV y 12 meses de edad para el sacrificio).

Actualmente, la referencia para diseñar programas de alimentación y calcular las necesidades nutricionales para formular dietas para cerdos ibéricos y sus cruces son las tablas de recomendaciones nutricionales publicadas por FEDNA (2013) y los estudios de metabolismo del grupo de investigación de la Estación Experimental del Zaidín CSIC (Granada, España), para un cerdo 100 % ibérico (Conde-Aguilera et al., 2011; Nieto et al., 2012). Ambos fueron utilizados en este estudio como valores de referencia de parámetros nutricionales y metabólicos para desarrollar con precisión el patrón de crecimiento y de alimentación del cerdo ibérico (50 % Duroc) criado en un sistema extensivo de "Cebo de Campo". La hipótesis de partida de este estudio fue que la utilización de 4 fases de alimentación (combinando *ad libitum* y restringida) durante el ciclo productivo podría establecer un patrón de crecimiento óptimo para estas condiciones de producción, pudiendo mejorar su eficiencia.

## Material y métodos

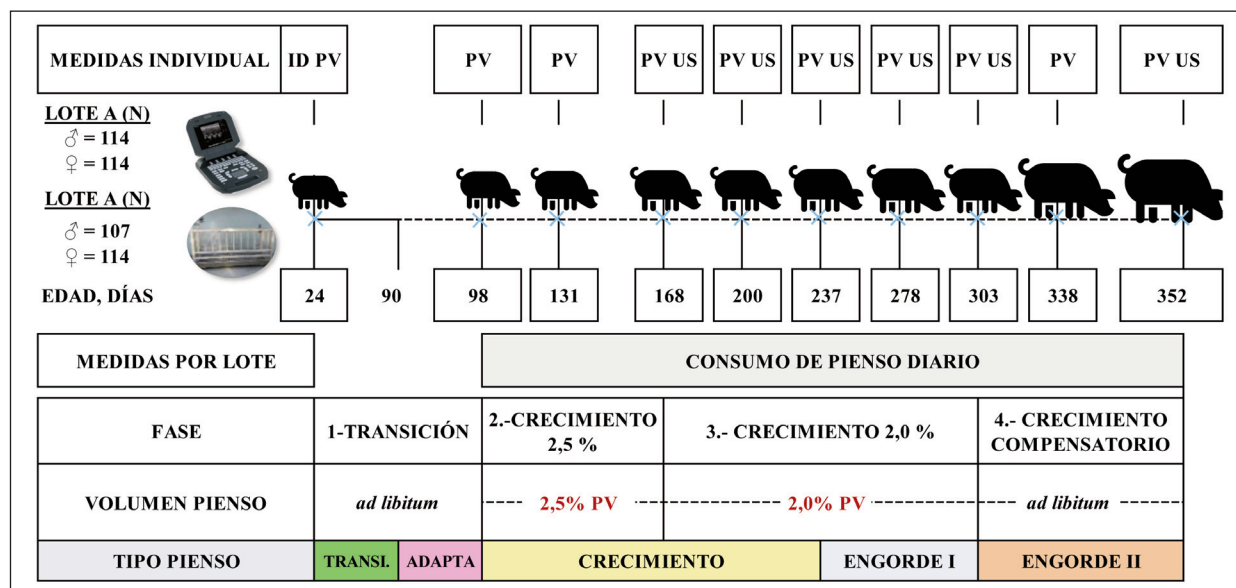
Los métodos de manejo de los animales durante la investigación fueron desarrollados de acuerdo con los principios éticos en investigación y docencia con modelos animales aprobados en las Directivas Europeas vigentes publicadas en el DOUE (2010) y en las normas nacionales recogidas en el Real Decreto publicado en el BOE (2013), 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.

### **Manejo de los animales y diseño experimental**

Este estudio se realizó en condiciones de campo en una granja comercial con un total

de 449 lechones de cerdo ibérico (50 % Duroc) (221 machos y 228 hembras), divididos en dos lotes experimentales (A y B) con un año de diferencia entre ellos (sacrificados en diciembre de 2018 y 2019, respectivamente). Los lechones fueron seleccionados al azar (4 lechones por camada) de 57 cerdas y fueron pesados cuatro días antes del destete con  $22,07 \pm 3,73$  días de edad y  $5,80 \pm 1,181$  kg de PV (los machos fueron castrados quirúrgicamente a los dos días de nacer). Todos los animales de cada lote tras el destete se alojaron en un corral de transición con una densidad de  $2 \text{ m}^2/\text{cerdo}$  de una granja comercial, con libre acceso a agua y pienso. Una vez finalizada la transición, con 90 días de edad y 30 kg de PV, se realizó una nueva selección al azar de 186 lechones, 91 machos y 95 hembras del lote A, y 116 lechones, 56 machos y 60 hembras del lote B, para continuar con el estudio en la fase de crecimiento-engorde en otra granja comercial en extensivo. En esta granja, cada lote fue dividido en dos corrales experimentales separados y repartidos por un PV homogéneo (machos y hembras mezclados) para garantizar la homogeneidad de los grupos en la medida de lo posible durante todo el estudio. Los lechones en esta fase disponían de: a) un espacio natural al aire libre y con suelo de tierra cercados con valla metálica y pared de piedra con una superficie mínima de  $100 \text{ m}^2/\text{cerdo}$ ; b) un espacio cubierto para descansar y protegerse con una superficie disponible de  $1 \text{ m}^2/\text{cerdo}$ ; libre acceso al agua y acceso restringido al pienso hasta los 303 días de vida y *ad libitum* desde estos hasta los 365 días.

Para investigar el patrón de crecimiento y alimentación de un sistema "Cebo de Campo" hasta los  $352,24 \pm 3,5$  días de edad y  $164,35 \pm 17,48$  kg de PV, ambos lotes se evaluaron en las mismas condiciones de alojamiento, manejo, alimentación, época del año y medición de los parámetros productivos (Figura 1).



Fases: 1.- Transición-adaptación, acceso *ad libitum* al pienso; 2.- Crecimiento 2,5 % PV, aporte de pienso calculado como el 2,5 % del PV (kg); 3.- Crecimiento 2,0 % PV, aporte de pienso calculado como el 2,0 % del PV (kg); 4.- Crecimiento compensatorio, acceso *ad libitum* al pienso. Mediciones individuales: ID: identificación de los animales; PV: peso vivo; US: EGD por ultrasonidos.

Figura 1. Diseño experimental. Dónde: PV, medición individual del peso vivo en kg manualmente; US: medición individual de EGD (Espesor Graso Dorsal) en mm por ultrasonidos. Medición del consumo de pienso diario por lote. Figure 1. Experimental design. Where: BW, individually measure of body weight in kg by manually; US: individually measure of BF (back fat thickness) in mm by ultrasounds. Feed intake measure per batch.

### Programa de alimentación

Para ambos lotes experimentales, se diseñó un mismo programa de alimentación de crecimiento lento para alcanzar el objetivo de tasa de crecimiento global ( $\leq 550$  g/d), entre los 100 y los 365 días de edad (Figura 1). Las dietas se formularon siguiendo los requerimientos de nutrientes recomendados por FEDNA (2013). La composición media en materias primas y las concentraciones calculadas de los principales nutrientes de las dietas experimentales de crecimiento-engorde se muestran en la Tabla 1. Brevemente, los animales siguieron 4 fases de alimentación, transición y adaptación al crecimiento (24-98 días), crecimiento (98-237 días), engorde I (237-303 días de edad) y engorde II (303-352 días de edad).

La alimentación durante la fase de transición al no estar dentro del periodo experimental no se muestra en este manuscrito. Siguiendo una práctica habitual en el ecosistema de la dehesa, la cantidad de pienso suministrado se realizó en función de la edad y PV y definirá las 4 fases de crecimiento del patrón. Se programó de la siguiente forma: de los 90 a 98 días de edad "Pienso de Adaptación al Crecimiento" *ad libitum*; de los 98 a 168 días y de 168 a 237 días de edad "Pienso de Crecimiento" racionado al 2,5 y 2,0 % del PV, respectivamente; de los 237 a 303 días de edad el "Pienso de Engorde I" racionado al 2,0 % del PV; y, por último, de los 303 a 352 días de edad "Pienso de Engorde II" *ad libitum* (Figura 1).

Tabla 1. Ingredientes y composición de piensos del periodo experimental (90-352 días de edad).  
 Table 1. Ingredients and composition of diets of the experimental period (90-352 days of age).

	Fases de alimentación <sup>1</sup>			
	Adaptación al Crecimiento	Crecimiento	Engorde I	Engorde II
Ingredientes, g/kg				
Cebada	331,40	163,00	128,00	229,50
Trigo	320,00	299,90	290,10	289,90
Soja-44	142,00	167,50	117,00	93,00
Maíz	100,00	240,00	240,00	240,00
Salvado-cuartas	25,00	12,00	50,50	16,50
Manteca	18,00	20,00	–	–
Semilla girasol	–	–	58,00	58,00
Aceite girasol alto oleico	–	–	41,00	44,00
Harina colza	–	70,00	40,00	–
Concentrado proteína vegetal	30,00	–	–	–
Sepiolita	–	–	8,00	–
Carbonato Cálcico	11,45	9,50	10,10	10,25
Fosfato bicálcico	8,25	7,70	7,95	9,15
Sal	5,00	4,50	4,50	4,50
Refuerzo digestivo suplemento	2,00	–	–	–
Premix	4,00	4,00	4,00	4,00
Lisina suplemento	2,40	1,80	0,85	0,95
Treonina suplemento	0,35	0,10	–	–
Metionina suplemento	0,15	–	–	0,25
Composición calculada				
EM, kcal/kg	3162	3165	3298	3370
EN, kcal /kg	2357	2350	2520	2615
Lisina DIS, g/kg	7,70	7,60	5,80	4,80
Lisina DIS/EM, g/Mcal	2,43	2,39	1,76	1,42
Materia seca, g/kg	890,7	883,2	887,8	887,1
Proteína bruta, g/kg	160,0	160,0	139,9	120,0
Grasa bruta, g/kg	38,1	40,8	85,1	87,4
Coste				
Precio <sup>2</sup> , €/kg	0,287	0,239	0,273	0,270

<sup>1</sup> Fase adaptación al crecimiento (90-98 días de edad); Fase de crecimiento (98-237 días de edad); Fase de engorde I (237-303 días de edad); Fase de engorde II (303-352 días de edad).

<sup>2</sup> Precio de mercado de materias primas (Mercolleida, 2020). EM = Energía metabolizable; EN = Energía neta; LYS DIS = Lisina digestible ileal estandarizada.

### Parámetros productivos

En la Figura 1 se muestra un esquema del protocolo de recogida de los datos de parámetros productivos para ambos lotes experimentales. Por un lado, se monitorizaron las mediciones repetidas individuales en los cerdos a lo largo del tiempo: PV (kg) medido manualmente y espesor graso dorsal (EGD; mm) medido mediante una sonda lineal de ultrasonidos (IMV Imaging, Francia) en la posición P2 (última costilla, a 4-6 cm de la línea media dorsal) (McCann y Magowan, 2004), y se calculó la ganancia media diaria (GMD; kg/d) individual. Y, por otro lado, se monitorizó la medición del consumo medio diario de pienso por lote (CMD; kg/d), desde los 90 días (adaptación al crecimiento) de edad hasta el final.

### Análisis estadístico

Previamente al ajuste del patrón de crecimiento, la colección de datos observados a lo largo del periodo experimental se procesó estadísticamente para mejorar la precisión de las estimaciones. Los datos de rendimiento productivos recogidos de los dos lotes (mediciones de PV, GMD, EGD individuales y de CMD por lote) se procesaron estadísticamente con el software Excel (Microsoft, EE. UU.), XLSTAT versión 2016.02.28451 (Addinsoft, EE. UU.). En primer lugar, se eliminaron los datos atípicos (nivel de significación del 5 %) con la prueba de Grubbs y, posteriormente, se calculó su distribución muestral mediante un análisis de estadística descriptiva.

### Curva de crecimiento estimada

El patrón de crecimiento de los animales fue descrito mediante una curva multifase, debido a un marcado ritmo diferencial del crecimiento como respuesta a los cambios de consumo de pienso de cada fase del programa de alimentación, descrito anteriormente.

El ajuste matemático de la curva de crecimiento requirió de ecuaciones diferentes para cada fase: una ecuación para la primera fase, en condiciones de alimentación *ad libitum*, donde los animales expresan su ritmo de "crecimiento potencial", y una ecuación diferente para las fases posteriores en condiciones de alimentación restringida y compensatoria, donde los animales expresan un ritmo de crecimiento diferencial, de "crecimiento lento" y "compensatorio", con respecto al "potencial". En nuestro estudio, se hipotetizó el número de fases utilizadas para describir el patrón con el mejor ajuste posible en 4, que corresponden a los 4 niveles distintos de aporte de pienso del programa de alimentación.

### Determinación de la evolución del PV en el tiempo

La curva de crecimiento de la Fase 1, con alimentación *ad libitum*, ajustó un "crecimiento potencial" mediante la ecuación de Gompertz (1825) para calcular el  $PV_i$  en función de la edad:

$$PV_i = PV_m * e^{-e^{-k(EDAD_i - EDADPI)}} \quad \text{ecuación 1 (Fase 1)}$$

donde,  $PV_m$  (kg): PV a la madurez;  $k$ : precocidad;  $EDADPI$  (días): edad de máxima ganancia de peso.

La restricción alimentaria distorsiona el crecimiento y el consumo potencial, que se describe mediante la ecuación de Gompertz, por lo que, para las siguientes fases de crecimiento y consumo diferencial, se ajustaron las curvas de "crecimiento lento" (fases 2 y 3) y de "crecimiento compensatorio" (fase 4) utilizando las ecuaciones desarrolladas por Francisco Gil Rueda para calcular el  $PV_i$  basado en el peso corporal del día anterior ( $PV_{i-1}$ ),  $GMD_i$  potencial en función de  $PV_{i-1}$ , y los parámetros de la tasa de crecimiento diario diferencial por el régimen de alimentación:

$$PV_i = PV_{i-1} + GMD_i * (1 + F2) \quad \text{ecuación 2 (Fase 2)}$$

$$PV_i = PV_{i-1} + GMD_i * (1 + F3) \quad \text{ecuación 3 (Fase 3)}$$

$$PV_i = PV_{i-1} + GMD_i * (1 + F4) \quad \text{ecuación 4 (Fase 4)}$$

donde,  $GMD_i$  es la ganancia media diaria potencial y se calcula como la derivada de la ecuación de Gompertz (Martínez et al., 2010):

$$GMD_i = -k * PV_{i-1} * LN \frac{PV_{i-1}}{PV_m} \quad \text{ecuación 5}$$

F2 y F3 son los parámetros de la caída de tasa de "crecimiento potencial" en las fases de alimentación restringida, 1 y 2, respectivamente; y F4 es el parámetro del incremento de la tasa de "crecimiento potencial", en la fase de "crecimiento compensatorio".

Las ecuaciones de crecimiento utilizadas se parametrizaron para describir su patrón en el tipo de animales del estudio mediante optimización con Solver en Excel (Microsoft, USA) para alcanzar un mínimo de la suma de diferencia de cuadrados entre los valores de  $PV_i$  predichos y los valores medios observados.

### Curva de consumo de pienso estimada

Una vez calculada la curva de crecimiento, la de consumo se estimó para las fases de alimentación *ad libitum* (1 y 4) mediante el cálculo del consumo de energía metabolizable diario ( $EM_i$ ; kcal/d), dividido por la concentración de EM (kcal/kg) de cada pienso. La  $EM_i$  se calculó con la siguiente ecuación, basada en la de Bridges et al. (1986) y descrita en el NRC (2012):

$$EM_i = a * \left\{ 1 - e^{-e^{(-b) * PV_i^c}} \right\} \quad \text{ecuación 6}$$

que se parametrizó para el patrón de crecimiento de este tipo de animales del estudio mediante optimización no lineal con Solver en Excel (Microsoft, USA) para alcanzar un

mínimo de IC. A continuación, se calculó para las fases de alimentación restringida (2 y 3), como un porcentaje en cada fase del  $PV_i$ . Este porcentaje se estimó junto con el contenido de EM de los piensos de cada fase para el patrón de crecimiento de estos animales, para conseguir el mínimo coste de pienso por kg repuesto de PV (optimización lineal realizada con el programa de ajuste descrito anteriormente).

## Resultados

### Parámetros productivos observados

Para cada uno de los dos lotes experimentales, se recogieron repetidamente a lo largo del tiempo los datos de rendimiento productivo de los cerdos (mediciones individuales de PV, GMD y EGD; y mediciones por lote del CMD). Los valores medios y desviaciones estándar de las mediciones realizadas aparecen en la Tabla 2.

### Parámetros de las ecuaciones

El resultado de los parámetros de las ecuaciones que describen el patrón de crecimiento (curva de crecimiento, curva de consumo y concentración de energía del pienso), mediante ajuste matemático a partir de los datos observados aparece en la Tabla 3. El patrón de crecimiento, eje de todo el patrón, obtuvo un nivel de ajuste por el mínimo de la suma de diferencia de cuadrados (suma  $Dif^2$ ) entre los valores observados y estimados del PV, de 1.121,80 y una precisión explicativa de la variable del patrón ( $R^2$ ), de 98,5 %.

### Parámetros productivos estimados

A partir de los PV observados de los lotes A y B y el primer ajuste de los parámetros de las ecuaciones de crecimiento, el patrón ob-

Tabla 2. Media y desviación standard (DS) del peso vivo (PV), ganancia media diaria (GMD), consumo medio diario (CMD) y espesor graso dorsal (EGD) observados.

Table 2. Mean and standard deviation (SD) live weight (PV), average daily gain (GMD), average feed intake (CMD) and back fat thickness (EGD) observed.

Fase	Edad, d	PV, kg	GMD <sup>1</sup> , kg/d	CMD <sup>2</sup> , kg/d	EGD, mm
1	24	5,81 (1,18)	NA	NA	NA
	90	NA	NA	NA	NA
	98	30,97 (5,53)	0,339 (0,075)	0,55 (0,42)	NA
2	131	43,70 (8,88)	0,389 (0,145)	1,46 (0,33)	NA
	168	54,03 (9,15)	0,280 (0,108)	1,78 (0,66)	12,85 (4,02)
3	200	66,29 (8,87)	0,384 (0,143)	1,36 (0,12)	16,20 (3,77)
	237	79,89 (10,94)	0,367 (0,167)	1,58 (0,07)	19,74 (4,98)
	278	99,03 (13,41)	0,459 (0,129)	2,22 (0,24)	26,70 (6,60)
	303	118,38 (13,36)	0,790 (0,389)	2,79 (0,40)	34,02 (6,04)
4	338	155,57 (17,14)	1,039 (0,245)	3,66 (0,65)	NA
	352	166,78 (17,69)	0,849 (0,396)	5,20 (1,21)	52,92 (8,42)

NA: datos no disponibles. <sup>1</sup> GMD calculada entre edades consecutivas con dato de PV observados disponible. <sup>2</sup> CMD calculada entre edades consecutivas.

tenido estimó la evolución ajustada de valores de PV en función del tiempo y el nivel de ración de pienso (Tabla 4), describiendo una curva multifase a lo largo del crecimiento (Figura 2). Del mismo modo, se describió la curva ajustada de GMD, también multifase, y la evolución de la GMD en función del PV (Figura 3). Los cambios de fases se distinguieron entre sí por los marcados cambios en la GMD. Además, en un segundo y tercer ajuste, se estimó la evolución del CMD de pienso y su IC, a lo largo del tiempo durante el crecimiento (Tabla 4), que describieron también una marcada curva multifase (Figura 4). Se observó, que el nivel de consumo de pienso dirigía la GMD en cada momento: Fase 1, crecimiento en transición *ad libitum*, con acceso *ad libitum* al pienso hasta la edad de 105 días y

37,6 kg de PV, cubriendo las necesidades nutricionales para expresar el ritmo de crecimiento potencial; Fase 2, crecimiento 2,5 %, los animales consumieron una ración de pienso calculada en un 2,5 % de su PV (kg) hasta los 161 días y 53,1 kg de PV; Fase 3, crecimiento 2 %, los animales consumieron una ración de pienso calculada en un 2 % de su PV (kg) hasta los 308 días y 114 kg de PV. La estrategia de alimentación restringida provocó un ritmo de "crecimiento lento" para evitar un excesivo engrasamiento precoz. Fase 4, "crecimiento compensatorio" *ad libitum* hasta los 365 días de edad y 176,5 kg de PV, donde la ingesta de pienso cubre el 100 % de las necesidades nutricionales para expresar un ritmo de "crecimiento compensatorio" primero y "potencial" después.



Tabla 3. Parámetros de las ecuaciones y productivos del patrón.  
 Table 3. Equations and productive parameters of the pattern.

Parámetros de las ecuaciones	
Peso vivo a la madurez ( $PV_m$ ), kg	218,0
Precocidad ( $\kappa$ )	0,00977
Edad a la máxima ganancia ( $EDADPI$ ), d	162,4931
Caída de tasa de crecimiento:	
Fase 2 (F2), %	-60
Fase 3 (F3), %	-46
Incremento de tasa de crecimiento:	
Fase 4 (F4), %	100
Consumo, EM (kcal/kg):	
a	119229,75
b	6,76
c	1,01
Cantidad de pienso aportada (ración):	
Fase 2, % de $PV_i$	2,47
Fase 3, % de $PV_i$	2,00
Energía del pienso calculada, EM (kcal/kg):	
Pienso de crecimiento	3,165
Pienso de engorde I	3,308
Pienso de engorde II	3,381
Parámetros productivos	
Ganancia de peso total, kg	160,97
Consumo de pienso total, kg	692,18
Índice de conversión	4,30

$PV_m$  = peso vivo a la madurez;  $\kappa$  = precocidad;  $EDADPI$  = edad a la máxima ganancia; F2 y F3, tasa de caída del crecimiento (crecimiento lento); F4, tasa de incremento del crecimiento (crecimiento compensatorio). EM: Energía metabolizable.

Tabla 4. Evolución del peso vivo (PV), la ganancia media diaria (GMD), el consumo medio diario (CMD), e el índice de conversión (IC) estimados en el tiempo.

Table 4. Predicted evolution of live weight (PV), average daily gain (GMD), average feed intake (CMD) and feed conversion rate (IC) over time.

Fase	Edad, d	PV, kg Estimado	GMD, g/d Estimada	CMD <sup>1</sup> , kg/d Estimado	IC Estimado	PIENSO <sup>2</sup>	MANEJO PIENSO <sup>3</sup>
1	70	18,4	438,6	0,780	1,78	ADAPTA.	AD. LIB
	85	25,8	531,7	1,088	2,05	ADAPTA.	AD. LIB
	100	34,4	615,8	1,510	2,45	ADAPTA.	AD. LIB
	105	37,6	640,8	1,646	2,57	ADAPTA.	AD. LIB
2	106	37,8	258,3	0,936	3,63	CRECTO.	2,47 % PV
	120	41,5	268,5	1,028	3,83	CRECTO.	2,47 % PV
	135	45,6	278,4	1,129	4,06	CRECTO.	2,47 % PV
	150	49,9	287,1	1,234	4,30	CRECTO.	2,47 % PV
	161	53,1	292,6	1,313	4,49	CRECTO.	2,47 % PV
3	162	53,5	397,3	1,067	2,69	CRECTO.	2,00 % PV
	175	58,7	407,4	1,172	2,88	CRECTO.	2,00 % PV
	190	64,9	416,2	1,295	3,11	CRECTO.	2,00 % PV
	205	71,2	421,8	1,421	3,37	CRECTO.	2,00 % PV
	220	77,5	424,6	1,548	3,65	CRECTO.	2,00 % PV
	235	83,9	424,6	1,675	3,95	CRECTO.	2,00 % PV
	250	90,3	421,9	1,802	4,27	CRECTO.	2,00 % PV
	251	90,7	421,7	1,810	4,29	ENGOR.I	2,00 % PV
	265	96,6	417,0	1,927	4,62	ENGOR.I	2,00 % PV
	280	102,8	410,0	2,051	5,00	ENGOR.I	2,00 % PV
	295	108,8	401,2	2,172	5,41	ENGOR.I	2,00 % PV
	296	109,2	400,6	2,180	5,44	ENGOR.I	2,00 % PV
308	114,0	392,3	2,275	5,80	ENGOR.I	2,00 % PV	
4	309	115,4	1444,6	4,646	3,22	ENGOR.II	AD. LIB
	325	137,0	1256,7	5,451	4,34	ENGOR.II	AD. LIB
	340	154,3	1056,1	6,080	5,76	ENGOR.II	AD. LIB
	355	168,5	860,3	6,590	7,66	ENGOR.II	AD. LIB
	365	176,5	740,4	6,871	9,28	ENGOR.II	AD. LIB

<sup>1</sup> Consumo de pienso *ad libitum* estimado mediante la ecuación:  $EM_i \text{ (kcal/día)} = 119229,75 \times [1 - EXP(-EXP(-6,76) \times PV_i^{1,01})]$  y dividido por la concentración de EM (kcal/kg) del pienso. <sup>2</sup> ADAPTA.: Pienso adaptación al crecimiento; CRECTO.: Pienso de crecimiento; ENGOR.I: Pienso de engorde I; ENGOR.II: Pienso de engorde II; <sup>3</sup> AD LIB: *Ad libitum*. PV: Peso vivo.

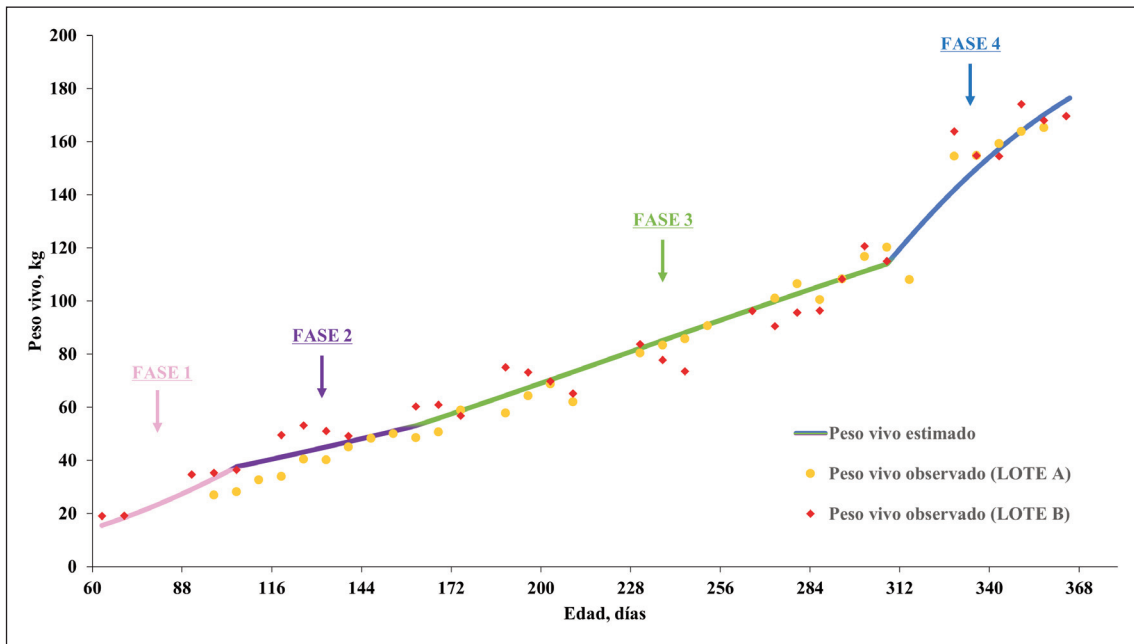


Figura 2. Curva de crecimiento observada versus estimada.  
 Figure 2. Observed and predicted growth curves.

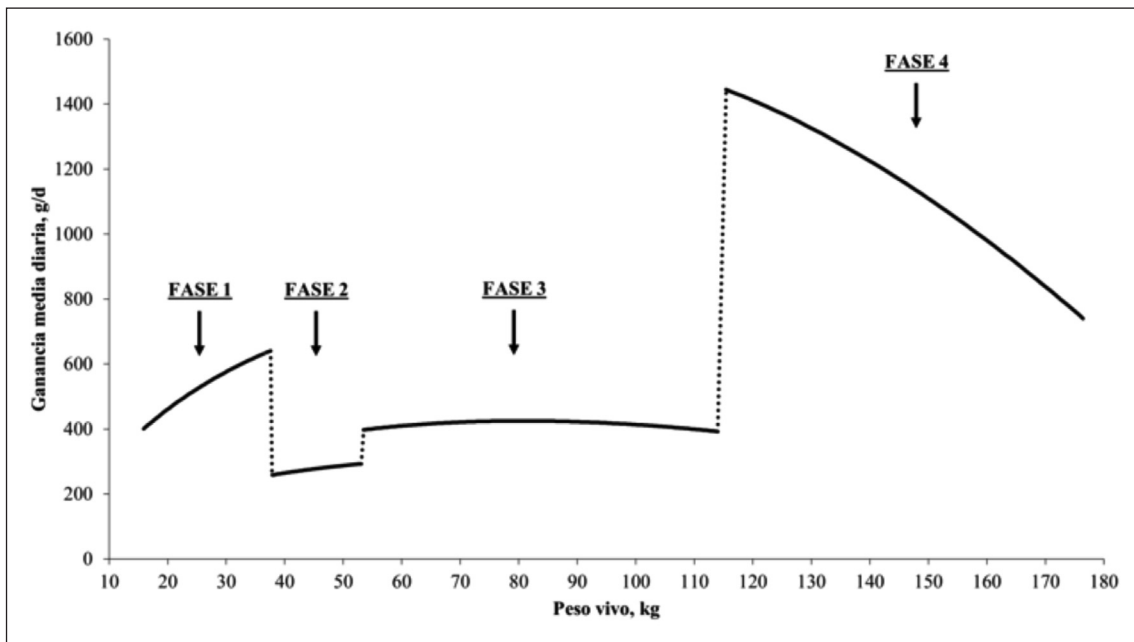


Figura 3. Curva de la ganancia de peso media diaria estimada.  
 Figure 3. Average daily gain predicted curve.

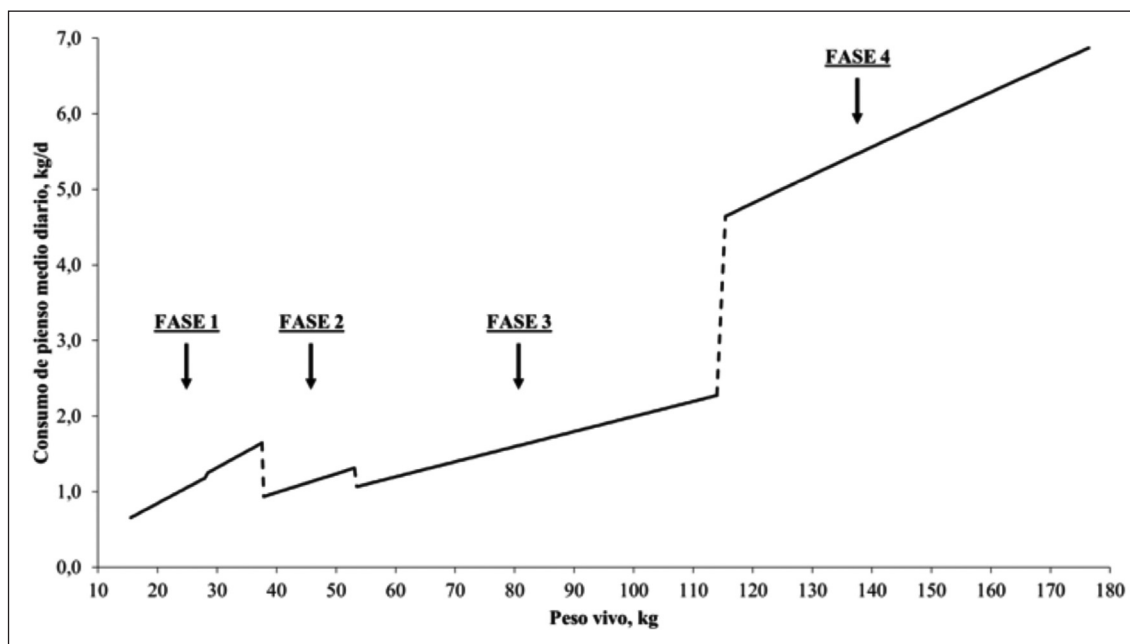


Figura 4. Curva del consumo de pienso medio diario estimado.

Figure 4. Average daily feed intake predicted curve.

### Costes de producción

A partir de los parámetros productivos observados de cada lote experimental, el patrón optimizó la curva de consumo de pienso en condiciones *ad libitum* (Fases 1 y 4) y restringidas (Fases 2 y 3) para un óptimo IC y coste del pienso por kg de PV producido durante el crecimiento-engorde. Estos resultados se detallan en la (Tabla 5).

### Discusión

Los resultados productivos de crecimiento obtenidos en nuestro estudio difieren de los publicados por Usero *et al.* (2016), las diferencias pueden ser debidas a que los sistemas de producción utilizados son diferentes. En este sentido, Usero *et al.* (2016) desarrolló un patrón

de crecimiento en cerdo ibérico (50 % Duroc) criado en condiciones intensivas, mientras que en el presente ensayo las condiciones de producción fueron en extensivo en la dehesa para un ciclo largo de animales mayores de 10 meses de edad. Por otro lado, en este estudio los cerdos alcanzaron valores de  $30,97 \pm 5,53$  kg de PV;  $54,03 \pm 9,15$  kg de PV y  $118,38 \pm 13,36$  kg de PV a los 98, 168 y 303 días de edad, respectivamente, mientras que en el estudio de Usero *et al.* (2016), alcanzaron valores de  $44,86 \pm 4,57$  kg de PV;  $95,84 \pm 9,08$  kg de PV y  $147,60 \pm 13,48$  kg de PV a los 100, 163 y 226 días de edad, respectivamente. En cuanto a los resultados de engrasamiento, es importante señalar que se observó a los 168 y 303 días de edad, valores de  $12,85 \pm 4,02$  mm de EGD y  $34,02 \pm 6,04$  mm de EGD, respectivamente, mientras que Usero *et al.* (2016), midiendo con el mismo procedimiento, registró

Tabla 5. Estimación económica de la alimentación realizada por el ajuste del patrón.  
 Table 5. Economic estimation for feeding by pattern adjustment.

	Observado		Estimado
	Lote A	Lote B	Patrón
<b>Consumo de pienso (kg)</b>			
Pienso de adaptación <sup>1</sup>	6,74	2,00	10,73
Pienso de crecimiento	220,62	210,24	178,09
Pienso de engorde I	159,92	161,52	129,56
Pienso de engorde II	265,65	357,28	349,38
<b>Total</b>	<b>652,93</b>	<b>731,04</b>	<b>667,76</b>
<b>Coste (€)</b>			
Pienso de adaptación <sup>1</sup>	1,89	0,56	3,01
Pienso de crecimiento	52,70	50,22	42,54
Pienso de engorde I	41,61	42,02	33,71
Pienso de engorde II	68,25	91,79	89,76
<b>Total</b>	<b>164,44</b>	<b>184,59</b>	<b>169,01</b>
<b>Coste de alimentación (€/kg carne)</b>			
Pienso de adaptación <sup>1</sup>	0,46	0,85	0,73
Pienso de crecimiento	0,98	1,23	0,83
Pienso de engorde I	1,17	0,97	1,24
Pienso de engorde II	1,28	1,82	1,39
<b>Total</b>	<b>1,12</b>	<b>1,37</b>	<b>1,15</b>

<sup>1</sup> Pienso de adaptación al crecimiento suministrado durante 8 días.

a los 163 y 205 días de edad, valores de 21,54 ± 4,42 mm de EGD y 32,53 ± 5,95 mm de EGD, respectivamente.

En general, los resultados de crecimiento obtenidos en la fase con alimentación restringida de este estudio concuerdan con una serie de estudios que indican que la restricción de la alimentación es proporcional al nivel de restricción (Daza *et al.*, 2008). Estos autores observaron que en cerdos large white x landrace de entre 33 kg y 62 kg, que la reduc-

ción en el suministro de pienso del 25 % o del 46 % (con respecto a un grupo control alimentado *ad libitum*) producía una caída del 25 % y del 46 % en la GMD, respectivamente. Excepto en la fase 2, en la cual los animales de este estudio se encontraban en condiciones de invierno con acceso al exterior, y que provocaron una mayor caída en la velocidad de crecimiento. Este periodo coincide entre el final del invierno y el inicio de la primavera, donde las temperaturas medias alcanzan va-

lores inferiores a la temperatura termoneutra del animal, y de acuerdo con Daza et al. (2008) que observó que animales en restricción alimentaria y expuestos a temperaturas medias de 13 °C, sufrieron una reducción en la velocidad de crecimiento fue del 52 %. Además, en esta línea, Daza (1988) y Whittemore (1993) demostraron que por debajo de la temperatura crítica (alrededor de 20 °C para los cerdos en fase de crecimiento), los cerdos con dietas restringidas redujeron su potencial de crecimiento con respecto a los cerdos alimentados *ad libitum*; y se observó una mayor actividad física en los animales para adaptarse a la nueva situación de búsqueda y competencia por el alimento con el resto del grupo. En nuestro estudio, el promedio de GMD en el tiempo de la fase productiva completa fue por debajo de 400 g/d de media; cuando los animales tenían 200 días de vida, alcanzaron un valor de GMD de 384 g/d, en contraste con los 676 g/d y 643 g/d a los 183 días de vida, observados por Serrano et al. (2008), en cerdos ibéricos (50 % Duroc) de Cebo intensivo, utilizando Duroc danés y Duroc español como verraco terminal, respectivamente. En cuanto a los resultados productivos de la fase de "crecimiento compensatorio *ad libitum*", los cerdos alcanzaron 166,78 ± 17,69 kg de PV, 0,849 ± 0,396 kg/d de GMD y 52,92 ± 8,42 mm de EGD a los 352 días de vida. De acuerdo con Campbell y Dunkin (1983), los cerdos con restricciones tienen un mayor rendimiento digestivo que los alimentados *ad libitum*, como consecuencia de una reducción de los gastos de mantenimiento, lo que explica en parte el efecto de su mayor eficiencia en el uso del pienso. Además, este efecto se prolonga durante 2-3 semanas si el periodo de restricción va seguido de una alimentación *ad libitum*. El consumo y el ritmo de crecimiento aumentan en esta fase, coincidiendo con trabajos publicados anteriormente que observaban que la restricción en la alimentación durante el periodo de crecimiento de los cerdos su-

ponía un mayor consumo y crecimiento diario durante el periodo de engorde (Lovatto et al., 2000; Daza et al., 2008), observaron que durante el último periodo de engorde de cerdos ibéricos (50 % Duroc) de Cebo, la ganancia de peso fue más de un 20 % superior en los cerdos que habían estado restringidos en su fase de crecimiento. Durante la fase de realimentación, el crecimiento compensatorio se prolongó durante 6 semanas de acuerdo con (Daza et al., 2008), momento que alcanzan los 160 kg de PV de sacrificio. En estudios previos, se observó que el efecto del crecimiento compensatorio puede aparecer de forma más marcada por efecto del "fenotipo ahorrador", característico de la raza ibérica y se describe como una estrategia diseñada para aumentar el crecimiento de peso y la deposición de grasa tras una restricción energética (Pugliese et al., 2005; Daza et al., 2008; Ayuso, 2016).

El patrón de "crecimiento lento" obtenido en este estudio, descrito por una curva multifase, utilizando una ecuación matemática para el ajuste de cada una de ellas, difiere del calculado por Usero et al. (2016), un patrón de crecimiento potencial, descrito por una curva ajustada por una sola ecuación paramétrica. De acuerdo con esto, los parámetros de la ecuación de Gompertz (1825) obtenidos difieren también entre ambos estudios (Tabla 6). El patrón de crecimiento desarrollado en este estudio requirió del cálculo de parámetros y ecuaciones adicionales, al de un patrón de crecimiento convencional, sin limitaciones nutricionales. Un modelo necesita de tantas ecuaciones y parámetros que permitan un apropiado ajuste de los datos observados en cualquier ambiente y evitar desviaciones en las estimaciones de parámetros potenciales (Knap et al., 2003). La metodología desarrollada en este estudio permite modificar las condiciones del programa de cría (dietas y fases de ritmo de crecimiento), así como optimizar la curva de consumo *ad libitum* para obtener el IC mínimo, y finalmente calcular la

Tabla 6. Diferencias de parámetros en diferentes patrones de crecimiento en cerdo ibérico (50 % Duroc).  
 Table 6. Parameter differences of different Iberian (crossbreed 50 % Duroc) growth model.

Patrón	PV <sub>mr</sub> kg	EDADPI, d	k	Tipo de ibérico	Tipo de Duroc	Alojamiento	Alimentación
Crecimiento potencial <sup>1</sup>	236,2	148,00	0,01000	Retinto	Comercial	Intensivo	Ad libitum
Crecimiento lento	218,0	162,49	0,00977	Retinto	Local	Semiextensivo	Restringida

PV<sub>m</sub>: Peso vivo a la madurez; k: Precocidad; EDADPI: Edad a la máxima ganancia de peso.

<sup>1</sup>Usero et al. (2016).

cantidad y concentración energética del pienso suministrado, optimizando el coste por kg de carne producida.

El patrón optimizó la fase de crecimiento-engorde para un mínimo coste de alimentación. En el caso de los cerdos comerciales, el valor de la canal viene determinado por su contenido en carne magra y por su peso; en este sentido, para un ajuste económico óptimo, los patrones y modelos se orientan para maximizar la tasa de crecimiento y deposición de magro. En cambio, el valor de la canal del cerdo Ibérico se determina por su clasificación dentro de la norma de calidad (BOE, 2014) y su cotización en lonjas específicas como la de Extremadura (Lonja de Extremadura, 2020). En este sentido, los patrones se ajustan para optimizar económicamente la producción de carne de un cerdo graso, de crecimiento lento y ciclo largo, en función de su clasificación y grado de calidad que cotiza a diferentes precios de mercado. A termino de este estudio, en diciembre de 2019: a) la cotización de mercado del cerdo cebado a matadero, fueron de 1,49 €/kg PV para razas comercial (Mercolleida, 2020), y de 1,98 €/kg PV y 2,28 €/kg PV para cerdos ibérico (50 % Duroc) en sistema "Cebo" y "Cebo de Campo", respectivamente (Lonja de Extremadura, 2020); b) el coste del pienso era de 0,784 €/kg para cerdos de cebo comercial y 1,060 €/kg para cerdos ibéricos (50 % Duroc) de "Cebo"; c) y el precio de los jamones frescos fue de 5,08 €/kg y de 5,855 €/kg para cerdos ibérico (50 % Duroc) en sistema "Cebo" y "Cebo de Campo", respectivamente (Lonja de Extremadura, 2020). La media de peso de los jamones de los animales del estudio fue de 14,28 kg por unidad y 171,15 kg de PV medio al sacrificio. De acuerdo con los precios de mercado, el coste de alimentación en la fase de crecimiento-engorde calculado por el patrón fue de 169,01 €/animal (este coste no incluye el coste de alimentación entre los 24 y los 90 días de edad), y el retorno sobre esta inversión por la venta de jamones fue de 167,21 €, cu-

briendo el 98,8 % del coste de alimentación en crecimiento-engorde. El patrón desarrollado en este estudio en condiciones de campo con dos lotes de animales en una producción comercial aporta el conocimiento de una nueva metodología de ajuste de patrones de "crecimiento lento" porcino. De aplicación práctica, en condiciones de producciones similares a las de este, para ajustar de manera eficiente en la alimentación y el manejo de producciones de cerdos pesado o la recría de futuras reproductoras. La limitación de los resultados de este estudio es no poder generalizarlos para diferentes explotaciones y sistemas de producción (genotipo, programa de alimentación, ciclo de producción, el medio ambiente, etc.), ya que se necesita más investigación para extrapolar generalizar las predicciones precisas a otros escenarios.

### Conclusiones

En las condiciones de este estudio, la metodología propuesta, nos permitió ajustar un patrón en cuatro fases de crecimiento y alimentación lenta en cerdo ibérico para la producción tradicional de carne de cerdo de alta calidad. Los resultados del patrón obtenido nos permiten diseñar un programa de alimentación, para casos con las mismas condiciones del estudio, con consecuencias positivas sobre la productividad. Y la metodología descrita, puede adaptarse para el ajuste de patrones de crecimiento y alimentación propios, de diferentes condiciones y sistemas de producción en porcino de crecimiento lento (recría de futuros reproductores).

### Agradecimientos

Los autores agradecen al equipo humano de la empresa Cárnicas Joselito S.A. el apoyo técnico y la disponibilidad de sus instalacio-

nes para la realización de este estudio. Este trabajo se desarrolló como parte del proyecto apoyado por el plan de financiación de Proyectos de Investigación y Desarrollo (PID) promovido por el Ministerio de Ciencia e Innovación del gobierno español a través del Centro para el Desarrollo Industrial (CDTI) llevado a cabo por la empresa CampoJerez, S.L: "Desarrollo de un nuevo programa de alimentación ajustado a los requerimientos nutricionales de la nueva línea genética de cerdo ibérico Templario™" (IDI-20170887).

### Referencias bibliográficas

- Andrés AI, Ruiz J, Tello ML, Mayoral AI (1998). Tipos de fibras musculares en el cerdo ibérico; influencia del sistema de explotación. *Solo Cerdo Ibérico* 1: 77-86.
- Ayuso M (2016). Efecto de la introducción de genética Duroc y de la restricción de vitamina A en la dieta sobre parámetros productivos, expresión génica y calidad de la carne en el cerdo ibérico. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España.
- Barea R, Nieto R, y Aguilera JF (2007). Effects of the dietary protein content and the feeding level on protein and energy metabolism in Iberian pigs growing from 50 to 100 kg body weight. *Animal* 1: 357-365. <https://doi.org/10.1017/S1751731107666099>.
- 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. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 34, de 8 de febrero de 2013, pp. 11370-11421.
- BOE (2014). Real Decreto 4/2014, de 10 de enero, por el que se aprueba la norma de calidad para la carne, el jamón, la paleta y la caña de lomo ibérico. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 10, de 11 de enero de 2014, pp. 1569-1589.
- Bridges TC, Turner LW, Smith EM, Stahly TS, Loefer OJ (1986). A mathematical procedure for



- estimating animal growth and body composition. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 29: 1342-1347. <https://doi.org/10.13031/2013.30320>
- Campbell RG, Dunkin AC (1983). The effects of energy intake and dietary protein on nitrogen retention, growth performance, body composition and some aspects of energy metabolism of baby pigs. *British Journal of Nutrition* 49: 221-230. <https://doi.org/10.1079/bjn19830029>
- Conde-Aguilera JA, Aguinaga MA, Aguilera JF, Nieto R (2011). Nutrient and energy retention in weaned Iberian piglets fed diets with different protein concentrations. *Journal of Animal Science* 89: 754-763. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3173>
- Daza A (1988). Alojamiento e instalaciones en ganado porcino. En: *Bases para el diseño de alojamientos e instalaciones ganaderas* (Ed. E. Sanz, C. Buxadé y I. Ovejero), pp. 115-171. Asociació d'Enginyers Agrònoms de Catalunya. Barcelona, España. 54 pp.
- Daza A, López-Bote C, Olivares A, Menoyo D, Ruiz J (2008). Influence of a severe reduction of the feeding level during the period immediately prior to free-range fattening on performance and fat quality in Iberian pigs. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 88: 449-454. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3106>.
- DOUE (2010). Directiva 2010/63/UE del parlamento europeo y del consejo de 22 de septiembre de 2010 relativa a la protección de los animales utilizados para fines científicos. *Diario Oficial de la Unión Europea*, núm. 276, de 20 de octubre de 2010, pp. 33-78.
- McCann MEE, Magowan E (2004). The evaluation of ultrasonic instruments used to measure the depth of back fat at P2 in live pigs. Report prepared for: UFU and PPDC Committees, AFBINI. Disponible en: [www.afbini.gov.uk](http://www.afbini.gov.uk).
- FEDNA (2013). Necesidades nutricionales para ganado porcino; Normas FEDNA. Fundación Española Desarrollo Nutrición Animal. Madrid, España. 110 pp.
- Gompertz B (1825). On the nature of the function expressive of human mortality, and on a new mode to determining the value of life contingencies. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 115: 513-585.
- Knap PW, Roehe R, Kolstad K, Pomar C, Luiting P (2003). Characterization of pig genotypes for growth modeling. *Journal of Animal Science* 81(E): 187-195. [https://doi.org/10.2527/2003.8114\\_suppl\\_2E187x](https://doi.org/10.2527/2003.8114_suppl_2E187x)
- Lange CF, Marty BJ, Birkett SH, Morel P, Szkotnicki B (2001). Application of pig growth models in commercial pork production. *Canadian Journal of Animal Science* 81: 1-8. <https://doi.org/10.4141/A00-006>
- Lonja de Extremadura (2020). Boletín informativo núm. 72 de enero de 2020. Consejería de Medio Ambiente y Rural de Extremadura. <https://lonjaextremadura.es/> (Cotización de cierre de lonja consultada: el lunes 30 de diciembre de 2019).
- López S, France J, Gerrits WJ, Dhanoa MS, Humphries DJ, Dijkstra J (2000). A generalized Michaelis-Menten equation for the analysis of growth. *Journal of Animal Science* 78: 1816-1828. <https://doi.org/10.2527/2000.7871816x>.
- Lovatto PA, Sauvant D, Van Milgen J (2000). Étude et modélisation du phénomène de croissance compensatrice chez le porc. *Journées de la Recherche Porcine en France* 32: 241-246.
- Martínez CA, Rodríguez AP, Jiménez A, Manrique C (2010). Descripción matemática de la función de Gompertz aplicada al crecimiento de animales. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia* 57: 76-80.
- Mercolleida (2020). Llotja Agropecuària Mercolleida, SA. <https://www.mercolleida.com/> (Cotización de cierre de lonja consultada: el jueves 2 de enero de 2020).
- Nieto R, Lara L, Barea R, García-Valverde R, Aguinaga MA, Conde-Aguilera JA, Aguilera JF (2012). Response analysis of the Iberian pig growing from birth to 150 kg body weight to changes in protein and energy supply. *Journal of Animal Science* 90: 3809-3820. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-5027>.
- NRC (2012). *Nutrient Requirements of Swine*. 11th Ed. Acad. Press, Washington, DC. 420 pp. <https://doi.org/10.17226/13298>.

- Pugliese C, Bozzi R, Campodini G, Acciaioli A, Franci O, Gandini G (2005). Performance of Cinta Senese pigs reared outdoors and indoors. 1. Meat and subcutaneous fat characteristics. *Meat Science* 69: 459-464. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.09.001>
- Quiniou N, Noblet J (1995). Prediction of tissular body composition from protein and lipid deposition in growing pigs. *Journal of Animal Science* 73: 1567-1575. <https://doi.org/10.2527/1995.7361567x>
- Richards F (1959). A flexible growth function for empirical use. *Journal of Experimental Botany* 10(2): 290-300.
- Serrano MP, Valencia DG, Nieto M, Lazaro R, Mateos GG (2008). Influence of sex and terminal sire line on performance and carcass and meat quality of Iberian pigs reared under intensive production systems. *Meat Science* 78: 420-428. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.07.006>
- Usero G, Gil F, Galván M, Ferreres M, Muñoz A (2016). Modelización nutricional y parametrización zootécnica del ibérico de cebo en un cruce al 50% (♂ Duroc IMF Topigs Norsvin x ♀ Ibérica Retinto Vallehermoso). *Solo Cerdo ibérico* 36: 16-37.
- van Milgen J, Valancogne A, Dubois S, Dourmad JY, Sève B, Noblet J (2008). InraPorc: A model and decision support tool for the nutrition of growing pigs. *Animal Feed Science and Technology* 143: 387-405. <http://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.05.020>
- Whittemore CT (1993). *The Science and Practice of Pig Production*, 3rd. Ed. Blackwell Publishing Ltd, UK. 704 pp.

(Aceptado para publicación el 26 de mayo de 2023)