



Efecto del tamaño y sexo de los cerdos al inicio de la fase finalización en indicadores productivos al término de la engorda

Pablo Gómez-Montejo¹ , Marleni M. Montiel-Pérez , Antonio González Bulnes² ,
Elena Castillo-Cavero² , Jonathan E. Valerio-Hernández³ ,
Rufino López-Ordaz , Agustín Ruíz-Flores 

Universidad Autónoma Chapingo, México

Effect of the size and sex of the pigs at the beginning of the finishing phase on productive indicators at the end of fattening

Abstract. The effect of segregation by sex (S) and size at the start of the growing-finishing stage on traits at the end of the fattening and at slaughter was studied in commercial pigs, 121 Danbreed×Pietrain pigs were used, entire males and females. They were divided in fast (CR) and slow (CL) growing male and female groups (G). They were housed in 9 m² pens. The pigs received clean, fresh, and ad libitum food and water. The initial weight varied from 12.4±2.0 to 25.3±2.3 kg. The target weight was 115 kg. The fattening was divided into growth (0-60 d) and finishing phases (61-120 d). The response variables were initial (P1), intermediate (P2), and final weight (P3); total feed intake (CMD); daily weight gain between P1 and P2 (GDP1y2), P2 and P3 (GDP2y3), and P1 and P3 (GDP1y3); and feed conversion ratio (CA). The pigs that reached the target weight in 114 d were termed "first quality", the "second quality" in 122 d, the "underachievers" did not reach this weight in 122 d. The GLM procedure of SAS and statistical analysis with learning machines in R were used to analyze the productive variables and to determine the factors affecting the quality of the pigs at the end of fattening. The females exceeded ($P \leq 0.0263$) the males by 2.72 kg and 0.05 kg d⁻¹ for P2 and GDP1y2. The S×G interaction affected ($P \leq 0.0181$) P3, GDP1y3, and GDP2y3. Sex of pig and G were not the most important factors to classify quality at the end of fattening. Regrouping pigs by sex and size at the start of the growth-finishing phase significantly affected the category of quality and the productive performance at the end of fattening.

Key words: growth, finishing, productive performance.

Resumen. El objetivo fue estudiar el efecto de la segregación por sexo y tamaño al iniciar la fase de crecimiento-finalización en parámetros productivos al finalizar esta etapa y al sacrificio en cerdos comerciales. Se utilizaron 121 cerdos Danbreed×Pietrain; hembras y machos enteros, clasificados por sexo (S) y crecimiento (C) en: machos de crecimiento rápido (CR) y lento (CL) y hembras de crecimiento rápido y lento. Los cerdos se alojaron en corrales de 9 m². El agua y alimento fueron limpios, frescos y ad libitum. El peso inicial por grupo varió de 12.4±2.0 a 25.3±2.3 kg. El peso objetivo fue 115 kg. La engorda se dividió en crecimiento (0-60 d) y finalización (61-120 d). El peso vivo inicial (P1), intermedio (P2) y final (P3); consumo total de alimento (CMD); ganancia diaria de peso entre P1 y P2 (GDP1y2), P2 y P3 (GDP2y3), P1 y P3 (GDP1y3); y conversión alimenticia (CA) fueron las variables de respuesta. Los cerdos que llegaron al peso objetivo en 114 d se denominaron "primera calidad", los que llegaron en 122 d de segunda calidad y los que superaron 122 d "saldos". El procedimiento GLM de SAS y análisis estadístico con máquinas de aprendizaje en R se utilizaron para determinar las variables productivas y los factores que influyen la categoría de calidad de los cerdos al finalizar la engorda. Las hembras superaron ($P \leq 0.0263$) a los machos por 2.72 kg y 0.05 kg día⁻¹ para P2 y GDP1y2. La interacción S×C fue significativa ($P \leq 0.0181$) para P3, GDP1y3 y GDP2y3. El sexo y grupo de crecimiento no fueron

¹ Autor de correspondencia: gomezmontejopablo@gmail.com

² Cuarte S.L.

³ Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, México.

factores importantes para determinar la calidad al finalizar la engorda. Reagrupar los cerdos por sexo y tamaño o peso al iniciar la fase crecimiento-finalización afecta significativamente la categoría de calidad y el comportamiento productivo al finalizar la engorda.

Palabras clave: crecimiento, finalización, variables productivas.

Efeito do tamanho e sexo dos suínos no início da fase de terminação sobre os indicadores produtivos no final da engorda

Resumo. O objetivo foi estudar o efeito da segregação por sexo e tamanho no início da fase de terminação sobre parâmetros produtivos ao final desta fase e no abate em suínos comerciais. Foram utilizados 121 suínos Danbreed×Pietrain; fêmeas e machos inteiros, classificados por sexo (S) e crescimento (C) em: machos de crescimento rápido (CR) e de crescimento lento (CL) e fêmeas de crescimento rápido e lento. Os porcos foram alojados em baias de 9 m². A comida e a água eram limpas, frescas e ad libitum. O peso inicial por grupo variou de 12,4±2,0 a 25,3±2,3 kg. O peso-alvo era de 115 kg. A engorda foi dividida em crescimento (0-60 d) e terminação (61-120 d). O peso vivo inicial (P1), intermediário (P2) e final (P3); consumo total de ração (CMD); ganho de peso diário entre P1 e P2 (GDP1y2), P2 e P3 (GDP2y3), P1 e P3 (GDP1y3); e conversão alimentar (CA) foram as variáveis de resposta. Os suínos que atingiram o peso-alvo em 114 d foram chamados de “primeira qualidade”, os que chegaram em 122 d como segunda qualidade e os que ultrapassaram 122 d como “balanças”. O procedimento SAS GLM e análise estatística com máquinas de aprendizagem em R foram utilizados para determinar as variáveis produtivas e os fatores que influenciam a categoria de qualidade dos suínos no final da engorda. As fêmeas superaram ($P \leq 0,0263$) os machos em 2,72 kg e 0,05 kg dia⁻¹ para P2 e PIB1a2. A interação S×C foi significativa ($P \leq 0,0181$) para P3, PIB1y3 e GDP2y3. Sexo e grupo de crescimento não foram fatores importantes na determinação da qualidade ao final da engorda. O reagrupamento dos suínos por sexo e tamanho ou peso no início da fase de crescimento-terminação afeta significativamente a categoria de qualidade e o comportamento produtivo no final da engorda.

Palavras-chave: crescimento, completação, variáveis produtivas.

Introducción

El Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) estima una producción mundial de 109.9 millones ton de carne de cerdo en canal en 2022. Esta cantidad es 0.9% mayor que la de 2021 (FIRA, 2022). Dicha cifra es alentadora para los productores de cerdo debido a que indica que el mercado de la carne porcina se recupera de las consecuencias de la peste porcina africana que afectó los principales países productores de cerdo en el mundo. Mientras tanto, para México las estimaciones del USDA sitúan la producción de carne de cerdo en 1.5 millones ton en 2022. Este valor significaría un incremento anual de 3.7%, estableciendo un récord nacional (FIRA, 2022). Es importante implementar medidas que contribuyan a esta recuperación en la producción y ofrecer al mercado un producto de calidad.

España es un productor tradicional de cerdo entero de 95-100 kg de peso vivo, por las ventajas a nivel productivo de no castrar a los animales (índice de conversión), no se extreman precauciones en relación con el olor sexual, debido al bajo volumen de exportaciones comparado con países como Dinamarca (Medel y Fuentetaja, 2000). En el estudio de van Ferneij (2022) se informó que, en la Unión Europea, la castración (en vivo, bajo analgesia o anestesia o por inmunocastración) predomina con cerca de 31.5%

de los 258 millones de cerdos sacrificados en 2020. Este mismo autor señala que la producción de machos enteros se estima en 45 millones de cerdos, 17.0% del sacrificio de dicho año, además la inmunocastración representa aproximadamente 1.0% de los sacrificios de la UE, de esta manera las organizaciones o empresas han definido sus reglas según la valoración de los cerdos castrados o no, que influyen en el pago a los productores. En la empresa CUARTE, S. L. no se castran los machos para engorda, ya que no se ha detectado olor en las canales, los animales no son sujetos al estrés por castración, no se ven afectadas por las salidas de exportación y no se tiene impacto en el pago por animal al sacrificio. El peso de sacrificio de estos animales es más bajo y, por tanto, la edad de los cerdos es menor, reduciéndose así el riesgo potencial de carne con olor a las feromonas.

La variabilidad en el crecimiento de los cerdos tiene implicaciones para los productores debido a las pérdidas por clasificación en la comercialización y la reducción en la utilización de los corrales (Patience *et al.*, 2003). En los rastros europeos se paga más por cerdos de peso corporal uniforme al sacrificio que por los lotes de porcinos con mayor variabilidad, de esta manera, los cerdos de engorde con uniformidad mayor reciben un precio mejor en el

rastró (Hardge y McOrist, 2007). Ello se justifica por el hecho de que los cerdos con peso uniforme tienen costos de procesamiento menores (menos trabajo manual, más mecanización). A pesar de ello, los costos adicionales ocasionados por el trabajo suplementario de clasificación y los del transporte adicional se relacionan directamente con un aumento en la variación del peso corporal y deben considerarse en los cálculos económicos de la explotación porcina.

El objetivo del presente trabajo fue analizar a nivel comercial el efecto de la segregación de los cerdos por sexo y tamaño al inicio de la etapa crecimiento-finalización al término de la engorda, mediante la evaluación de los parámetros productivos (peso vivo final, consumo de alimento, ganancia diaria de peso, índice de conversión), sobre la calidad de los cerdos al finalizar la engorda mediante análisis predictivo para determinar la importancia de la segregación al inicio de la etapa crecimiento-finalización.

Materiales y Métodos

Ubicación del área del estudio

La empresa CUARTE, S. L., se ubica en Carretera de Logroño Km 9.2, 50120-Monzalbarba, Zaragoza, España. El grupo cuenta con 262 granjas entre propias e integradas, cada una especializada solo en una de las tres fases de producción; maternidad, destete-transición y engorda-finalización. El estudio se realizó de septiembre de 2021 a enero de 2022 en la granja de engorda-finalización "JALAEBRO 5", que cuenta con un sistema de ambiente controlado, que permite el máximo bienestar de los animales. En la región de Huesca, localidad de Castejón de Monegros, ubicada en 41°36 N y 0°09 O, el clima es mediterráneo, de matices continentales, 488 m de altitud, 540 mm de precipitación media anual, inviernos severos y veranos calurosos; la temperatura media anual varía entre 8.2° y 19°C (Ayuntamiento de Huesca, 2000).

Animales

Se utilizaron 121 cerdos Danbreed × Pietrain; machos enteros y hembras enteras registrados electrónicamente mediante aretes para facilitar el manejo e identificación, se dividieron en cuatro grupos clasificados por sexo, y dentro de este, seleccionados por su grupo de crecimiento en: pequeños con crecimiento lento (CL) y de mayor tamaño con crecimiento rápido (CR), formándose así cuatro grupos: machos CR, machos CL, hembras CR y hembras CL con 30 lechones por cada grupo, excepto en el grupo de machos CR donde fueron 31 lechones. El peso inicial por grupo fue 25.3±2.3, 12.4±2.0, 24.6±2.4 y 13.9±1.6 kg, respectivamente. El peso vivo final objetivo fue 115 kg. Los cerdos se alojaron en corrales de 9 m² con 15 cerdos cada uno, 0.6 cerdos/m². La engorda se dividió en dos fases; crecimiento (0 a 60 d) y finalización (61 a 120 d). Los cerdos recibieron agua limpia, fresca, así como alimento ad libitum con base en una dieta integral elaborada dentro de la empresa; constituida principalmente por maíz, pasta de soja, premezcla de vitaminas y minerales y AA sintéticos. El análisis químico proximal se presenta en

el Cuadro 1, se cubren las necesidades de mantenimiento y producción de su respectivo estado fisiológico; denominados pre-cebo (0 a 60 d) y cebo (61 d al final de la engorda).

Cuadro 1. Composición química proximal de las dietas experimentales, en base seca.

Composición ¹	Dietas	
	Pre-cebo	Cebo
Humedad, %	12.47	12.21
EM, Kcal/kg	3,342	3,342
Proteína, %	15.50	14.70
Grasa, %	3.45	3.57
Fibra, %	3.08	3.12
Almidón, %	47.30	48.96
Met+Cis, %	0.63	0.59
Lisina, %	1.10	1.02
Treonina, %	0.72	0.66
Triptófano, %	0.21	0.19
Lis dig, %	1.02	0.94
Calcio, %	0.63	0.63
Fósforo, %	0.41	0.39
P dig, %	0.29	0.28
P dig st., %	0.27	0.26

¹EM, energía metabolizable; Met+Cis, metionina+cistina; Lis dig, lisina digestible ileal estandarizada; P dig, fósforo digestible; P dig st., fósforo digestible estandarizado.

Registro de pesos y de consumo

Los animales se pesaron al inicio, 0 d (P1); mitad, 60 d (P2) y al final de la engorda, 120 d (P3), con un equipo automatizado para medir consumo y peso vivo (Nedap Prosense®, TM, Países bajos). Este equipo cuenta con un dispositivo electromagnético para identificar el arete de cada cerdo, un comedero con báscula. La báscula de pesaje registra de forma precisa y consistente los indicadores del rendimiento, incluyendo pesos individuales y consumo de alimento, para integrar los datos a la curva de producción individual e identificar los animales perdidos por bajas, por pérdida de arete o por algún error en el software del equipo.

El consumo diario de alimento se obtuvo mediante la diferencia entre el ofrecido y el rechazado medido con el equipo Nedap ProSense®. Dicho equipo registra individualmente cuando los animales se acercan a éste para consumir el alimento. Este consumo se integró al software para que la información recogida estuviera inmediatamente para procesarla.

Ganancia diaria de peso

Con base en los registros de P1, P2 y P3, y el periodo comprendido en días entre las mediciones, se obtuvo la ganancia diaria de peso (GDP) mediante la ecuación:

$$GDP = (PVf - PVi) / d$$

donde:

PVf = peso vivo al final de la etapa,

PVi = peso vivo al inicio de la etapa, y

d = días del periodo de engorda

Con esta ecuación se obtuvieron las ganancias diarias de peso entre el primer y segundo (GDP1y2), entre primero y el último (GDP1y3) y entre el segundo y el último pesaje (GDP2y3) para su posterior análisis.

Los primeros cerdos en llegar al peso objetivo con un periodo de engorda de 114 d se denominaron como “primera calidad”, posteriormente los de “segunda calidad” con 122 d y por ultimo los “saldos”, aquellos cerdos que no llegaron al peso objetivo, pero se fueron al matadero con 122 d.

Análisis estadístico

Análisis estadístico con paquete SAS

El análisis estadístico de la información se realizó con el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS versión 9.4 (System® Software, SAS Inst. Inc., Cary, NC; SAS, 2021). Para el análisis de P2, GDP1y2 y GDP1y3 el modelo incluyó la covariable P1. Mientras que los modelos para el análisis de P3 y GDP2y3 incluyeron P2 como covariable. El modelo estadístico utilizado para analizar las variables de respuesta fue:

$$y_{ijk} = \mu + G_i + S_j + GS_{ij} + \beta(\pi_i) + e_{ijk}$$

donde:

y_{ijk} = variables de respuesta P2, P3, GDP1y2, GDP1y3 y GDP2y3,

μ = media poblacional,

G_i = efecto fijo del i -ésimo grupo de crecimiento al inicio de la fase experimental, $i = 1$ CR y 2 CL,

S_j = efecto fijo del j -ésimo sexo del animal, $j = 1$ (macho) y 2 (hembra),

GS_{ij} = efecto fijo de la interacción entre el i -ésimo grupo de crecimiento al inicio de la fase experimental y j -ésimo sexo del animal, $\beta(\pi_i)$ = efecto lineal de la covariable peso al inicio de la fase experimental correspondiente, dependiendo de la variable de respuesta bajo análisis, y e_{ijk} = efecto del error aleatorio asociado con la k -ésima medición de la variable de respuesta medida en el i -ésimo grupo de crecimiento y j -ésimo sexo del animal, se asumió e_{ijk} con distribución idéntica e independiente siguiendo una distribución normal con $(0, \sigma^2)$.

Los efectos se declararon significativos con $\alpha=0.05$; sin embargo, en el Cuadro 2 se indican los niveles de significancia resultantes del análisis para que el lector los utilice a su criterio.

Análisis estadístico con máquinas de aprendizaje en R

Adicionalmente, se usó el programa R (R Core Team, 2017) para obtener el diagrama para clasificar los cerdos al final de la engorda con el algoritmo CART (Classification and Regression Trees) o árboles de decisión. Este algoritmo decide automáticamente las variables y criterios para generar la mejor clasificación posible. Para elegir al mejor árbol se censuró aleatoriamente 30% de la base de datos en repetidas ocasiones, luego se eligió el árbol de decisión con la mayor exactitud de clasificación. Las ventajas de esta metodología es su fácil interpretación aun cuando las relaciones entre predictores (variables) sean complejas, son muy útiles en la exploración de datos, permiten identificar de forma rápida y eficiente los predictores más importantes de forma automática, y pueden aplicarse a problemas de regresión y clasificación. Sus desventajas son la capacidad predictiva de los modelos basados en un único árbol es bastante inferior a la conseguida con otros modelos, y no son capaces de extrapolar fuera del rango de los predictores observados en los datos de entrenamiento.

También se utilizó el algoritmo RF (Random Forest) o bosques aleatorios en el cual se censuró recursiva y aleatoriamente 30% de la base de datos para entrenar 600 modelos de clasificación con la finalidad de determinar las variables más utilizadas en todos los modelos de clasificación. Este conjunto de árboles de decisión individuales se entrena secuencialmente, de forma que cada nuevo árbol trata de mejorar los errores de los anteriores. La predicción de una nueva observación se obtiene agregando las predicciones de todos los árboles individuales que forman el modelo.

Resultados y Discusión

Crecimiento, consumo y conversión alimenticia

El Cuadro 2 presenta los niveles de significancia obtenidos del análisis estadístico de las variables peso al finalizar la primera fase experimental (60 d, P2), peso al fi-

nalizar la segunda fase experimental (120 d, P3), ganancia diaria de peso entre P1 y P2 (GDP1y2), ganancia diaria de peso entre P1 y P3 (GDP1y3), ganancia diaria de peso entre P2 y P3 (GDP2y3) y la covariable respectiva.

Cuadro 2. Nivel de significancia para sexo del animal (S), grupo de crecimiento (G) e interacción entre sexo y grupo (S*G) incluidos en el modelo para el análisis estadístico de peso al fin de la primera fase experimental (60 d, P2), peso al fin de la segunda fase experimental (120 d, P3), ganancia diaria de peso entre P1¹ y P2 (GDP1y2), ganancia diaria de peso entre P1 y P3 (GDP1y3), ganancia diaria de peso entre P2 y P3 (GDP2y3) y la covariable correspondiente.

Efectos	P2	P3	GDP1y2	GDP1y3	GDP2y3
Sexo (S)	0.0262	0.7830	0.0263	0.7366	0.5120
Grupo (G)	0.7723	0.0231	0.7724	0.3341	0.0761
S*G	0.3360	0.0067	0.3362	0.0181	0.0023
Covariable	<0.0001	<0.0001	0.0002	0.0195	0.1730

¹P1 Peso al inicio de la primera fase experimental

En el Cuadro 3 se presentan los promedios obtenidos para consumo total de alimento (CMD), incremento de

peso (IC), conversión alimenticia (CA) y ganancia diaria de peso (GDP) por sexo y grupo de crecimiento

Cuadro 3. Consumo total de alimento (CMD), incremento de peso (IP), conversión alimenticia (CA) y ganancia diaria de peso (GDP) general y por sexo (machos y hembras) y grupo de crecimiento rápido (CR) y lento (CL).

	General	CR	CL	Machos	Hembras
CMD, kg	187.60	204.30	170.60	184.20	191.00
IP, kg	92.20	94.90	89.30	90.80	93.70
CA, kg kg⁻¹	2.28	2.34	2.20	2.25	2.30
GDP, kg día⁻¹	0.79	0.83	0.75	0.78	0.80

Como puede observarse en el Cuadro 3, el CMD para los animales de los grupos CR y hembras fue 33.7 y 6.8 kg mayor que cerdos CL y machos, respectivamente. El CMD general es similar al encontrado por O'Connell, Beattie, y Watt (2005) y Jaturasitha *et al.* (2006).

Las hembras consumieron en cantidades mayores respecto a los machos lo que contrasta con los resultados obtenidos por Cámara *et al.* (2016), Flohr *et al.* (2016), Piao *et al.* (2004) y Wolter y Ellis (2001), mientras que los cerdos CR, debido al mayor tamaño, reflejaron mayor apetito como sucede en trabajos anteriores (Wolter y Ellis, 2001; O'Connell *et al.*, 2005; Andretta *et al.*, 2016).

Tanto el grupo CR como hembras mostraron un crecimiento más eficiente, es decir, una mayor GDP, 0.08 y 0.02 kg día⁻¹; e IC, 5.6 y 2.9 kg comparados con los CL y machos, respectivamente, donde GDP está directamente correlacionado con IP. Los resultados obtenidos en el presente trabajo son similares a otros reportados en literatura, como Douglas *et al.* (2013) quienes reportan GDP para cerdos en tres categorías de pesos según su tasa de crecimiento de menor a mayor con 507, 616 y 717 g, respectivamente, en el periodo del destete al fin de la fase

experimental (132 d). Por otro lado, O'Connell *et al.* (2005) al reagrupar los cerdos de las 10 a las 21 semanas de edad según su tamaño analizó GDP de 785, 831 y 847 g día⁻¹ para cerdos pequeños, medianos y grandes respectivamente. Similar a Wolter y Ellis (2001) quienes señalan una GDP de 0.037 kg día⁻¹ mayor para cerdos pesados en comparación con los livianos.

Las hembras tuvieron mayor GDP frente a machos, esto es contrario a lo comúnmente reportado por otros autores (Wolter y Ellis, 2001; Piao *et al.*, 2004; Jaturasitha *et al.*, 2006; Cámara *et al.*, 2016; Flohr *et al.*, 2016), estudios donde los machos mostraron mayor GDP que las hembras.

La CA fue mejor para machos y CL al ocupar 0.05 y 0.12 kg de alimento menos para transformar un kg de peso vivo, en comparación con hembras y CR, respectivamente; no se observa una correlación directa entre tasa de crecimiento y conversión alimenticia. Wolter y Ellis (2001) observaron un índice de conversión mayor para hembras enteras (2.7 kg kg⁻¹) comparado con los machos castrados (2.78 kg kg⁻¹), y el mismo índice tanto para cerdos pesados como livianos (2.7 kg kg⁻¹). Cámara

et al. (2016), Flohr *et al.* (2016) y Piao *et al.* (2004) reportaron resultados similares, donde las hembras mostraron índices de conversión alimenticia mayor que los machos.

Dichos resultados se contraponen con los obtenidos en el presente trabajo y coinciden con los resultados reportados por Jaturasitha *et al.* (2006) donde la mejor CA la obtuvieron los machos enteros, seguido de machos castrados y hembras enteras.

Efecto del sexo y grupo de crecimiento en el peso vivo final de la fase experimental y ganancia diaria de peso en la engorda analizados con proc GLM de SAS

El efecto de sexo del animal fue significativo ($P \leq 0.0263$) para P2 y GDP1y2, así como su covariable P1 ($P \leq 0.0002$). El efecto de grupo de crecimiento solo fue significativo ($P \leq 0.0231$) para P3 al igual que su covariable P2 ($P < 0.0001$). Mientras tanto la interacción entre sexo y grupo de crecimiento fue significativa ($P \leq 0.0181$) para P3, GDP1y3 y GDP2y3; mientras que la covariable P1 lo fue ($P \leq 0.0195$) para todas las variables con excepción de GDP2y3 ($P > 0.1730$).

En el Cuadro 4 se presentan las medias de mínimos cuadrados y errores estándar para P2 y GDP1y2. Las hembras tuvieron mayor GDP1y2 ($P \leq 0.0263$) y P2 ($P \leq 0.0262$) que los machos. En esta fase las hembras tuvieron una tasa de crecimiento mayor, sin importar su grupo de crecimiento. La GDP1y2 está estrechamente relacionado con P2, P1 influyó estadísticamente en ambas variables.

Cuadro 5. Medias de mínimos cuadrados y errores estándar para peso 3 (P3, kg), ganancia diaria de peso entre P2 y P3 (GDP2y3, kg) y ganancia diaria de peso entre P1 y P3 (GDP1y3, kg) por subclase de la interacción entre sexo y grupo de crecimiento.

Grupos	P3	GDP2y3	GDP1y3
Macho*CR	109.53±1.62C	0.84±0.03B	0.77±0.03A
Macho*CL	120.02±2.22A	1.01±0.04A	0.86±0.03A
Hembra*CR	113.16±1.81BC	0.91±0.03AB	0.81±0.03A
Hembra*CL	115.58±1.82B	0.91±0.03AB	0.82±0.03*

Medias con diferente literal en la misma columna son diferentes ($P \leq 0.0181$).

En la etapa de finalización (GDP2y3); la subclase macho*CL ganó mayor peso al día que el resto, le siguieron hembra*CL y hembra*CR con la misma GDP (0.91±0.03 kg) y al final macho*CR, similar a la clasificación que se refleja durante toda la fase de engorda (GDP1y3) donde, la subclase macho*CL fue de relevancia estadística mayor, es decir, GDP mayor ($P \leq 0.0181$) pero sin diferencia estadística entre los demás grupos, seguido por hembra*CL y hembra*CR que fueron intermedios; donde hembra*CL mostró ligeramente mayor GDP que

Cuadro 4. Medias de mínimos cuadrados y errores estándar para peso 2 (P2) y ganancia diaria de peso entre P1 y P2 (GDP1y2) por sexo.

Sexo	P2	GDP1y2
Macho	57.69±0.85B	0.66±0.01B
Hembra	60.41±0.86A	0.71±0.01A

Medias con distinta literal en la misma columna son diferentes ($P \leq 0.0263$).

Los resultados obtenidos en el presente trabajo se contraponen a los reportados por Flohr *et al.* (2016), quienes obtuvieron diferencias significativas y señalan mejor crecimiento para machos castrados de 36.3 kg de peso vivo a los 64 d. Cámara *et al.* (2016) y Jaturasitha *et al.* (2006), reportaron tendencias en las que los machos tuvieron mejor GDP que las hembras. La GDP de machos castrados fue mayor que la de hembras, con una diferencia de 0.044 kg d⁻¹ (Cámara *et al.*, 2016) Jaturasitha *et al.* (2006) observan GDP de 0.56, 0.55 y 0.52 kg d⁻¹ para machos castrados, machos y hembras enteras, respectivamente. Cabe destacar que debido a la edad temprana de los animales la influencia de hormonas sexuales no es relevante.

En el Cuadro 5 se observan las medias de mínimos cuadrados y errores estándar para P3, GDP2y3 y GDP1y3 para las subclases de la interacción S*G. La subclase macho*CL resultó ser significativamente mayor para P3 ($P \leq 0.0067$), GDP1y3 ($P \leq 0.0181$) y GDP2y3 ($P \leq 0.0023$) que las demás

hembra*CR (+0.01 g) y por último el grupo macho*CR fueron los que ganaron menos peso al día, con la diferencia que la covariable P1 tuvo efecto significativo solo para GDP1y3.

Tanto para la etapa de finalización como en toda la etapa experimental la subclase macho*CL tuvieron los resultados mayores para GDP. Este resultado es similar al encontrado en literatura (Wolter y Ellis, 2001), quienes observaron resultados significativos en el periodo de fina-

lización con mayor GDP a favor de machos castrados comparados con las hembras. Por su parte, Cámara *et al.* (2016) y Jaturasitha *et al.* (2006), reportaron tendencias donde machos tuvieron mejor GDP que las hembras en toda la fase de la engorda. Cámara *et al.* (2016) observaron una GDP de 0.017 kg d⁻¹ mayor a favor de los machos castrados frente a las hembras enteras. Jaturasitha *et al.* (2006) revelan GDP de 0.67, 0.68 y 0.64 kg d⁻¹ para machos castrados, machos enteros y hembras enteras, respectivamente.

Los cerdos del grupo CL reflejaron un crecimiento eficiente, esto es lo contrario a lo comúnmente reportado. Por ejemplo, O'Quinn *et al.* (2001) clasificaron por peso a la entrada de la fase de finalización (14 semanas de edad) y los cerdos "pesados" tuvieron mayor GDP en comparación con los demás cerdos clasificados de menor peso (medianos y livianos). Mientras que Brumm *et al.* (2002), Brumm *et al.* (2006), O'Connell *et al.* (2005) y Wolter y Ellis (2001) no observaron un efecto significativo en la tasa de crecimiento al reagrupar cerdos en las fases de crecimiento-finalización. Aunado a esto las hembras tanto en fase de finalización como en toda la engorda se mantuvieron con tasas de crecimiento muy estrechas, mientras que los machos se distanciaron respecto a su grupo de crecimiento, esto se atribuye a la segregación por el tamaño al inicio de la engorda.

El resultado para P3 difiere con la clasificación de P2, pero concuerda con GDP2y3 y GDP1y3 siendo mayor la subclase macho*CL, seguido por hembra*CL, ligeramente después la subclase hembra*CR y por último macho*CR resultaron ser los más livianos. Debe notarse que la covariable P2 influyó estadísticamente ($P < 0.0001$) P3. Al menos un grupo de los machos demostró mayor crecimiento, lo que se asemeja con Cámara *et al.* (2016), Garitano *et al.* (2013), Latorre *et al.* (2004), y Wolter y Ellis (2001) donde describen un mayor peso al matadero para machos castrados en comparación con hembras enteras.

Por su parte, O'Quinn *et al.* (2001) y Wolter y Ellis (2001) encontraron diferencias significativas en peso al final del estudio, a favor de los cerdos pesados frente a los demás. O'Quinn *et al.* (2001) con 123.4, 117.8 y 113.2 kg para cerdos pesados, medianos y livianos. Wolter y Ellis (2001) observaron que los cerdos pesados tuvieron 1.4 kg más que los cerdos livianos para peso al sacrificio. Estos resultados se contraponen a los encontrados en el presente trabajo. El grupo CL fue el que mejor aprovechó las condiciones internas y externas. Cuando se comparan con resultados de experimentos donde no hubo efecto de la remoción y reagrupamiento de los cerdos en los parámetros productivos, podrían explicarse por los antecede-

ntes genéticos, el tamaño del grupo y efectos ambientales, así como la edad a la que se reagruparon los cerdos.

Factores del comportamiento productivo que influyen en la calidad del cerdo al final de la engorda analizado con máquinas de aprendizaje en R

Análisis con máquinas de decisión

Árboles de decisión

En la Figura 1 se muestra el diagrama del árbol de decisión obtenido con el algoritmo CART para clasificar los cerdos al finalizar la engorda. En este análisis se consideraron datos de cerdos que murieron durante el proceso de engorda; después de los procesos de poda (IBM, 2021) se obtuvo un árbol de decisión con una exactitud de clasificación de 91%. Cada uno de los rectángulos representa un nodo del árbol de decisión con su regla de clasificación. Cada nodo está coloreado de acuerdo con la categoría mayoritaria entre los datos que agrupa. Dentro del rectángulo de cada nodo se muestra la proporción de casos que pertenecen a cada categoría y la proporción del total de datos que ahí se agruparon. Los factores de sexo y grupo de crecimiento no figuraron como los más importantes para la clasificación, mientras que P2 y P3 sí. Esta relación se asemeja a los resultados de Douglas *et al.* (2013).

El primer criterio de clasificación fue $P2 \geq 59$; este criterio conduce al rectángulo gris en el extremo inferior izquierdo de la gráfica el cual tiene 91% de casos en el tipo 2 (cerdos de primera calidad), y 3% de los casos tipo 0, 1 y 3, que representan 40% de todos los datos. Estas proporciones indican la precisión del modelo al hacer predicciones. De este modo, las reglas que conducen a este rectángulo dan 91% de clasificaciones correctas de casos tipo 2.

El segundo criterio utilizó la variable muerto (MTO), que indica que el animal murió durante el periodo de engorda, si $MTO=0$ el cerdo se clasificó como muerto y como 1 en caso contrario. Este criterio conduce al segundo rectángulo donde se aprecia que dicho nodo del árbol de decisión logró 100% de las clasificaciones correctas de casos tipo 0 (cerdos muertos) y el porcentaje de la población clasificada en este nodo fue 11%.

El tercer criterio de clasificación fue $P3 < 90$, cerdos con peso menor que 90 kg al final de la engorda se clasificaron como tipo 1 (cerdos saldos), guía al tercer rectángulo, de izquierda a derecha, de color naranja, el cual tuvo sólo 75% de clasificaciones correctas de casos de tipo 1, 0% de casos de tipo 0 y 12 % de casos tipo 2 y 3. Esto es parte del manejo de la granja ya que no se dan más días a los cerdos para alcanzar 115 kg y se envían al rastro con el

peso alcanzado a 120 d, el porcentaje de la población en este nodo fue 9%.

Finalmente, el último criterio de clasificación utiliza nuevamente P2, animales con un $P2 < 47$ kg se clasificaron como casos tipo 3 (cerdos de segunda calidad). En este nodo se clasificó 19% de la población con una pureza de 94%. Los animales con $P2 > 47$ kg se clasificaron como casos tipo 2 (cerdos de primera calidad), aunque la pureza

del nodo con 50% de los cerdos clasificados correctamente.

De acuerdo con el árbol de decisión, 11, 9, 61 y 19% de la población se clasificó como cerdos muertos, saldos, y primera y segunda calidad, respectivamente. Una de las desventajas de los árboles de decisión es el sobreajuste de los modelos, para subsanar esta desventaja se estudiaron en conjunto 600 árboles de decisión siendo así equivalente a la técnica estadística bosques aleatorios.

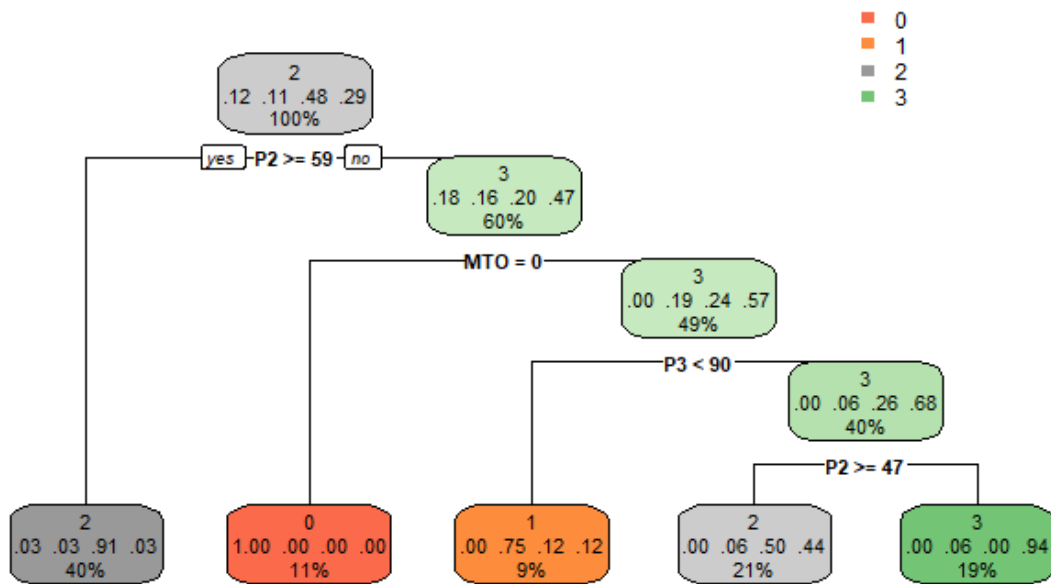


Figura 1. Diagrama del árbol de decisión obtenido con el algoritmo CART, para clasificar la calidad del cerdo al final de la engorda, usando como variable clasificatoria Peso2 (P2), Peso3 (P3) y muerto (MTO). Categorías: ⁰muertos, ¹saldo, ²primera calidad y ³segunda calidad.

Análisis con bosques aleatorios

La Figura 2 muestra la disminución del coeficiente de Gini de cada variable, este valor es una medida de como la variable contribuye a la homogeneidad de los nodos y hojas en el bosque aleatorio; es decir cuanto mayor sea el valor, mayor será la importancia de la variable para clasificar los cerdos. Las variables más utilizadas o importantes son las que se sitúan en la parte superior de la gráfica (P2, GDP1y2, ...) y las menos utilizados son (Edad, Sexo, CR/CL, ...). Estos resultados concuerdan con el diagrama de árbol de decisión generado con el algoritmo CART donde no se utilizan las variables para la clasificación final de los cerdos.

Algunos autores (Garitano *et al.*, 2013; O’Connell *et al.*, 2005; Wolter y Ellis, 2001) encontraron que, al formar grupos uniformes de peso, los cerdos más pesados alcanzan el peso al sacrificio de 5 a 9 d antes que los más livianos, y las hembras logran el peso al sacrificio de 6 a 13 d después que los machos castrados; es decir el grupo y

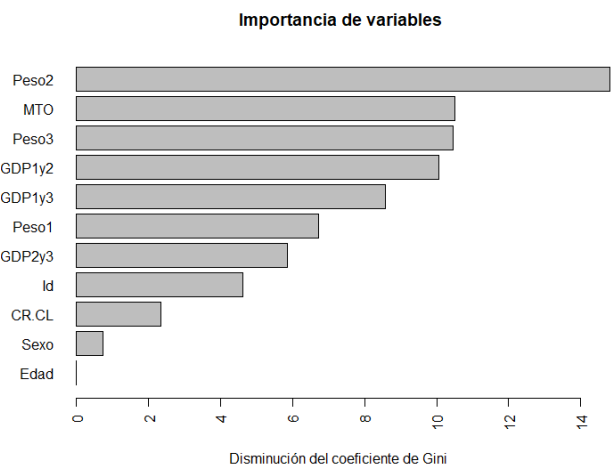


Figura 2. Gráfico de variables clasificatorias ordenadas según su relevancia con la metodología de bosques aleatorios en el programa R, para calidad del cerdo al final de la engorda, distribuidos según su importancia, pesos 1 (Peso1), 2 (Peso2) y 3 (Peso3); ganancias diarias de peso entre P1 y P2 (GDP1y2), P1 y P3 (GDP1y3) y P2 y P3 (GDP2y3); muerto (MTO); y sexo (Sexo) y edad del cerdo (Edad).

sexo sí son importantes. Aunque en el presente estudio sexo y grupo no fueron los más importantes para determinar la calidad de los cerdos al finalizar la engorda, hay una evidente relación entre estos y los factores más determinantes, por ejemplo, al modelar P2 el factor S fue significativo y al modelar P3 el factor G y S*G resultaron significativos.

La GDP está estrechamente relacionada al peso vivo de los animales; por tanto, buenas GDP implica altos P2 y P3; es decir animales con excelentes GDP se clasificarán como primera calidad al fin de la engorda. Esto coincide con López-Vergé *et al.* (2018), quienes sugieren que duración de la lactancia, GDP, peso vivo al destete y al nacimiento, son factores importantes para disminuir la probabilidad de obtener cerdos saldos enviados al rastro.

El P3 define la calidad del cerdo al final de la engorda, si el animal no llega al peso objetivo, se clasifica como saldo, si llega al peso objetivo a 120 d, se clasifica como segunda calidad y si llega al peso antes de 122 d es un cerdo de primera calidad; el algoritmo clasificatorio del árbol de

decisión usa a P3 en paso 3. Esto muestra una consistencia del buen funcionamiento del algoritmo con el criterio de clasificación de la granja.

Por tanto, analizado con proc GLM de SAS, el efecto de segregar al inicio de la etapa de finalización influye en la tasa de crecimiento y peso vivo, los cuales intervienen indirectamente en la calidad final de los cerdos en el análisis con máquinas de aprendizaje en R; ambos están relacionados estrechamente. De manera práctica se busca aplicar el mejor manejo para obtener mayores pesos a la mitad y final de la engorda, que resulte en beneficios económicos a la explotación, al enviar cerdos al matadero con menor periodo de engorda, es decir, cerdos de primera calidad, así como, determinar los grupos que cerrarían primero la engorda y así utilizar las instalaciones de manera más eficiente y comercializar más cerdos dentro de un rango de peso vivo ideal especificado por el empacador. Se sugiere investigaciones futuras sobre las oportunidades de dicho reagrupamiento para reducir la variación en crecimiento entre cerdos durante el período de crecimiento-finalización.

Conclusiones

Los resultados de este estudio indican que la calidad de los cerdos al fin de la engorda dependen indirectamente de la segregación por sexo y tamaño. Reagrupar los cerdos al principio de la fase de crecimiento, influye significativa-

mente el rendimiento productivo en las fases de crecimiento y finalización. Cerdos con peso menor al iniciar la fase crecimiento-finalización tienen oportunidad de llegar a primera calidad al mandarlos al rastro

Agradecimientos

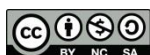
A la empresa CUARTE, S. L. y al Dr. Antonio González de Bulnes López por el apoyo brindado para obtener los

datos experimentales y por el apoyo durante la estancia pre-profesional de los dos primeros autores

Conflicto de intereses: Los autores manifiestan que no existe ningún tipo de conflicto de intereses.

Literatura Citada

- Andretta, I., C. Pomar, M. Kipper, L. Hauschild, and J. Rivest. 2016. Feeding behavior of growing-finishing pigs reared under precision feeding strategies. *Journal of Animal Science*, 94:3042-3050.
- Brumm, M. C., M. Ellis, L. J. Johnston, D. W. Rozeboom, D. R. Zimmerman, R. H. Hines, D. D. Jones, V. D. Leibbrandt, G. W. Libal, S. J. Moeller, B. Richert, T. E. Soucha, K. Stalder, and R. C. Thaler. 2002. Effect of removal and remixing of lightweight pigs on performance to slaughter weights. *Journal of Animal Science*, 80:1166-1172. <https://academic.oup.com/jas/article-abstract/80/5/1166/4789495>
- Brumm, M. C., L. J. Johnston, and D. W. Rozeboom. 2006. Effects of removal and remixing of heavyweight pigs on performance to slaughter weights. *The Professional Animal Scientist*, 80:12. <https://digitalcommons.unl.edu/ardhaskell/12>
- Cámara, L., J. D. Berrocoso, A. Fuentetaja, C. J. López-Bote, C. de Blas, and G. G. Mateos. 2016. Regrouping of pigs by body weight at weaning does not affect growth performance, carcass quality or uniformity at slaughter of heavy weight pigs. *Animal Science Journal*, 87:134-142. doi:10.1111/asj.12404.
- Douglas, S. L., S. A. Edwards, E. Sutcliffe, P. W. Knap, and I. Kyriazakis. 2013. Identification of risk factors associated with poor lifetime growth performance in pigs. *Journal of Animal Science*, 91:4123-4132. doi:10.2527/jas2012-5915. <https://academic.oup.com/jas/article-abstract/91/9/4123/4717274>



- van Ferneij, J. P. 2022. Situación de la castración de cerdos en la Unión Europea. *3tres3 México*. https://www.3tres3.com/es-mx/articulos/situacion-de-la-castracion-de-cerdos-en-la-union-europea_3512/
- FIRA. 2022. FIRA Perspectivas 2022. FIRA, México. 84 p.
- Flohr, J. R., M. D. Tokach, J. M. DeRouchey, J. C. Woodworth, R. D. Goodband, and S. S. Dritz. 2016. Evaluating the removal of pigs from a group and subsequent floor space allowance on the growth performance of heavy-weight finishing pigs. *Journal of Animal Science*, 94:4388–4400. doi:10.2527/jas.2016-0407.
- Garitano, I., C. Liébana, E. F. de Vargas, Á. O. Moreno, and A. Daza. 2013. Effect of gender on growth performance, carcass characteristics, meat and fat composition of pigs slaughtered at 125 kg of live weight destined to Teruel (Spain) ham production. *Italian Journal of Animal Science*, 12:95–100. doi:10.4081/ijas.2013.e16.
- Hardge, T., and S. McOrist. 2007. Cuál es el valor económico de una variabilidad baja del peso corporal? *3tres3 México*. https://www.3tres3.com/es-mx/articulos/cual-es-el-valor-economico-de-una-variabilidad-baja-del-peso-corporal_1088/
- IBM. 2021. Nodos de árbol de decisión: conceptos básicos - Documentación de IBM. IBM. <https://www.ibm.com/docs/es/spss-modeler/saas?topic=options-decision-tree-nodes-basics>
- Jaturasitha, S., S. Kamopas, T. Suppadit, R. Khiaosa-ard, and M. Kreuzer. 2006. The effect of gender of finishing pigs slaughtered at 110 kilograms on performance, and carcass and meat quality. *ScienceAsia*, 32:297-305. doi:10.2306/scienceasia1513-1874.2006.32.297.
- Latorre, M. A., R. Lázaro, D. G. Valencia, P. Medel, and G. G. Mateos. 2004. The effects of gender and slaughter weight on the growth performance, carcass traits, and meat quality characteristics of heavy pigs. *Journal of Animal Science*, 82:526-533. doi:10.2527/2004.822526x. <https://academic.oup.com/jas/article-abstract/82/2/526/4834434>
- López-Vergé, S., J. Gasa, M. Farré, J. Coma, J. Bonet, and D. Solà-Oriol. 2018. Potential risk factors related to pig body weight variability from birth to slaughter in commercial conditions. *Translation Animal Science*, 2:383-395. doi:10.1093/tas/txy082.
- Medel, P., and A. Fuentetaja. 2000. Efecto del perfil genético, del sexo, del peso al sacrificio y de la alimentación sobre la productividad y la calidad de la canal y de la carne de cerdos grasos. Reporte del XVI Curso de Especialización FEDNA. FEDNA, 113-139.
- O'Connell, N. E., V. E. Beattie, and D. Watt. 2005. Influence of regrouping strategy on performance, behaviour and carcass parameters in pigs. *Livestock Production Science*, 97:107–115. doi:10.1016/j.livprodsci.2005.03.005.
- O'Quinn, P. R., S. S. Dritz, R. D. Goodband, M. D. Tokach, J. C. Swanson, J. L. Nelssen, and R. E. Musser. 2001. Sorting growing-finishing pigs by weight fails to improve growth performance or weight variation. *Journal of Swine Health and Production*, 9:11-16. <http://www.aasv.org/shap.html>.
- Patience, J. F., A. D. Beaulieu, and H. W. Gonyou. 2003. Variation in pig performance: can we do anything about it? Report of Prairie Swine Centre, Saskatoon, SK, Canada, 36.
- Piao, J. R., J. Z. Tian, B. G. Kim, Y. I. Choi, Y. Y. Kim, and K. Han. 2004. Effects of sex and market weight on performance, carcass characteristics and pork quality of market hogs. *Asian–Australasian Journal of Animal Science*, 17:1452–1458.
- R Core Team. 2017. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.Rproject.org/>
- Statistical Analysis System (SAS). 2021. SAS/STAT 9.4 User's Guide. Cary, N. C. USA: SAS Institute.
- Wolter, B. F., and M. Ellis. 2001. The effects of weaning weight and rate of growth immediately after weaning on subsequent pig growth performance and carcass characteristics. *Canadian Journal of Animal Science*, 81:363–369. doi:10.4141/A00-100.